

## عمق پیسنگ با روش پارکر-اولدنبورگ: کویر مرکزی ایران

سمیرا بایرام زاده کلخوران<sup>۱</sup>، سیدهانی متولی عنبران<sup>۲</sup>، وحید ابراهیم زاده اردستانی<sup>۳</sup>

دانشجوی ارشد، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران، s.bayramzadeh@ut.ac.ir

دانشیار، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران، motavalli@ut.ac.ir

آسستاد، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران، ebrahimz@ut.ac.ir

### چکیده

در این مقاله به بررسی روش پارکر-اولدنبورگ یا روش تعمیم یافته‌ی پارکر در یافتن عمق پی سنگ، می‌پردازیم. بیشتر مقالات از این روش برای تخمین عمق مoho در زیر زمین برای یافتن زمینساخت، محل زمین لرزه‌ها و یا اکتشافات معدنی استفاده کرده‌اند. برای درک بهتر روش، جواب‌های به دست آمده را اعتبارسنجی کرده و بر روی داده‌های واقعی منطقه‌ای از کویر مرکزی ایران اعمال می‌کیم تا از طریق آن به مدل‌سازی و سپس تخمین عمق پی سنگ این منطقه دست یابیم و تحلیلی بر روی داده‌های آن داشته باشیم همچنین خطای rms و شواهد زمین‌شناسی نیز تأیید کننده‌ی نتایج خواهند بود.

واژه‌های کلیدی: گرانی سنگی، پی سنگ، تخمین عمق، میدان پتانسیل

### bedrock depth by Parker-Oldenberg: study central desert of Iran

Samira Bayramzadeh kalkhoran<sup>1</sup>, Seyed-Hani Motavalli-Anbaran<sup>2</sup>, Vahid Ebrahimzadeh Ardestani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Senior student, Geophysics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Geophysics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>3</sup>Professor, Geophysics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

### Abstract

In this study, the Parker Oldenburg method, also known as Parker's generalized method, is utilized to ascertain the depth of the basement. This specific approach has been extensively employed in numerous studies to determine the depth of the Moho boundary, which in turn aids in the identification of tectonic activities, occurrences of earthquakes, and various other phenomena. In order to obtain a comprehensive understanding of this method, Ultimately, the method is applied to actual data from a region located in the central desert of Iran. This endeavor allows us to construct a model and subsequently determine the depth of the basement within this specific region, while concurrently analyzing the data. Also, rms error and geological evidence will confirm the results.

**Keywords:** Gravimetry, basement, depth estimation, potential field

### ۱ مقدمه

گرانی سنگی روش موثر و نسبتاً ارزان برای برآورد مشخصات پی سنگ و حوضه‌های رسوبی است. پی سنگ در زمین‌شناسی در واقع سطحی که زیر آن، تغییرات خواص سنگ تاثیر زیادی بر مشاهدات نداشته و پایین‌ترین سطح

موردنظر یا نزدیک به لایه های زیرین پوسته زمین و حتی ما قبل آن باشد تعریف می شود ولی اکثرا در نزدیکی سطح زمین یا لایه های عمدتاً فوکانی پوسته قرار می گیرد.

در اینجا با استفاده از مدل سازی داده های گرانی سنجی موجود در کویر مرکزی و روش وارون تکراری صفحه نامحدود از طریق روش پارکر اولدنبورگ، عمق پی سنگ برآورد می شود. الگوریتم های تهیه شده بر اساس روش مذکور، طی تکرارهای متفاوت تا رسیدن به مقدار همگرایی، مدل اولیه را بهبود می بخشد و شامل برنامه پیشرو و مشتق گیری هایی در برنامه ای اصلی معکوس سازی بیان می شوند. برای آزمایش صحت روش، اول درستی الگوریتم بر روی داده های تولیدی از یک مدل مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت که به لحاظ زمین شناسی و ژئومورفولوژی مورد تایید بود؛ در نهایت، وارون سازی داده های واقعی گرانی سنجی انجام شد و با مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج مطالعات، عملکرد مناسب آن مشخص شد. در صورت استفاده از داده های واقعی علاوه بر توابع ریاضی مانند خطای rms، شواهد زمین شناسی نیز تأیید کننده ای نتایج هستند.

## ۲ روش تحقیق

روش های متفاوتی برای جداسازی آنومالی های پوسته ای وجود دارد که هدف بیشتر آن ها تهیه هندسه پی سنگ است. مثلاً کوردل و هندرسون (۱۹۶۸)، دیریلوس و ووگل (۱۹۷۲) و بهاسکارا رالو و رامشبایو (۱۹۹۱) از تخمین منبع آنومالی با یک سری منشورهای راست گوشه با تابیان چگالی ثابت و یا تسوبوی (۱۹۸۳) با لایه های هم سایز فرض را انجام دادند. اولدنبورگ در سال ۱۹۷۴ الگوریتمی با یک سری دوباره سازی های پی در پی توسط الگوریتم مستقیم پارکر (۱۹۷۳) که یک روش کاربردی براساس روش گرانی سنجی شبیه به روش "وینینگ منز" بود، براساس تبدیل فوریه آنومالی گرانی، نتیجه ای از جمع تبدیل فوریه های توانی را به شکل سطحی که باعث آنومالی شده است فرض کرد. در واقع روش پارکر - اولدنبورگ یک روش تکرار شونده در فضای فرکانسی طبق یک رابطه تبدیل فوریه است. در این روش تعیین ۵ پارامتر مهم است: سطر و ستون شبکه، متوسط عمق سطح، تابیان چگالی بین پوسته و پی سنگ، مشخص کردن پارامترهای فیلتر پایین گذر، مقیاس همگرایی.

اولدنبورگ برای محاسبه آنومالی گرانی به جای  $\rho$ ،  $\Delta g$  قرارداد و از معادله برای محاسبه عمق و مرز لبه ها با چگالی متفاوت استفاده کرد :

$$\Delta \rho = \Delta \rho_0 e^{-\alpha z} = \rho_{\text{پایه}} - \rho_{\text{تابیان}} \quad (1)$$

$\Delta g$  تابیان چگالی بین سنگ های سطحی و زیر فصل مشترک چگالی،  $\alpha$  ثابت کاهش با ابعاد عکس طول است.

$$F[\Delta g] = -2\pi\rho G e^{-(\alpha+|k|^2)z_0} \sum_{n=1}^{\infty} (\alpha + |k|^{n-1}) / n! F[h^n(r)] \quad (2)$$

حال با در نظر گرفتن حالت یک بعدی و تغییر حد پایین سیگما، مدل سازی توپوگرافی سطح تغییر چگالی در یک معکوس سازی بازگشتی را بیان می کند:

$$F[h(r)] = \frac{-F[\Delta g] e^{|k|z_0}}{2\pi\rho G} - \sum_{n=2}^{\infty} |k|^{n-1} / n! F[h^n(r)] \quad (3)$$

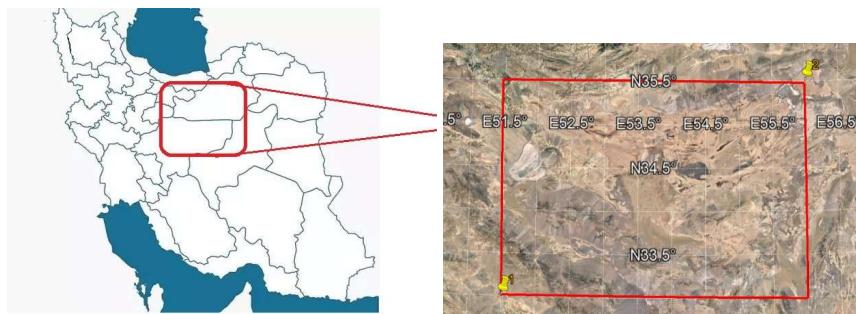
تعمیم فرمول قبل در حالتی که در مرز پایین و مسطح نبودن لایه قرار دارد، آسان است. با قراردادن  $Z=g(r)$  و چگالی های مختلف برای تعداد زیادی لایه انجام داد:

$$f[\Delta g] = -2\pi\rho G e^{-|k|z_0} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{|k|^{n-1}}{n!} f[\rho(\vec{r})\{h^n(\vec{r}) - g^n(\vec{r})\}] \quad (4)$$

مشکل طرح پارکر جدا از واگراشدن داده ها در تکرارها، یافتن مدل در یک فرایند بهشت ناپایدار است که اولدنبورگ برای رفع آن یک فیلتر پایین گذر جهت اطمینان از همگرایی سری ها استفاده کرد که همزمان، حذف نویز و اغتشاشات تصویر و کاهش جزئیات آن را به همراه داشت. [ Oldenburg DW, 1974 ]

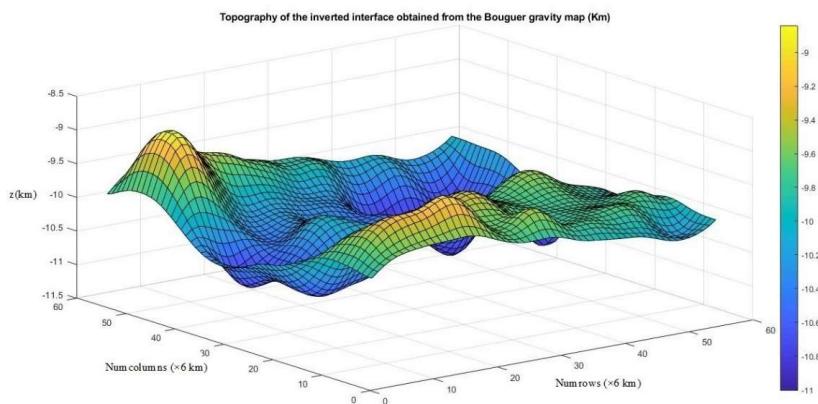
$$B(K) = \begin{cases} 1 & WH > \left| \frac{K}{2\pi} \right| \\ \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos \left( \frac{K - 2\pi WH}{2(SH - WH)} \right) \right] & WH \leq \left| \frac{K}{2\pi} \right| \leq SH \\ 0 & SH < \left| \frac{K}{2\pi} \right| \end{cases} \quad (5)$$

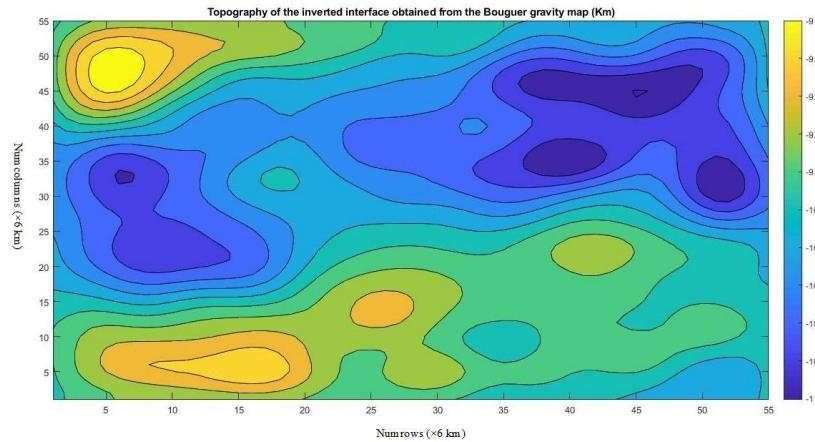
منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از کویر مرکزی که برگرفته از ۳۰۲۵ نقطه و طول جغرافیایی ۳۱ تا ۵/۳۵ درجه و عرض جغرافیایی ۵۱/۵ تا ۵۶ درجه است و شامل روستاهای ترود، معلمان، کلاته، سرخه محله، کوهان‌آباد، گرمسار، ورامین، دولاشی، جندق، کوه گوگرد، کوه نجعیر، سایه کوه، دریاچه نمک، پرجاجت، عروسان، کویر مصر، نخلک، سرخ شاد، قلعه سردار، کوه یخ‌آب، مرنجاب، خور، فرخی، چوپانان، کوه دام، لطیف، نظر، پشت بادام، بیاضه، اردیب، کبودان، انارک، افشنین، زواره، اردستان، ساه است.



شکل ۱. محدوده‌ی جغرافیایی کویر مرکزی ایران

محدوده‌ی  $x$  و  $y$  داده های گرانی حاصل از اندازه گیری ماهواره‌ای از ۱۸۰ کیلومتر تا ۴۸۶ کیلومتر با شبکه بندی ۵۵ در فاصله‌ی ایستگاه ۶ کیلومتر با تباين چگالی  $0.5g/cm^3$ . در نظر گرفته شد. طبق بررسی های مختلف در عمق ها و محدوده‌ی پارامترهای فرکانسی در فیلتر پایین گذر با  $rms = 0.0063$  با فرآیند ۱۰ تکرار، عمق متوسط تقریبی ۱۰ کیلومتر، بهترین پاسخ برای تخمین عمق پی‌سنگ منطقه مورد مطالعه است که تطابق خوبی بین داده های مشاهده‌ای و محاسباتی رخ می‌دهد.





شکل ۲. توپوگرافی پی سنگ منطقه کویر مرکزی ایران با روش پارکر - اولدنبورگ

### ۳ نتیجه‌گیری

در این پژوهش با به کارگیری روش پارکر - اولدنبورگ در کویر مرکزی که یکی از مناطق زمین‌شناسی مهم و منحصربه فرد و پهناورترین کویر ایران است، در محدوده جغرافیایی ۵۱ تا ۵۶ درجه شرقی و ۳۳ تا ۳۵/۵ درجه شمالی در مرکز فلات ایران با طول ۸۰۰ کیلومتر و عرض تقریبی ۳۲۰ (۵۰۰ تا ۶۰۰ هم ذکر شده) کیلومتر و مساحتی حدود ۷۷۶۰۰ کیلومتر مربع انجام گرفت. هر دو داده مصنوعی (داده مصنوعی بیش از علت محدودیت صفحات مقاله در این متن ارائه نشده است) و ماهواره‌ای بازیابی شدند. داده‌های گرانی استفاده شده جهت تخمین عمق پی‌سنگ، به دلیل گسترش تعداد و تجزیه و تحلیلی که در آن‌ها انجام گرفت، یکنواختی و پراکندگی مناسبی دارند. مدل عمق سازگار ۱۰ کیلومتر است و از این عمق به بعد، وضوح کم تصاویر و جزئیات را در زیرزمین خواهیم داشت.

### منابع

- نوروزی، غ.، ۱۳۹۲، ژئوفیزیک اکتشافی . تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- ابراهیم‌زاده اردستانی، و، ۱۳۸۹، گرانی‌سنگی کاربردی (اکتشاف کانی، زمین‌شناسی مهندسی) چاپ اول، تهران: دانشگاه تهران.
- س کورور، ای. اس. ر، ۱۳۸۸، مبانی اکتشافات ژئوفیزیک. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی.
- Oldenburg, D.W.1974.The inversion and interpretation of gravity anomalies. Geophysics, 39(4), pp.526-536.
- Gómez-Ortiz D, Agarwal BN3.DINVER. M: a MATLAB program to invert the gravity anomaly over a 3D horizontal density interface by Parker–Oldenburg's algorithm. Computers & geosciences. 2005;31(4):513-20.
- Dehghani, G.A. and Makris, J.1984. The gravity field and crustal structure of Iran. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, pp.215-229.
- Foerste C, Sean L. Abrykosov O, Jean M.2014.The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse