

مقایسه مدل‌های مختلف نرخ کاهشی توالی پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۱۳۹۶ ازگله کرمانشاه

مهندیه لواسانی^۱، الهام شعبانی^۲، جواد کاظمیان^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته زلزله‌شناسی، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

^۲استادیار، گروه زلزله‌شناسی، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

چکیده

زمین‌لرزه ازگله با بزرگای ۷.۳ با پس‌لرزه‌های فراوانی همراه بود. در این تحقیق، نرخ کاهشی توالی پس‌لرزه‌ها برای رویدادهای با بزرگی‌های بیش از بزرگی‌های مختلف آستانه (M_c) مشخص شده است. پنجره مکانی و زمانی مطابق گاردنر-کنوپوف در مربعی به طول ۲ درجه به مرکزیت کانون زلزله و پنجره زمانی ۵۰ روز انتخاب شده است. نرخ‌های کاهشی بر اساس نرخ‌های کاهشی اموری، ریزنبرگ، کسیلینگر و شرباکوف محاسبه شده است. نتایج حاصل از نمودارهای نرخ کاهشی هر یک از بزرگی‌های آستانه نشان می‌دهد که بهترین نمودار برآش شده با داده‌های پس‌لرزه، نرخ کاهشی اموری برای بزرگی‌های آستانه بیش از ۲.۵ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: توالی پس‌لرزه‌ها، نرخ کاهش، اموری، ریزنبرگ، کسیلینگر، شرباکوف، کرمانشاه، ازگله.

Comparing different models of aftershock sequence rate decay for event of 1396 Ezgeleh-Kermanshah

Lavasani, M.¹, Shabani, E.² and Kazemian, J.²

¹Master student, Department of Seismology, Institute of Geophysics University of Tehran

²Assistant Professor, Department of Seismology, Institute of Geophysics University of Tehran

Abstract

The earthquake of Ezgeleh with a magnitude of 7.3 was associated with a lot of aftershocks. In this research, the decay rate of the aftershock-sequence for events with the magnitudes larger than different threshold magnitudes (M_c) is determined. The spatial and temporal windows is selected according to the Gardner-Konopov in a squares with a length of 2 degrees which is centered on the earthquake epicenter and for a time window of 50 days. The decay rates are calculated based on the decreasing rates of Omori, Reasenberg, Kisslinger, and Shcherbakov. The results of the decay rates graphs for each threshold magnitude show that the best fitted graph with data of aftershocks is a decay rate Omori for threshold magnitude greater than 2.5.

Keywords: Aftershock sequence, Reduction rate, Omori, Reasenberg, Kisslinger, Shcherbakov, Kermanshah, Ezgeleh.

مقدمه

زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۷.۳ در ساعت ۲۱:۴۸ روز، ۲۱ مهرماه ۱۳۹۶ در نزدیکی شهر ازگله در استان کرمانشاه روی داد. این زمین‌لرزه، پس‌لرزه‌های متعددی بدنیال داشت که بزرگترین آنها در ۱۸ آذرماه با بزرگی ۶ در فاصله حدود بیست کیلومتری شمال محل رو مرکز زمینلرزه اصلی رخ داد. به مجموعه‌ای از زمین‌لرزه‌های یک منطقه که در مدت زمانی خاص و در رابطه با یکدیگر به وقوع می‌پیوندند، توالی لرزه‌ای (Seismic sequence) گفته می‌شود. به طور معمول هر توالی لرزه‌ای شامل یک زمین‌لرزه اصلی (بزرگ‌ترین رخداد) و رخدادهای وابسته به آن یعنی پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها است. پارامترهای مهم هر توالی لرزه‌ای شامل تعداد پس‌لرزه‌ها، توزیع مکانی و کاهش تعداد آنها در طول زمان است. طراحی روشی برای شناسایی و جدایی این سه مرحله در رژیم لرزه‌ای می‌تواند کمکی برای درک بهتری از پدیده‌ی زمین‌لرزه و درنتیجه منجر به کاهش اثرات زلزله شود (اما و همکاران، ۲۰۱۶). پس‌لرزه‌ها، رویدادهای وابسته زمین‌لرزه اصلی با بزرگی کمتر و با فاصله زمانی میان چند دقیقه تا چند سال پس از رویداد زمین‌لرزه اصلی هستند و فراوانی آنها با گذشت زمان کاهش می‌یابد (اموری، ۱۸۹۴). با گذشت زمان سپری شده از رویداد اصلی، رخداد پس‌لرزه‌ها کاهش پیدا می‌کند تا جایی که نرخ لرزه‌خیزی به سطح لرزه‌ای زمینه بازگشته و فرایند رخدادهای لرزه‌ای به حالت پایدار می‌رسد. مطالعات بسیاری جهت ارائه تحلیل سیستماتیکی نرخ کاهندگی

پس‌لرزه‌ها شده است. راندل و همکارنش به این حقیقت اعتقاد دارند که خوشبندی فرایندها به صورت تصادفی نیستند، فرایند تولید پس‌لرزه‌ها نیاز به تحقیق فیزیکی گستردگی می‌باشد. آنها تاکید بر وجود رابطه‌ای بین نرخ کاهندگی خوشبندی و فعالیت لرزه‌ای در منطقه داشتند (راندل، ۱۹۹۶). تا به حال مطالعات بسیاری در مورد الگوی توزیع زمانی و مکانی پس‌لرزه‌ها و بررسی تفصیلی رفتار کاهندگی پس‌لرزه‌ها با استفاده از قانون اموری در نقاط مختلف جهان انجام شده است. اتسو با مطالعه پس‌لرزه‌های ژاپن، فرمول اولیه اموری را به شکلی گستردگی تر و کاربردی تر به عنوان مدل نرخ کاهندگی پس‌لرزه‌ها اصلاح کرد. ریزنبرگ دو رابطه تجربی گوتنبرگ ریشرتر و اموری به صورت رابطه ترکیبی برای زلزله کالیفرنیا ارائه کرد. کسیلینگر و همکارانش (۱۹۹۳) وابستگی توزیع پس‌لرزه‌ها به ویژگی‌های فیزیکی زون گسل و شرایط محیطی خصوصاً مقاومت، تنش و دما را مطالعه کردند. شرباکوف و همکارانش (۲۰۰۴) با ترکیب سه رابطه اموری، گوتنبرگ ریشرتر و قانون بث اصلاح شده، فرمول تعیین یافته‌ای را برای روند کاهش پس‌لرزه‌ها ارائه کردند. در این تحقیق به نرخ‌های کاهشی اموری، ریزنبرگ، کسیلینگر و شرباکوف توالی پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه از گله پرداخته شده است و با مقایسه نمودارهای کاهشی با داده‌های منطقه، بهترین نمودار نرخ کاهشی بدست آمده است.

۲ روش تحقیق

به منظور بررسی نرخ‌های کاهشی توالی پس‌لرزه‌ها، ابتدا کاتالوگی از داده‌ها برای بزرگی‌های بیش از بزرگی‌های آستانه مختلف، بزرگی آستانه به عنوان کمترین بزرگی زمین‌لرزه‌ای است که بعد از آن تمام وقایع در یک حجم فضای -زمان قرار بگیرند، مطابق پنجره مکانی و زمانی گاردنر-کنوپوف به عرض جغرافیایی از 33.7° تا 35.7° و طول جغرافیایی از 44.7° تا 46.7° و از ساعت ۲۱:۴۸ روز ۲۱/۱۰/۱۱ تا ۱۳۹۶/۰۸/۲۱ تهیه شده است. مقادیر a ، b ، c براساس قانون گوتنبرگ چنین بدست می‌آیند.

$$(1) \quad a = 10$$

N تعداد پس‌لرزه‌ایی با بزرگی بیش یا مساوی از m است، a و b ضرایب رابطه (۱) هستند.
همچنین، بر اساس قانون بث بزرگ‌ترین پس‌لرزه قابل محاسبه است:

$$(2) \quad \Delta m = m_{ms} - m_{as}^{max}$$

m_{ms} بزرگی زمین‌لرزه اصلی و m_{as}^{max} اندازه بزرگ‌ترین پس‌لرزه است. $1.2 \approx \Delta m$ تقریباً مقدار ثابت و مستقل از شوک اصلی است. در این مطالعه، نرخ کاهشی توالی پس‌لرزه‌ها بر اساس روابط زیر در برنامه متلب مورد ارزیابی قرار گرفت و پارامترهای هریک از روابط نرخ کاهشی محاسبه گردید. رابطه (۳) قانون اموری اصلاح شده توسط اتسو است.

(3) $n(t) = k(t + c)^{-p}$
 $n(t)$ بیانگر نرخ کاهندگی پس‌لرزه‌ها در یک توالی، t زمان سپری شده پس از شوک اصلی، k مقداری است که با تعداد پس-لرزه‌ها در توالی متناسب است، c مشخصه زمانی و p سرعت نرخ کاهندگی پس‌لرزه‌ها می‌باشد. در نرخ کاهشی ریزنبرگ، پس‌لرزه‌ها به صورت فرایند پواسونی ناهمگن در زمان که از قانون اموری اصلاح شده پیروی می‌کنند مدل می‌شوند و توزیع بزرگی‌ها تابع قانون گوتنبرگ و ریشرتر است. نرخ کاهندگی، λ ، از پس‌لرزه‌ایی با بزرگی M یا بیشتر، در زمان t پیرو شوک اصلی با بزرگی M_m مطابق رابطه (۴) است:

$$(4) \quad \lambda(t, M) = 10^{a+b(M_m-M)}(t + C)^{-p}$$

پارامترهای a ، b و p ثابت هستند. نرخ کاهشی کسیلینگر مطابق رابطه (۵) است:

$$(5) \quad \frac{d}{c}$$

نرخ کاهندگی کسیلینگر با پارامترهای اموری اصلاح شده مطابق رابطه (۶) می‌باشد.

$$(6) \quad n$$

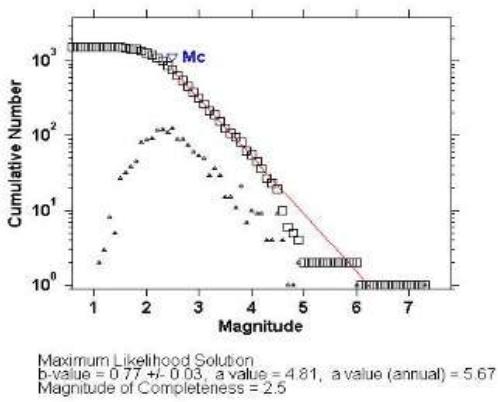
در نهایت رابطه شرباکوف که ترکیبی از توزیع فراوانی گوتنبرگ-ریشتر و قانون بث و قانون اموری است مورد بررسی فرار گرفته است.

(۷)

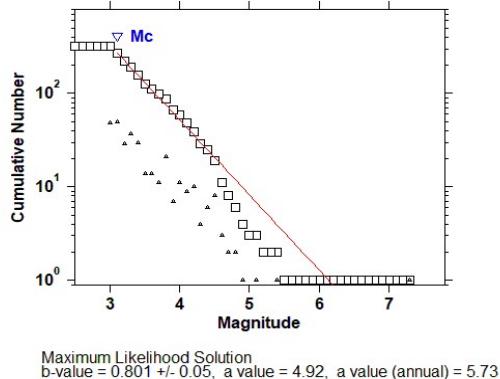
این تحقیق مطابق پنجره مکانی و زمانی گاردنر-کنوبوف در محدوده مربعی به طول ۲ به مرکزیت رومرز کانون زلزله و به مدت ۵۰ روز صورت گرفته است. مقادیر a ، b برای مقادیر بیش از بزرگی‌های آستانه ۱، ۱.۱، ۲، ۲.۵ مطابق شکل (۱) یکسان و برای مقادیر بیش از بزرگی آستانه ۳ مطابق شکل (۲) بدست آمده است. نرخ‌های کاهشی توالی پسلرزه‌ها برای مقادیر بیش از بزرگی‌های آستانه مختلف، $\{1, 1.1, 2, 2.5, 3\}$ ، بر اساس نرخ‌های کاهشی اموری، ریزنبرگ، کسیلینگر و شرباکوف مطابق شکل (۳) مورد بررسی قرار گرفته است.

۳ نتیجه‌گیری

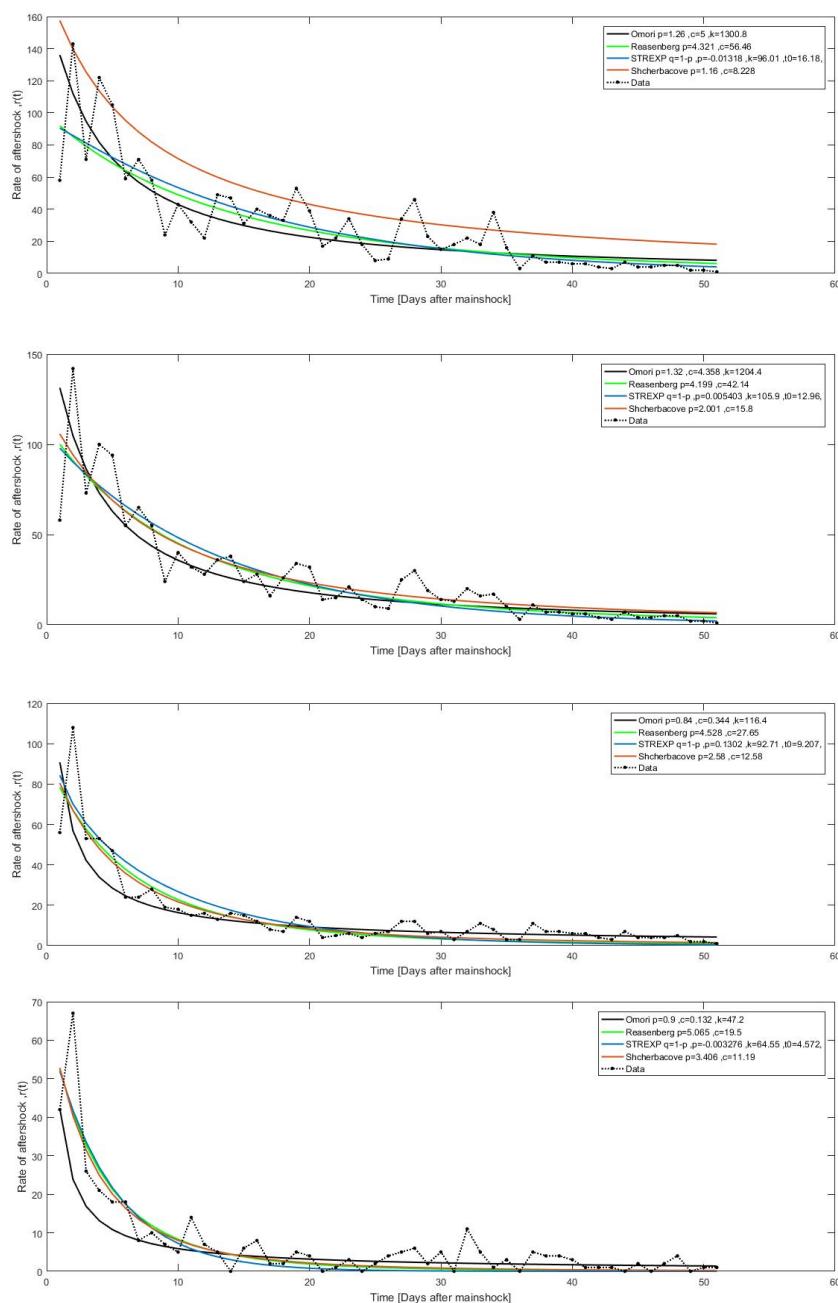
نتایج حاصل شده برای بزرگی آستانه بیش از ۱.۱ برای هر یک نرخ‌های کاهشی ریزنبرگ، کسیلینگر و شرباکوف به ترتیب ۰.۶۸۸۳ ، ۰.۶۸۸۸ و ۰.۶۸۵۵ همراه با ۱۵۴۶ تعداد پسلرزه و برای بزرگی آستانه بیشتر از ۲ برای هر یک از نرخ‌های کاهشی ۰.۷۶۳۲ ، ۰.۷۶۵۱ و ۰.۷۸۷۴ همراه با ۱۲۹۸ تعداد پسلرزه می‌باشد و نیز برای بزرگی آستانه بیشتر از ۲.۵ برای نرخ‌های کاهشی ریزنبرگ ۰.۸۱۷۶ و کسیلینگر ۰.۸۰۲۹ و شرباکوف ۰.۸۲۵۲ و برای بزرگی آستانه بیش از ۳ برای نرخ‌های کاهشی ۰.۷۹۸۱ ، ۰.۷۸۷۴ و ۰.۸۰۰۹ همراه با ۳۲۸ تعداد پسلرزه می‌باشد. مقدار بزرگترین پسلرزه ۶ می‌باشد که دقیقاً با قانون بث مطابقت داشته است. با توجه به نتایج ذکر شده در بالا، بهترین نمودار برآشش شده با داده‌های پسلرزه از گله، نرخ کاهشی اموری برای بزرگی آستانه بیش از ۲.۵ می‌باشد که دقیقاً مطابق با بزرگی آستانه گوتنبرگ-ریشتر است.



شکل ۱: نمودار گوتنبرگ-ریشتر برای بزرگی‌های بیش از ۱.۱ ، ۲ ، ۲.۵



شکل ۲: نمودار گوتنبرگ-ریشتر برای بزرگی‌های بیش از ۳



شکل ۳: مقایسه نرخ‌های کاهشی اموری، ریزنبرگ، کسیلینگر، شرباکوف، به ترتیب از بالا به پایین برای بزرگی‌های آستانه ۱.۱، ۲، ۲.۵، ۳.

منابع

- Gutenberg, B. and C. Richter, Frequency of earthquakes in California, Bull. Seismol. Soc. Am. (34), 185-88, 1944.
- Kisslinger, C., The stretched exponential function as an alternative model for aftershock decay rate, J. Geophys. Res., 98, 1913-1921, 1993.
- Ommi, S., H., Zafarani and M., Zare, Aftershock decay rates in the iranian plateau. Pure and Applied Geophysics, 2016.
- Omori, F., On aftershocks, Rep. Imp. Earthq. Inv. Corn., 2, 103-138, 1894a (in Japanese).
- Rundle, J.B., D. L. Turcotte and W., Klein , and editors (1996b) Reduction and predictability of natural disaster, Santa Fe Institute Studies in Science of Complexity (Addison-Wesley 1996b).
- Reisenberg, P. A. and L. M. Jones, Earthquake hazard after a mainshock in California, Science, 243, 1173 - 1176, 1989.
- Shcherbakov, R., D. L. Turcotte, and J. B. Rundle. A generalized Omori's law for earthquake aftershock decay, Geophysical Research Letters, (31), L11613, 2004.
- Utsu, T. and A., Seki, Relation between the area of aftershock region and the energy of the main shock. Zisin (J. Seism.Soc. Jap. ii, 233-240, 1955 .(in Japanese with English summary)