

جداسازی زلزله و انفجار با استفاده از طیف تکینگی مولتی فرکتال در معادن جنوب شرق تهران

پیمان دارابی پور^۱، علی مرادی^۲، مجتبی فضائی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، peymandarabi@ut.ac.ir

^۲دانشیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، asmoradi@ut.ac.ir

^۳دانشجوی دکتری، پردیس علوم، دانشکده ریاضی، Mojtaba.fazaeli@ut.ac.ir

چکیده

جداسازی زلزله و انفجار مخصوصاً در مناطقی که لیست مشخصی از انفجارات رویداده وجود ندارد، همواره از مسائل مورد توجه زلزله‌شناسان بوده است. روش‌های متفاوتی از گذشته تاکنون به این منظور ارائه شده است که عمدها بر اساس طیف‌های فرکانسی بنا نهاده شده‌اند. در سالیان اخیر تلاش‌های محدودی برای بررسی پارامترهای فرکتالی سری‌های زمانی ژئوفیزیکی و تعیین نوع چشم‌های لرزه‌ای با استفاده از پارامترهای α^* و $\Delta\alpha$ به عنوان متغیرهایی فرکتالی که نشان دهنده‌ی مقدار بی‌نظمی موجود می‌باشند، صورت گرفته است. در پژوهش حاضر با استفاده از طیف تکینگی مولتی فرکتالی (Multi-Fractal Singularity Spectra) تفکیک ۷۲٪ انفجارات از کاتالوگ زمین‌لرزه‌های مرکز لرزه‌نگاری کشوری در حوالی معادن سیمان جنوب شرق تهران صورت گرفت.

واژه‌های کلیدی: فرکتال، سری زمانی، چشم‌های لرزه‌ای، انفجار، ضریب هارست، بعد فرکتالی

Earthquake- Explosion Discrimination using multi-fractal singularity spectrums in Southeast of Tehran mines

Peyman Darabipour¹, Ali Moradi², Mojtaba Fazaeli³

¹M.Sc. student, Institute of Geophysics, University of Tehran, peymandarabi@ut.ac.ir

²Associate professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, asmoradi@ut.ac.ir

³PhD student, School of Mathematics, University of Tehran, Mojtaba.fazaeli@ut.ac.ir

Abstract

Classification of recorded seismic events is one of the most frequent problems for seismologists in observatories around the world. In order to discriminate quarry blasts from earthquakes we used Singularity spectrum support width $\Delta\alpha$ and multi-fractal generalized Hurst exponents α^* were calculated for seismic events in the selected data set from southeast of Tehran. All data used in this investigation are taken from the records of Tehran Telemetry Seismic Network. Only vertical components was selected for mathematical analysis. The results showed that the recorded waveforms of earthquakes are less multi-fractal than blasts. The discriminator line ($X = 0.293$) provides discrimination about 72% of explosions in the seismic events catalogue of this region.

Keywords: Multi-fractal parameters, Singularity spectrum, Hurst exponents, Quarry blasts

۱ مقدمه

از رایج‌ترین انواع رخدادهای لردهای می‌توان به زلزله‌های تکتونیکی و انفجارهای هسته‌ای و انفجارهای معادن اشاره نمود. در مناطقی با رژیم تکتونیکی فعال که معادن در حال بهره‌برداری نیز وجود دارند چالش جداسازی این رویدادها بیش از سایر مناطق است. حال اگر در این مناطق آتشفانهایی با اتاق ماگمایی فعال نیز وجود داشته باشد این چالش دوچندان می‌شود. روش‌های سنتی مختلفی برای جداسازی انفجارها از زلزله‌های طبیعی تاکنون به کار گرفته شده است که از آن جمله می‌توان به جداسازی با استفاده از امواج کدا (هارتس و همکاران، ۱۹۹۵)، جداسازی با استفاده از طیف موج S (آلمان و همکاران، ۲۰۰۸)، جداسازی با استفاده از تکنیک کراس‌کروولیشن (کهیانی و مرادی، ۲۰۱۴) اشاره کرد. روش‌های سنتی یاد شده در پنج دهه گذشته عمدتاً بر اساس نسبت دامنه فازها و روش‌های طیفی بنا نهاده شده‌اند (لیوبوشین و همکاران، ۲۰۱۳).

در مقاله‌ای که در سال ۲۰۱۳ توسط لیوبوشین و همکاران به چاپ رسید روش جدیدی برای جداسازی رویدادهای انفجاری از زلزله‌های تکتونیکی ارائه گردید که توانست با استفاده از طیف تکینگی مولتی فرکتالی موفق به جداسازی ۹۳ درصد زلزله‌ها و ۹۹ درصد انفجارها شود. یکی از مزیت‌های مثبت این روش عدم نیاز به جست‌وجوی اولیه برای باندهای فرکانسی است که برای روش‌های سنتی الزامی است و این روش نیازی به طیف توان ندارد (لیوبوشین و همکاران، ۲۰۱۳). در این مطالعه بر اساس روش Detrended Fluctuation Analysis که به اختصار DFA نامیده می‌شود و در واقع یک روش برای تخمین خودشباختی سری زمانی می‌باشد (کنتلهارت و همکاران، ۲۰۰۲)، با محاسبه $\Delta\alpha$ و α^* به بررسی تغییرات در سری‌های زلزله‌ای و انفجاری می‌پردازیم. این روش نسبتاً سریع و به جست‌وجوی فرکانسی اولیه که کاری نسبتاً دشوار است، نیاز ندارد. اندازه‌ی α^* ضریب هارست تعمیم یافته (Generalized Hurst exponent) نامیده می‌شود. برای یک سیگنال مونوفرکتال مقدار $\Delta\alpha$ باید برابر صفر باشد. پارامتر $\Delta\alpha$ را می‌توان به عنوان یک اندازه از تغییرات رفتار تصادفی در نظر گرفت. همچنین باید در نظر داشت که معمولاً $F(\alpha^*) = F(\alpha)$ و برابر با بیشته مقدار $F(\alpha)$ (طیف تکینگی) یعنی بعد بازه‌ی مجموعه است.

۲ روش تحقیق

در ابتدا یادآور می‌شویم از آنجا که اثبات و شرح معادلات به صورت کامل خارج از حوصله این نوشتار است در اینجا صرفاً معادلات پایانی هر روش ذکر می‌شود.

پس از تعیین تابع $h(q)$ که یک ضریب رگرسیون خطی است و برای یک فرآیند مونوفرکتالی است، خواهیم داشت

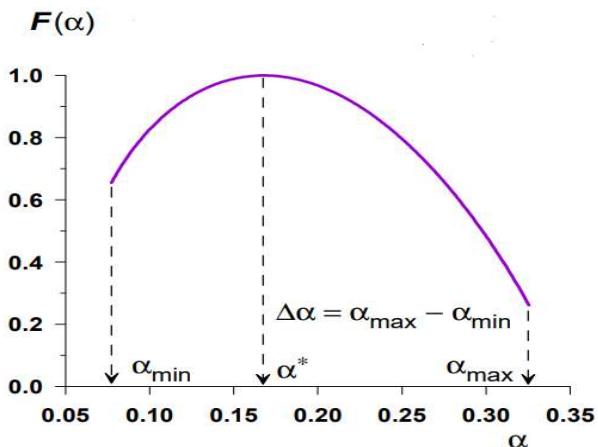
$$h(q) = H = \text{const.}$$

بعد فرکتال لحظات زمانی، τ_α ، است. طیف $F(\alpha)$ از فرمول زیر محاسبه می‌شود (لیوبوشین و همکاران، ۲۰۱۳).

$$F(\alpha) = \max \left\{ \min_q (\alpha q - \tau(q)), 0 \right\} \quad (1)$$

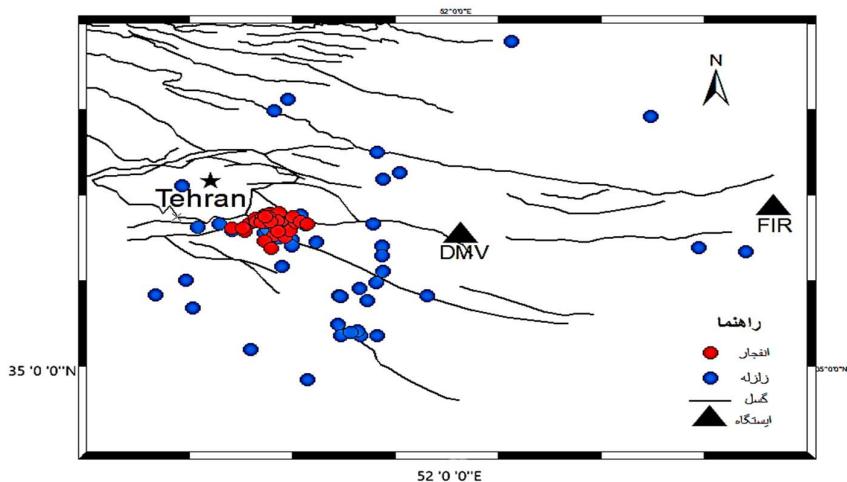
در معادله بالا $F(\alpha)$ ، طیف تکینگی، q توان مدول میانگین اندازه سیگنال در بازه زمانی $[t, t + \delta]$ شاخص وزنی برای فرآیند فرکتالی می‌باشد. محاسبه طیف تکینگی، $F(\alpha)$ ، را می‌توان از پارامترهای زیر مشخص کرد:

$$\alpha_{\min}, \alpha_{\max}, \alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min}, \quad F(\alpha^*) = \max_\alpha F(\alpha)$$



شکل ۱. طیف تکینگی مولتی فرکتال و پارامترهای مربوط به آن (لیبووشین، ۲۰۱۳).

در این پژوهش به منظور مطالعه تفاوت بین ساختار فرکتالی سری زمانی مربوط به زلزله‌ها و انفجارها، تعداد ۵۰ زلزله و ۵۰ انفجار رخداده در حوالی معادن کارخانه سیمان بی‌بی شهربانو در منطقه جنوب شرق تهران به صورت تصادفی انتخاب و از رکوردهای (مولفه قائم) دو ایستگاه دماوند (DMV) و فیروزکوه (FIR) مرکز لرزهنگاری کشوری به منظور بررسی ساختار فرکتالی استفاده شده است.

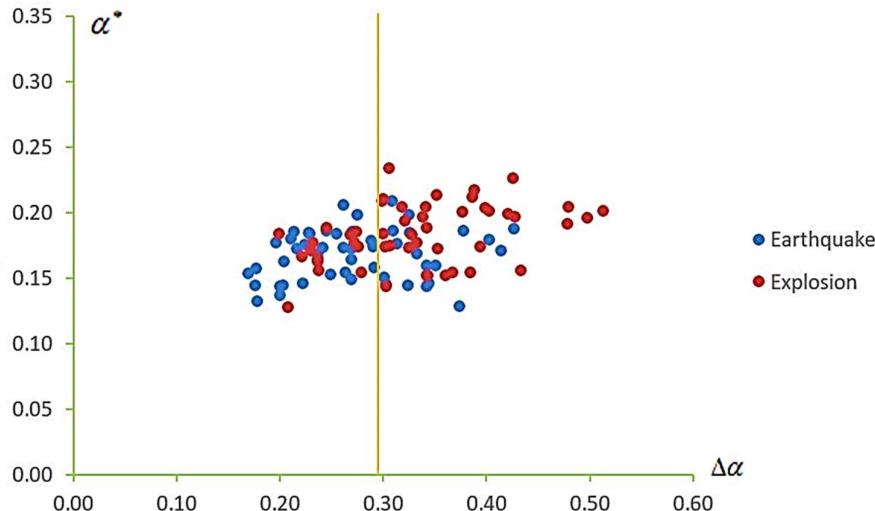


شکل ۲. محدوده مورد مطالعه به همراه انفجارها و زلزله‌ها و نیز ایستگاه‌های مورد استفاده

۳ نتیجه‌گیری

با محاسبه طیف تکینگی مولتی فرکتالی برای ۱۰۰ رویداد از پیش تعیین شده (۵۰ زلزله و ۵۰ انفجار) که با استفاده از یک ایستگاه موقت نزدیک به محل انفجارات جداسازی آنها به صورت چشمی ممکن بود و سپس رسم نگاشت پارامترهای طیف تکینگی شامل α^* و $\Delta\alpha$ در نظر گرفتن خط با معادله $X = 0.293$ می‌توان نتیجه گرفت عموماً زلزله‌ها داری کمتری به نسبت انفجارها هستند و در واقع زلزله‌ها کمتر مولتی فرکتال هستند که با نتایج ارایه شده توسط لیبووشین (۲۰۱۳) همخوانی دارد ولی نکته قابل توجه اینکه با وجود تلاش‌های فراوان برای جداسازی بیشتر تعداد انفجارات از این روش در این تحقیق می‌توان گفت رسیدن به مقدار ۹۹ درصد که در کار لیبووشین و همکاران، ۲۰۱۳، گزارش شده است برای مناطقی که زلزله‌ها و انفجارها در یک محیط زمین‌شناسی خرد شده و نزدیک به هم رویداده باشند تنها با در نظر گرفتن این پارامترهای فرکتالی امکان پذیر نبوده و باید از چندین روش مختلف برای آن بهره برد.

چون شکل موج‌های لرزه‌ای اغلب در نگاه اولیه بی‌نظمی‌هایی در درون خود می‌باشند لذا به نظر می‌رسد که مطالعات آماری مربوط به پدیده‌های تصادفی و نیز هندسه‌ی فرکتالی برای مطالعاتی نو در این زمینه ضروری می‌باشد. پارامتر $\Delta\alpha$ را می‌توان به عنوان یک اندازه از تغییرات رفتار تصادفی در نظر گرفت. در نهایت این روش قادر به تفکیک ۷۲٪ انفجارات و ۶۴٪ زلزله‌ها در این مطالعه شد.



شکل ۴. جدایش رویدادهای زلزله از انفجار با استفاده از پارامترهای طیف تکینگی مولتی‌فرکتالی (α^* و $\Delta\alpha$) که با استفاده از نرم‌افزار SpAn محاسبه شده‌اند (<http://alexeylyubushin.narod.ru/SpAn.zip>).

با توجه به موارد بسیار کم مطالعات پیشین در این نوع دسته‌بندی به نظر می‌رسد استفاده از پارامترهای فرکتالی به منظور تعیین نوع چشمی در مطالعات ژئوفیزیکی در ابتدای مسیر قرار دارد.

منابع

- Allmann, B. P., Shearer, P. M., & Hauksson, E. (2008). Spectral discrimination between quarry blasts and earthquakes in southern California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98(4), 2073-2079.
- Feder J (1989) Fractals. Plenum, New York
- Hartse, H. E., Phillips, W. S., Fehler, M. C., & House, L. S. (1995). Single-station spectral discrimination using coda waves. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85(5), 1464-1474.
- Kahbasi, A., & Moradi, A. (2016). Earthquake-explosion discrimination using waveform cross-correlation technique for mines in southeast of Tehran. *Journal of Seismology*, 20(2), 569-578.
- Kantelhardt, J. W., Zschiegner, S. A., Konscienly-Bunde, E., Havlin, S., Bunde, A., & Stanley, H. E. (2002). Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series, *Physica A*, 316, 87.
- Lyubushin, A. A., Kaláb, Z., Lednická, M., & Haggag, H. M. (2013). Discrimination of earthquakes and explosions using multi-fractal singularity spectrums properties. *Journal of seismology*, 17(3), 975-983.

