تعیین عمق موهو به روش پارکر-اولدنبرگ بهبود یافته در منطقه زاگرس

راضیه صفیان بلداجی[۱]، وحیدابراهیم‌زاده اردستانی[۲]

[۱] موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۲] استاد، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

مرز جدا کننده پوسته وگوشته، ناپیوستگی موهو نامیده می‌شود که ارتباط مستقیمی با توپوگرافی سطح زمین دارد. برای محاسبه عمق موهو با استفاده از داده‌های گرانی از روش‌های متعددی از جمله بات، اویلر، پارکر-اولدنبرگ، استفاده می‌شود. یکی از کارآمدترین روش‌های وارون‌سازی برای تعیین مرز موهو، الگوریتم پارکر-اولدنبرگ بهبود یافته می‌باشد. در این روش نتایج براساس تکرار معکوس تبدیل فوریه حاصل می‌شود، این ویژگی سرعت محاسبات را افزایش می‌دهد و در مواقعی که با تعداد زیادی داده سروکار داریم این ویژگی قابل ملاحظه است. در وارون‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی حساسیت داده با افزایش عمق کاهش می‌یابد، به عبارتی وضوح و تفکیک عمقی کاهش می‌یابد. این نکته در روش پارکر-اولدنبرگ تا حد زیادی بر طرف شده است. در داده مصنوعی دقت این روش بررسی شده است همچنین از این الگوریتم بر روی داده واقعی در پهنه زاگرس (منطقه محلات) استفاده شده است. نتایج حاصله با مطالعات قبلی در این منطقه همخوان است.

واژه‌های کلیدی: عمق موهو، وارون‌سازی، الگوریتم پارکر-اولدنبرگ، داده گرانی.

Determining the Moho depth using Parker Oldenburg's improved method in the Zagros region

Raziye Safian Boldaji [1], Vavid Ebrahimzade Ardestani [2]

Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Professor, Department of Earth Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

The Moho discontinuity is the dividing line between the crust and the mantle. Several methods, including the Parker-Oldenburg, Bot, and Euler methods, are used to determine the Moho depth. The Parker-Oldenburg method's results are based on inverse iteration, which yields the Fourier transform. This algorithm's great speed, which is due to its based on the fast Fourier transform, is one of its important features. The Parker-Oldenburg method has greatly and largely resolved the issue of the decrease in sensitivity to depth that exist in inversion of geophysical data and that prevents us from having adequate resolution and precision in depth for investigations. The MATLAB program was used to apply this approach, which is based on actual data from the Mahalat area in the Zagros region. After modifications and re-gridding, the algorithm stopped after 10 iterations, and The results were in accordance with the previous investigations in this area
.

Keywords: Moho depth, inversion, Parker-Oldenburg,

۱ مقدمه

اکتشافات براساس داده‌های میدان پتانسیل مانند گرانی‌سنجی در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از جمله کاربردهای روش میدان پتانسیل می‌توان به اکتشافات هیدروکربن، اکتشافات مواد معدنی و نیز مطالعات ناحیه‌ای و منطقه‌ای پوسته برای تعیین مرز ناپیوستگی‌ها اشاره کرد. در تفسیر داده‌های پتانسیل می‌توان از الگوریتم‌های مختلف وارون‌سازی استفاده کرد که با توجه به خصوصیات الگوریتم و نتیجه قابل ارائه روش مناسب وارون‌سازی انتخاب می‌شود. نتایج وارون‌سازی باید حداکثر شباهت را به مدل زیر سطحی واقعی داشته باشد. الگوریتم وارون‌سازی پارکر-اولدنبرگ

برای مطالعات منطقه‌ای پوسته (تعیین مرز موهو) روشی کارآمد است. این رابطه توسط اولدنبرگ از ترکیب با روش پارکر حاصل شده است. این روش از تبدیل فوریه سریع استفاده می‌کند بنابراین دارای سرعت بالایی می‌باشد. این الگوریتم برای مدل‌هایی با تعداد بسیار زیاد داده محاسبات را در حداقل زمان انجام می‌دهد.

۲ روش تحقیق

الگوریتم پارکر-اولدنبرگ[۱] در ۱۹۷۴ ارائه شد، این الگوریتم توسط اورتیز و آگروال[۲] (۲۰۰۵) برای تعیین تغییرات افقی لایه‌ها استفاده و به صورت کد متلب ارائه شد. ژائو و سان[۳] (۲۰۱۹) نشان دادند که مثبت فرض کردن جهت Z به سمت بالا در مدل‌سازی پیشرو و وارون خطا ایجاد می‌کند. آنها جهت محور Z را به سمت پایین مثبت فرض کردند سپس برنامه اورتیز و آگروال را مجدداً براساس اصلاحات انجام شده بازنویسی کردند. پارکر تبدیل فوریه آنومالی گرانی ناشی از یک لایه ناهموار و یکنواخت را به شرح زیر ارائه داد:

$$F[\Delta g] = 2\pi G\rho e^{(-|\vec{k}|z_0)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{|\vec{k}|^{n-1}}{n!} F[h(\vec{r})^n] \qquad (۱)$$

که در آن $F[\,]$ عملگر تبدیل فوریه، $\vec{h}r$ ارتفاع نسبی که نشان دهندهٔ متوسط عمق موهو است، G ثابت جهانی گرانش، k عدد موج و ρ تباین چگالی است که به صورت اختلاف چگالی بین لایه بالایی و لایه پایینی $\rho = \rho_{below} - \rho_{above}$ تعریف می‌شود. هنگامی که جهت مثبت محور Z به سمت پایین باشد تبدیل فوریه آنومالی گرانی از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$F[\Delta g] = -2\pi G\rho e^{(-|\vec{k}|z_0)} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{|\vec{k}|^{n-1}}{n!} F[h(\vec{r})^n] \qquad (۲)$$

به ظاهر یک منفی به رابطه اضافه شده است، اما باید تبدیل فوریه آن براساس جهت Z جدید برای آنومالی گرانی محاسبه شود. عمق تغییر نمی‌کند. در نهایت معادله وارون برای روش بهبود یافته پارکر-اولدنبرگ به شکل زیر نوشته می‌شود (ژائو و سان؛ ۲۰۱۹).

$$F[h(\vec{r})] = -\frac{F[\Delta g]e^{|\vec{k}|z_0}}{2\pi G\rho} + \frac{|\vec{k}|F[(h(\vec{r}))^2]}{2!} + \frac{|\vec{k}|F[(h(\vec{r})^3]}{3!} + \frac{|\vec{k}|^3 F[(h(\vec{r})^4]}{4!} - \cdots \qquad (۳)$$

۳ مروری بر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

فلات ایران بین دو صفحه اوراسیا و عربستان واقع شده است و به لحاظ زمین ساختی به نوار چین‌خورده زاگرس، البرز، کپه داغ، ایران مرکزی و دشت لوت تقسیم می‌شود. کمربند کوهزایی زاگرس در ایران قسمتی از کوه آلپ-هیمالیا با وسعتی حدود ۲۰۰۰ کیلومتر در جهت شمال باختری-جنوب خاوری از شمال تا جنوب ایران گسترش یافته است. براساس مطالعات انجام شده توسط دهقانی و ماکریس (دهقانی و ماکریس، ۱۹۸۳) حداکثر ضخامت پوسته در بخش اصلی زاگرس با مقدار ۵۰-۵۵ کیلومتر و مقدار متوسط عمق موهو در ایران در حدود ۴۰ کیلومتر است. این کمربند از سه پهنه موازی و مرتبط شامل مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر، پهنه سنندج-سیرجان و کمربندی چین‌خورده ساده می‌باشد. منطقه محلات بخشی از زون سیرجان-سنندج واقع شده است. ساختارهای اصلی این منطقه عبارتند از شیل، ماسه سنگ، سنگ آهک و برخی سنگ‌های آتش‌فشانی. چند گسل عمده در این منطقه شناسایی شده است که یکی از مهمترین گسل‌ها، گسل دلیجان است.

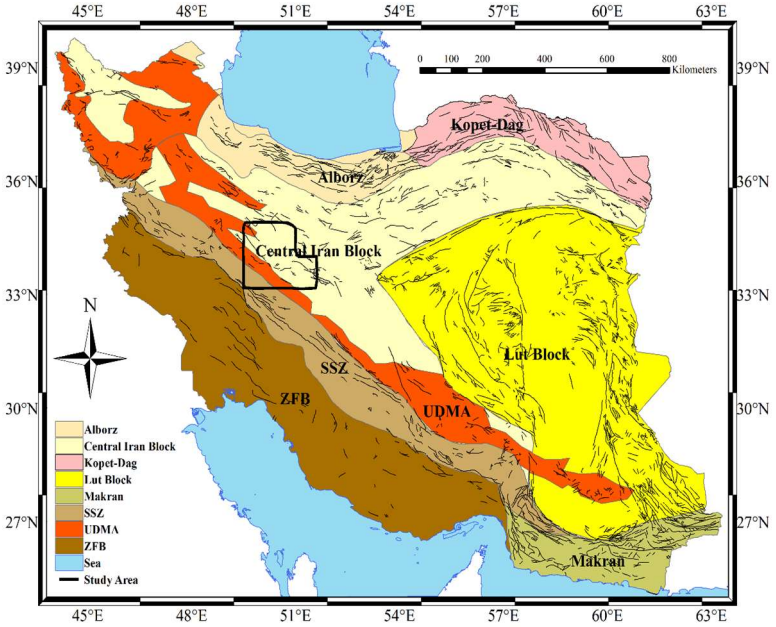
۴ داده مصنوعی

تباین چگالی مدل مصنوعی برابر ۰/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. عمق مدل از ۱۰ تا ۳۰ کیلومتر و عمق متوسط آن

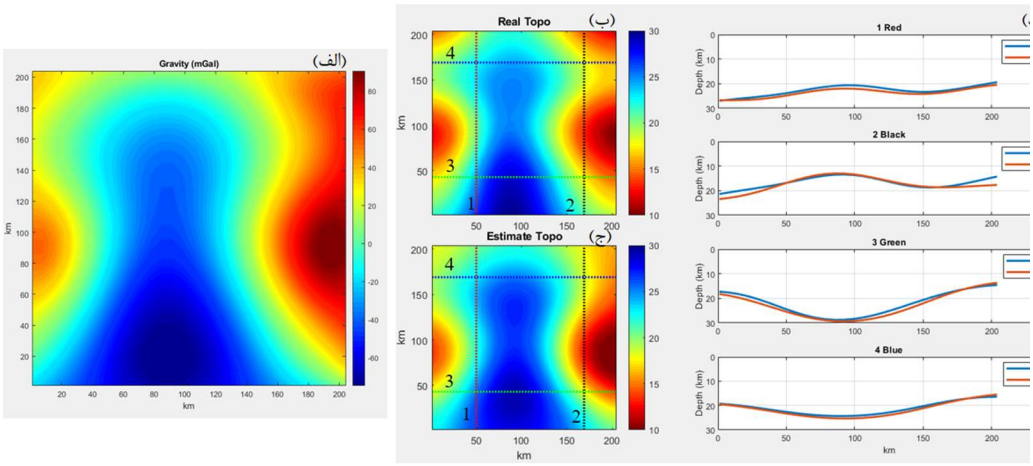
---

[۱] Parker-Oldenberg
[۲] Oritz, and Agarwal
[۳] Gao and Sun

۲۰ کیلومتر است. طول و عرض مدل ۲۰۴ کیلومتر و فاصله نمونه برداری ۷ کیلومتر است. اثر گرانی مدل در شکل۲ الف نشان داده شده است. با استفاده از روش جدید عمق مدل مصنوعی برآورد شده و در شکل ۲ با عمق واقعی مدل مقایسه شده است. نتایج وارون سازی با مقادیر عمق مدل مصنوعی همخوان است.



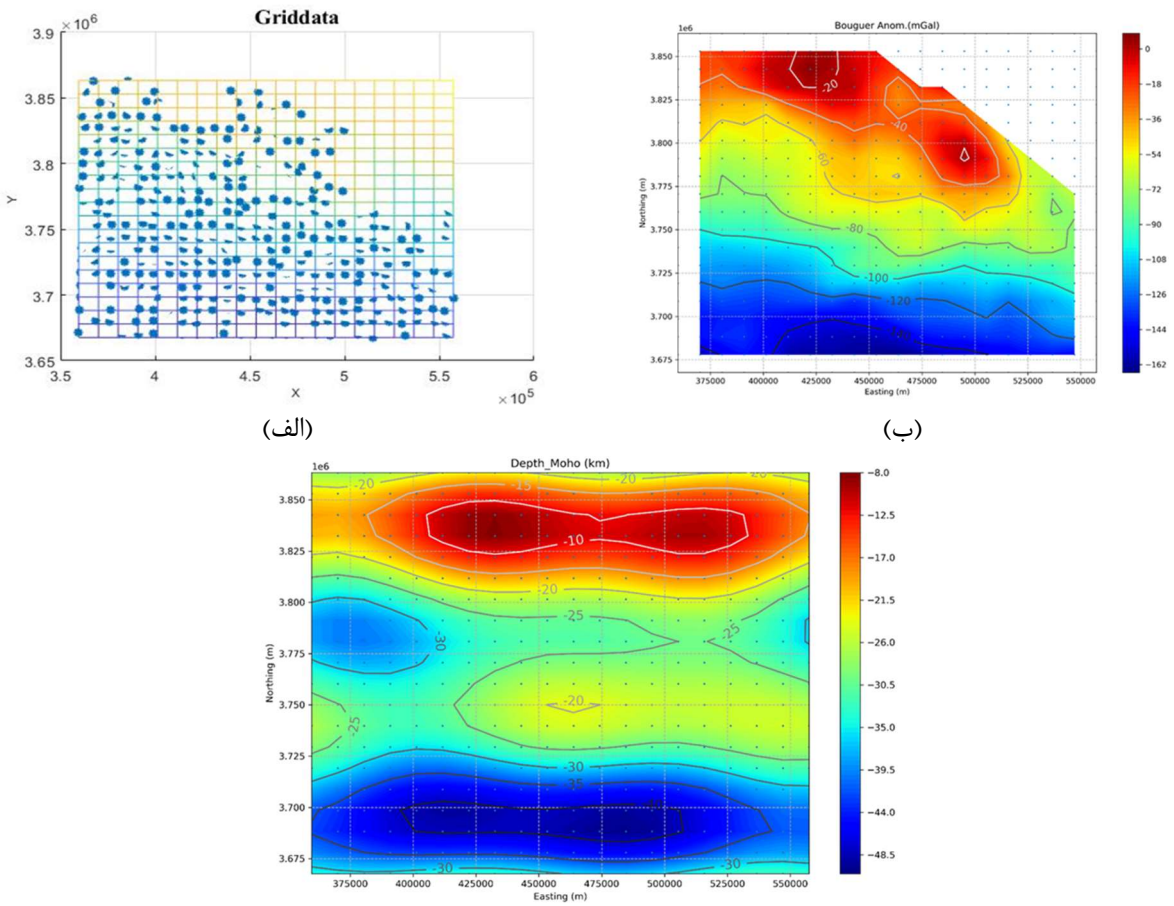
شکل ۱. نمایی از ساختار زمین شناسی ایران و منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲. الف) نقشه گرانی مدل مصنوعی ب) توپوگرافی مدل مصنوعی ج) توپوگرافی تخمین زده شده با استفاده از وارون‌سازی د) مقایسه بین توپوگرافی تخمین شده شده (ET) با توپوگرافی مدل مصنوعی (RT).

۵ داده واقعی

منطقه مورد مطالعه شامل ۳۷۰ داده گرانی است. به دلیل پراکندگی نقاط ابتدا با استفاده از کد متلب داده‌ها گرید شده است و یک ماتریس ۲۰ در ۲۰ ایجاد شد. طول داده‌ها در راستای محور Y و X ۲۰۰ کیلومتر است. برای وارون‌سازی تباین چگالی برابر با ۰/۳ کیلوگرم بر متر مکعب و مقدار عمق میانگین برابر با ۳۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. نتیجه نهایی بعد از ۱۰ تکرار بدست آمده است. عمق موهو در حدود ۸ تا ۴۸ کیلومتراندازه‌گیری شد. نتایج با بررسی‌های قبلی در این منطقه و مطالعات پیشین تطابق مناسبی نشان داد. بی‌هنجاری گرانی محاسبه شده در این قسمت به‌طور تقریبی شبیه به بی‌هنجاری گرانی ورودی است.



(الف) (ب)

(ج)

شکل۳. الف) نقاط داده‌های گرانی پس از گریدکردن ب) نمایش نقشه آنومالی گرانی مشاهده شده ج) عمق موهو تخمین زده شده توسط وارون‌سازی.

منابع

- Blakely, R. J., 1996, Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications, Cambridge University Press, Cambridge.
- Dehghani, G. A., and J. Makris. "The gravity field and crustal structure of Iran." Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen (1984): 215-229.
- Gomez-Oritz D., and Agarwal B., (2005). 3DINVER.M:a MATLAB program to invert the gravity anomaly over a 3D horizontal density interface by Parker -Oldenberg's algorithm, Computers & Geosciences, 31, Issue 4, pages 513-520
- Oldenberg D,W., (1974). The inversion and interpretation of gravity anomalies,Geophys, 39, NO.4,pp.526-536.
- Parker R.L., (1972). The rapid calculation of potential anomalies, Geophys. J. R. astr. Soc, 31, pp. 447-455
- Parker, R.L., 1973. The Rapid Calculation of Potential Anomalies. Geophys. J. R. 31, 447–455.
- Xiuhe Gao, Siyuan Sun ،2019 ،DINVER.M: A MATLAB program to invert the gravity anomaly over a 3D horizontal density interface by Parker-Oldenburg's algorithm.