

## پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیسی ماهواره‌ای پهنه دریای سرخ

علی امجدی<sup>۱</sup>، بهرام عکاشه<sup>۲</sup>، سید رضا سخایی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>وزارت راه و شهرسازی، اداره کل راه و شهرسازی استان ایلام، ایلام، ایران

<sup>۲</sup>دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، گروه ژئوفیزیک-زلزله‌شناسی، تهران، ایران

<sup>۳</sup>دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه ژئوفیزیک-زلزله‌شناسی، تهران، ایران

### چکیده

اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای تغییرات مکانی و زمانی مغناطیس زمین را با یک پوشش یکنواخت فراهم می‌آورند. این داده‌ها به ما اجازه می‌دهند تا اطلاعات مهمی در مورد آنومالی مغناطیسی پوسته و ارتباط آن با صفحات تکتونیکی به دست آوریم. در این پژوهش، از داده‌های مغناطیسی برداشت‌شده از ماهواره چمپ استفاده می‌نماییم. مدل MF7 با استفاده از داده‌های مغناطیسی ماهواره چمپ تهیه شده است. در جداسازی بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای و باقیمانده از فیلتر ادامه فراسو استفاده شده است. با مقایسه نقشه‌های مربوط به فیلتر ادامه فراسو می‌توان استنباط کرد که چشمه مولد میدان بی‌هنجاری نسبتاً عمیق است.

**واژه‌های کلیدی:** داده مغناطیسی، بی‌هنجاری، فیلتر ژئوفیزیکی، دریای سرخ، ادامه فراسو.

## Processing and interpretation of satellite magnetic data of the Red Sea region

Ali Amjadi<sup>1</sup>, Bahram Akashe<sup>2</sup>, Seyed Reza Sakhaei<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ministry of Roads and Urban Development, Total office of Roads and Urban Development of Ilam province, Ilam, Iran

<sup>2</sup>Department of Geophysics, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Department of Geophysics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

\* Corresponding author: amjadi.gp@gmail.com

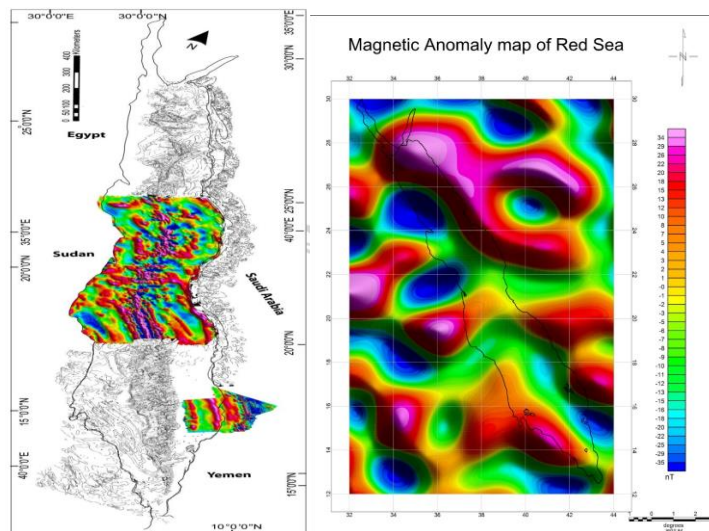
### Abstract

Satellite measurements provide Tempo-Spatial variations of the Earth's magnetism with a uniform coverage. These data allow us to obtain important information about crustal magnetic anomaly and its relationship with tectonic plates. In this research, we use the magnetic data received from Champ satellite. The MF7 model was prepared using Champ satellite magnetic data. In the separation of regional and residual anomalies, the *Upward Continuation Filter* has been used. By comparing the *Upward Continuation Filter* maps, it can be concluded that the source of the anomaly field is relatively deep.

**Keywords:** magnetic data, anomaly, Geophysical filter, Red Sea, *upward continuation*.

## ۱ مقدمه

یکی از ویژگی‌های مغناطیسی اصلی پوسته اقیانوسی در مقایسه با پوسته قاره‌ای، وجود باندهای مغناطیسی ناشی از گسترش کف اقیانوسی است. پوسته اقیانوسی در پشته‌های میان-اقیانوسی با بالا آمدن ماگمای بازالتی در بستر اقیانوس شکل می‌گیرد. باندهای مغناطیسی همزمان با سرد شدن ناگهانی بازالت مذاب که در تماس مستقیم با آب سرد اقیانوس قرار می‌گیرد به موازات پشته‌های میان-اقیانوسی در لیتوسفر اقیانوسی به دام افتاده و فریز می‌شوند. با سرد شدن ماگمای بازالتی، پوسته اقیانوسی جدید شکل گرفته و موقعیت جاری قطب مغناطیسی در زمان سرد شدن، به صورت باندهای بی‌هنجاری مغناطیسی مثبت و منفی (وارونگی قطب‌های مغناطیسی زمین) و متقارن نسبت به پشته میان‌اقیانوسی ثبت می‌شوند. نقشه شدت کل میدان مغناطیسی دریای سرخ توسط هال و همکاران (۱۹۷۷) تهیه شده است (شکل ۱). داده‌های مغناطیسی سه ناحیه مهم با الگوهای بی‌هنجاری متفاوت را نشان می‌دهند که دو تا از آن‌ها به وضوح مربوط به ناوه محوری<sup>۲۹</sup> و سپر پرکامبرین هستند. ناحیه سوم در بین ناوه محوری و سپر است. این زون با دامنه بزرگ (۸۰۰ نانو تسلا) و بی‌هنجاری‌های با طول موج کوتاه ناحیه مشخص شده است که یک الگوی خطی تقریباً موازی با دریای سرخ را تشکیل داده است. منطقه بین ناوه محوری و ساحل دریای سرخ با بی‌هنجاری‌هایی با دامنه کم (۳۰۰ نانو تسلا) و طول موج‌های بلند (نصف طول موج ۳۰ کیلومتر) مشخص می‌شود که روند موازی با ناوه محوری است. بی‌هنجاری‌های با دامنه متغیر (۵۰-۴۰۰ نانو تسلا) و طول موج کوتاه (۵-۳۰ کیلومتر) در سراسر سپر پرکامبرین غالب است.



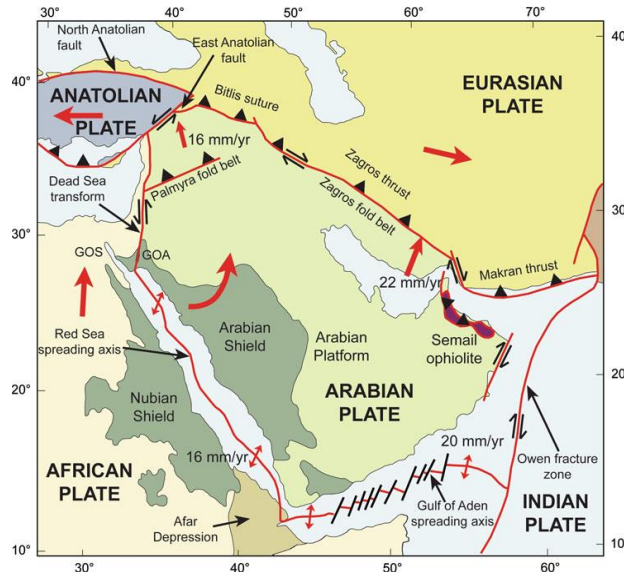
شکل ۱-الف. نقشه بی‌هنجاری دریای سرخ بر اساس داده‌های ماهواره چمپ و مدل MF7 شکل ۱-ب. نقشه بی‌هنجاری‌های مغناطیسی

گردلر و استایلز (۱۹۷۴) سرعت گسترش کف دریای سرخ بر اساس پهنای نوارهای مغناطیسی نزدیک به ۱۴ میلی‌متر در سال برآورد کردند. هال و همکاران (۱۹۷۷، ۱۹۸۹) با جمع‌آوری داده‌های مغناطیسی موجود پیشنهاد کردند که دریای سرخ با فرآیند گسترش دومرحله‌ای (ca 28-24 Ma and ca 5 Ma) تشکیل شده و پوسته اقیانوسی آن در کل عرض دریای سرخ وجود داشته است. در ادامه با استفاده از داده‌های موجود در سایت <http://geomag.org/models/wdmam.html> که مجموعه‌ای از داده‌های ماهواره‌ای، هوایی، دریایی و زمینی است به پردازش داده‌های مغناطیسی بر روی دریای سرخ می‌پردازیم.

## ۲ زمین‌شناسی و زمین ساخت دریای سرخ

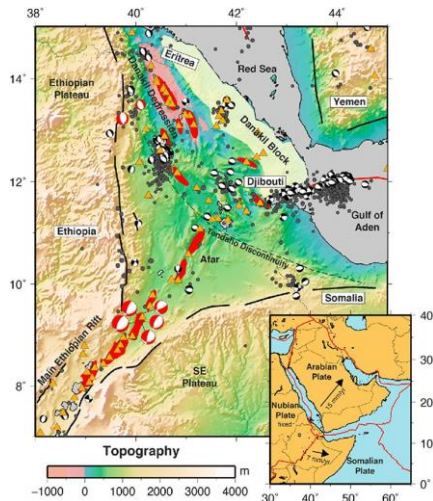
در دریای سرخ محور گسترش مرکزی، با یک سرعت میانگین ۱.۶ سانتی‌متر در سال در حال باز شدن است و تخمین‌های

مختلفی برای قطب چرخش صفحه عربی وجود دارد مانند:  $26^{\circ}\text{N}, 21^{\circ}\text{E}$  (Le Pichon 1968; cf. Fournier et al, 2010) و  $34.6^{\circ}\text{N}, 18.1^{\circ}\text{E}$  (Sultan et al, 1993). همان طور که از پهنای دریای سرخ میان شانه‌های لابه‌های زیرین پرکامبرین مشخص است، این موضوع باعث می‌شود که سرعت بازشدگی در جنوب دریا از شمال آن بیشتر است.



شکل ۲. ویژگی‌های اصلی زمین‌ساختی شبه‌جزیره عربستان و مناطق اطراف آن

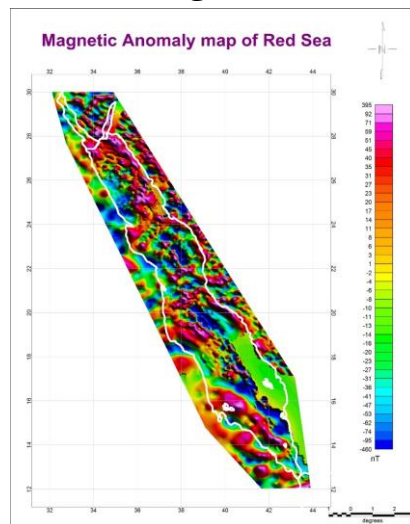
مرز واگرایی دریای سرخ، متشکل از یک رشته پشته‌های میان‌اقیانوسی (به درازای حدود ۲۰۰۰ کیلومتر) با راستای چپ‌به‌راست نزدیک به شمال باختری - جنوب خاوری است. میزان جابجایی صورت پذیرفته در راستای این گسل‌ها و درازای آن‌ها، کمتر از گسل‌های تبدیلی کف خلیج عدن می‌باشد ولی فاصله بین آن‌ها بیشتر است. سرعت واگرایی پشته‌های میان‌اقیانوسی واقع در کف دریای سرخ از  $2/1$  سانتی‌متر در سال در گودی عفار، به  $1/6$  سانتی‌متر در سال در جنوب خلیج عقبه (پایانه باختری دریای سرخ) می‌رسد. بنابراین پشته‌های میان‌اقیانوسی واقع در کف دریای سرخ و خلیج عدن، هر دو از نوع کند گستر (با سرعت گسترش کمتر از ۵ سانتی‌متر در سال) هستند. زون شاین و همکار (۱۹۸۱)، بر اساس بی‌هنجاری‌های مغناطیسی، نرخ متوسط گسترش در چند میلیون سال اخیر را  $1/6$  سانتی‌متر در سال تخمین زده‌اند. این نرخ گسترش ثابت نبوده و تغییرات زیادی را از ۲ سانتی‌متر در سال (۱۸۹ - ۱۷۱ میلیون سال پیش)، به ۳ سانتی‌متر در سال (۶۹ - ۸۹ میلیون سال پیش) و سپس  $1/4$  سانتی‌متر در سال (۶۹ میلیون سال پیش)، متحمل شده است. یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که پوسته زیر گودال داناکیل، مرحله نهایی شکستگی قاره‌ای را نشان می‌دهد و بنابراین یک گستره بی‌همتاست که در مرحله انتقال بین کافتش قاره‌ای و گسترش بستر اقیانوس است. در شمال این گودال، فرازمین داناکیل قرار دارد که به آن خردقاره داناکیل هم گفته شده است. تشکیل این فرازمین در هنگام جدایش صفحه عربی از آفریقا انجام پذیرفت. پیش‌بینی برخی دانشمندان نشان می‌دهد که در پنج میلیون سال آینده، پشته میان‌اقیانوسی انتهای جنوب خاوری دریای سرخ، از شمال فرازمین داناکیل به جنوب آن منتقل گردد. به‌این ترتیب، داناکیل از شمال صفحه آفریقا جدا شده و به‌عنوان یک خردقاره به جنوب صفحه عربی می‌پیوندد (آرین، م. ۱۳۹۷).



شکل ۳. گودال عفار و ناحیه پیرامون آن (Keir et al, 2013). بلوک داناکیل با رنگ زرد نشان داده شده است. مثلث‌های نارنجی نشان‌دهنده فعالیت آتشفشانی در طول هولوسن است (برنامه آتشفشان خیزی جهانی، ۲۰۱۳). بخش پایین نیز نشان‌دهنده حرکات صفحه منطقه نسبت به صفحه ثابت نوبی است (ArRajehi et al, 2010).

### ۳ روش تحقیق

شکل ۴ نقشه بی‌هنجاری مغناطیسی را برای دریای سرخ نشان می‌دهد. در طیف رنگی به کار رفته رنگ آبی پررنگ برای پایین‌ترین شدت و با افزایش شدت، میدان به رنگ‌های سبز، زرد، نارنجی و قرمز تغییر می‌کند. بیشینه مقدار اندازه‌گیری شده ۳۹۵ نانو تسلا و کمینه مقدار آن ۴۶۰- نانو تسلا است و تغییراتی به بزرگی ۸۵۰ نانو تسلا در منطقه دیده می‌شود. کلیه اعمال پردازشی در ادامه بر روی این نقشه انجام می‌شود. با نگاه به شکل متوجه می‌شویم که با مجموعه‌ای از باندها و لایه‌ها از غرب به شرق سروکار داریم که راستای کشیدگی آن‌ها شمال غرب به جنوب شرق است. در رابطه با سیگنال مغناطیسی مشاهده‌شده و منشأ تولید کننده آن در قسمت قبل توضیحات کافی داده شد.



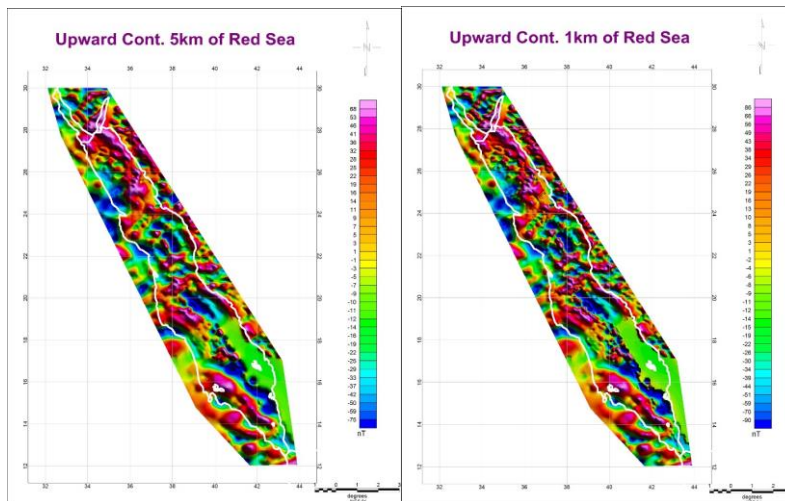
شکل ۴. نقشه بی‌هنجاری‌های مغناطیسی بر اساس داده (Maus et al. (2007) <http://geomag.org/models/wdmam.html>

### ۳-۱: روش ادامه به فراسو

روش ادامه به فراسو میدان پتانسیل اندازه‌گیری شده در یک سطح را به میدانی که می‌تواند در روی یک سطح دیگر و دور از تمام منشأها اندازه‌گیری شود تبدیل می‌کند. این تبدیل ناهنجاری‌ها را نسبت به طول موج آن‌ها تضعیف می‌کند، هر چه

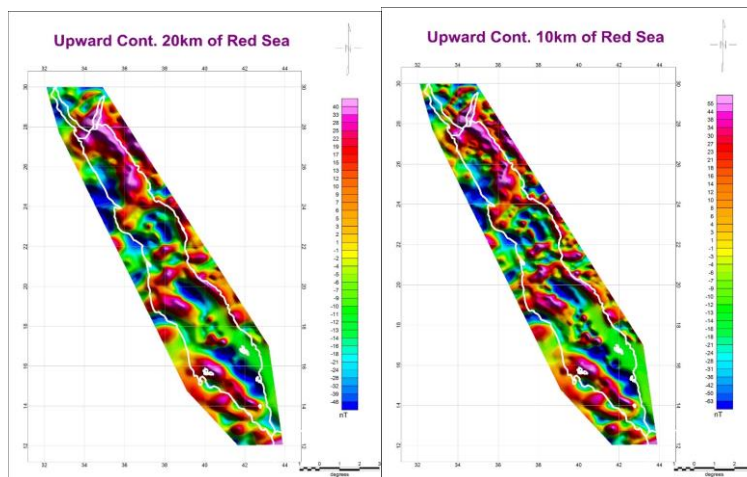


طول موج کوتاه تر باشد، تضعیف بزرگ تر است و هر چه طول موج بلندتر باشد تضعیف آن کم تر است. به عبارتی این فیلتر با طول موج رابطه معکوس دارد. فرایند ادامه به فراسو داده های اندازه گیری شده را تنزل می دهد، این تبدیل ناهنجاری های تولید شده توسط منشأ های عمیق را نسبت به ناهنجاری های ایجاد شده توسط منشأ های کم عمق برجسته می کند و نوفه ها و بی هنجاری های سطحی فرکانس بالا را تضعیف می نماید. با استفاده از این فیلتر می توان تخمینی کیفی از عمق چشمه های مغناطیسی و روند گستردگی در عمق به دست آورد. در روش ادامه فراسو ساختارهایی با طول موج کوتاه تضعیف و ساختارهای طول موج بلند و عمیق تقویت می شوند. با استفاده از این فیلتر می توان تخمینی کیفی از عمق چشمه های مغناطیسی و روند گستردگی در عمق به دست آمده آورد. این پردازش متناسب با شبکه برداشت برای ارتفاع های مختلف انجام می شود. در اینجا ما این فیلتر را برای ارتفاع های ۱، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ کیلومتر اعمال کردیم. شکل های ۵ تا ۹ نتایج حاصل از اعمال این تبدیل است. همان طور که مشاهده می شود با افزایش مقدار ادامه به فراسو اثر چشمه های سطحی و نوفه ها، تضعیف و گستره و شدت بی هنجاری ها به تدریج کاسته می شود. با مقایسه شکل های ادامه به فراسو می توان استنباط کرد که چشمه مولد میدان بی هنجاری نسبتاً عمیق است.



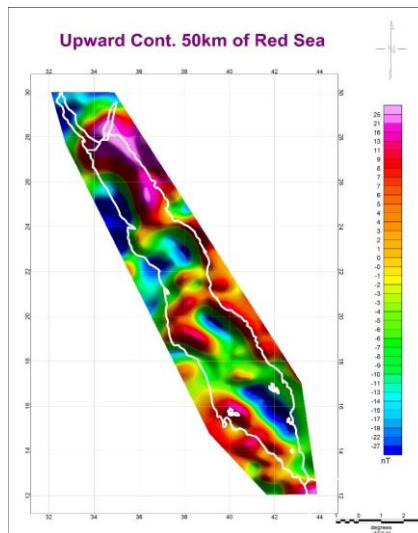
شکل ۶. نقشه ادامه به فراسو برای ارتفاع ۵ کیلومتری

شکل ۵. نقشه ادامه به فراسو برای ارتفاع ۱ کیلومتری



شکل ۸. نقشه ادامه به فراسو برای ارتفاع ۲۰ کیلومتری

شکل ۷. نقشه ادامه به فراسو برای ارتفاع ۱۰ کیلومتری



شکل ۹. نقشه ادامه به فراسو برای ارتفاع ۵۰ کیلومتری

#### ۴ نتیجه گیری

با افزایش مقدار ادامه به فراسو اثر چشمه‌های سطحی و نوفه‌ها، تضعیف و گستره و شدت بی‌هنجاری‌ها به تدریج کاسته می‌شود. با مقایسه شکل‌های ادامه به فراسو می‌توان استنباط کرد که چشمه مولد میدان بی‌هنجاری نسبتاً عمیق است. با افزایش مقدار ادامه به فراسو اثر چشمه‌های سطحی و نوفه‌ها، تضعیف و گستره و شدت بی‌هنجاری‌ها به تدریج کاسته می‌شود. بیشینه مقدار اندازه‌گیری شده ۳۹۵ نانو تسلا و کمینه مقدار آن ۴۶۰- نانو تسلا است و تغییراتی به بزرگی ۸۵۰ نانو تسلا در منطقه دیده می‌شود.

#### References:

- [Najeeb M.A. Rasul, Ian C.F. Stewart](#) (2015) *The Red Sea: The Formation, Morphology, Oceanography and Environment of a Young Ocean Basin* (Springer Earth System Sciences)
- Hall, SA, Andreasen, GE & Girdler, RW 1977, **Total intensity magnetic anomaly map of the Red Sea adjacent coastal areas**, a description and preliminary interpretation, in L S Hilpert (eds), *Red Sea Research 1970-1975*, Saudi Arabian Ministry of Petroleum and Mineral Resources, DGMR Bulletin 22, Jeddah, pp. F1-F15.
- Girdler RW, Styles P (1974) **Two stages Red Sea floor spreading**. Nature 247:7-11.
- Girdler RW, Underwood M (1985) **The evolution of early oceanic lithosphere in the southern Red Sea**. Tectonophysics 116:95-108.
- Le Pichon X (1968) **Sea-floor spreading and continental drift**. J Geophys Res 73:3661-3697
- Sultan M, Becker R, Arvidson RE, Shore P, Stern RJ, El Alfy Z, Attia RI (1993) **New constraints on Red Sea rifting from correlations of Arabian and Nubian Neoproterozoic outcrops**. Tectonics 12:1303-1319.
- Fournier M, Chamot-Rooke N, Petit C, Huchon P, Al-Kathiri A, Audin L, Beslier M-O, d'Acremont E, Fabbri O, Fleury J-M, Khanbari K, Lepvrier C, Leroy S, Maillot B, Merkuriev S (2010) **Arabia-Somalia plate kinematics, evolution of the Aden-Owen-Carlsberg triple junction, and opening of the Gulf of Aden**. J Geophys Res 115:B04102. doi:10.1029/2008JB006257
- ArRajehi A, McClusky S, Reilinger R, Daoud M, Alchalbi A, Ergintav S, Gomez F, Sholan J, Bou-Rabee F, Ogubazghi G, Haileab B, Fisseha S, Asfaw L, Mahmoud S, Rayan A, Bendik R, Kogan L (2010) **Geodetic constraints on present-day motion of the Arabian Plate: Implications for Red Sea and Gulf of Aden rifting**. Tectonics 29: TC3011, doi:10.1029/2009TC002482