

بررسی پیش‌نشانگری زمین‌لرزه با استفاده از داده‌های ژئومغناطیس در یونان

نوید یزدان دوست ملکی^۱، شاهرخ پوربیرانوند^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران. navid.yazdandoust.maleki@iiees.ac.ir
^۲ استادیار، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران. beyranvand@iiees.ac.ir

چکیده

امواج میدان مغناطیسی زمین در هنگام وقوع زمین‌لرزه و همچنین در بازه زمانی پیش از آن دچار نوساناتی در روند طبیعی خود می‌شوند که به آن بی‌هنجاری‌های مغناطیسی گفته می‌شود که به عنوان یکی از پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه مورد توجه بوده است. در این مطالعه برای پردازش داده‌های ژئومغناطیسی از روش منحنی‌های سرشتی استفاده شده است. بر این اساس برای هر ایستگاه و هر مولفه میدان مغناطیسی با ترسیم مکرر داده‌های مربوط به هر شبانه‌روز بر روی هم منحنی سرشتی تشکیل می‌شود. در این مطالعه جهت مطالعه پیش‌نشانگرهای ژئومغناطیس، داده‌های مغناطیسی برای ایستگاه ژئومغناطیس یونان در بازه زمانی هشت ماه بررسی شده است. در مورد مطالعات حاضر پس از به دست آوردن منحنی سرشتی و برداشتن آن از داده‌ها به منظور حذف اثر تغییرات روزانه‌ی میدان مغناطیسی از روی رکورد‌های ژئومغناطیس، بی‌هنجاری مشاهده شده پیش از زمین‌لرزه‌ها دارای شدت و تمایز بیشتری نسبت به داده‌های اصلی است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌نشانگر، زمین‌لرزه، میدان مغناطیسی، منحنی سرشتی، بی‌هنجاری مغناطیسی، کشور یونان

Study of precursors with use of geomagnetic data in Greece

Navid yazdandoust maleki¹, shahrokh pourbeyranvand²

¹ M.Sc. student, international institute of earthquake engineering and seismology, Tehran, Iran

² Assistant professor, international institute of earthquake engineering and seismology, Tehran, Iran

Abstract

Magnetic field waves of the earth show anomalies before and during earthquakes occurrence and which is called precursors. In this case study we use a new method, characteristic curves for geomagnetic data processing. The characteristic curve is formed for different components of magnetic field in various magnetic stations by over plotting the magnetic data in a 24 hour time period, we plot three components of geomagnetic records for a geomagnetic station in Greece for eight months. After plotting characteristic curves and removing magnetic diurnal variations from geomagnetic records, the observed anomalies before earthquakes became more distinct compared to the original data.

Keywords: precursor, earthquake, magnetic field, characteristic curve, magnetic anomaly, Greece

مقدمه

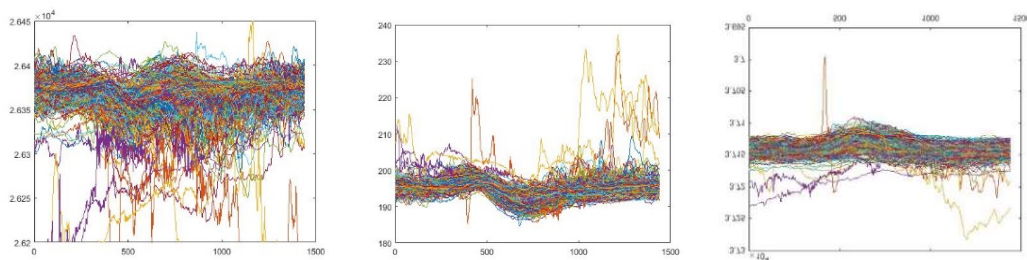
فلات ایران بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا است که به عنوان آخرین و جوانترین ناحیه کوهزایی جهان محسوب می‌شود. این ناحیه محصور در صفحات زمین‌ساختی منطقه، تحت تنش‌های فشاری قرار می‌گیرد و در نتیجه خود به صورت صفحه‌ای فعال و مستعد برای وقوع زلزله در می‌آید. به هر پارامتری که قبل از وقوع زمین‌لرزه تغییراتی در آن پدید آید، به گونه‌ای که بتوان با بررسی دقیق این تغییرات زمین‌لرزه را پیش‌بینی کرد، پیش‌نشانگر گفته می‌شود. که از این بین، به پیش‌نشانگرهای ژئوفیزیکی، زمین‌مغناطیس و زمین‌الکترونیک و الکترومغناطیس نسبت به سایر پیش‌نشانگرها توجه بیشتری شده است. وجود بی‌هنجاری در میدان مغناطیسی زمین یکی از پیش‌نشانگرهای زمین‌لرزه است که مطالعه‌ی فراوانی روی آن صورت گرفته و موارد بی‌شماری از مشاهده‌ی آن گزارش شده است [۱]. یکی از مشکلات استفاده از این پیش‌نشانگر وجود ابهام در نحوه‌ی جداسازی بی‌هنجاری‌های مربوط به زمین‌لرزه از داده‌ها می‌باشد [۲]. همچنین مطالعات فراوانی با استفاده از داده‌های زمینی [۳] و ماهواره‌ای [۴] مرتبط با میدان مغناطیسی زمین انجام شده است. شواهد عملی زیادی مبنی بر نوسانات خاص مغناطیسی و الکترونیکی قبل از وقوع زمین‌لرزه وجود دارد. بی‌هنجاری‌های ULF در میدان‌های مغناطیسی قبل از چندین

زلزله با بزرگی بیش از ۵ ریشتر در مناطق مختلف جهان گزارش شده‌اند. به عنوان مثال زمین‌لرزه آلوم راک با بزرگی ۵/۴ ریشتر در سال ۲۰۰۷ در نزدیکی سانفرانسیسکو نشان داد که نوسانات میدان مغناطیسی در شمار قابل توجه و با دامنه‌های معنی‌دار و در خلال دو هفته قبل از زمین‌لرزه تا رویداد واقعه در منطقه وجود داشته است [۵]. همین طور در سال ۱۹۷۵ افزایشی در حد ۱/۵ گاما در شدت میدان کلی مغناطیسی از ۷ هفته قبل از رخداد زمین‌لرزه کالیفرنیا به بزرگی ۵ ریشتر مشاهده شده است [۶]. هم چنین بی‌نظمی نوسانات میدان مغناطیسی ۳۵ روز پیش از زمین‌لرزه ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹ در منطقه لوما پریتا در کالیفرنیا مرکزی و با بزرگی ۷/۱ ریشتر، با دستگاه‌های اندازه‌گیری امواج ULF با فرکانس ۰/۱ تا ۱۰ هرتز در فاصله ۷ کیلومتری از مرکز زمین‌لرزه و دستگاه‌هایی برای اندازه‌گیری امواج VLF/ELF با فرکانس ۱۰ تا ۳۲ هرتز و در فاصله ۵۲ کیلومتری از مرکز زمین‌لرزه، ثبت شده و دو هفته قبل از زمین‌لرزه، اندازه‌گیری‌ها افزایش چشم‌گیری را گزارش کرده‌اند و دامنه این اغتشاشات ۳ ساعت قبل از زمین‌لرزه به طور کاملاً غیرعادی و با شدت نسبتاً زیادی افزایش یافته است. هم چنین بی‌هنجاری‌های دیگر سیگنال‌های ULF که ممکن است مرتبط با زمین‌لرزه باشد چند ساعت قبل از زلزله اسپیتاک با بزرگی ۶/۹ ریشتر در ۷ دسامبر ۱۹۸۸ در ارمنستان و سیگنال‌های بی‌هنجاری حدود دو هفته و چند روز قبل از زلزله گوم در تاریخ ۸ آگوست ۱۹۹۳ با بزرگی ۸ ریشتر گزارش شده اند [۷]. بنابراین با توجه به پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه در مطالعه حاضر نیز این پژوهش برای جنوب کشور یونان با استفاده از داده‌های ژئومغناطیسی و لرزه‌ای انجام گرفته است.

روش تحقیق

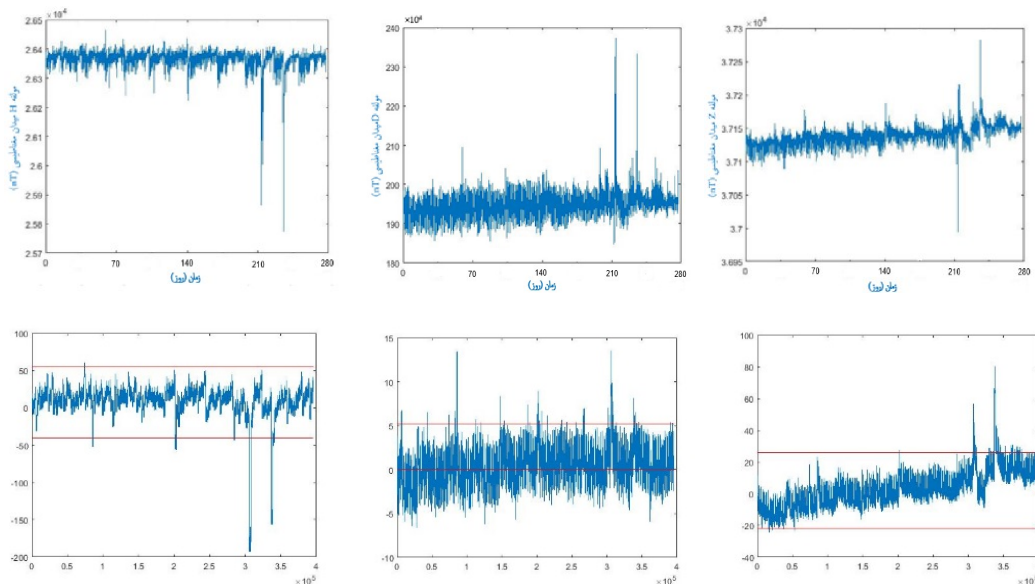
در مطالعه‌ی حاضر روش جدیدی برای حذف اثر عوامل تأثیرگذار بر میدان مغناطیسی زمین در محل ایستگاه‌های مغناطیس سنجی مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش پس از شناسایی سرشت ژئومغناطیسی ایستگاه مورد نظر، یا به عبارت دیگر روند تکراری تغییرات روزانه‌ای که در ایستگاه مشاهده می‌شود، اثر مربوطه از داده‌ها برداشته می‌شود. سپس با بررسی بی‌هنجاری‌ها که پس از طی مراحل فوق و برطرف کردن نوفه‌ی موجود در اثر تغییرات روزانه، صورت واضح‌تری به خود گرفته‌اند، این موارد با فعالیت‌های لرزه‌ای منطقه مطابقت داده می‌شوند. در ادامه با جداسازی نوفه از سیگنال مورد نظر و در نهایت بی‌هنجاری مشاهده شده تا حد امکان تقویت می‌گردد تا قابلیت استفاده بیشتر از داده‌های مورد بحث به عنوان پیش‌نشانگر زمین‌لرزه به وجود آید.

در میان مؤلفه‌های مغناطیسی مختلف مؤلفه‌ی H نسبت به مؤلفه‌های D و Z مناسب‌تری برای انجام فرآیند پیشنهادی دارد. البته مؤلفه‌های دیگر نیز بسته به شرایط زمین‌شناسی و ژئومغناطیسی حاکم بر محل ایستگاه می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در مطالعه حاضر برای نشان دادن مثال‌هایی از کاربرد این روش، از داده‌های مغناطیسی و لرزه‌ای موجود در پایگاه اینترنتی داده‌های پیش‌نشانگری کشور یونان (www.earthquakeprediction.gr) استفاده شده است. در ابتدا برای نمایش داده‌ها باید مقادیری را که به عنوان عدم ثبت داده مناسب ۹۹۹۹ ثبت شده اند، حذف کرد که در برنامه نوشته شده این نقادیر با میانگین‌گیری از مقادیر اندازه‌گیری شده قبلی و بعدی جایگزین شده‌اند. پس از انتخاب بازه زمانی مناسب با استفاده از داده‌های موجود از هر ایستگاه، شکل رسم شده از تکرار مقادیر مشاهده شده در طی ۲۴ ساعت در روزهای مختلف، سرشت ژئومغناطیسی ایستگاه مورد نظر را نشان می‌دهد که به این ترتیب منحنی سرشتی برای بازه زمانی هشت ماه در ایستگاه مورد نظر برای مؤلفه‌های مغناطیسی H، D و Z مورد بحث انجام شده و نتایج در شکل (۱) قابل مشاهده است.



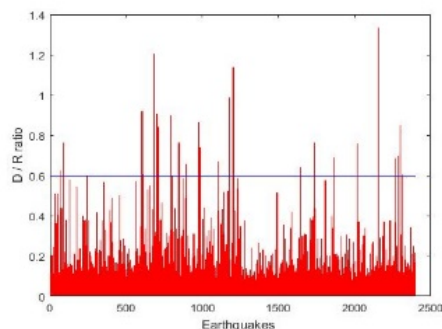
شکل (۱): منحنی سرشتی برای مؤلفه‌های میدان مغناطیسی H، D و Z به ترتیب از چپ به راست. محور افقی مبین زمان به صورت دقیقه و محور قائم بیانگر دامنه میدان مغناطیسی بر حسب نانوتسلا می‌باشد.

در مطالعه حاضر پس از رسم مولفه‌های میدان مغناطیسی و حذف تغییرات روزانه از هر یک از مولفه‌ها می‌توان بی‌هنجاری‌های مربوط به زمین‌لرزه‌ها را مشاهده کرد که بدین منظور جهت توجیه بهتر بی‌هنجاری‌های مشاهده شده و با در نظر گرفتن عدم قطعیت، انحراف معیار برای هر یک از مولفه‌ها تعریف شده است که نتایج آن در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۲): رکوردهای مغناطیسی خام (بالا) و پردازش شده (پایین) برای مولفه‌های مغناطیسی H، D و Z به ترتیب از چپ به راست. محور افقی مبین زمان به صورت دقیقه و محور قائم بیانگر دامنه میدان مغناطیسی بر حسب نانو تسلا می‌باشد.

با توجه به مطالعات انجام شده، هر ایستگاه زمینی برداشت داده‌های ژئومغناطیس دارای یک منحنی سرشتی است که مقادیر عمومی میدان مغناطیسی را در محدوده‌ی چند سال قابل پیش‌بینی می‌سازد. با کم کردن این مقادیر از مقادیر ثبت شده می‌توان به مقادیر خالص‌تر بی‌هنجاری در ایستگاه در زمان‌های دلخواه دست پیدا کرده، همبستگی آنها را با فعالیت‌های لرزه‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه قرار داد. همچنین جهت تشخیص هر چه بهتر وصحت‌سنجی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی مربوط به زمین‌لرزه‌ها نسبت (D/R) را برای هر یک از زمین‌لرزه‌ها به دست آورده و در نتیجه زمین‌لرزه‌هایی که نسبت (D/R) مقدار بالای ۰/۶ را داشته باشند، به عنوان زمین‌لرزه همراه با پیش‌نشانگر تلقی می‌شود که نتایج مربوط به این پژوهش در شکل (۳) نمایش داده شده است.

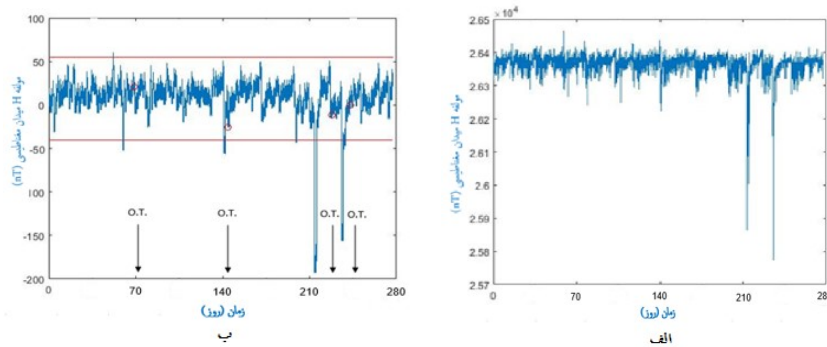


شکل(۳): نمودار مربوط به نسبت D/R زمین‌لرزه‌های منطقه یونان برای بازه زمانی هشت ماه

نتیجه‌گیری

در مورد مطالعات حاضر پس از به دست آوردن منحنی سرشتی و برداشتن آن از داده‌ها به منظور حذف اثر تغییرات روزانه‌ی میدان مغناطیسی از روی رکوردهای ژئومغناطیس، بی‌هنجاری مشاهده شده پیش از زمین‌لرزه‌ها دارای شدت و تمایز بیشتری نسبت به داده‌های اصلی است. با استناد به نتایج به دست آمده و پردازش‌های انجام گرفته بر روی رکوردهای مغناطیسی

ایستگاه ژئومغناطیسی در کشور یونان بی‌هنجاری‌های مربوط به تغییر در میدان مغناطیسی تشخیص داده شده‌اند که می‌توانند به عنوان پیش‌نشانگر برای زمین‌لرزه تلقی شود. مولفه H برای تشخیص ناهنجاری‌های مغناطیسی بسیار مناسب‌تر است بنابراین به منظور مشاهده تغییرات ایجاد شده به روش منحنی سرشتی و کاربرد این روش در مطالعات پیش‌نشانگری ژئومغناطیس، مولفه H میدان مغناطیسی برای داده‌های خام و پردازش یافته مقایسه شده است و بی‌هنجاری‌های مرتبط با زمین‌لرزه‌ها بر روی شکل (۴، ب) مشخص شده است.



شکل (۴): الف، منحنی سرشتی مربوط به داده‌های خام (پردازش نشده). ب، پردازش داده‌ها همراه با origin time زمین‌لرزه‌ها

منابع

پوریبیرانوند، شاهرخ و دهقانی حمید، کاهش نوفه در رکوردهای مغناطیسی. پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال هجدهم، شماره دوم، ۱۳۹۴

- Hayakawa, M., Htori, K., and Ohta, K. (2007) Monitoring of ULF (Ultra-Low-Frequency) Geomagnetic variations associated with earthquakes. *Sensors*, 7, 1108-1122
- Beamish, D. and Banks, R.J. (1983) geomagnetic variation anomalies in northern England: processing and presentation of data from a non- simultaneous array, *Geophys. J. R. Am. Soc.*, 75, 513-539.
- Balasis, G., Daglis, I.A., Georgiou, M., Papadimitriou, D., and Haagmans, R. (2013) Magnetospheric ULF wave studies in the frame of Swarm mission: a time-frequency analysis tool for automated detection of pulsations in magnetic and electric field observations, *Earth Planets Space*, 65, 1385-1398.
- Bleier T., Dunson C., Alvarez C., Freund F., Dahlgren R., "Correlation of Pre-earthquake Electromagnetic Signals with Laboratory and Field Rock Experiments", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* (2010).
- Maxwell R., Carle S., Seitz G., "Environmental Research in California and beyond", California environmental project (2001).
- Fraser-Smith A.C., Bernardi A., McGill P.R., Ladd M.E., Helliwill R.A. Villard Jr. O.G., "Low-Frequency Magnetic Field Measurements Near the Epicenter of the MS 7.1 Loma Prieta Earthquake, *Geophysical Research Letters*" (1990).