Archive of SID.ir

Shahid Chamran University of Ahvaz

OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Autumn 2024, Vol. 14(3): 757-784

Research Article

Assessing the Stability of the Hybrid PSO-GA Algorithm in Magnetic Model Parameter Estimation Compared to Two Separate Approaches

Abdol Nabi Sohouli[1], Hossein Molhem[2]*, Naser Zare-Dehnavi[3]

1- Department of Petroleum, Mining and Material Engineering, Faculty of Civil and Earth Resources Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Department of Physics, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
3- Department of Physics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Keywords: *Parameter estimation, Particle Swarm Optimization Algorithm, Genetic algorithm, White Gaussian noise, Airborne magnetics*

1-Introduction

In recent decades, the use of geophysical methods based on the interpretation of magnetic anomalies (Abdelrahman, et al, 2009; Nabighian et al., 2005) for exploratory explorations and identification of subsurface resources for geological and mineral research has been widely used (Farquharson and Craven, 2009; Abedi et al., 2013). One of the magnet metric interpretation methods used in this field is the hybrid PSO-GA algorithm, which is a combination of two algorithms known as particle swarm optimization (PSO) and genetics (GA) (Garg, 2016). This research evaluates the hybrid PSO-GA algorithm's stability in estimating the magnetic model's parameters. For this purpose, two PSO and GA algorithms have been used to improve estimation efficiency and accuracy. This algorithm combines the exploratory capabilities of PSO and GA exploitation and improves performance and accuracy by using genetic operators (Grandis and Maulana, 2017; Boschetti et al., 1997). The experimental magnetic data of the Basiran region in South Khorasan province have been used to evaluate the stability of the hybrid PSO-GA algorithm. These data include the magnetic anomalies of the earth along a part of the studied area. Using the introduced model, the parameters of the magnetic model, including shape, material, depth, and elongation angle, have been estimated. In magnetometry, recognizing the earth's magnetic anomalies by interpreting collected data and modeling is essential in geophysical research. By analyzing these anomalies and using hypothetical geometric models to compare the results with regular shapes such as spheres, cylinders, standing prism, and dikes, they estimate the desired parameters, including shape, material, depth, and elongation angle (Abo-Ezz and Essa, 2016). The results indicate that the hybrid PSO-GA algorithm has been able to estimate the parameters of the magnetic model with acceptable accuracy, and these estimates are consistent with the geological results. Also, by adding Gaussian white noise to synthetic data, the performance of the algorithm in the presence of noises has been checked, and it has been shown that the hybrid algorithm has an acceptable performance compared to the particle swarm and genetics algorithm, even in the face of noises up to 25%. Therefore, the hybrid PSO-GA algorithm can be used as an efficient and accurate method for estimating magnetic parameters, leading to acceptable and realistic results.

2-Material and methods

Compared to two other algorithms, the stability analysis of the PSO-GA hybrid algorithm applied in estimating magnetic model parameters provides valuable insights into its performance and efficiency. This predictive analysis encompasses the following steps:

* Corresponding author: molhem@kiau.ac.ir
DOI: 10.22055/aag.2024.44814.2406
Received: 2023-10-15
Accepted: 2024-06-30

ISSN: 2717-0764

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

2-1- Problem Definition:

With the help of Eq 1 and 2, the problem of magnetic model parameter estimation problem is clearly defined and investigated using laboratory data (Abdelrahman and Essa, 2015).

$$T(x_i, z) = K\frac{Az^2 + B(x_i) + C(x_i)^2}{[(x_i)^2 + z^2]^{Sf}} \qquad \text{Equation 1}$$

parameter A, B and C

$$A\begin{cases} 3\sin^2\theta - 1 \\ 2\sin\theta \\ -\cos\theta \\ \cos\theta \\ \dfrac{\cos\theta}{z} \end{cases} \quad B\begin{cases} -3z\sin\theta \\ -3z\cos\theta \\ -3z\sin\theta \\ 2z\sin\theta \\ -\sin\theta \end{cases} \quad C\begin{cases} 3\cos^2\theta - 1 \\ -\sin\theta \\ 2\cos\theta \\ -\cos\theta \\ 0 \end{cases}$$

1- for a sphere (total field)
2- for a sphere (vertical field)
3- for a sphere (horizontal field)
4- for a horizontal cylinder, FHD of thin sheet, and SHD of geological contact ðall fields)
5- for a dike and FHD of geological contact (all fields):

Equation 2

2-2- PSO Algorithm:

PSO stands for Particle Swarm Optimization. It is a computational algorithm inspired by the social behavior of bird flocking or fish schooling.

PSO algorithm starts with a group of potential solutions, known as "particles," randomly distributed across the search space. Each particle represents a potential solution to the optimization problem. The particles move through the search space to find the optimal solution. They update their positions and velocities based on their previous best solution, "personal best," and the global best solution among all particles in the swarm. Each particle adjusts its velocity and position in each iteration based on two guiding factors: personal best and global best. The personal best is the best solution a particle has achieved so far during its search. The global best is the best solution among all the particles in the swarm.

The movement of particles is influenced by both their personal and global best. They adjust their velocities and positions towards these best solutions, aiming to converge on the optimal solution of the problem. The algorithm continues to iterate over a predefined number of iterations or until a stopping criterion is met. The particles gradually move and explore the search space during each iteration, improving their solutions.

PSO is known for its simplicity and efficiency in solving optimization problems. It is beneficial for continuous and multi-dimensional search spaces. It is also applicable to problems with non-linear and non-differentiable objective functions. Overall, the PSO algorithm mimics the collective behavior of a swarm of particles in searching for the optimal solution, making it an effective optimization technique. In this phase, the PSO algorithm is scrutinized and evaluated for its performance in estimating magnetic model parameters. Implementing the PSO algorithm on laboratory data allows for the recording of results. Accuracy of estimation and convergence are used as evaluation criteria (Grandis and Maulana, 2017).

2-3- GA Algorithm:

A Genetic Algorithm (GA) is a computational algorithm inspired by natural genetic evolution. It is designed to solve optimization and search problems. A population of potential solutions, known as the "initial population," is generated in a GA. Each solution in the initial population is represented as a "chromosome," analogous to the genetic material in natural organisms.

Next, the population evolves using various operators such as reproduction, selection, and crossover. This process resembles the natural reproduction and genetic variation present in biological evolution. Each generation's chromosomes better suited for solving the problem are selected as "parents" to produce the next generation. Reproduction operators, mutation, and crossover are used to generate new offspring. These offspring form a new population, becoming the next generation of the algorithm. This process is repeated,

ISSN: 2717-0764
CC BY
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

and with each generation, the population moves towards better and optimal solutions to the problem. The algorithm continues until a stopping criterion is met, delivering an optimal solution for the problem.

The main advantage of a Genetic Algorithm is its ability to explore multiple solutions in parallel and synchronized ways in the search space, making it highly effective and suitable for complex optimization problems with an ample search space.

Subsequently, the genetic algorithm is examined for its performance in estimating magnetic model parameters. The algorithm can be executed on laboratory data, and the results are documented. Evaluation of performance is again based on estimation accuracy and convergence (Boschetti et al., 1997).

2-4- Hybrid PSO-GA Algorithm:

This step involves investigating the hybrid PSO-GA algorithm and its effectiveness in estimating magnetic model parameters. The combination algorithm, a sequential combination algorithm model, is executed under the same conditions as the previous two algorithms. The algorithm is executed using laboratory data, and the resulting performance is evaluated using the criteria established in the previous two algorithms (Garg, 2016).

2-5- Comparison of Results:

Comparative analysis of the PSO, GA, and hybrid PSO-GA algorithms is conducted using estimation accuracy, convergence, and stability criteria. Based on these evaluations, the performance of the three algorithms is compared to determine the best approach for estimating magnetic model parameters.

This analysis assesses the performance of the PSO-GA hybrid algorithm compared to the other two algorithms, evaluating whether the algorithm significantly improves estimating magnetic model parameters. According to Fig. 1, the best algorithm is used to estimate the actual data.

1- Results and discussions

Comparative analysis of the PSO, GA, and hybrid PSO-GA algorithms is conducted using estimation accuracy, convergence, and stability criteria. Based on these evaluations, according to tabe1 to 3, the performance of the three algorithms is compared to determine the best approach for estimating magnetic model parameters.

This analysis assesses the performance of the PSO-GA hybrid algorithm compared to the other two algorithms, evaluating whether the algorithm significantly improves estimating magnetic model parameters.

Table 1. presents the estimation results for the dike model.

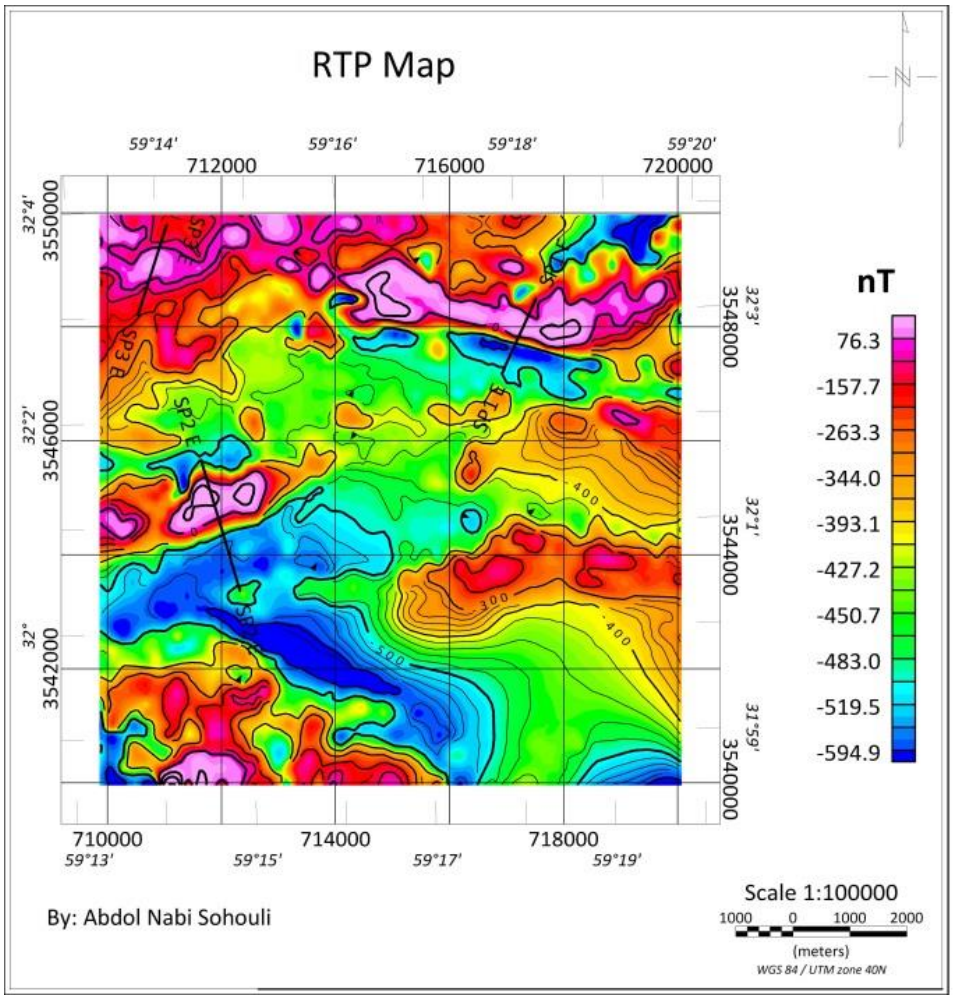
Dike Using a Dike model (Sf = 1.0) Cost function (MES) (nT)			
Noise level	PS-GA	PSO	GA
Any	0	1.37	3.82
0	0.96	2.65	4.79
5	1.65	3.55	5.06
10	3.06	6.02	6.63
15	5.78	9.58	11.4
20	9.59	17.81	17.02
25	17.47	18.93	18.38

ISSN: 2717-0764

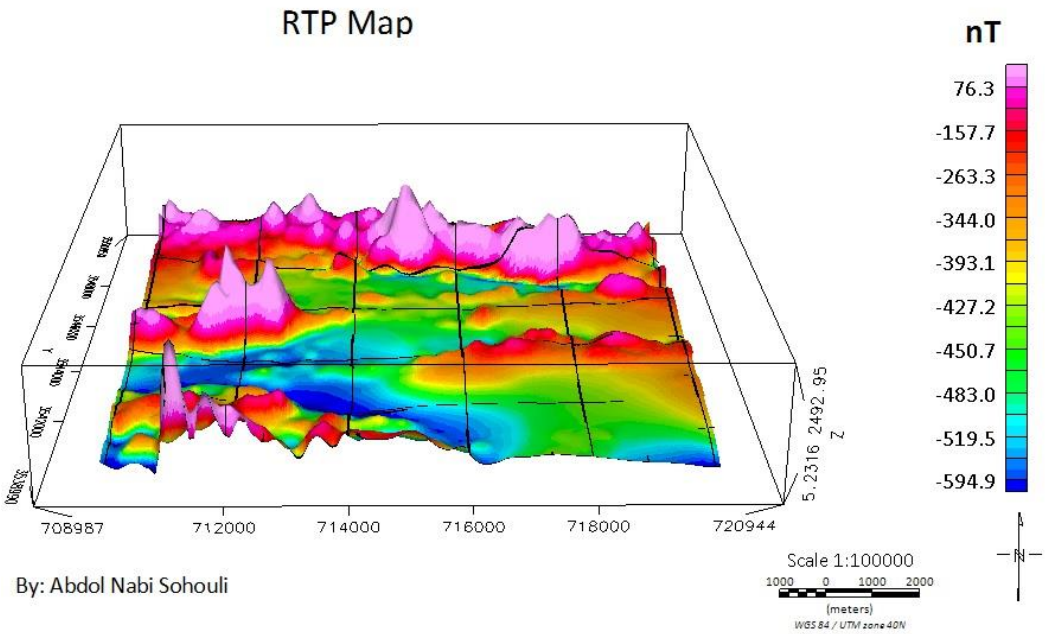
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Autumn 2024, Vol. 14(3): 757-784



(a)



(b)

Fig. 1 (a) magnetic field map RTP and (b) magnetic field map in three dimensions RTP

ISSN: 2717-0764

CC BY
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Table 2. Presents the estimation results for the H. Cylinder model.

H. Cylinder Using a Cylinder model (Sf = 2.0) Cost function (MES) (nT)			
Noise level	PSO-GA	PSO	GA
Any	0	0.01	0.18
0	0.98	1.05	1.05
5	1.75	3.12	3.19
10	3.07	5.83	5.58
15	6.29	10.59	9.37
20	9.81	19.09	17.6
25	18.48	19.88	18.77

Table 3. Presents the estimation results for the Sphere model.

Sphere Using a Sphere model ((Sf = 2.5)) Cost function (MES) (nT)			
Noise level	PSO-GA	PSO	GA
Any	0	0.94	1.02
0	0.93	1.92	2.05
5	1.88	3.24	3.09
10	3.3	5.49	5.02
15	6.07	10.38	9.59
20	8.48	17.61	16.57
25	17.33	19.03	18.84

2- Conclusion

This article presents a research study to analyze the stability of a hybrid algorithm (Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm) for estimating model parameters. The study includes using both artificial and actual samples to represent magnetic anomalies. The technique was tested on artificial samples, with and without random noise, and ultimately used to validate parameter estimation for a field sample from magnetic data in the Basiran region. The results indicate that the hybrid Particle Swarm Optimization and Genetic algorithm produces the best results under low noise conditions. Additionally, a comparison of the convergence speeds of the algorithms reveals that the PSO-GA algorithm exhibits the lowest divergence.

5-References

Abdelrahman, E.S.M., Essa, K.S.T., El-Araby M., Abo-Ezz E.R., 2015. Depth and shape solutions from second moving average residual magnetic anomalies. Exploration Geophysics 47, 58-66. https://doi.org/10.1071/EG14073

Abdelrahman, E., Soliman, K., Abo-Ezz, E., El-Araby, T., Essa, K., 2009. A least-squares standard deviation method to interpret magnetic anomalies due to thin dikes. Near Surface Geophysics, 7, 41-47.https://doi.org/10.3997/1873-0604.2008032

ISSN: 2717-0764

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Abedi, M., Gholami, A., Norouzi G.H., 2013. A stable downward continuation of airborne magnetic data: A case study for mineral prospectivity mapping in Central Iran. Computers & Geosciences 52, 269-280. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.11.006

Abo-Ezz, E., Essa, K., 2016. A least-squares minimization approach for model parameters estimate by using a new magnetic anomaly formula. Pure and Applied Geophysics 173, 1265-1278. http://doi.org/10.1007/s00024-015-1168-9

Boschetti, F., Dentith M., List, R., 1997. Inversion of potential field data by genetic algorithms. Geophysical Prospecting 45, 461-478. http://doi.org/10.1046/j.1365-2478.1997.3430267.x

Farquharson, C.G., Craven, J.A., 2009. Three-dimensional inversion of magnetotelluric data for mineral exploration: An example from the McArthur River uranium deposit, Saskatchewan, Canada. Journal of Applied Geophysics 68, 450-458. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.02.002

Garg, H., 2016. A hybrid PSO-GA algorithm for constrained optimization problems. Applied Mathematics and Computation 274, 292-305. https://doi.org/10.1016/j.amc.2015.11.001. https://doi.org/10.1016/j.amc.2015.11.001

Grandis, H., Maulana, Y., 2017. Particle swarm optimization (PSO) for magnetotelluric (MT) 1D inversion modeling. In IOP conference series: Earth

Nabighian, M.N., Grauch, V., Hansen, R., LaFehr, T., Li, Y., et al., 2005. The historical development of the magnetic method in exploration. Geophysics 70, 33-61. http://dx.doi.org/10.1190/1.2133784

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Sohouli, A., Molhem, H., Zare-Dehnavi, N., 2024. Prediction of Shear Wave Velocity Using Petrophysical Logs and Deep Learning Algorithms in a Hydrocarbon Field in Iran. Adv. Appl. Geol. 14(3), 755-784.

DOI: 10.22055/aag.2024.44814.2406
URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19225.html

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ISSN: 2717-0764

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

زمین شناسی کاربردی پیشرفته

پاییز ۱۴۰۳، دوره ۱۴، شماره ۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری الگوریتم ترکیبی PSO-GA در تخمین پارامتر مدل مغناطیسی در مقایسه با دو رویکرد مجزا

عبدالنبی سهولی

گروه مهندسی نفت ، دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

حسین ملهم*

گروه فیزیک، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

ناصر زارع دهنوی

گروه فیزیک، دانشکده علوم و فنون همگرا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* *molhem@kiau.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۰

چکیده:

در این پژوهش، پایداری الگوریتم ترکیبی PSO-GA در تخمین پارامترهای مدل مغناطیسی ارزیابی شده با دو الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک، مقایسه شده است. از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای بهبود بردار عمل و از الگوریتم ژنتیک (GA) برای تصحیح بردارهای تصمیم‌گیری استفاده گشته. این ترکیب الگوریتم‌ها با استفاده از اپراتورهای ژنتیکی توانایی اکتشاف و بهره‌برداری را بهبود می‌بخشد. الگوریتم بهینه‌سازی مورد مطالعه به عنوان یک روش سریع برای مدل‌سازی ناهنجاری‌های مغناطیسی بر مبنای مدل‌های زمین‌شناسی ایده‌آل معرفی می‌شود و قابلیت استفاده در کاوش و تخمین مخزن‌های معدنی را دارد. علاوه بر این، در زمینه‌ی ژئوفیزیک اکتشافی، استفاده از مدل‌سازی با اشکال هندسی منظم مانند کره، استوانه، منشورقائم، دایک و غیره برای تخمین پارامترهای بی‌هنجاری‌های مغناطیسی معمولی است. همچنین، در این پژوهش با افزودن نوفه سفید گاوسی به داده‌های مصنوعی، عملکرد الگوریتم حتی در حضور نوفه تا ۲۵ درصد نیز مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج نشان می‌دهد که این روش به خوبی عمل می‌کند. اعتبارسنجی این مدل با استفاده از داده‌های واقعی مغناطیسی هوابرد منطقه بصیران در استان خراسان جنوبی، انطباق خوبی با نتایج زمین‌شناسی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: *مدلسازی، تخمین پارامتر، الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک، نویز گاوسی سفید، مغناطیسی هوابرد.*

۱-مقدمه

در حوزه تحقیقات زمین‌شناسی و معدنی، از روش‌های ژئوفیزیکی مبتنی بر تفسیر بی‌هنجاری‌های مغناطیسی برای کاوش و شناسایی منابع زیرسطحی به منظور استخراج داده‌های بیشتر و دقیق‌تر از ساختارهای زمینی استفاده می‌شود (Abdelrahman et al., 2009, Nabighian et al., 2005, Farquharson and Craven, 2009, Abdelrahman et al., 2015, Abedi, Gholami and Norouzi, 2013). یکی از روش‌های مورد توجه در این حوزه، استفاده از الگوریتم‌های ترکیبی است که از ترکیب دو الگوریتم معروف بهینه‌سازی ازدحام ذرات particle swarm optimization, (PSO) PSO و ژنتیک (GA) تشکیل شده است(Garg, 2016).

الگوریتمPSO ، الهام گرفته از رفتار گروهی ذرات در جستجوی غذا، بهبود و بهینه‌سازی مسئله را بررسی می‌کند. در این الگوریتم، ذرات به صورت تصادفی در فضایِ جستجو حرکت کرده و با توجه به بهترین حالت‌هایی که تاکنون به آن‌ها رسیده‌اند، برای بهبود مکان خود تلاش می‌کنند(Grandis and Maulana, 2017).

از سوی دیگر، الگوریتم ژنتیک از مکانیزم ارتقاء و تکامل گیاهان و جانوران الهام گرفته شده است. در این الگوریتم، یک جمعیت از وجودات مجازی تشکیل شده و با استفاده از عملگرهای تکرار مانند انتخاب، ترکیب و جهش، بهبود و بهینه‌سازی را هدف می‌گیرد(Boschetti, Dentith and List, 1997b). ترکیب این دو الگوریتم به دو صورت الگوریتم‌های

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ترکیبی PSO-GA و الگوریتم ترکیبی GA-PSO امکان پذیر خواهد بود.

هدف این تحقیق ارزیابی پایداری الگوریتم ترکیبی PSO-GAدر تخمین پارامترهای مدل مغناطیسی است. برای این منظور، دو الگوریتم PSO و GA به منظور بهبود کارایی و دقت تخمین‌گری به‌کارگرفته شده است. این الگوریتم ترکیبی از قابلیت‌های اکتشافی PSO و بهره‌برداری GA بهره می‌برد و با استفاده از اپراتورهای ژنتیکی، عملکرد و دقت را بهبود می‌بخشد (Grandis and Maulana, 2017, Boschetti, Dentith and List, 1997a).

در الگوریتم ترکیبی PSO-GA، در ابتدا از الگوریتم PSO برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود و سپس نتایج بهینه‌شده به الگوریتم ژنتیک منتقل می‌شوند تا فرآیند بهینه‌سازی با الگوریتم GA ادامه یابد. عملیات ژنتیکی به طور همزمان با بر روی جمعیت اولیه ذرات ایجاد شده توسط PSO نیز اعمال می‌شود تا ترکیب و جهش در جمعیت ایجاد شود. استفاده از PSOبه عنوان الگوریتم اصلی ممکن است تأثیر بیشتری در نحوه حرکت ذرات داشته باشد(Garg, 2016).

در این مقاله، برای ارزیابی از داده‌های مصنوعی و واقعی مغناطیسی استفاده خواهد شد. داده‌های مصنوعی شامل بی‌هنجاری‌های مغناطیسی زمین در یک مدل هندسی مشخص هستند. با استفاده از الگوریتم‌های معرفی شده، پارامترهای مدل مغناطیسی، از جمله شکل، جنس، عمق و زاویه کشیدگی، تخمین زده شده اند. سپس، با استفاده از داده‌های واقعی، که شامل بی‌هنجاری‌های مغناطیسی زمین در یک منطقه واقعی می‌باشند، نتایج مقایسه و راستای‌آزمایی خواهند شد (Abo-Ezz and Essa, 2016). نتایج مقایسه شامل دقت تخمین‌گری پارامترهای مدل مغناطیسی، زمان اجرا و بهره‌وری الگوریتم‌ها خواهد بود. این نتایج به ما کمک می‌کند تا بتوانیم الگوریتمی را انتخاب کنیم که برتری بیشتری در تخمین پارامترهای مدل مغناطیسی داشته باشد و برای تحلیل و اکتشاف منابع زیرسطحی مورد استفاده قرار گیرد. انتظار می‌رود که تفاوت در نتایج این الگوریتم‌های ترکیبی، نشان دهنده دقت و کارایی در تخمین پارامترهای مدل مغناطیسی باشند. در نتیجه، استفاده از این الگوریتم‌های ترکیبی می‌تواند در تحلیل و اکتشاف منابع زیرسطحی در تحقیقات زمین‌شناسی و معدنی موثر باشد.

۲- زمین شناسی عمومی

ناحیه مورد مطالعه در محدوده روستای بصیران در استان خراسان جنوبی واقع شده است، که این منطقه به فاصله هوایی ۹۰ کیلومتری جنوب شهر بیرجند قرار دارد. این منطقه در حاشیه شرقی بلوک لوت و حاشیه غربی زون فلیش (زون نهبندان- خاش) قرار دارد (شکل ۲). از نظر سنگ‌شناسی، این منطقه عمدتاً توسط سنگ‌های آتشفشانی، پیروکلاستیک و ساب و لکانیک مربوط به دوره الیگومیوسن پوشیده شده است. به طور کلی، واحدهای آتشفشانی در شرق ایران به صورت پراکنده قابل مشاهده هستند، زیرا این واحدها عمدتاً در مرحله فرورانش تا مرحله پس از برخورد با صفحات قاره‌ای آسیا و عربستان شکل گرفته‌اند.

همانطور که در شکل ۵ نمایش داده شده است، فعالیت شدید ماگمایی ترشیری در این منطقه باعث شده است که در برخی از قسمت ها نشانه‌های کانه‌زایی مس پروفیری (همراه با کانسارهای رگهای و اسکارنی) رخداد یابد. همچنین مطالعه مغزه‌های حفاری موجود در محدوده معدن آهن بیشه نیز وجود بی هنجار ی مغناطیسی را در غرب ناحیه مورد مطالعه نشان داده است که منشأ این بیهنجاری‌ها از عمق کم در حدود ۱۰ متر تا عمق های زیاد ادامه داشته است. حضور واحدهای رسوبی و آذرین در مجاورت یکدیگر در این منطقه شرایط ایجاد کانی‌سازی بزرگ اسکارنی را نیز به وجود آورده است. واحدهای قدیمی‌تر این منطقه مربوط به رسوبات شن و ماسه سنگ شمشک می‌باشند که عمدتاً در سمت شرق منطقه رخنمود دارند (Tavassoli Torbati, 2022).

اجرای عملیات مغناطیس‌سنجی هوابرد با وضوح بالا، گام مهمی در شناخت بهتر زمین‌شناسی سطحی و زیرسطحی ایفا نموده و نقش مهمی در توسعه اکتشافات معدنی همچون هیدروکربنی در این منطقه دارد.

۳-روش پژوهش

۳-۱- روش‌های بهینه‌سازی مسئله غیرخطی

در آمار رگرسیون خطی، برآورد و نتایج استنباط پارامترهای $\boldsymbol{\beta} = [\boldsymbol{\beta_1}, \boldsymbol{\beta_2}, \dots, \boldsymbol{\beta_{nP}}]^T$ در الگوی زیر ارائه می‌شود:

$$\mathbf{Y_n} = \boldsymbol{\beta_1}\mathbf{x_{n1}} + \boldsymbol{\beta_2}\mathbf{x_{n2}} + \cdots + \boldsymbol{\beta_p}\mathbf{x_{np}} + \mathbf{Z_n} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

در این الگو، Z_n متغیر تصادفی، Y_n نمایش دهنده پاسخ در حالت n ام با $\boldsymbol{n = 1, 2, \dots, N}$است.و از دو قسمت قطعی و تصادفی (یا خطا) تشکیل می‌شود. مولفه قطعی یعنی$= \boldsymbol{\beta}$ $\boldsymbol{\beta_1, \dots, \beta_{nP}}$ و مولفه تصادفی یا خطا، اخلالی است که انحراف پاسخ را در آن حالت بیان می‌کند. این الگو برای حالت N متغیری به صورت ماتریس زیر نوشته می‌شود:

$$\mathbf{Y = \beta_0 + \beta_1 X + Z} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در این جا، Y بردار متغیرهای تصادفی بوده و نمایش دهنده داده‌های مورد انتظار متغیر وابسته است. X ماتریس $N*P$ مربوط به متغیرهای مستقل و Z بردار متغیرهای تصادفی نشان دهنده مولفه اختلال (خطا) است.

پارامترهای این مدل خطی عرض از مبدا ($\beta 0$) و شیب خط ($\beta 1$) است. گاهی مدل رگرسیونی را بدون عرض از مبدا در نظر می‌گیرند و $\beta 0=0$ محسوب می‌شود.

$$\mathbf{Y = \beta_1 X + Z} \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

شیب خط در حالت رگرسیون خطی ساده، نشان می‌دهد که میزان حساسیت متغیر وابسته به متغیر مستقل چقدر است. به این معنی که با افزایش یک واحد به مقدار متغیر مستقل، متغیر وابسته چه میزان تغییر خواهد کرد. عرض از مبدا نیز بیانگر مقداری از متغیر وابسته است که به ازاء مقدار متغیر مستقل برابر با صفر محاسبه می‌شود. به شکل دیگر می‌توان مقدار ثابت یا عرض از مبدا را مقدار متوسط متغیر وابسته به ازاء حذف متغیر مستقل در نظر گرفت.

رگرسیون غیرخطی، شکلی از تحلیل رگرسیونی است که در آن داده‌های مشاهده‌ای توسط تابعی مدل‌سازی می‌شوند که ترکیبی غیرخطی از پارامترهای مدل است و به یک یا چند متغیر مستقل بستگی دارد. داده‌ها با روشی از تقریب‌های متوالی برازش می‌شوند. یک الگوی رگرسیون غیر خطی را می توان به صورت رابطه زیر نوشت:

$$\boldsymbol{Y_n = f(x_n, \theta) + Z_n} \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

در این جا f تابع انتظار و $\boldsymbol{x_n}$ بردار شمامل متغیرهای رگرسیون یا مستقل برای حالت n ام است. این الگو، دارای شکل مشابهی با معادله ۱ است، با این تفاوت که، پاسخ مورد انتظار تابعی غیر خطی از پارامتر است(Douglas et al., 2002).

برخلاف رگرسیون خطی که از معادلات خطی استفاده می‌کند، در رگرسیون غیرخطی از معادلات غیرخطی مانند چندجمله‌ای، نمایی، لگاریتمی، توانی و غیره استفاده می‌شود. برخی از مزایای رگرسیون غیرخطی عبارتند از:

توانایی مدل‌سازی روابط پیچیده‌تر و واقعی‌تر بین متغیرها

بهبود دقت پیش‌بینی در مقایسه با مدل‌های خطی

قدرت توصیف بهتر پدیده‌های غیرخطی در دنیای واقعی

برخی از انواع رگرسیون غیرخطی شامل رگرسیون چندجمله‌ای، رگرسیون لجستیک، رگرسیون نمایی و رگرسیون وزنی موضعی است. انتخاب مدل مناسب به ماهیت داده‌ها و هدف تحلیل بستگی دارد.

مسئله بهینه‌سازی غیرخطی یکی از موضوعات پرکاربرد و مهم در علوم ریاضی، علوم کامپیوتر و مهندسی است. این مسئله به دنبال یافتن بهترین مقدار برای یک تابع هدف غیرخطی است که تحت قیدهایی از نوع برابری و نابرابری قرار دارد. در این مسئله، تابع هدف بهینه‌سازی می‌شود و متغیرهای تصمیم‌گیری که تحت محدودیت‌هایی قرار دارند، بهینه می‌شوند.

برای حل این مسئله، روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از روش‌های رایج، استفاده از روش‌های گرادیانی است. در این روش‌ها، با استفاده از مشتقات جزئی تابع هدف، به دنبال نقطه بهینه می‌گردیم. روش‌های گرادیان نزولی و گرادیان مختلط از جمله این روش‌ها هستند.

روش‌های تکاملی نیز در حل مسئله بهینه‌سازی غیرخطی موثر واقع می‌شوند. این روش‌ها الهام گرفته از مکانیزم تکاملی در طبیعت و بهینه‌سازی را به عنوان هدف قرار می‌دهند. الگوریتم‌های ژنتیک و تکامل تفاضلی از جمله روش‌های تکاملی هستند که در حل مسئله بهینه‌سازی غیرخطی با موفقیت استفاده می‌شوند.

روش‌های مبتنی بر تابع هدف، تابع هدف را به صورت غیرخطی مدل می‌کنند و با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر تابع هدف، به بهینه‌سازی می‌پردازند. الگوریتم فازی و الگوریتم شبیه‌سازی تبریدی از جمله این روش‌ها هستند.

روش‌های تکاملی سیستم‌های رفتاری ذرات نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها الهام گرفته از رفتار گروهی ذرات در محیط بوده و در حل مسئله بهینه‌سازی غیرخطی موثر هستند. الگوریتم تکاملی ذرات و الگوریتم مارکوفی تکاملی از جمله این روش‌ها می‌باشند.

همچنین، روش‌های ترکیبی که از ترکیب چند الگوریتم بهینه‌سازی بهره می‌برند نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

الگوریتم بهینه‌سازی غیرخطی یک مسئله پیچیده و چالش‌برانگیز است که در بسیاری از زمینه‌های علمی و صنعتی مورد به کار می‌رود. در این مسئله، هدف ما یافتن مقدار کمینه برای تابع هدف غیرخطی است که تحت محدودیت‌هایی قرار دارد. محدودیت‌ها می‌توانند مربوط به مقادیر مجاز متغیرها یا روابط حاکم بر تابع هدف باشند.

۳-۲- ایجاد جواب اولیه

در الگوریتم‌های ترکیبی، مرحله ایجاد جمعیت معمولاً در ابتدای اجرای الگوریتم قرار می‌گیرد. ایجاد جمعیت به معنای تولید و شروع با یک مجموعه اولیه از افراد یا راه‌حل‌ها می‌باشد. این مرحله اهمیت زیادی در الگوریتم‌های تکاملی یا الگوریتم‌های ژنتیکی دارد که از می‌شود. الگوریتم‌های ترکیبی ممکن است به صورت مکرر، مراحل ترکیب و جهش را انجام داده و در هر مرحله جدید با جمعیت به‌روز شده خود ادامه دهند. پس از ایجاد جمعیت اولیه، مراحل ترکیب، جهش و انتخاب را به صورت مکرر اجرا شده و به بهبود جمعیت و حل‌ها پراخته می‌شود.

برای تولید جمعیت اولیه، بیشتر از روش تولید تصادفی کروموزوم‌ها استفاده می‌شود. تنوع کروموزوم‌ها در روش تصادفی بالاست چراکه کروموزوم‌ها متعلق به نواحی مختلف فضای جواب هستند. درنتیجه، در تکرارهای اولیه الگوریتم، تکامل نسل‌ها سریع‌تر انجام می‌شود. با افزایش تکرار، تشابه و کروموزوم نیز افزایش می‌یابد تا اینکه درنهایت الگوریتم به یک یا چند حل شاخص همگرا شود. در برخی از تحقیقات، از تکنیک‌ها و روش‌های فراابتکاری دیگری همانند SA یا TS نیز برای به دست آوردن یک جمعیت اولیه باکیفیت بالا استفاده شده است؛ هر چند اشکال عمده روش فوق افزایش احتمال همگرایی زودرس یا کاهش تنوع در جمعیت است، که در جدول ۱ نشان دهنده شبکه کد نحوه ایجاد جمعیت اولیه است (Tavakoli-Moghadam, 2013).

جدول ۱- شبه کد الگوریتم عمومی ایجاد جمعیت (Tavakoli-Moghadam, 2013)

Table 1- Pseudocode of the general algorithm for creating a population (Tavakoli-Moghadam, 2013)

```
Consider Xi(t) as the initial member
Set the counter i to zero: i = 0 .
For each member of the population Xi(t), perform the following steps to create nx initial members where i = 1,
…, nx :
-Randomly assign values to each gene of member i, j = 1, …, nx .
-If Xi(t) is within the feasible solution space, then :
- Set i to i = i + 1 .
-End if .
   End (iteration loop)
```

این الگوریتم به صورت تصادفی اعضا را ایجاد می‌کند و تا زمانی که تعداد مورد نظر از اعضا به جمعیت اضافه نشده باشد، ادامه پیدا می‌کند. در نهایت، جمعیت ایجاد شده به عنوان خروجی تابع ارائه می‌شود.

۳-۳- الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی محاسباتی می باشد که از اصول تکامل طبیعی الهام گرفته‌شده است. در این الگوریتم، ابتدا یک جمعیت اولیه از افراد تصادفی ایجاد شده که هرکدام نمایانگر یک فرد در فضای جستجوی مسئله بهینه‌سازی می باشند. سپس، با ارزیابی ارزش هر فرد بر اساس یک تابع فیتنس، افراد با ارزش بالا برای شرکت در مراحل بعدی انتخاب می‌شوند.

در مرحله ترکیب، دو والد انتخاب‌شده ترکیب و فرزندان جدیدی ایجاد می‌شوند. این فرآیند ترکیب، باعث ایجاد تنوع در جمعیت می‌گردد. همچنین، با اعمال جهش به احتمال کم برخی از ویژگی‌های فرزندان تغییر می‌کنند. این جهش به عنوان یک فرصت برای اکتشاف نواحی جدید در فضای جستجو عمل می‌کند. این مراحل به صورت تکراری انجام می‌شوند تا زمانی که شرایط پایانی مانند تعداد نسل‌ها یا به دست آمدن حل بهینه برآورده شود.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

الگوریتم ژنتیک به دلیل قابلیت همزمانی و امکان اکتشاف فضای جستجو، به خوبی در حل مسائل بهینه‌سازی و جستجوی متنوع کاربرد دارد(Tavakoli-Moghadam, 2013).

در ادامه شبه کد الگوریتم ژنتیک در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- شبه کد الگوریتم عمومی ژنتیک (Garg, 2016)

Table 2- Pseudocode genetic algorithm (Garg, 2016)

```
1: Objective function: f (x)
2: Define Fitness F (e.g., F ∝ f (x) for maximization)
3: Initialize population
4: Initial probabilities of Crossover (pc) and mutation (pm)
5: do
6:      Generate new solution by Crossover and mutation
7:      if pc >rand, Crossover; end if
8:      if pm >rand, Mutate; end if
9:      Accept the new solution if its fitness increases.
10:     Select the current best for the next generation.
11: While maximum iterations or minimum error criteria is not attained
```

۳-۳-۱- تنظیمات الگوریتم (GA)

تنظیمات الگوریتم ژنتیک (GA) از اهمیت بسیار زیادی برخوردارند و تأثیر مستقیمی بر کارایی و کارایی آن در حل مسائل دارند. اولین پارامتری که باید مد نظر قرار گیرد، اندازه جمعیت است. این اندازه باید با دقت انتخاب شود، زیرا از طرف یک سو اندازه بزرگ جمعیت به حفظ تنوع کمک می‌کند، اما از سوی دیگر، ممکن است هزینه‌های محاسباتی را افزایش دهد. تعداد نسل‌ها نیز نقش مهمی در تعیین عملکرد GA ایفا می‌کند. تعیین تعداد نسل‌ها به گونه‌ای باید انجام شود که به الگوریتم اجازه دهد به ترتیب بهبود جواب‌ها برسد. از این جهت، افزایش تعداد نسل‌ها می‌تواند به بهبود کارایی کمک کند، اما همچنین به افزایش زمان اجرا انجامیده است.

عملگرهای ترکیب و جهش باید به گونه‌ای انتخاب شوند که تغییرات در جمعیت متناسب با مسئله بهینه‌سازی باشد. عملگرهای ترکیب و جهش باید مطابق با خصوصیات مسئله انتخاب گردند. همچنین، نرخ ترکیب و جهش باید به دقت تنظیم شوند؛ نرخ ترکیب معمولاً بین ۰,۶ تا ۰,۹ و نرخ جهش با مقادیر کمتر (مثلاً ۰,۰۱ تا ۰,۱) تعیین می‌شود. در نهایت، تعیین شرایط خاتمه نیز از اهمیت بسیاری برخوردار است. این شرایط می‌توانند شامل تعداد نسل‌ها، دستیابی به فیتنس موردنظر یا دیگر معیارهای خاتمه باشند. تنظیم این پارامترها اغلب با استفاده از آزمون و خطا و تجربه انجام می‌شود. ابتدا می‌توان با مقادیر پیش‌فرض شروع کرده و سپس با توجه به نتایج عملکرد الگوریتم، تغییرات لازم را اعمال کرد.

۳-۴- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات یک الگوریتم مستعمل در حوزه بهینه‌سازی است که از از رفتار گروهی برخی از انواع پرندگان و مرغ‌ها الهام گرفته شده است.

رفتار PSO مبتنی بر مفهومی به نام "ذرات" است که هر ذره به عنوان یک موقعیت در فضای جستجو تعریف می‌شود. هر ذره یک مکان در فضای مسئله را نمایندگی می‌کند و یک سرعت به همراه دارد. ذرات به صورت هماهنگ در فضا حرکت کرده و تغییرات مکان خود را با توجه به بهترین موقعیتی که تاکنون یافته‌اند و بهترین موقعیتی که تاکنون در گروه دیده‌اند، اعمال می‌کنند.

فرآیند بهینه‌سازی PSO اغلب در قالب یک الگوریتم تکاملی اجرا می‌شود. در هر مرحله، ذرات جاری بهترین مکانی که تاکنون یافته‌اند را به خاطر می‌سپارند و سعی می‌کنند با حرکت در فضای جستجو به مکانی بهینه‌تر برسند. این تغییرات مکان با توجه به سرعت و جهت جاری ذرات انجام می‌شود.

الگوریتم PSO بسیار مؤثر برای مسائل بهینه‌سازی پیچیده و فضاهای جستجو با ابعاد بالا است. از این الگوریتم به عنوان یک ابزار قوی در مهندسی، علوم کامپیوتر، و مسائل بهینه‌سازی گسترده‌ای استفاده شده است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

مطابق با الگوریتم PSO مسیر ذرات جاری در فضای جستجو تحت تاثیر تغییر ناگهانی مسیر ذرات مبتنی تجربه و دانش خودشان و همسایگانشان تعیین و تغییر می‌کند. بدیهی است که این تغییر مسیر ذرات به‌گونه‌ای است که در نهایت یک توده‌ی ذرات یک رفتار اجتماعی که به سمت نقطه موفق و بهینه میل می‌کند را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر ذرات از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای تجربه و دانش فردی و همچین جمعی به سمت نقطه بهینه می‌روند. بدین ترتیب، در هرلحظه، هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرارگرفته و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند.

همانطور که در جدول ۳ شبه کد الگوریتم مشاهده می‌کنید، در ابتدا ذرات حرکت خود را به صورت تصادفی شروع می‌کنند و در هر گام هر ذره مسیر حرکت خود را بر اساس مسیر فعلی خود و ذرات همسایه به روز رسانی و مسیر حرکت خود را به سمت موقعیت بهتر تغییر می‌دهد. در حالت کلی موقعیت جدید ذره بر اساس تجربه شخصی و جمعی ذرات با به ترتیب با p_k^i و p_k^g نشان داده می‌شود. در این صورت می‌توان نوشت(Essa and Elhussein 2018):

$$V_{k+1}^i = wV_k^i + c_1 r_1 (p_k^i - x_k^i) + c_2 r_2 (p_k^g - x_k^i) \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$$x_{k+1}^i = x_k^i + V_{k+1}^i \quad \text{(رابطه ۶)}$$

در معادلات فوق متغیرهای r_1, r_2 دو عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه ۰ تا ۱ است، متغیر c_1 و c_2 نیز ضرائب ثابت آموزش برای تعیین بهترین مسیر بر اساس تجربه‌ی شخصی و جمعی، w نیز ضریب وزنی اینرسی حرکت در مسیر خودی، V_k^i بردار سرعت ذره kام در تکرار (i)آم و x_k^i بردار موقعیت ذره kام در تکرار (i)آم است(Essa and Elhussein 2018).

جدول ۳- شبه کد الگوریتم ازدحام ذرات (Tavakoli-Moghadam, 2013)

Table 3- Pseudocode particle swarm algorithm (Tavakoli-Moghadam, 2013)

1: Objective function: f (x), x = (x1, x2, . . . , xD);
2: Initialize particle position and velocity for each particle and set k = 1.
3: Initialize the particle's best known position to its initial position i.e. $\boldsymbol{p_k^i}$=$\boldsymbol{x_k^i}$.
4: do
5: Update the best known position ($\boldsymbol{p_k^i}$) of each particle and swarm's best known position ($\boldsymbol{p_k^g}$).
6: Calculate particle velocity according to the velocity equation (3)
7: Update particle position according to the position equation (4).
8: While maximum iterations or minimum error criteria is not attained

۳-۴-۱- محدودسازی فضا

بعضی از مسائل دامنه تعریفی خاصی برای پارامترهای خود دارند و تنها در این دامنه دارای مقداری محدود، منطقی و تعریف شده هستند. به‌عبارت‌دیگر اگر در مسئله مورد بررسی قید و یا قیودی وجود داشته باشد، باید توسط مکانیزمی این قیود لحاظ گردند تا از ورود ذرات به فضای غیرمجاز جلوگیری شود. این مکانیزم را اصطلاحاً محدودسازی فضا می‌نامند. اگر از این مکانیزم‌ها استفاده نشود، پاسخ پیدا شده توسط الگوریتم اشتباه و یا غیرقابل اطمینان است. مثلاً تابع ۷ برای مقادیر منفی x در اکثر زبان‌های برنامه‌نویسی، خطا محسوب می‌شود(Tavakoli-Moghadam, 2013).

$$f(x) = \sum_{d=1}^{D} \sqrt{x} \quad \text{(رابطه ۷)}$$

مکانیزمی که برای لحاظ کردن این قید استفاده می‌شود، به‌صورت معادله ۹ است:

$$x = \max(0, x) \quad \text{(رابطه ۸)}$$

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

در تابع فوق مقادیر مجاز x؛ یعنی $x \geq 0$ بدون هیچ‌گونه تغییری نگاشت می‌شوند اما مقادیر غیرمجاز x؛ یعنی $x < 0$ به مقدار مجاز x=0 نگاشت می‌شوند.

۳-۴-۲- تنظیمات الگوریتم ازدحام ذرات:

در الگوریتم PSO سه پارامتر ضریب اینرسی w، عامل میراکننده سرعت و ضرایب یادگیری C_1 و C_2 را باید تنظیم کرد. ضریب اینرسی w همگرائی الگوریتم را کنترل می‌کند. در واقع این ضریب تاثیر اطلاعات گذشته ذرات را بر روی زمان حال کنترل و یا از آن برای موازنه جستجوی سراسری و جستجوی محلی استفاده کرد. این ضریب توسط کاربر به عنوان مقدار اولیه به الگوریتم داده می‌شود.

برای تعیین ضریب اینرسی روش‌های مختلفی مانند روش تطبیقی یا کنترل فازی وجود دارد اما، معمولا در انتخاب آن از یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [0.5, 1] استفاده می‌شود(Sweilam, Gobarsh and Hashem, 2008).

پارامتر دیگری که باید به عنوان مقدار اولیه برای این الگوریتم توسط کاربر تعیین شود، عامل میرا کننده سرعت دربازه-[Vmax , Vmax] است. اگر الگوریتم PSO بدون در نظر گرفتن این ضریب بکار گرفته شود سرعت ذرات پس از چند تکرار به سرعت افزایش یافته و به مقادیر غیر قابل قبولی منجر می‌شود.

کندی در سال 1998 ضمن تحقیقات خود دریافت که برای ذرات تک‌بعدی مجموع ضرایب یادگیری C_1 و C_2 که به صورت غیر تصادفی انتخاب می‌شود باید بین صفر و چهار باشد. اما، راهبرد اصلی برای تعیین ضریب یادگیری C_1 و C_2 چنان باید باشد که اولا از ناپایداری سیستم حرکت ذرات جلوگیری شود و همچنین هم‌گرائی ذرات را تضمین کند(Grandis and Maulana, 2017).

ساده‌ترین راه برای تعیین مقادیر ضرایب یادگیری طبق معادله ۹ عبارتست از:

$$\emptyset_1, \emptyset_2 > 0$$
$$\Delta\emptyset = \emptyset_1 + \emptyset_2 > 4 \qquad \text{(رابطه ۹)}$$
$$x = \frac{2}{\emptyset - 2 + \sqrt{\emptyset^2 - 4\emptyset}}$$

که در آن ϕ_1 و ϕ_2 اعدادی مثبت هستند و بالاخره ضرایب به صورت معادله ۱۰ تعریف می‌شوند:

$$w = \chi$$
$$C_1 = \chi\phi_1 \qquad \text{(رابطه ۱۰)}$$
$$C_2 = \chi\phi_2$$

که با قرار دادن مقادیر پیشنهادی $\phi_1 = \phi_2 = 2.05$ مقادیر ضرایب وزنی و یادگیری برابر خواهند شد با $w = 0.7298$، $C_1 = C_2 = 1.4962$ اگر این مقادیر برای الگوریتم در نظر گرفته شود در این صورت نیاز به محدود کننده‌ی سرعت برای کنترل نیست(Sweilam et al., 2008).

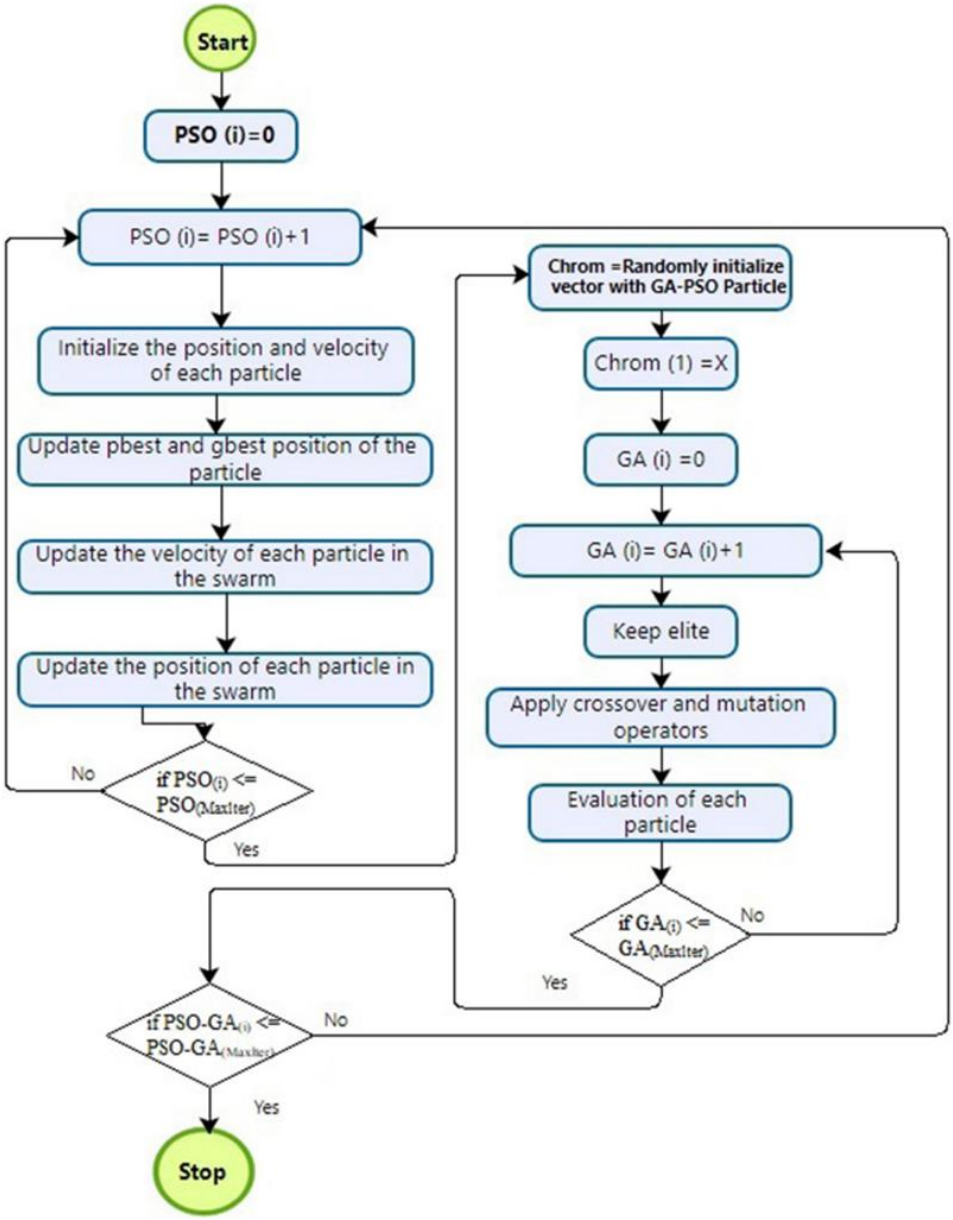
۳-۵- روش الگوریتم ترکیبی PSO-GA

الگوریتم‌های ترکیبی یا چندگانه، از ترکیب دو یا چند الگوریتم مختلف به منظور بهبود عملکرد و دقت در حل یک مسئله استفاده می‌کنند. این الگوریتم‌ها با جلب ویژگی‌های مثبت هر الگوریتم، بهبود قابل توجهی در حل مسائل به‌دست می‌آورند. در این مقاله، ترکیب الگوریتم‌های گروه ذرات (PSO) و ژنتیک (GA) مورد بررسی قرار گرفته است. الگوریتم‌های بهینه‌سازی، از جمله PSO وGA ، به عنوان ابزارهای قدرتمند در مسائل بهینه‌سازی و جستجوی جهانی شناخته می‌شوند. این الگوریتم‌ها مزایا و معایبی دارند که با ترکیب آن‌ها در یک الگوریتم ترکیبی، سعی در بهبود نقاط ضعف و بهره‌گیری از قابلیت‌های برتر هرکدام از آن‌ها صورت گرفته است. در الگوریتمPSO ، ذرات در یک فضای چندبعدی حرکت می‌کنند و اطلاعات خود را با یکدیگر به اشتراک می‌گذارند. این الگوریتم به واسطه توانایی هم‌کاری و همگرایی به نقاط بهینه در فضای جستجوی مسئله هدایت می‌شود. از طرف دیگر، الگوریتم ژنتیک با الهام از فرایندهای تکاملی در طبیعت، با استفاده از عملیات جمعیت، انتخاب، جهش و تلاقی، به جستجوی بهینه‌ترین حالت در فضای جستجوی مسئله می‌پردازد. در ترکیب PSO وGA ، این دو الگوریتم به‌طور همزمان کار می‌کنند. از یک سو، هماهنگی گروه ذرات در PSO باعث اکتشاف فضای جستجو می‌شود و از سوی دیگر، عملکرد انتخابی و تلاقی ژنتیک درGA ، به بهبود بهینه‌سازی کمک می‌کند. این ترکیب هوش گروهی و الگوریتم‌های تکاملی را با هم تلفیق می‌کند. به عنوان مثال، از این ترکیب در حل مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود که با دارا بودن مسائل متعدد و مشکلات جمعی پیچیده مواجه هستند. ترکیب این دو الگوریتم، باعث می‌شود تا الگوریتم نهایی هماهنگی مناسبی در بین افراد گروه داشته باشد و همچنین از خصوصیات تکاملی ژنتیک برای بهبود جواب‌ها استفاده شود. از ویژگی‌های مثبت ترکیب الگوریتم

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

گروه ذرات و ژنتیک می‌توان به سرعت همگرایی مناسب، قابلیت جستجو در فضای چندبعدی، و انعطاف‌پذیری در حل مسائل با تنوع و پیچیدگی بالا اشاره کرد. با این حال، به تنظیمات دقیق و بهینه‌سازی پارامترها برای حصول از عملکرد بهتر الگوریتم ترکیبی نیاز است. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب الگوریتم گروه ذرات و ژنتیک، با توجه به تعامل بین افراد گروه و استفاده از عملکرد تکاملی ژنتیک، بهترین نتایج در حل مسائل بهینه‌سازی و جستجوی جهانی را ارائه می‌دهد. این ترکیب می‌تواند برای مسائل پیچیده و دارای تنوع بالا، راه‌حل‌های کارآمدی فراهم کند و علم تحقیقات بهینه‌سازی را به سمت راهکارهای پیشرفته و هوشمندانه حرکت دهد (Garg, 2016).



شکل ۱- دیاگرام گردشی (فلوچارت) الگوریتم ترکیبی PSO-GA
Fig 1. Hybrid PSO-GA algorithm

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

الگوریتم ترکیبی PSO-GA یک رویکرد نوین در حل مسائل بهینه‌سازی با استفاده از هوش مصنوعی است. هدف اصلی این ترکیب، بهبود کارایی و پوشش بیشتر فضای جستجو در فازهای مختلف بهینه‌سازی است. درالگوریتم PSO-GA با شروع از مقداردهی اولیه جمعیت، از هر دو الگوریتم PSO و GA به‌صورت همزمان استفاده می‌کند. در فاز اجرای PSO، ذرات به‌روزرسانی و بهینه‌ترین حل‌ها انتخاب می‌شوند. در مراحل ژنتیک، عملیات‌های مختلفی از جمله جهش، ترکیب و انتقال برروی جمعیت انجام میگردند. ترکیب نتایج حاصل از این دو فاز به‌عنوان جواب نهایی مسئله در نظر گرفته می‌شود.

ترکیب قابلیت‌های PSO و GA در الگوریتم PSO-GA به افزایش تنوع جمعیت و جلوگیری از گرفتار شدن در مینیمم‌های محلی کمک می‌کند. همچنین، این الگوریتم از اطلاعات به‌دست آمده از فاز PSO و ژنتیک به‌صورت همزمان بهره‌مند می‌شود. تنظیم دقیق پارامترها برای الگوریتم PSO-GA حیاتی است. تعیین تعداد ذرات، افراد و تعیین مقادیر بهینه برای ضرایب وزنی در فاز PSO از جمله پارامترهای مهم می‌باشد که نیازمند تجربه و آزمایش می‌باشد.

دیاگرام روش ترکیبی PSO – GA در شکل ۱ نمایش داده شده است.

۳-۵-۱- تنظیمات الگوریتم ترکیبی PSO-GA

برای پیاده‌سازی یک الگوریتم ترکیبی ازدحام ذرات (PSO) و ژنتیک (GA) برای بهینه‌سازی، ابتدا باید تنظیمات مختلفی را تعیین کرد. این تنظیمات شامل انتخاب تعداد ویژگی‌ها و محدوده آن‌ها (جدول ۴)، تعیین تابع هدف (فرمول ۱۳ الی ۱۵)، و تعیین پارامترهای الگوریتم‌های PSO و GA) است.

ابتدا باید تعداد ویژگی‌ها و محدوده آن‌ها را مشخص نمود. برای هر ویژگی، باید محدوده مقادیر ممکن آن را تعیین کرد که الگوریتم‌ها بتوانند در این محدوده به دنبال بهینه‌سازی بپردازند.

سپس، تابع هدف برای بهینه‌سازی را مشخص نمود که بر اساس مسئله‌ی مورد نظر و توزیع اهمیت ویژگی‌ها می‌تواند متفاوت باشد. این تابع باید بتواند بهترین مقدار برای ویژگی‌ها را تعیین کند.

در مرحله بعدی، باید تنظیمات مربوط به الگوریتم PSO را تعیین کنید. این شامل تعداد ذرات، محدوده سرعت حرکت ذرات، ضرایب شتاب گروهی و تعداد تکرارهای الگوریتم است. همچنین، باید پارامترهای مربوط به انتخاب بهترین حلقه‌ها و جستجوی همگرا را تعیین کرد.

در نهایت، باید تنظیمات مربوط به الگوریتم GA را تعیین کنید. این شامل تعداد افراد در جمعیت، نوع انتخاب افراد برای تولید نسل بعدی، نرخ جهش و نرخ تلاقی است. همچنین، باید پارامترهای مربوط به انتخاب بهترین افراد و همگرایی الگوریتم را تعیین نمود. با تنظیم این پارامترها و شروع بهینه‌سازی، الگوریتم ترکیبی PSO-GA می‌تواند به بهترین حل ممکن برای مسئله‌ی مورد نظر برسد. اما باید توجه داشت که تنظیمات مختلف ممکن است بر اساس خصوصیات مسئله متفاوت باشند و نیاز به تجربه و تحلیل دقیق داشته باشند.

۳-۶- اثر میدان دو بعدی مغناطیسی

پس از بررسی های دقیق فرمول کلی جدید برای مشخصات ناهنجاری مغناطیسی دو بعدی (T) برای اجسام هندسی ساده طبق معادله ۱۱ ارائه شده است(Abdelrahman and Essa, 2015). این بررسی براساس پژوهش های صورت گرفته برای کره ها مغناطیسی (Rao, Rao and Murthy, 1977, Rao and Subrahmanyam, 1988)، استوانه های افقی (Rao, Subrahmanyam and Murthy, 1986) و ورق های نازک (Gay Jr, 1963) می باشدکه به شرح زیر توصیف شده است:

$$T(x_i, z) = K\frac{Az^2 + B(x_i) + C(x_i)^2}{[(x_i)^2 + z^2]^{Sf}} \qquad \text{(رابطه ۱۱)}$$

جایی که K ضریب دامنه، z عمق بدن مدفون است و در ادامه A، B و C به شرح زیر تعریف می شوند(Abdelrahman and Essa, 2015).

همچنین θ زاویه مغناطیسی موثر است که به وضوح توسط راو و همکاران توضیح داده شده است (Rao, Murthy and Rao 1973). سایر مطالعات در مورد ورقه های نازک و استوانه های افقی توضیح داده است، ضمنا به ترتیب FHD اولین مشتق افقی ، SHD دومین مشتق افقی ناهنجاری مغناطیسی، N تعداد نقاط داده و Sf عامل شکل است (برای کره Sf = ۲,۵ ، برای استوانه افقی Sf = ۲ و برای ورق نازک Sf = ۱ (Abdelrahman and Essa, 2005).

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

A, B and C parameters

$$A\begin{cases}3\sin^2\theta-1\\2\sin\theta\\-\cos\theta\\\cos\theta\\\dfrac{\cos\theta}{z}\end{cases}\quad B\begin{cases}-3z\sin\theta\\-3z\cos\theta\\-3z\sin\theta\\2z\sin\theta\\-\sin\theta\end{cases}\quad C\begin{cases}3\cos^2\theta-1\\-\sin\theta\\2\cos\theta\\-\cos\theta\\0\end{cases}$$

1- for a sphere (total field)
2- for a sphere (vertical field)
3- for a sphere (horizontal field)
4- for a horizontal cylinder, FHD of thin sheet, and SHD of geological contact ðall fields)
5- for a thin sheet and FHD of geological contact (all fields):

(رابطه ۱۲)

Model	Note**: Equation 11 is a simplified form of a quadratic equation, which will be explained further	parameters A, B, and C are defined for each model
Sphere (رابطه ۱۳)	$T(x_i,z)=K\dfrac{(\sin^2\theta-1)z^2+(-3z\sin\theta)(x_i)+(3\cos^2\theta-1)(x_i)^2}{[(x_i)^2+z^2]^{Sf}}$	$A=\sin^2\theta-1$ $B=-3\sin\theta$ $C=3\cos^2\theta-1$
Cylinder (رابطه ۱۴)	$T(x_i,z)=K\dfrac{(\cos\theta)z^2+(2z\sin\theta)(x_i)+(-\cos\theta)(x_i)^2}{[(x_i)^2+z^2]^{Sf}}$	$A=\cos\theta$ $B=2z\sin\theta$ $C=-\cos\theta$
Dike (رابطه ۱۵)	$T(x_i,z)=K\dfrac{(\frac{\cos\theta}{z})z^2+(-\sin\theta)(x_i)+(0)(x_i)^2}{[(x_i)^2+z^2]^{Sf}}$	$A=\dfrac{\cos\theta}{z}$ $B=-\sin\theta$ $C=0$

در توضیح توابع هدف، باید این موضوع را اضافه کرد که هر یک از معادلات ذکر شده، معادلات درجه دو (توان دومی) هستند این معادلات درجه دو به دلیل داشتن جمله درجه دوم، در دسته معادلات غیرخطی قرار می‌گیرند. این معادلات به شکل کلی معادله ۱۶ نمایش داده می‌شوند. این نوع معادلات دارای ویژگی‌ها و روش‌های حل خاص خود هستند که متفاوت از معادلات خطی است. به طور مثال، برای حل معادلات درجه دوم می‌توان از روش‌هایی مانند فرمول بکاری یا تکمیل مربع استفاده کرد.

$$Ax^2+Bxy+Cy^2+Dx+Ey+F=0 \quad \text{(رابطه ۱۶)}$$

برای توضیح معادلات درجه دوم مدل کره (معادله ۱۳) می‌توان نوشت (برای سایر مدل ارائه شده این مثال صادق است):

$$A=(\sin^2\theta-1)$$
$$B=-3\sin\theta \quad \text{(رابطه ۱۷)}$$
$$C=3\cos^2\theta-1$$
D=0
E=0
$$F=\frac{K}{[(x_i)^2+z^2]^{Sf}}$$

روابط حاکم بر معادله ۱۳ شامل:

-جمله $(\sin^2\theta-1)z^2$ مربوط به مؤلفه قائم میدان است.

-جمله $(-3z\sin\theta)(x_i)$ مربوط به مؤلفه افقی/شعاعی میدان می‌باشد.

-جمله $(3\cos^2\theta-1)(x_i)^2$ مربوط به جملات درجه‌دوم در مؤلفه افقی/شعاعی میدان می‌باشد.

-مخرج معادله $[(x_i)^2+z^2]^{Sf}$ نشان‌دهنده نحوه انتقال توان الکترومغناطیسی در محیط است.

به طور خلاصه، این معادله غیرخطی دارای ۳ متغیر مستقل عمق (z)، پیمایش محور افقی (xi) و زاویه شاخص (ɵ) و یک

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

متغیر وابسته (Txi,z) همراه با ۲ پارامتر ضریب شکل (Sf)، ضریب دامنه (K) است. مقادیر متغیرها باید مثبت و زاویه (ɵ) نیز باید در محدوده ۰ تا ۱۸۰ درجه باشد.

۷- تخمین پارامترهای مدل مغناطیسی

در حل مسائل وارون‌سازی در ژئوفیزیک، به منظور تخمین پارامترهای مدل ساختارهای زمین‌شناسی، یک فرآیند بهینه‌سازی انجام می‌شود. این پارامترها خواص فیزیکی و ژئومغناطیسی مختلفی از زمین که در زیر سطح زمین مخفی هستند را تخمین می‌زنند. این فرآیند معمولاً اندازه‌گیری‌های میدان‌های فیزیکی مختلف را با دقت و صحت مطلوبی تطابق می‌دهد (Zhdanov, 2002, Lines and Treitel, 1984).

حل مسئله وارون در ژئوفیزیک، نیازمند فرض یک مدل اولیه است. این مدل اولیه معمولاً با استفاده از داده‌ها و اطلاعاتی که از پیش در دسترس است، تهیه می‌شود. ممکن است از اطلاعات جمع‌آوری‌شده از تحقیقات گذشته، نتایج حاصل از حفاری‌ها، یا سایر تکنیک‌های مطالعاتی استفاده شود (Mehanee and Essa, 2015). سپس این مدل اولیه به طور مکرر در یک الگوریتم بهینه‌سازی قرار می‌گیرد تا بهترین تطابق بین داده‌های برآورد شده و داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل شود.

در هر مرحله از این فرآیند، پارامترهای مدل تغییر می‌کنند تا به بهترین نتیجه برای تطابق داده‌های اندازه‌گیری شده و برآورد شده برسیم. به عنوان مثال، در معادله مغناطیسی دوبعدی، پارامترهای ناشناخته شامل عمق (z)، ضریب شکل (Sf)، زاویه شاخص (ɵ) و ضریب دامنه (K) هستند که با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، بهینه‌سازی می‌شوند. این فرآیند نه تنها در تخمین دقیق پارامترهای زیرسطحی زمین موثر است، بلکه در تفسیر بهتر داده‌های اندازه‌گیری شده نیز کمک می‌کند، که این موضوع اهمیت بالایی در تحلیل‌های ژئوفیزیکی دارد.

۷-۱- وارون سازی نظری داده‌های مصنوعی

به منظور تولید داده‌های مصنوعی، روش مستقیم مساله به کار رفته که با توجه به بردار پارامترهای مدل $m=(K, Z, \theta)$ برای سه حالت مختلف، یعنی کره، استوانه افقی و ورق نازک، عددی به صورت پیش فرض در نظرگرفته شده است. مقادیر ضریب شکل (Sf) نیز برای هر یک از این حالات به ترتیب ۲،۲،۵ و ۱ انتخاب شده‌اند. همچنین، جهت تولید داده‌ها، راستای خط پیمایش محور x در بازه‌ی (۸۵:۸۵-) با ۱۷۰ نقطه داده‌برداری در نظر گرفته شده است.

در این روش، برای هر یک از پارامترهای مدل، یک حدس اولیه‌ای از بازه‌ای $[V_{min}, V_{max}]$ در نظر گرفته می‌شود. مقادیر این بازه‌های اولیه به صورت مصنوعی در جدول ۴ آورده شده است. این روش نه تنها به ما کمک می‌کند تا داده‌های مصنوعی با دقت و صحت بالا تولید کنید، بلکه امکان ارائه تخمین‌های دقیق‌تر از ویژگی‌های زمین را نیز فراهم می‌کند. این امر از اهمیت بالایی در تحلیل‌های ژئوفیزیکی برخوردار است، زیرا با اطمینان از دقت و قابلیت اعتماد داده‌ها، می‌توانید تحلیل‌های دقیق‌تر و کارآمدتری از ساختارهای زمینی ارائه دهید.

جدول ۴- بازه[-Vmax , Vmax]

Table 4- Initial guess of the intervals as [-Vmax, Vmax]

K (nT)	Z (M)	ɵ (degrees)	Sf	Model
10000	8	30	2.5	Sphere
5000	14	-42	2	H.Cylinder
2000	10	25	1	Dyke
[−80: 80]	**[0: 15]**	**[−80: 80]**	**[1: 3]**	[-Vmax , Vmax]

همچنین، شرط توقف الگوریتم، محدود شدن تکرار الگوریتم به ۹۰ تکرار و اندازه‌ی جمعیتی برابر ۲۷۰ در نظر گرفته شده است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۷-۲- نتایج عددی

نتایج عددی حاصل از تحلیل داده‌های مصنوعی برای تخمین پارامترهای مدل‌های مغناطیسی، با استفاده از سه روش الگوریتم ترکیبی PSO-GA، الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک، در جداول ۵ تا ۷ مشاهده می‌شود. این جداول شامل نتایج برای داده‌های مصنوعی مغناطیسی بدون نوفه و همچنین با مقادیر نوفه‌ای ۰، ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ ، ۲۰٪ و ۲۵٪ می‌باشند. همچنین، میزان خطا در هر یک از این حالات نیز گزارش شده است.

جدول ۵- تخمین و درصد خطای محاسبه شده برای مدل دایک

Table 5- presents the estimation results and calculated error percentages for the dike model.

GA algorithm

Using a Dike model (Sf = 1.0)

Noise level	K (nT)	% of Error in K	Z (M)	% of Error in Z	ɵ (degrees)	% of Error in ɵ	Sf	% of Error in Sf	Cost function (MES) (nT)
	2000.00		10.00		25.00		1.00		
Any	9100.00	355.00	12.85	28.53	30.86	23.44	1.24	24.48	3.82
0.00	13000.00	550.00	13.48	34.83	32.27	29.09	1.30	29.98	4.79
5.00	10700.00	435.00	13.19	31.93	31.79	27.16	1.27	26.76	5.06
10.00	10800.00	440.00	12.96	29.58	31.98	27.92	1.27	27.40	6.63
15.00	12500.00	525.00	12.76	27.61	33.59	34.35	1.30	30.18	11.40
20.00	10000.00	400.00	13.32	33.21	28.93	15.71	1.26	25.69	17.02
25.00	7886.70	294.34	13.50	34.99	32.44	29.78	1.20	20.48	18.38
Standard Deviation	8729.61		3.16		6.83		0.27		

PSO algorithm

Noise level	K (nT)	% of Error in K	Z (M)	% of Error in Z	ɵ (degrees)	% of Error in ɵ	Sf	% of Error in Sf	Cost function (MES) (nT)
	2000.00		10.00		25.00		1.00		
Any	3020.00	51.00	10.85	8.51	27.68	10.72	1.07	6.87	1.37
0.00	3900.00	95.00	11.46	14.58	28.49	13.95	1.11	10.77	2.65
5.00	4140.00	107.00	11.36	13.56	28.35	13.38	1.12	12.02	3.55
10.00	3670.00	83.50	11.22	12.22	28.61	14.45	1.10	10.02	6.02
15.00	5390.00	169.50	12.17	21.66	31.15	24.59	1.16	16.25	9.58
20.00	2770.00	38.50	10.54	5.43	24.30	2.78	1.06	6.36	17.81
25.00	9915.30	395.77	13.32	33.16	32.29	29.16	1.26	25.83	18.93
Standard Deviation	3520.47		1.78		4.39		0.14		

hybrid PSO-GA algorithm

Noise level	K (nT)	% of Error in K	Z (M)	% of Error in Z	ɵ (degrees)	% of error in ɵ	Sf	% of Error in Sf	Cost function (MES) (nT)
	2000.00		10.00		25.00		1.00		
Any	2000.00	0.00	10.00	0.00	25.00	0.00	1.00	0.00	0.00

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ادامه جدول ۵
Table 5, cintinued

0.00	1998.50	0.08	10.00	0.02	25.09	0.34	1.00	0.00	0.96
5.00	1990.80	0.46	9.96	0.40	24.87	0.53	1.00	0.00	1.65
10.00	1977.77	1.11	9.87	1.28	25.32	1.29	1.00	0.00	3.06
15.00	2013.40	0.67	10.02	0.21	24.60	1.60	1.00	0.00	5.78
20.00	2055.00	2.75	10.37	3.69	25.76	3.02	1.00	0.00	9.59
25.00	1956.20	2.19	9.58	4.19	24.75	1.01	1.00	0.01	17.47
Standard Deviation	28.55		0.22		0.36		0.00		

جدول ۶- تخمین و درصد خطای محاسبه شده برای مدل استوانه افقی
Table 6- presents the estimation results and calculated error percentages for the H. Cylinder model.

PSO algorithm

Using a horizontal cylinder model (Sf = 2.0)

Noise level	K (nT)	% of Error in K	Z (M)	% of Error in Z	ɵ (degrees)	% of error in ɵ	Sf	% of Error in Sf	Cost function (MES) (nT)
	5000.00		14.00		-42.00		2.00		
Any	5000.00	0.00	14.00	0.00	-42.00	0.00	2.00	0.00	0.00
0.00	4882.70	2.35	14.05	0.33	-41.61	0.93	1.99	0.37	0.98
5.00	6313.60	26.27	14.10	0.74	-41.93	0.16	2.04	1.98	1.75
10.00	1063.80	78.72	13.98	0.14	-42.08	0.20	2.13	6.65	3.07
15.00	3855.80	22.88	13.27	5.20	-41.44	1.34	1.96	2.09	6.29
20.00	7228.40	44.57	15.54	11.03	-43.59	3.78	2.05	2.48	9.81
25.00	19000.00	280.00	16.37	16.91	-44.53	6.03	2.16	7.93	18.48
Standard Deviation	5599.85		1.10		1.16		0.08		

GA algorithm

Noise level	K (nT)	% of Error in K	Z (M)	% of Error in Z	ɵ (degrees)	% of error in ɵ	Sf	% of Error in Sf	Cost function (MES) (nT)
	5000.00		14.00		-42.00		2.00		
Any	7900.00	58.00	14.36	2.60	-42.79	1.89	2.07	3.69	0.18
0.00	9450.00	89.00	14.33	2.39	-41.61	0.94	2.11	5.25	1.05
5.00	12500.00	150.00	15.28	9.17	-44.66	6.34	2.14	7.10	3.19
10.00	15100.00	202.00	13.62	2.68	-44.69	6.40	2.21	10.33	5.58
15.00	12400.00	148.00	16.19	15.67	-54.89	30.70	2.14	7.04	9.37

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ادامه جدول ۶

Table 6, continued

20.00	9230.00	84.60	13.21	5.65	-29.54	29.67	2.10	5.08	17.60
25.00	12139.00	142.78	17.96	28.29	-42.93	2.22	2.10	5.08	18.77
Standard Deviation	6655.72		1.82		6.94		0.13		
Hybrid PSO-GA algorithm									
Noise level	K (nT)	% of Error in K	Z (M)	% of Error in Z	ɵ (degrees)	% of error in ɵ	Sf	% of Error in Sf	Cost function (MES) (nT)
	5000.00		14.00		-42.00		2.00		
Any	4960.00	0.80	14.01	0.08	-41.96	0.10	2.00	0.07	0.01
0.00	7260.00	45.20	14.13	0.90	-43.40	3.34	2.06	3.12	1.05
5.00	2610.00	47.80	14.88	6.32	-43.15	2.74	1.89	5.75	3.12
10.00	7140.00	42.80	13.47	3.79	-44.47	5.88	2.07	3.28	5.83
15.00	19000.00	280.00	15.05	7.52	-54.23	29.11	2.20	9.76	10.59
20.00	989.80	80.20	12.37	11.62	-33.34	20.63	1.69	15.59	19.09
25.00	2921.10	41.58	11.82	15.58	-39.87	5.07	1.92	4.18	19.88
Standard Deviation	5754.56		1.17		5.84		0.15		

جدول ۷- تخمین و درصد خطای محاسبه شده به روش الگوریتم ترکیبی برای مدل کره

Table 7- presents the estimation results and calculated error percentages for the Sphere model.

PSO algorithm									
Using a sphere model (Sf = 2.5)									
Noise level	K (nT)	% of Error in K	Z (M)	% of Error in Z	ɵ (degrees)	% of error in ɵ	Sf	% of Error in Sf	Cost function (MES) (nT)
	10000.00		8.00		30.00		2.50		
Any	10000.00	0.00	8.00	0.00	30.00	0.00	2.50	0.00	0.00
0.00	12026.00	20.26	7.74	3.30	29.55	1.52	2.55	2.07	0.93
5.00	15000.00	50.00	8.89	11.15	30.22	0.73	2.59	3.40	1.88
10.00	12040.00	20.40	6.92	13.47	29.84	0.54	2.13	14.88	3.30
15.00	7882.00	21.18	14.43	80.41	27.99	6.70	2.21	11.65	6.07
20.00	682.73	93.17	6.05	24.38	35.74	19.14	1.95	22.08	8.48
25.00	642.70	93.57	4.17	47.90	24.75	17.51	1.98	20.94	17.33
Standard Deviation	5504.84		2.97		3.04		0.34		
Genetic algorithm									
Noise level	K (nT)	% of Error in K	Z (M)	% of Error in Z	ɵ (degrees)	% of error in ɵ	Sf	% of Error in Sf	Cost function (MES) (nT)
	10000.00		8.00		30.00		2.50		
Any	7990.00	20.10	8.00	0.02	29.86	0.48	2.45	2.14	1.02

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

ادامه جدول ۷
Table 7, continued

0.00	15000.00	50.00	11.13	39.18	29.65	1.17	2.43	2.96	2.05
5.00	4800.00	52.00	5.90	26.25	30.22	0.72	2.52	0.71	3.09
10.00	13500.00	35.00	9.14	14.28	26.16	12.81	2.24	10.45	5.02
15.00	16200.00	62.00	8.86	10.71	30.37	1.22	1.98	20.80	9.59
20.00	3960.00	60.40	14.10	76.25	14.54	51.53	1.94	22.40	16.57
25.00	18404.00	84.04	4.46	44.27	31.12	3.75	2.01	19.60	18.84
Standard Deviation	5527.58		3.07		181.66		0.36		
hybrid PSO-GA algorithm									
Noise level	K (nT)	% of Error in K	Z (M)	% of Error in Z	ɵ (degrees)	% of error in ɵ	Sf	% of Error in Sf	Cost function (MES) (nT)
	10000.00		8.00		30.00		2.50		
Any	13600.00	36.00	8.00	0.05	30.10	0.32	2.57	2.63	0.94
0.00	10500.00	5.00	8.66	8.21	31.08	3.60	2.48	0.86	1.92
5.00	4080.00	59.20	8.95	11.90	28.79	4.04	2.20	11.94	3.24
10.00	500.00	95.00	7.16	10.45	31.53	5.12	1.89	24.40	5.49
15.00	4150.00	58.50	5.38	32.76	27.29	9.04	2.06	17.59	10.38
20.00	19000.00	90.00	13.62	70.29	25.97	13.45	2.72	8.90	17.61
25.00	19000.00	90.00	12.69	58.65	10.84	63.86	2.83	13.36	19.03
Standard Deviation	6915.09		2.99		7.52		0.34		

۸- مقایسه و اعتبارسنجی

نتایج در این مقاله، عملکرد سه الگوریتم بهینه‌سازی معروف، در تخمین پارامترهای سه مدل جغرافیایی مختلف، یعنی دایک، استوانه افقی، و کره، مورد بررسی قرار گرفته است.

برای مدل دایک، PSO نسبت به GA دقت بیشتری در تخمین مختصات مکانی و زمینه‌ای دارد، اما در تخمین زاویه مورد بررسی، خطا بیشتری را نشان می‌دهد. در مقابل، GA معمولاً دقت کمتری در تخمین مختصات دارد، اما ممکن است در برخی موارد در تخمین زاویه عملکرد بهتری داشته باشد. PSO-GA به طور کلی دارای دقت بیشتری در تمامی متغیرهای مدل نسبت به PSO و GA است.

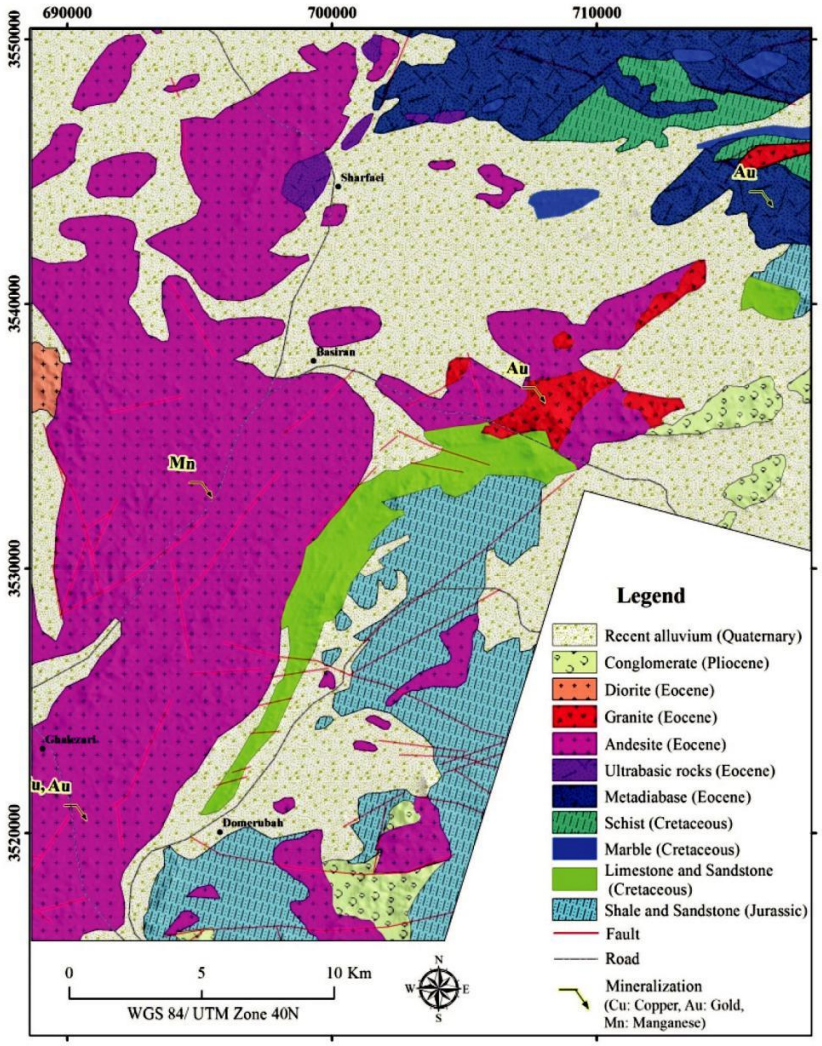
در مورد مدل استوانه افقی، PSO نسبت به GA دقت بیشتری در تخمین مختصات مکانی و زمینه‌ای دارد، در حالی که GA ممکن است در تخمین بعضی متغیرها موفق‌تر باشد، اما به طور کلی دقت کمتری دارد. همچنین، ترکیب این دو الگوریتم نیز می‌تواند دقت تخمین‌ها را افزایش دهد.

در مدل کره، PSO دارای دقت خوبی در تخمین‌های K و Z است، اما در تخمین زاویه دقت کمتری دارد. GA ممکن است در تخمین K و Z دقت کمتری داشته باشد، اما در زاویه می‌تواند بهتر عمل کند. به همین ترتیب، ترکیب این دو الگوریتم نیز می‌تواند در افزایش دقت تخمین‌ها موثر باشد.

به طور کلی، از تحلیل جداول مشخص است که هر یک از الگوریتم‌ها ممکن است در برخی از متغیرها دقت بیشتری داشته باشد، اما ترکیب این الگوریتم‌ها می‌تواند دقت کلی تخمین‌ها را بهبود بخشد، به ویژه در الگوریتم PSO-GA که به طور کلی دارای دقت بیشتری در تخمین‌های مختلف است.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه (Tavassoli Torbati, 2022)
Fig 2- Geological map of the region (Tavassoli Torbati, 2022)

۹-داده های مغناطیس هوابرد

عملیات ژئوفیزیک هوابرد با استفاده از روش مغناطیس‌سنجی در منطقه بصیران، توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد. این عملیات با استفاده از یک بالگرد مجهز به دو مغناطیس‌سنج بخار سزیم و سایر تجهیزات جانبی صورت گرفت. ارتفاع بالگرد از سطح زمین ۴۰ متر و فاصله بین خطوط پروازی ۲۵۰ متر بود. آزیموت خطوط پروازی با توجه به روند زمین‌شناسی منطقه، بازه ۱۰۵ درجه انتخاب و اجرا شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، تصحیحات اولیه از جمله تصحیحات Diumal، Lag و Heading و همچنین Leveling توسط فنایی و همکاران انجام شد(Tavassoli Torbati, 2022).

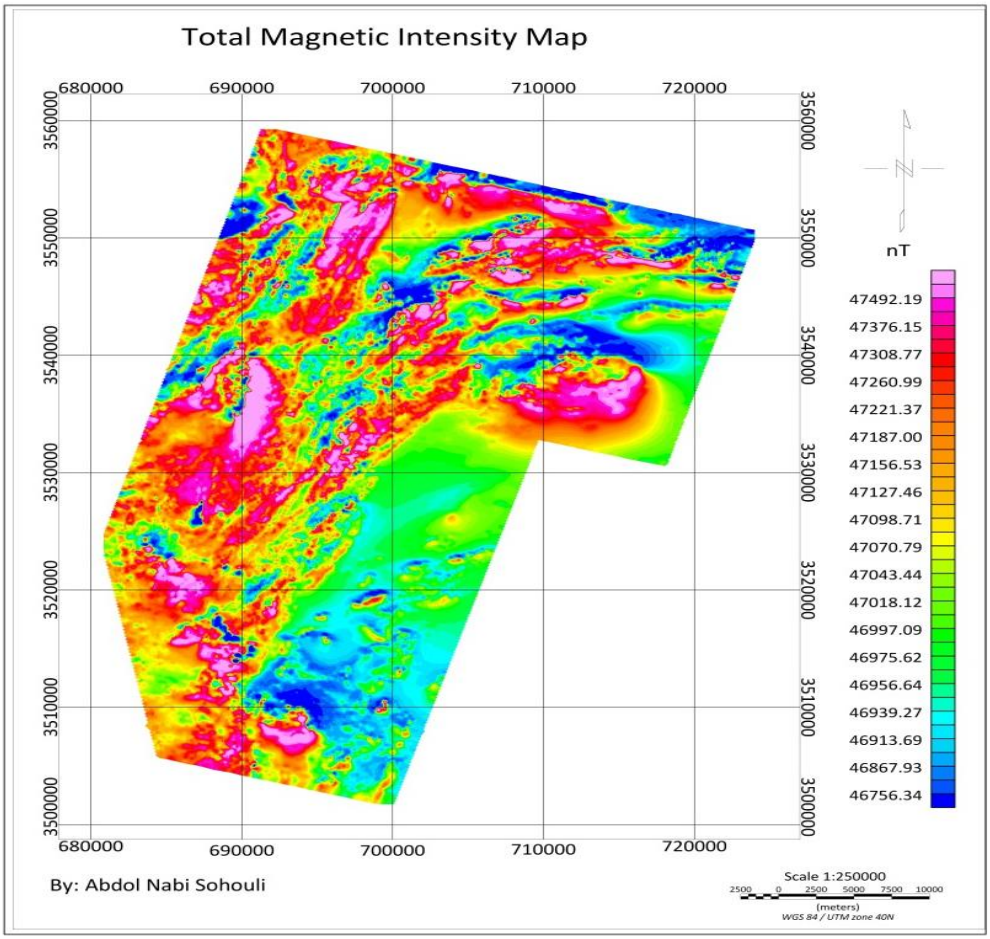
برای تولید نقشه میدان مغناطیسی (TMI)، داده‌ها با استفاده از الگوریتم Minimum curvature و با شبکه‌بندی ۶۰ متری در نرم‌افزار Geosoft Oasis Montaj پردازش شدند. مطابق با نقشه TMI، شدت تغییرات میدان مغناطیسی به حدود ۴۷۷۰ نانوتسلا می‌رسد که نشان از وجود کانی‌های فرومغناطیسی در سنگ‌های آذرین منطقه دارد. در نقشه میدان مغناطیسی (TMI)، وجود بافت‌های نامنظم و پاسخ سیگنال مغناطیسی باشتاب بالا و فرکانس‌های با دامنه قوی، از جمله ویژگی‌های اساسی مناطق آتشفشانی است. همچنین، وجود سنگ‌های آندزیتی و بازالتی و دوره‌های آتشفشانی متفاوت نشان می‌دهد که این منطقه دارای شرایط مناسبی برای ایجاد واحدهای سنگی با اشکال هندسی گوناگون است. برخی از این

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

واحدهای سنگی ساختارهای باریکی را ایجاد کرده‌اند، در حالی که ساختارهای خطی با امتداد شمال شرقی جنوب غربی در بسیاری از بخش‌های منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده هستند.

برای حذف اثر زاویه میل مغناطیسی، از روش (RTP) Reduce to Magnetic Pole استفاده شد. این روش باعث می‌شود که مقادیر بیشینه و کمینه ناهنجاری دقیقاً بر روی توده‌های مغناطیسی قرار گیرد و تفسیر آن‌ها آسان‌تر شود. در این مقاله، برای اعمال این فیلتر از روش کاهش به قطب دیفرانسیلی استفاده شد که دقت بالایی در انتقال به قطب را فراهم می‌کند. نتایج اعمال این فیلتر و رویدادهای شدت میدان مغناطیسی باقی‌مانده (TMA) مطابق با شکل نشان داده شده است. تغییرات کمی در ناهنجاری‌ها دیده می‌شود که به موقعیت بالای توده‌های مغناطیسی ارتباط دارد. در ادامه، روش‌های پردازش و تخمین از نتایج بالا برای بررسی الگوریتم مطرح شده استفاده شده است.



شکل ۳- نقشه میدان مغناطیسی TMI
Fig 3- TMI magnetic field map

در این مطالعه، یکی از دستاوردهای اساسی به دست آمده، استفاده موثر از داده‌های ژئوفیزیکی به منظور تعیین و تشخیص نوع شکل و مدل زیرزمینی است. با ارائه یک تابع هدف جدید و استفاده از الگوریتم ترکیبی PSO-GA، این مطالعه به توانایی ارائه مدل‌های دقیق و کارا برای توصیف زیرسطح زمین پیشرفت قابل توجهی داده است.

در این مطالعه، تابع تخمینی با فرمول (۹) ارائه شده است. در این فرمول، (xi) و (z) به ترتیب نشان‌دهنده مختصات افقی و عمودی نقاط زیرزمینی هستند. پارامترهای (A)، (B) و (C) به ترتیب با نوع و شکل زیرزمینی مرتبط هستند. همچنین، پارامتر (K) یک ضریب مقیاس است که تاثیر مقیاس زمینی را در مدل‌سازی در نظر می‌گیرد. پارامتر (Sf) نیز یک پارامتر

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

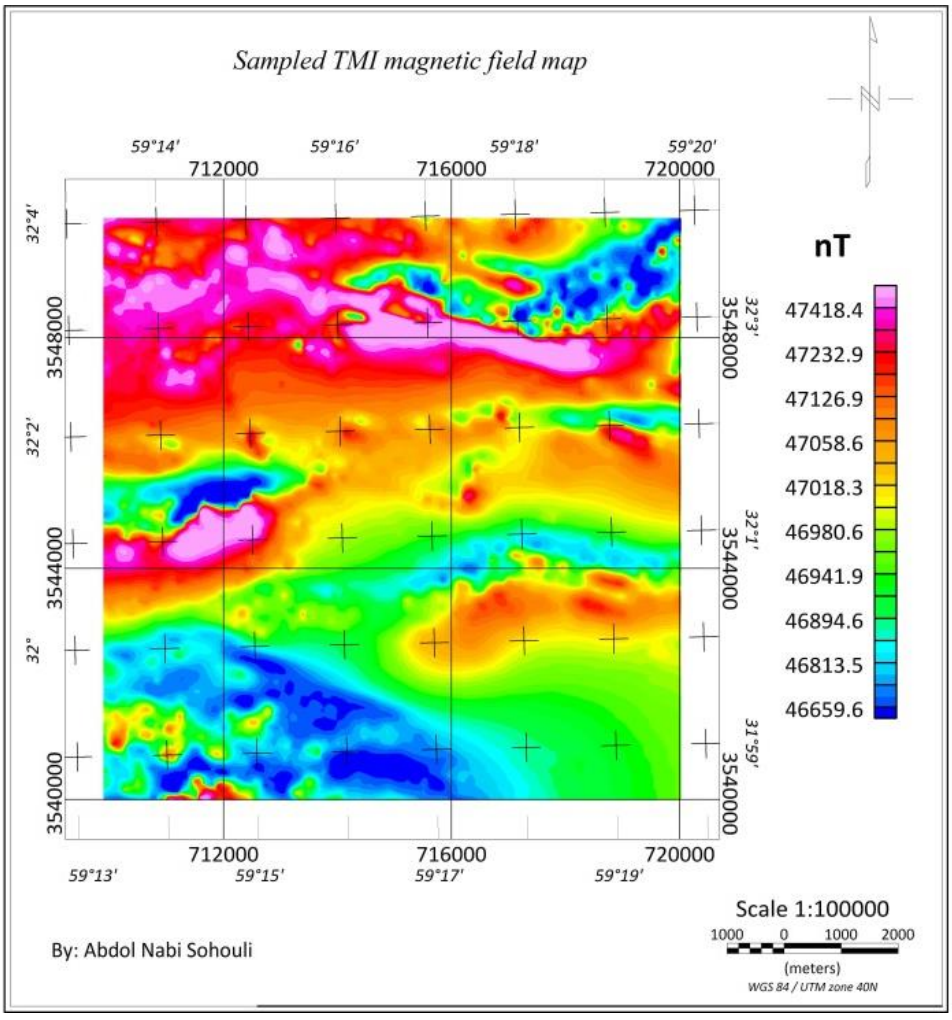
تخمینی می‌باشد که نشان دهنده تغییرات فرکانسی در مدل زیرسطح زمین است.

با استفاده از این تابع تخمینی و تخمین پارامتر (Sf)، مدل زیرسطح زمین تشخیص داده شده است. برای نمایش این مسئله و ارائه مدل‌های دقیق‌تر، یک وسعت مطالعاتی مناسب انتخاب شده است که هر سه مدل مورد بررسی را در بر بگیرد. این انتخاب وسعتی از منطقه مطالعاتی، باعث می‌شود که داده‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده در مدل‌سازی، نمای یک نمایندگی مناسب تر و صحیح از یک مجموعه داده از زیرسطح زمین را فراهم کنند و به ارائه مدل‌های دقیق‌تر و کارا کمک کنند.

به این ترتیب، استفاده از الگوریتم ترکیبی PSO-GA و تابع هدف جدید در تعیین و تشخیص مدل‌های زیرسطح زمین، از مهم‌ترین دستاوردهای این مطالعه است که باعث بهبود فهم و دقت در توصیف فرآیندهای زمینی می‌شود. و براساس آن اقدام به نمونه گیری شده است.

۹-۱- طراحی شبکه عصبی برای داده‌های واقعی

در این مقاله براساس داده های واقعی در سه پروفیل از نقشه RTP مطابق شکل ۶ نمونه برداری شده است. در همین راستا برای هر پارامتر بازه محدود کننده [-Vmax , Vmax]، مطابق جدول ۸ در نظر گرفته که پیش بینی می شود مقدار صحیح پارامتر مساله در بازه مذکور واقع شده است. بدیهی است که با توجه به اطلاعات اولیه زمین‌شناسی می‌توان بازه‌ی صحیح را در نظر گرفت. لازم به تکرار است که در این مقاله، شرط توقف ماکزیمم تعداد تکرار فرض گردیده و تعداد آن را برابر با 149 تکرار و اندازه جمعیت ۱۰۰۰ واحد پیش بینی شده است.

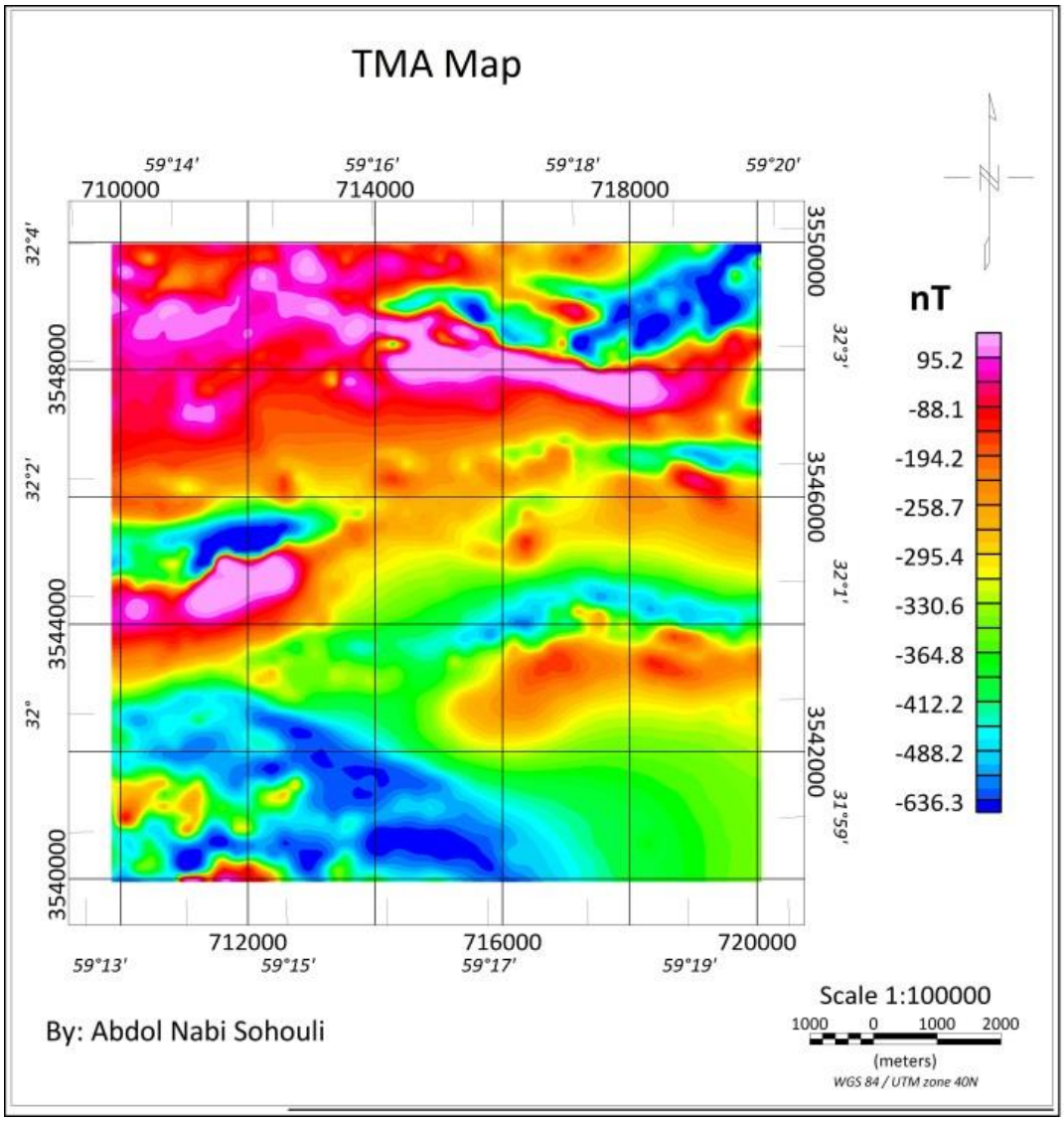


شکل ۴- نقشه میدان مغناطیسی TMI نمونه برداری شده

Fig 4- Sampled TMI magnetic field map

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۵- نقشه میدان مغناطیسی TMA

Fig 5- TMA magnetic field map

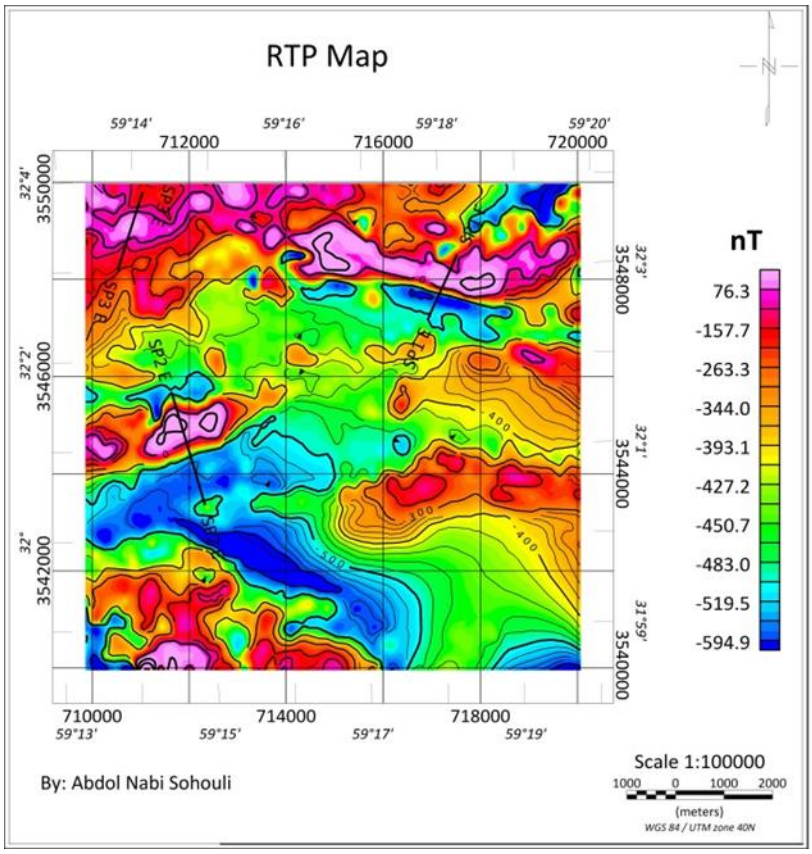
جدول ۸- بازه[-Vmax , Vmax]

Table 8- Initial guess of the intervals as [-Vmax, Vmax]

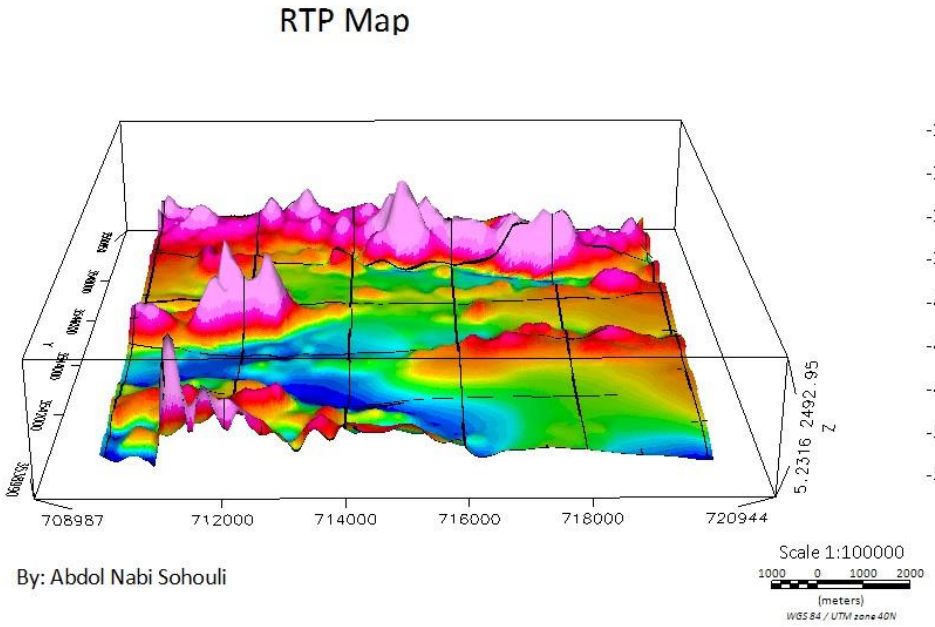
K (nT)	Z (M)	ɵ(degrees)	Sf	
$[\mathbf{100}:\mathbf{10}e+\mathbf{8}]$	$[\mathbf{0}:\mathbf{1000}]$	$[-\mathbf{180}:\mathbf{180}]$	$[\mathbf{1}:\mathbf{3}]$	[-Vmax , Vmax]

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



(a)



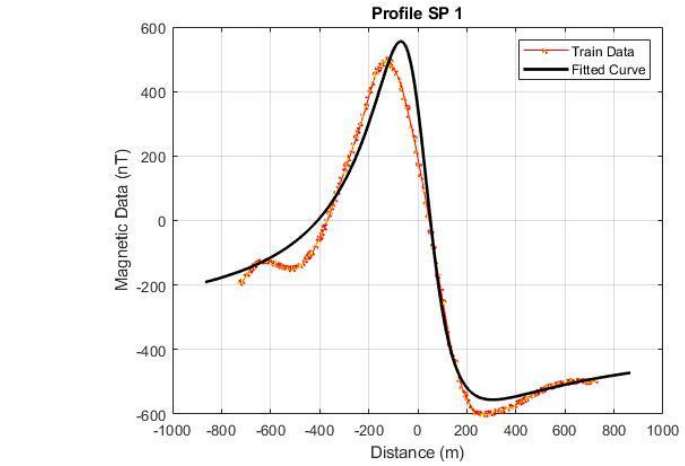
(b)

شکل ۶- a) نقشه میدان مغناطیسی RTP و b) نقشه میدان مغناطیسی RTP به صورت سه بعدی با همان مقیاس و طیف رنگی

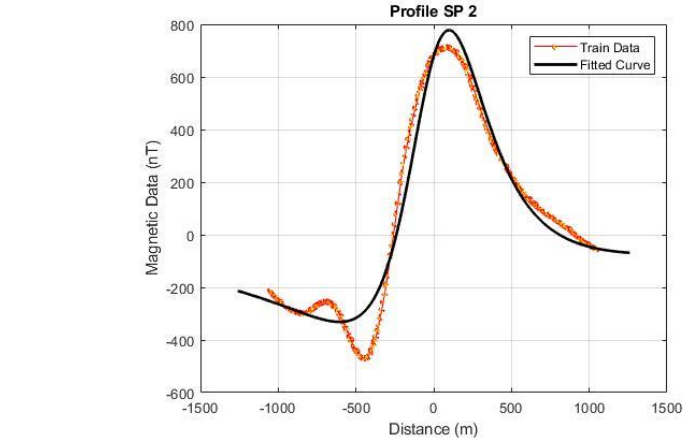
Fig 6- a) RTP magnetic field map, b) RTP magnetic field map in three dimensions

Archive of SID.ir

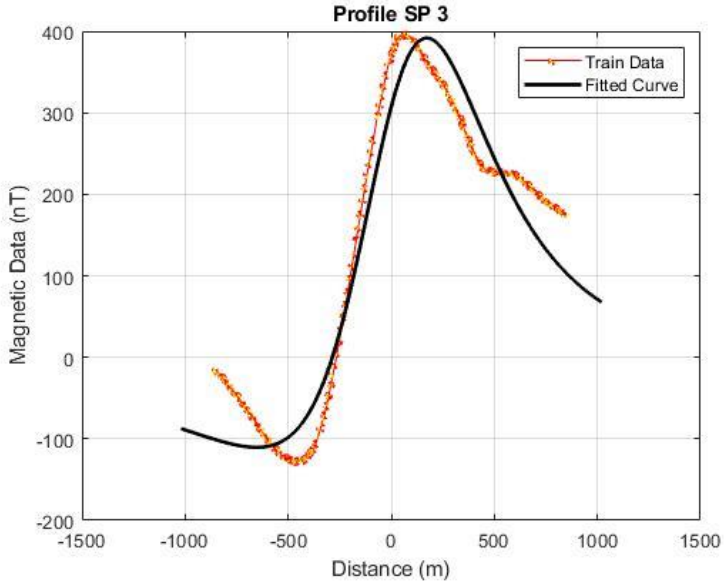
Archive of SID.ir



(a)



(b)



(c)

شکل ۷- همگام سازی الگوریتم PSO-GA و پروفیل های حاصل از نمونه برداری
Fig 7- Synchronization of hybrid PSO-GA algorithm and sampling profiles

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۹- مقدار تخمین داده واقعی به روش الگوریتم ترکیبی

Table 9. Estimated value of accurate data using hybrid algorithm

K (nT)	Z (M)	ɵ(degrees)	Sf	Cost (MES)	
554.24	144.90	-50.79	1.00	50.82	Porfile SP 1
1.1821e+6	441.03	32.77	1.60	69.85	Porfile SP 2
1.000e+6	545.20	-109.43	1.68	44.79	Porfile SP 3

به منظور تخمین پارامترهای داده برداری واقعی با استفاده از الگوریتم PSO-GA، ابتدا براساس راستای پروفیل، نمونه‌برداری انجام شده است. سپس الگوریتم معرفی شده برروی پروفیل‌های نمونه برداری شده اجرا می‌شود و نتایج عددی، به‌عنوان تخمین پارامترهای مدل، در شکل ۷ و در جدول ۹ آورده شده است. ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که نتایج تفسیر کمی داده‌های مغناطیسی با استفاده از این روش، در مقایسه با نتایج حاصل از نرم‌افزارهای مدرن، بسیار دقیق و با ارزش است.

براساس نتایج الگوریتم ترکیبی با مقادیر واقعی، مدل ژئوفیزیکی محدوده مورد مطالعه به‌طور کلی با مدل‌های زمین‌شناسی مطابقت دارد. این تطابق به این معناست که مقادیر تخمین داده شده توسط مدل ژئوفیزیکی به مقادیر واقعی نزدیک است. در اینجا، با توجه به مقادیر موجود در جدول، می‌توان به نکات زیر توجه کرد:

پروفایل SP 1:

- مقدار Cost نسبتاً کم و متوسطی دارد، که نشان می‌دهد تخمین‌های مدل ژئوفیزیکی با مقادیر واقعی به خوبی مطابقت دارد.
- مقدار Sf نیز به مقدار واقعی نزدیک است.
- زاویه ɵ و عمق Z همچنین با مقادیر واقعی تطابق خوبی دارند.
- مقدار میدان مغناطیسی K نیز با مقدار واقعی تطابق دارد.

پروفایل SP 2:

- در این پروفایل، مقدار Cost (MES) نسبتاً بیشتر است، اما همچنان به مقدار واقعی نسبتاً نزدیک است.
- مقدار Sf نیز با تخمین مدل ژئوفیزیکی تطابق دارد.
- زاویه ɵ با مقدار واقعی مطابقت دارد، اما مقدار عمق Z و میدان مغناطیسی K کمی بیشتر از مقادیر واقعی است.

پروفایل SP 3:

- در این پروفایل، مقدار Cost (MES) نسبتاً کمتر است، که نشان می‌دهد تخمین‌های مدل ژئوفیزیکی به مقادیر واقعی نزدیک است.
- مقادیر Sf، ɵ، Z، و K نیز با مقادیر واقعی تطابق دارند.

بنابراین، بر اساس تطابق مقادیر تخمین داده شده توسط مدل ژئوفیزیکی با مقادیر واقعی، می‌توان نتیجه گرفت که این مدل با مدل‌های زمین‌شناسی به‌خوبی مطابقت دارد و می‌تواند در تحلیل و توصیف ویژگی‌های زمین‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد.

۱۰- نتیجه گیری

هدف این پژوهش، ارزیابی پایداری الگوریتم ترکیبی PSO-GAو مقایسه آن با هر روش به‌طور مجزا در تخمین پارامترهای مدل مغناطیسی بود. مدل‌های دو بعدی ساده مانند کره‌ها، استوانه‌های افقی و دایک به عنوان ناهنجاری مغناطیسی، به همراه نمونه‌های مصنوعی و واقعی، استفاده شدند. نتایج پژوهش بر مبنای نمونه‌های ناهنجاری‌های مغناطیسی استاندارد با و بدون نویز تصادفی ارزیابی گشته و سپس تخمین‌های مدل توسط داده‌های میدانی از منطقه بصیران تأیید شدند. برای مقایسه نتایج، الگوریتم‌ها با شرایط و پارامترهای یکسان اجرا شدند و از معیارهایی مانند دقت و خطا برای ارزیابی عملکرد مختلف به کار رفتند. نتایج تحقیق نشان داده است که الگوریتم ترکیبی PSO-GA در تخمین پارامترهای مدل مغناطیسی، به ویژه در شرایط کم نویز، عملکرد بهتری از روش‌های دیگر دارد و دارای کمترین واگرایی است. همچنین، بررسی سرعت

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

همگرایی الگوریتم‌ها نشان می‌دهد که PSO-GA بهبود عملکرد قابل توجهی را نسبت به روش‌های جداگانه داشته است.

یکی از دستاوردهای مهم این پژوهش، تعریف معادله جدید برای مشخصات ناهنجاری مغناطیسی دو بعدی (T) برای اجسام هندسی ساده است که نتایج و پارامترهای جدیدی برای تخمین پارامترهای مدل مغناطیسی ارائه کرده است. این معادله جدید، به همراه ابزار توسعه داده شده برای تخمین مشخصات ناهنجاری مغناطیسی دو بعدی، بهبود قابل توجهی در دقت و کارایی مدل‌ها به همراه داشته است. این ابزارها با داده‌های واقعی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند و نتایج آن‌ها با داده‌های واقعی مقایسه شده است.

علاوه بر این، استفاده از بازه‌های گسترده برای پارامترها به عنوان یک تکنیک مفید در مدیریت عدم قطعیت در مسائل پیچیده واقعی مورد استفاده قرار گرفته است. این روش کمک شایانی در بهبود دقت و عملکرد مدل‌ها در شرایط مختلف داشته است.

در نهایت، این مطالعه تأیید می‌کند که الگوریتم ترکیبی PSO-GA می‌تواند به‌عنوان یک ابزار موثر در برآورد و تخمین پارامترهای مدل مغناطیسی استفاده شود. همچنین، این تحقیق از طریق ارائه روش‌های جدید و بهبود یافته برای تخمین پارامترهای مدل مغناطیسی، ارزش افزوده‌ای به دانش علمی این حوزه ارائه می‌دهد. استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی و الگوریتم‌های هوش مصنوعی نشان داده است که می‌تواند در توسعه روش‌های بهینه برای تعیین و تشخیص مدل‌های زیرسطح زمینی تأثیر مثبتی داشته باشد. نتایج این مطالعه نه‌تنها دقت و کارایی مدل‌های پیشنهادی را تأیید می‌کند، بلکه اهمیت و کاربرد گسترده این روش‌ها را در مطالعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی نشان می‌دهد.

مراجع

Abdelrahman, E.S.M., Essa, K.S., 2005. Magnetic interpretation using a least-squares, depth-shape curves method. Geophysics 70, 23-30. https://doi.org /10.1007/s00024-014-0885-9

Abdelrahman, E.S.M., Essa, K.S.T., El-Araby M., Abo-Ezz E.R., 2015. Depth and shape solutions from second moving average residual magnetic anomalies. Exploration Geophysics 47, 58-66. https://doi.org/10.1071/EG14073

Abdelrahman, E., Essa K., 2015. A new method for depth and shape determinations from magnetic data. Pure and Applied Geophysics 172, 439-460. https://doi.org/10.1007/s00024-014-0885-9

Abdelrahman, E., Soliman, K., Abo-Ezz, E., El-Araby, T., Essa, K., 2009. A least-squares standard deviation method to interpret magnetic anomalies due to thin dikes. Near Surface Geophysics, 7, 41-47.https://doi.org/10.3997/1873-0604.2008032

Abedi, M., Gholami, A., Norouzi G.H., 2013. A stable downward continuation of airborne magnetic data: A case study for mineral prospectivity mapping in Central Iran. Computers & Geosciences 52, 269-280. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.11.006

Abo-Ezz, E., Essa, K., 2016. A least-squares minimization approach for model parameters estimate by using a new magnetic anomaly formula. Pure and Applied Geophysics 173, 1265-1278. http://doi.org/10.1007/s00024-015-1168-9

Boschetti, F., Dentith M., List, R., 1997. Inversion of potential field data by genetic algorithms. Geophysical Prospecting 45, 461-478. http://doi.org/10.1046/j.1365-2478.1997.3430267.x

Douglas, M., Bates, D.J.W., Watts, D.G., 2002. Nonlinear Regression Analysis and Its Applications. Wiley, 365 P.

Essa, K.S., Elhussein, M., 2018. PSO (particle swarm optimization) for interpretation of magnetic anomalies caused by simple geometrical structures. Pure and Applied Geophysics 175, 3539-3553. https://link.springer.com/article/10.1007/s00024-018-1867-0

Farquharson, C.G., Craven, J.A., 2009. Three-dimensional inversion of magnetotelluric data for mineral exploration: An example from the McArthur River uranium deposit, Saskatchewan, Canada. Journal of Applied Geophysics 68, 450-458. https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.02.002

Garg, H., 2016. A hybrid PSO-GA algorithm for constrained optimization problems. Applied Mathematics and Computation 274, 292-305. https://doi.org/10.1016/j.amc.2015.11.001. https://doi.org/10.1016/j.amc.2015.11.001

Gay J.S.P., 1963. Standard curves for interpretation of magnetic anomalies over long tabular bodies. Geophysics 28, 161-200.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Grandis, H., Maulana, Y., 2017. Particle swarm optimization (PSO) for magnetotelluric (MT) 1D inversion modeling. In IOP conference series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing. http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/62/1/012033

Lines, L., Treitel, S., 1984. A review of least-squares inversion and its application to geophysical problems. Geophysical Prospecting 32, 159-186. https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1984.tb00726.x

Mehanee, S.A., Essa, K.S., 2015. 2.5 D regularized inversion for the interpretation of residual gravity data by a dipping thin sheet: numerical examples and case studies with an insight on sensitivity and non-uniqueness. Earth, Planets and Space 67, 1-26. https://doi.org/10.1186/s40623-015-0283-2

Nabighian, M.N., Grauch, V., Hansen, R., LaFehr, T., Li, Y., et al., 2005. The historical development of the magnetic method in exploration. Geophysics 70, 33-61. http://dx.doi.org/10.1190/1.2133784

Rao, B., Murthy, I.R., Rao, C.V., 1973. A computer program for interpreting vertical magnetic anomalies of spheres and horizontal cylinders. Pure and Applied Geophysics 110, 2056-2065. http://dx.doi.org/10.1007/BF00876569

Rao, B., Rao, T.P., Murthy, A.K., 1977. A note on magnetized spheres. Geophysical Prospecting 25, 746-757. https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1977.tb01201.x

Rao, T.P., Subrahmanyam, M., 1988. Characteristic curves for the inversion of magnetic anomalies of spherical ore bodies. Pure and Applied Geophysics 126, 69-83. https://doi.org/10.1007/BF00876915

Rao, T.P., Subrahmanyam, M., Murthy A.S., 1986. Nomogram for the direct interpretation of magnetic anomalies due to long horizontal cylinders. Geophysics 51, 2156-2159. https://doi.org/10.1190/1.1442067

Sweilam, N., Gobarsh, M., Hashem, T., 2008. Using· Particle Swarm Optimization with Function Stretching {SPSO} For IBver. ftag Gr-avity Data:-A Visibility Study. Proceedings of the Mathematical & physical society of Egypt, 86, 259-281.

Tavakoli-Moghadam, R., 2013. Metaheuristic Algorithms: Theoretical Foundations and Implementation in MATLAB. MSc thesis, Islamic Azad University,.

Tavassoli Torbati, H., Fanaee Kheirabad, G., Mohammadzadeh Moghaddam, M., Karimi Kalvarzi, A., Amin 2022. Qualitative Interpretation of Aeromagnetic Data from the Basiran Area (South Khorasan Province). Physics of the Earth and Space 48(3), 531-540. https://doi.org/10.22059/jesphys.2022.314982.1007268

Zhdanov, M.S., 2002. Geophysical inverse theory and regularization problems. Elsevier. 609 P.

Archive of SID.ir