شناسایی خطواره‌های مغناطیسی با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشنال، مطالعه موردی شرق ایران

مصطفی موسی‌پور یاسوری[۱]، سیدهانی متولی عنبران[۲]، راضیه صفیان بلداجی[۱]، احمد الوندی[۱]، روشنک رجبلو[۱]

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

چکیده

از خطواره‌های مغناطیسی برای شناسایی و تشخیص ساختارهای زمین شناسی استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای شناسایی خطواره وجود دارد که عموما برپایه گرادیان افقی و قائم هستند که به نوفه حساس‌اند. در سال‌های اخیر روش‌های یادگیری ماشین درحل مسائل ژئوفیزیکی توسعه پیدا کرده وکاربرد آن درحال افزایش است. در این پژوهش از روش شبکه عصبی کانولوشنال (**CNN**) که زیرمجموعه‌ای از روش‌های یادگیری ماشین است برای تعیین خطواره مغناطیسی شرق ایران استفاده می‌شود. این روش توسط اسمیت و ناپرستک (۲۰۲۲) توسعه داده شده است. با ترکیب اطلاعات حاصل از خطواره‌های مغناطیسی و اطلاعات زمین شناسی، گسل‌ها و مرزهای تکتونیکی شرق ایران تفسیر شده است. خطواره‌های مغناطیسی استخراج شده با ساختارهای خطی منطقه ازجمله گسل‌های درونه، نهبندان، نایبندان، ازبک کوه، بیابانک، زرند تطابق خوبی داشته است و نیز باتوجه به گسل‌ها محدوده بلوک لوت، بلوک طبس، بلوک یزد، زون تکتونیکی کاشمر_کرمان مشخص شده است.

واژه‌های کلیدی: مغناطیس هوابرد، خطواره مغناطیسی، یادگیری ماشین، شبکه عصبی کانولوشنال، تکتونیک ایران، زون ساختاری.

Identification of magnetic lineaments using convolutional neural networks, Case study of eastern Iran

Moustafa Mousapour Yasoori [1], Seyed-hani Motavalli-anbaran [2], Raziye Safian Boldaji [1], Ahmad Alvandi [1], Roshanak Rajablou [1]

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

Abstract

Aeromagnetic lineaments are used to identify and recognize geological structures. There are Different methods to identify magnetic lineaments which are generally based on horizontal and vertical gradients. These methods are sensitive to noise. Nowadays, machine learning methods for solving geophysical problems have been developed and Its application is increasing. In this research, the Convolutional Neural Network (CNN) method, which is a subset of machine learning methods, is used to determine the aeromagnetic lineaments of eastern Iran. This method was developed by Smith and Naprstek (2022). From the information obtained by lineaments and geological information, The faults and tectonic boundaries of eastern Iran have been interpreted. The extracted magnetic lineaments have a good match with the linear structures of the region, including Doruneh, Nehbandan, Naybandan, Uzbak-Kuh, Biabanak, Zarand faults. In addition, according to the faults, the boundaries of Lut block, Tabas block, Yazd block, Kashmar-Kerman tectonic zone have been determined.

Keywords: aeromagnetic, magnetic lineaments, machine learning, convolutional neural network, Iranian tectonic, tectonic zone

۱ مقدمه

روش‌های متعددی برای شناسایی و برجسته‌سازی خطواره‌های مغناطیسی وجود دارد. این روش‌ها معمولا بر پایه گرادیان‌های افقی و قائم قرار دارند بنابراین وجود نوفه در خروجی این روش‌ها محتمل است. روش‌های جدید برای غلبه بر این محدودیت در حال توسعه است. یکی از این روش‌ها، هوش مصنوعی است که در سال‌های اخیر استفاده از آن در علوم مختلف رواج یافته است. کاربرد روش‌های هوش مصنوعی در حل مسائل ژئوفیزیک با توجه به در دسترس بودن منابع آنلاین و کتابخانه‌های زبان‌های برنامه نویسی از جمله پایتون در حال افزایش است. از هوش مصنوعی در داده‌های لرزه‌ای برای تشخیص گسل (ژانگ و همکارن، ۲۰۱۹)، ردیابی افق لرزه‌ای (یانگ و سان، ۲۰۲۰)، در داده‌های گرانی برای تشخیص ساختارهای نمکی (چن و همکاران، ۲۰۲۰) و در داده‌های مغناطیس برای تشخیص خطواره (آقایی راد، ۲۰۱۹) استفاده شده است. در این پژوهش از روش شبکه عصبی کانولوشنال (CNN) توسعه داده شده توسط اسمیت و ناپرستک (۲۰۲۲) برای تعیین خطواره مغناطیسی شرق ایران استفاده می‌شود.

۲ روش تحقیق

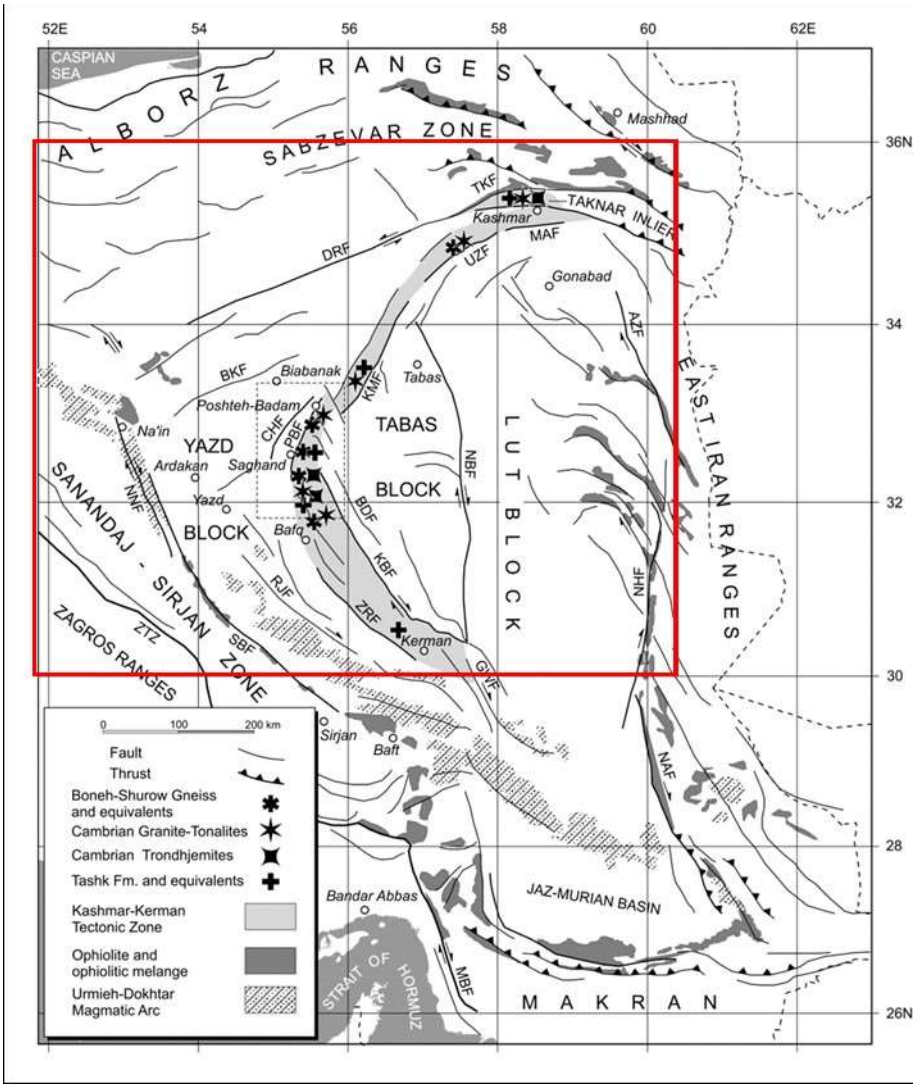
روش CNN یک کلاس از یادگیری عمیق است که برای پردازش تصویر مناسب است و یکی از محبوب‌ترین روش‌ها برای تفسیر و پردازش تعداد زیادی داده است. در یادگیری نظارت شده، سیستم با استفاده از داده‌های برچسب گذاری شده و وزن دادن به لایه‌های پنهان، خروجی را به نتیجه مورد انتظار نزدیک می‌کند. به این فرآیند آموزش سیستم گفته می‌شود. برای آموزش سیستم معمولا تعداد زیادی داده لازم است. پس از آموزش، سیستم حاوی مجموعه‌ای از وزن‌های آموخته شده است که برای پیش‌بینی داده جدید از آن استفاده می‌شود. معماری مدل CNN شامل چندین مؤلفه خاص مانند لایه‌های کانولوشن، لایه‌های ادغام (Pooling layers)، لایه‌های حذفی (Dropout layers)، لایه‌های متراکم (Dens layers)، توابع فعال‌سازی (Activation functions) و الگوریتم بهینه‌سازی است. در اکثر مدل‌های CNN، از چندین لایه کانولوشن استفاده می‌شود. لایه‌های کانولوشن وزن‌هایی را ایجاد می‌کنند که با روش تکرار خروجی نهایی را بهبود می‌بخشند. در این لایه‌ها اندازه کرنل مانند یک فیلتر کانولوشن عمل می‌کند که روی ماتریس ورودی اعمال می‌شود. لایه‌های ادغام یک پنجره متحرک کوچک را به خروجی لایه کانولوشن قبلی اعمال می‌کنند تا اندازه فضایی (و در نتیجه زمان پردازش) را کاهش دهند و در عین حال اطلاعات مورد نیاز را حفظ کنند. از لایه‌های حذفی برای کاهش تطابق بیش از حد مدل CNN با داده‌های آموزشی (که یک مشکل رایج در یادگیری عمیق است) استفاده می‌شود. با حذف مجموعه‌ای از گره‌های تصادفی در یک لایه، مدل CNN بهبود می‌یابد و برای تجزیه و تحلیل کل مجموعه داده یا تصویر به چند ویژگی منتخب تکیه نمی‌کند. هدف توابع فعال‌سازی، نرمال کردن نورون‌ها و معرفی غیرخطی بودن CNN است که بعد از هر لایه اعمال می‌شوند. الگوریتم بهینه سازی، یادگیری کلی را در شبکه عصبی کنترل می‌کند و چگونگی کاهش خطا به کمترین میزان را در طول آموزش تعیین می‌کند. برای این‌کار تابع ضرر (Loss function) بین مقادیر پیش‌بینی‌شده مدل CNN و مقادیر واقعی داده‌های آموزشی محاسبه می‌شود.

در این پژوهش از مدل CNN آموزش داده شده توسط اسمیت و ناپرستک (۲۰۲۲) برای تعیین محل خطواره‌های مغناطیسی استفاده شده است. برای آموزش این مدل از ۱/۴ میلیون داده استفاده شده و در پایان فرایند یادگیری بیش از ۹۵ درصد دقت در داده‌های آموزشی داشته است. از این مدل آموزش دیده شده برای پیش‌بینی خطواره داده مغناطیس هوابرد شرق ایران استفاده شده است.

۳ بررسی داده مغناطیس هوابرد شرق ایران

محدوده مورد بررسی در شرق ایران، از ۵۲ تا ۶۰ درجه طول شرقی و ۳۰ تا ۳۶ درجه عرض شمالی قرار دارد. در تقسیم بندی ساختاری آقانباتی (۱۳۸۳) این منطقه خرد قارهٔ ایران مرکزی و بخشی از ایران میانی است. رمضانی و تاکر (۲۰۰۳) این منطقه را به بلوک لوت، بلوک طبس، بلوک یزد و زون تکتونیکی کاشمر-کرمان تقسیم می‌کنند (شکل ۱). این محدوده از شمال و شمال غربی بوسیله گسل درونه (گسل کویر بزرگ) از شرق بوسیله گسل نهبندان و از جنوب غربی

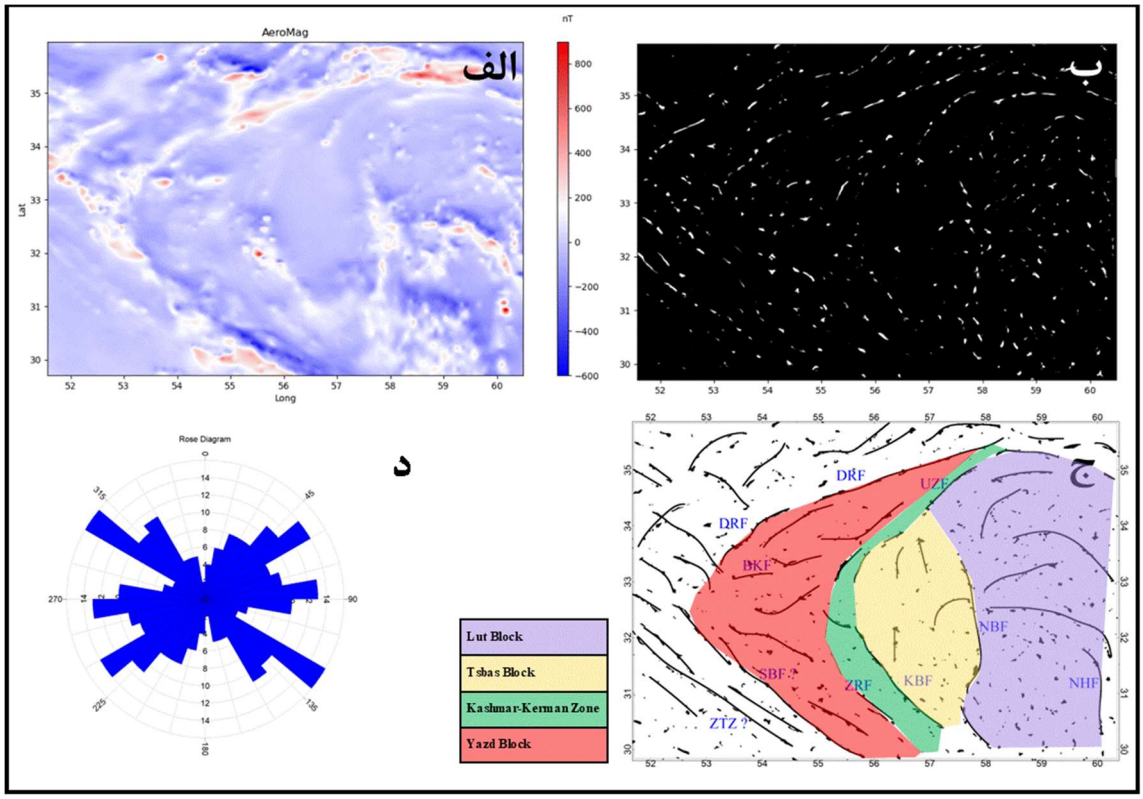
بوسیله گسل نائین و گسل شهربابک محدود می‌شود. گسل نایبندان مرز بین بلوک لوت و بلوک طبس است. بلوک طبس نیز با وسیله زون تکتونیکی کاشمر-کرمان از بلوک یزد جدا می‌شود. افیولیت‌ها در شرق محدوده مورد مطالعه توسط گسل‌ها رخنمون پیدا کرده است.



شکل ۱. نقشه ساختاری شرق ایران برگرفته از رمضانی و تاکر (۲۰۰۳) که زون‌های ساختاری و گسل‌های شرق ایران و نیز محدوده مورد مطالعه با کادر قرمز روی این نقشه مشخص شده است. در این نقشه AZF گسل آبیز،BDF گسل بهاباد، BKF گسل بیابانک، CHF گسل چاپدونی، DRF گسل درونه، GWF گسل گئوک، KBF گسل کوهبنان، KMF گسل کلمرد، MAF گسل مهدی آباد، MBF گسل میناب، NBF گسل نایبندان، NHF گسل نهبندان، NNF گسل نائین، RJF گسل رفسنجان، SBF گسل شهربابک، TKF گسل تکنار، UZF گسل ازبک کوه، ZRF گسل زرند، ZZT زون تراستی زاگرس است.

نقشه مغناطیس هوابرد محدوده، در شکل ۲-الف نمایش داده شده است. روش CNN برروی این داده اعمال شده و نتایج آن در شکل۲-ب آمده است. با توجه به نقشه ساختاری و گسل‌های موجود در شکل ۱، نتایج روش CNN تفسیر شده که در شکل ۲-ج نشان داده شده است. بزرگترین ساختار خطی منطقه، گسل درونه است که با دقت خوبی برآورد شده، همچنین گسل کوهبنان، نهبندان، نایبندان، ازبک کوه، بابانک و گسل زرند نیز در نقشه تفکیک شده‌اند. دو خطواره با گسل شهر بابک و زون تراستی زاگرس با اندک تغییراتی همراستا هستند. با توجه به خطواره گسل‌ها محدوده بلوک لوت، بلوک طبس، بلوک یزد و زون تکتونیکی کاشمر-کرمان برروی این نقشه مشخص شده است. در بلوک لوت خطواره‌هایی در راستای تقریبی شرقی-غربی وجود دارد که احتمالا به دلیل وجود افیولیت در منطقه است. در بلوک طبس خطواره‌هایی در راستای شمال و جنوب مشاهده می‌شود. در زون تکتونیکی کاشمر-کرمان خطواره‌ای همراستا با

گسل بهاباد مشاهده می‌شود که این زون را قطع می‌کند و محل این خطواره با موقعیت گسل بهاباد متفاوت است. در بلوک یزد نیز در قسمت انتهای گسل درونه خطواره‌هایی شرقی-غربی همراستا با گسل بیابانک مشاهده می‌شود.



شکل ۱. الف) نقشه مغناطیس هوابرد محدوده مورد مطالعه. ب) نتایج تعیین خطواره با استفاده از روش CNN. ج) تفسیر نتایج روش CNN و مشخص کردن خطواره‌های مغناطیسی. د) نمودار گل سرخی خطواره‌های مغناطیسی.

منابع

آقانباتی، س. ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنیکشور، تهران.

Aghaee Rad, M.A., 2019. Machine learning of lineaments from magnetic, gravity and elevation maps (*Doctoral dissertation, University of British Columbia*).

Chen, J., Schiek-Stewart, C., Lu, L., Witte, S., Eres Guardia, K., Menapace, F., Devarakota, P. and Sidahmed, M., 2020, October. Machine learning method to determine salt structures from gravity data. *In SPE Annual Technical Conference and Exhibition?* (p. D041S046R007). SPE

Naprstek, T. and Smith, R.S., 2022. Convolutional neural networks applied to the interpretation of lineaments in aeromagnetic data. *Geophysics*, *87*(1), pp.JM1-JM13.

Ramezani, J. and Tucker, R.D., 2003. The Saghand region, central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. *American journal of science*, *303*(7), pp.622-665.

Yang, L. and Sun, S.Z., 2020. Seismic horizon tracking using a deep convolutional neural network. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *187*, p.106709.

Zhang, Q., Yusifov, A., Joy, C., Shi, Y. and Wu, X., 2019, September. FaultNet: A deep CNN model for 3D automated fault picking. In *SEG International Exposition and Annual Meeting* (p. D043S136R003). SEG.