مدل‌سازی داده‌های گرانی‌سنجی محدوده آناتولی ترکیه با استفاده از الگوریتم NSGA-II

رامین آرامش اصل[۱]، حمید آقاجانی[۲]، مهرداد سلیمانی منفرد[۳]، محمد رضایی[۴]
[۱]دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، ramin.aramesh@shahroodut.ac.ir
[۲]دانشیاردانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، haghajani@shahroodut.ac.ir
[۳]دانشیاردانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، msoleimani@shahroodut.ac.ir
[۴]استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ملایر، mohamad1rezaie@gmail.com

چکیده

مطالعه هندسه سنگ بستر در اکتشافات نفتی جهت دست‌یابی به تصاویر دو بعدی از آن، مستلزم استفاده از محاسبات وارون غیرخطی است. الگوریتم مورد استفاده در این مدل‌سازی، الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب NSGA-II است. در این مطالعه جهت راستی‌آزمایی و صحت‌سنجی الگوریتم، از داده‌های تولید شده توسط یک مدل مصنوعی فرضی و پیچیده استفاده شد و برای بررسی دقیق‌تر عملکرد این الگوریتم در دو شرایط بدون نوفه و همراه با نوفه سفید گوسی تا ۱۰٪ مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج حاصل از مدل‌سازی توسط این الگوریتم تطابق قابل قبولی را با مدل اولیه ارائه داد طوری که در الگوریتم NSGA-II پارامتر ریشه میانگین مربع خطا برای داده بدست آمده از داده اولیه مدل مصنوعی از ۰.۰۵ تا ۰.۳۵ میلی‌گال است این پارامتر در الگوریتم NSGA-II برای مدل بدست آمده از مدل اولیه ۷۲.۴ متر بالا نرفت. با بررسی داده‌های پروفیل شماره ۱ محدوده آناتولی (ترکیه)، نتایج بدست آمده نشان‌دهنده عملکرد مناسب این الگوریتم در مدل‌سازی است.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، گرانی‌سنجی، عمق سنگ بستر، مدل مصنوعی، الگوریتم NSGA-II،آناتولی.

Modeling of Gravimetric Data of Anatolia, Turkey, Using NSGA-II Algorithm

Ramin Aramesh Asl[1], Hamid Aghajani[2], Mehrdad Soleimani Monfared[3], Mohamad Rezaie[4]
[1]*PhD student in Mining Exploration Engineering, Faculty of Mining, Shahrood University of Technology, ramin.aramesh@shahroodut.ac.ir*
[2]*Associate Professor in Petroleum and Geophysics Engineering, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, haghajani@shahroodut.ac.ir*
[3]*Associate Professor in Petroleum and Geophysics Engineering, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, msoleimani@shahroodut.ac.ir*
[4]*Assistant Professor in Mining Engineering, Faculty of Technical Engineering, Malayer University, mohamad1rezaie@gmail.com*

Abstract

Studying the bedrock geometry in oil exploration operations to obtain its 2D pattern requires nonlinear reverse computations. The algorithm used in the present work included non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II), which were used to estimate the depth. In the present study, this algorithm was verified and validated using the data produced by an imaginary and complex synthetic model. In order for a more precise examination of the performance of algorithm, the imaginary synthetic data were used both with no noise and with up to 10% Gaussian white noise (GWN). Accordingly, the modeling results indicated a good consistence between the algorithm and the primary model; so that, the root mean square error parameter for the data obtained from the initial data of the synthetic model ranged from 0.05 to 0.35mGal. Also, this parameter didn't exceed 72.4 in the NSGA-II. Based on the gravimetric data of the Western Anatolia, Turkey, the results obtained from NSGA-II algorithm indicated good performance of this algorithm at the modeling.

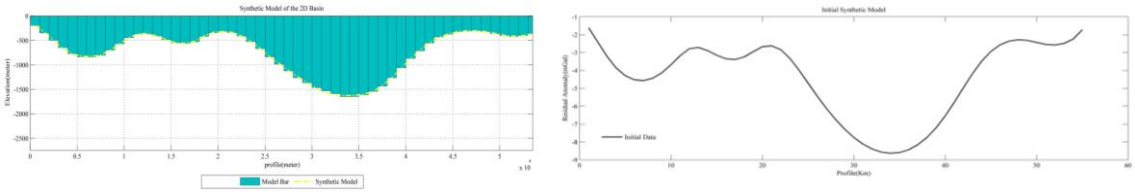
Keywords: Modeling, Gravity, Bedrock Depth, Synthetic Model, NSGA-II Algorithm, Anatolia.

۱ مقدمه

روش‌های الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری چندهدفه، قابلیت بررسی فضای جستجو را داشته و پاسخ ارائه شده توسط این الگوریتم‌ها مستقل از مدل اولیه است (سن و استوا ۱۹۹۵، بوچتی و همکاران ۱۹۹۷، شاو و اسریواستاوا ۲۰۰۷). منظور از فضای جستجو همان کلیه پاسخ‌های ممکن برای مسأله مورد هدف است و هر نقطه از این فضا نشان‌دهنده یک پاسخی است که قابلیت رتبه‌بندی از نظر ارزش آن پاسخ را خواهد داشت. این روش‌ها بر مبنای جستجو در فضای مدل، برای هر نقطه از آن، داده‌های متناظر با بردار مدل را به حالت پیشرو محاسبه کرده و با داده‌های برداشت شده از سطح زمین مقایسه شده و اختلافشان را بدست می‌آورد که این اختلاف به شکل تابعی از پارامتر مدل است. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های روش‌های الگوریتم بهینه‌سازی فراابتکاری، جلوگیری از به دام افتادگی در کمینه‌های محلی است. زمانی که اختلاف بین داده‌های برداشت شده با داده‌های پیش‌بینی شده به صورت یک تابع هدف تعریف می‌شود نقطه یا نقاطی در فضای مدل که کمترین مقدار را برای تابع هدف دارند به عنوان پاسخ بهینه منظور می‌شوند. روش بهینه‌سازی فراابتکاری می‌تواند به عنوان روشی برای وارون‌سازی به ویژه مسائل غیرخطی استفاده شود؛ بدون اینکه با مشکلات مربوط به تولید ماتریس وارون، پایداری مسأله و نیز مشتق‌پذیر بودن تابع هدف؛ روبرو شود (روی و کومار ۲۰۰۷).

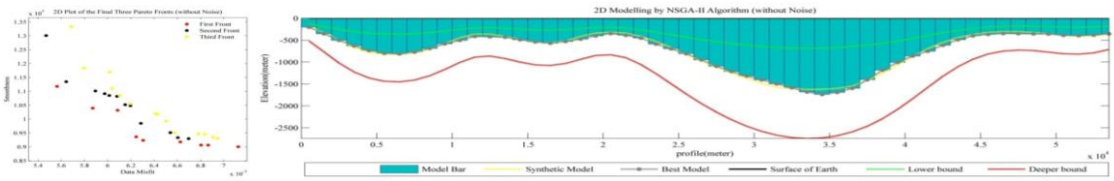
۲ روش تحقیق

در این مطالعه، جهت مدل‌سازی از مدل منشورهای باربوسا و سیلوا استفاده شده است. الگوریتم NSGA-II از اضافه شدن دو علمگر مهم به الگوریتم ژنتیک حاصل شد که در این صورت به جای یافتن بهترین پاسخ، مجموعه از بهترین پاسخ‌ها را ارائه می‌دهد که این مجموعه پاسخ‌ها بنام جبهه پارتو است. یکی از این عملگرهای اضافه شده به الگوریتم ژنتیک، عملگر نخبه‌گرا است که بر اساس ارزش‌گذاری به صف‌های نامغلوب، تنوع و گوناگونی پاسخ‌ها را در جبهه‌های بهینه پارتو فراهم می‌کند. همچنین دیگر عملگر مهم اضافه شده به الگوریتم ژنتیک، عملگر فاصله ازدحامی است که برای تعیین برتری پاسخ‌ها نسبت به یکدیگر مورد استفاده قرار گرفت. در الگوریتم NSGA-II برای ایجاد جمعیت اولیه از چندین کروموزوم به صورت تصادفی استفاده می‌شود. با تولید پاسخ‌های اولیه به تعداد اندازه جمعیت، میزان برازش برای هر کدام از کروموزوم‌ها به کمک توابع هدف، تعیین می‌شود که برای هر کروموزوم به میزان تعداد توابع هدف، مقادیر برازندگی تعیین می‌شود. از میان پاسخ‌های هر نسل، دو کروموزوم جهت انجام ترکیب انتخاب می‌شوند. معیارهای انتخاب دو پاسخ بعنوان والد در الگوریتم NSGA-II در گام نخست رتبه پاسخ و در گام دوم فاصله ازدحامی مربوط به آن است بطوری که آن دو پاسخی که دارای رتبه کمتر و فاصله ازدحامی بیشتری داشته باشد انتخاب می‌شوند. در مرحله ترکیب آن دو پاسخ بعنوان والد به روش تقاطع باهم ترکیب می‌شوند. نرخ ترکیب ۰.۷ در نظر گرفته شد. حال به کمک فرزندان تولید شده از مرحله ترکیب دو والد، از بین فرزندان تولید شده، یک کروموزوم برای عمل جهش انتخاب می‌شود. عملگر جهش از به دام افتادن الگوریتم در پاسخ‌های بهینه محلی جلوگیری می‌کند. در این مطالعه نرخ جهش ۰.۵ در نظر گرفته شد. در مسائل بهینه سازی چند هدفه یک پاسخ وقتی به وسیله پاسخ موجه دیگر مغلوب می‌شود که حداکثر برمبنای تمامی اهداف به خوبی پاسخ موجه اول باشد و دست کم براساس یک تابع هدف بدتر از پاسخ موجه اول باشد که در این صورت به خوبی می‌توان مفهوم غلبه را بیان کرد. در این مطالعه، به منظور اعتبارسنجی کدهای نوشته شده الگوریتم NSGA-II جهت وارون‌سازی غیرخطی داده‌های گرانی‌سنجی، از داده‌های شبیه‌سازی شده یک مدل مصنوعی سنگ بستر با فرضیاتی مشخص استفاده شد. این مدل مصنوعی سنگ بستر شامل ۵۵ منشور با عرض ۱۰۰۰ متر است و شامل تغییرات پیچیده بصورت چهار فروافتادگی با عمق‌های متفاوت تشکیل شده است (شکل ۱). در این مطالعه توپوگرافی سطح زمین را مسطح در نظر گرفته شده و اختلاف دانسیته بین رسوبات و سنگ بستر ۲۵۰- کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته شده است.



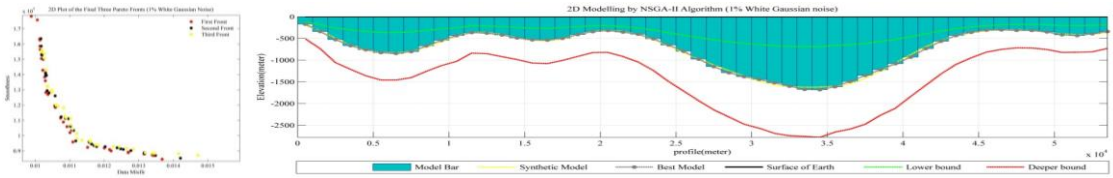
شکل ۱. آنومالی گرانی بدست آمده از سنگ بستر فرضی (سمت راست) و مدل مصنوعی دو بعدی حوضه رسوبی منشور بندی شده (سمت چپ)

جهت مدل‌سازی داده‌های گرانی این سنگ بستر فرضی، کدهای مربوط به این الگوریتم توسعه داده شد و پارامترهای مربوط به این الگوریتم تنظیم گردید. شکل ۲ به نتایج مدل‌سازی داده‌های مدل مصنوعی بدون نوفه اشاره شده است.

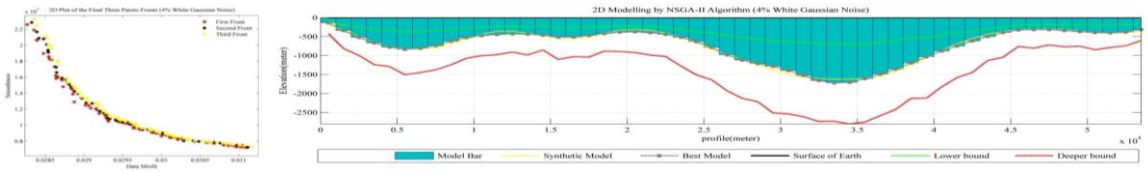


شکل ۲. مدلسازی بدست آمده از داده‌های بدون نوفه سنگ بستر فرضی (سمت راست) و نمودار جبهه پارتو برای سه جبهه معرفی شده (سمت چپ)

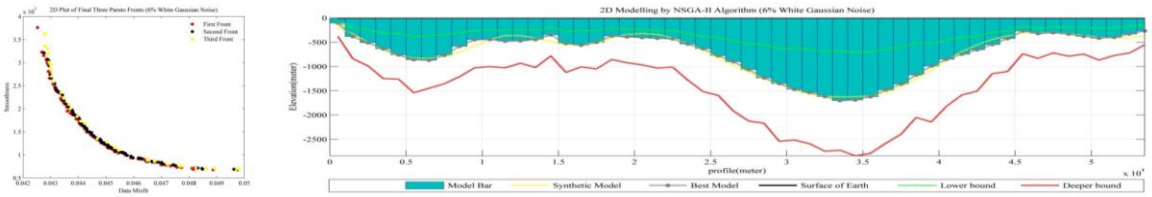
به منظور ارزیابی بررسی تاثیرپذیری و همچنین عملکرد الگوریتم NSGA-II توسعه داده شده در برابر نوفه‌های سفید گوسی، نوفه‌ای مستقل از داده با توزیع گوسی با دامنه‌های ۱٪، ۴٪، ۶٪ دامنه داده‌ها به داده‌های خام مدل مصنوعی افزوده شد و داده‌های حاصله مورد مدل‌سازی قرار گرفت که نتایج آن‌ها در اشکال ۳ الی ۵ نشان داده شده است و این حاکی از آن است که الگوریتم NSGA-II توسعه یافته از پایداری مناسبی در برابر نوفه‌های تصادفی وجود در داده‌ها برخوردار است.



شکل ۳. مدلسازی بدست آمده از داده‌های حاوی ۱٪ نوفه سنگ بستر فرضی (سمت راست) و نمودار جبهه پارتو برای سه جبهه معرفی شده (سمت چپ)



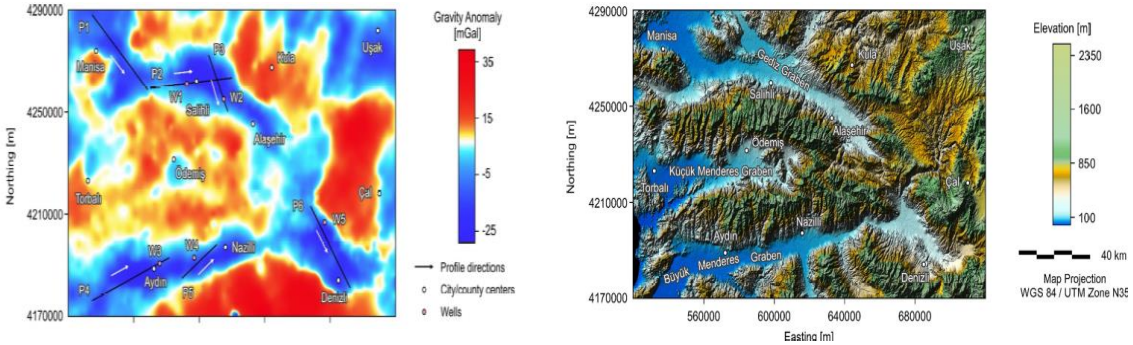
شکل ۴. مدلسازی بدست آمده از داده‌های حاوی ۴٪ نوفه سنگ بستر فرضی (سمت راست) و نمودار جبهه پارتو برای سه جبهه معرفی شده (سمت چپ)



شکل ۵. مدلسازی بدست آمده از داده‌های حاوی ۵٪ نوفه سنگ بستر فرضی (سمت راست) و نمودار جبهه پارتو برای سه جبهه معرفی شده (سمت چپ)

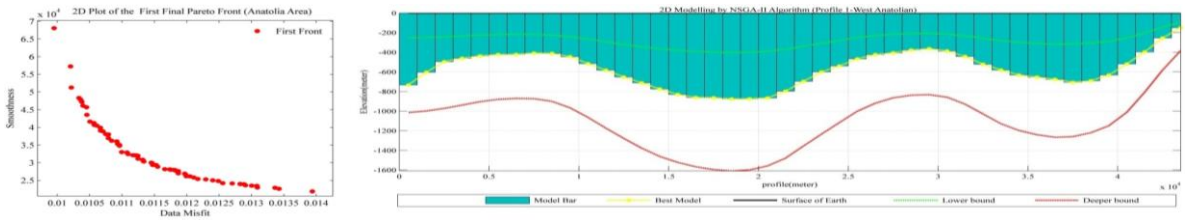
با بررسی نتایج بدست آمده از وارون‌سازی داده‌های یک مدل مصنوعی مدل‌سازی بر روی یکی از پروفیل‌های داده‌های گرانی-سنجی منطقه غربی آناتولی در کشور ترکیه انجام شد (اکینسی و همکاران ۲۰۲۰). طول پروفیل مورد نظر تقریبا ۴۵ کیلومتر است و از ۴۵ نقطه در فواصل نامنظم، داده‌های گرانی برداشت شده است (شکل ۶) و اختلاف دانسیته رسوبات با سنگ بستر تقریبا ۵۰۰- کیلوگرم بر مترمکعب است. جهت مدل‌سازی داده‌های گرانی منطقه آناتولی، مقطع رسوبات بالای سنگ بستر باید

مدل شود برای این امر حوضه رسوبی بالای سنگ بستر به ۴۵ منشور با عرض ۱۰۰۰ متر مدل شد و پارامترهای الگوریتم NSGA-IIو همچنین فضای جستجو مطابق شرایط مسأله تنظیم گردید.



شکل ۶. موقعیت جغرافیایی محدوده غربی آناتولی ترکیه (سمت راست) و نقشه آنومالی گرانی محدوده به همراه پروفیل‌های برداشت شده (سمت چپ)

نتایج بدست آمده از مدل‌سازی این داده‌ها که در شکل شماره ۷ نمایش داده شده حاکی بر آنست که نتایج حاصل از مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم NSGA-II با نتایج مدل‌سازی مطالعات پیشین همخوانی داشته و صحت مدل‌سازی این پروفیل را در محدوده غربی آناتولی ترکیه با استفاده از الگوریتم NSGA-II تایید می‌نماید.



شکل ۷. مدلسازی بدست آمده از داده‌های پروفیل شماره ۱ آناتولی (سمت راست) و نمودار نهایی جبهه پارتو برای یک جببه معرفی شده (سمت چپ)

۳ نتیجه‌گیری

الگوریتم NSGA-II در محیط نرم‌افزار متلب توسعه داده شد و برای دستیابی به عمق‌های واقعی هر کدام از این منشورها و در نهایت ارائه مدل‌سازی معکوس داده‌های گرانی‌سنجی محدوده غربی آناتولی ترکیه با استفاده از الگوریتم NSGA-II، از روش حداکثر عمق اویلر برای مقید کردن مسأله استفاده شد. در این مطالعه میزان تاثیرپذیری این الگوریتم در برابر مقادیر مختلف نوفه‌های احتمالی مورد بررسی قرار گرفت؛ که نتایج بیانگر پایداری مناسب الگوریتم در برابر نوفه‌های سفید گاوسی با دامنه‌های نسبتاً بالاست. نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های گرانی‌سنجی محدوده آناتولی نشان می‌دهد که مدل‌سازی این محدوده با استفاده از الگوریتم NSGA-II با مدل‌سازی با داده‌های واقعی تطابق مناسبی را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده عملکرد مناسب الگوریتم NSGA-II است.

منابع

Sen, M. K., Stoffa, P. L., 1995, Global optimization methods in geophysical inversion, Elsevier Science.
Boschetti, F., Mike, D., Ron, L., 1997, Inversion of potential field data by genetic algorithms. Geophysical Prospecting 45.3: 461-478.
Shaw, R., Srivastava, S., 2007, Particle swarm optimization: A new tool to invert geophysical data, Geophysics, VOL. 72, NO. 2, F75–F83.
Roy, K., Kumar, K., 2007, Potential theory in applied geophysics. Springer Science & Business Media.
Barbosa, V.C.F., Silva, J.B.C., 199, Generalized compact gravity inversion." Geophysics 59.1: 57-68.
Ekinci, Y.L., Balkaya, C., Gokturkler, G. and Ozyalin, S., 2020, Gravity Data Inversion for the Basement Relief Delineation through Global Optimization: A Case Study from the Aegean Graben System, western Anatolia, Turkey . Published by Oxford University Press on behalf of The Royal Astronomical Society.Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 6: 182-197.