

بررسی وابستگی مکانی و زمانی زلزله‌ها به روش تقاطع سطح

منصور به تاج، کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
مصطفی علامه‌زاده (نویسنده مسؤول)، استادیار، پژوهشکده زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله،
E-mail: mallam@iiees.ac.ir

چکیده: در این پژوهش آنالیز تقاطع سطح برای بررسی وابستگی مکانی و زمانی زلزله‌ها در سری‌های زمانی و مکانی استفاده شده است. در این مقاله فرکانس متوسط تقاطع با شیب مثبت برای داده‌های اصلی و بُرخورده در زلزله‌های ایران و کالیفرنیا در سری‌های زمانی و مکانی محاسبه شده است. آنالیز این دو منطقه تفاوت‌های مشخصی را بین داده‌های اصلی و داده‌های بُرخورده نشان می‌دهد. با معرفی کمیت تغییرات نسبی تعداد کل تقاطع با شیب مثبت را برای زلزله‌های ایران و کالیفرنیا محاسبه نموده و نتایج نشان داده که در ایران زلزله‌های کوچک همبستگی بیشتری نسبت به زلزله‌های کالیفرنیا دارند درحالی‌که این همبستگی در زلزله‌های بزرگ برخلاف زلزله‌های کوچک است. به عبارت دیگر همبستگی آماری زلزله‌ها نشان می‌دهد زلزله‌ها از یکدیگر اثر می‌پذیرند و موجب تحریک یکدیگر می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: تقاطع سطح، فرآیندهای تصادفی، سیستم‌های پیچیده، زلزله

1 - مقدمه

فرآیندهای تصادفی کمک می‌کند. پس از آن با استخراج اطلاعات مفید به بازتولید و یا پیش‌بینی برخی حقایق تجربی پرداخته می‌شود [1-7]. سؤال مهم این است که احتمال به دست آوردن یا از دست دادن سطح معینی از بازگشت در فواصل زمانی متفاوت چقدر است. جانسون روش وارون در تلاطم (turbulence) را معرفی کرد [6]. سیمانسون و همکاران نخستین بار مفهوم آمار وارون (inverse statistics) را برای داده‌های مالی به پاسخ سؤال‌های مشابه ارائه کردند [7]. آمار وارون معکوس کردن معادله تابع ساختار را پیشنهاد می‌نماید و به جای در نظر گرفتن متوسط لحظه‌ای فاصله بین دو نقطه، مقدار اختلاف بین این دو نقطه را بیان می‌کند. در روش آمار وارون از روش شناخته‌شده دیگری با عنوان تقاطع سطح (level crossing) استفاده می‌شود. در روش تقاطع سطح ویژگی‌های مقیاسی موردنیاز نیست که مهم‌ترین مزیت

در سال‌های اخیر پژوهش‌های قابل‌توجهی به بررسی داده‌های لرزه‌ای اختصاص داده شده که این داده‌ها حامل اطلاعات پیچیده‌ای در مورد رویدادهایی هستند که منجر به زمین‌لرزه می‌شوند. در جهان فرآیندهایی از نوع تصادفی در همه نقاط آن در حال وقوع است. اگرچه امکان دارد مقادیر تصادفی از یک فرآیند تصادفی (stochastic processes) در زمان‌های مختلف متغیر تصادفی مستقل باشند، ولی در اغلب شرایط نشانه همبستگی (correlation) آماری پیچیده است؛ بنابراین، در طول دهه‌های گذشته روش‌های مختلفی برای بررسی خواص این فرآیندها معرفی شده است. نوسان زمانی و مکانی رویدادهای زلزله تشکیل سری‌های زمانی می‌دهد. هدف استفاده از مکانیک آماری (statistical mechanics) توصیف رفتارهای سری زمانی است که به درک بهتر

2 - آنالیز تقاطع سطح

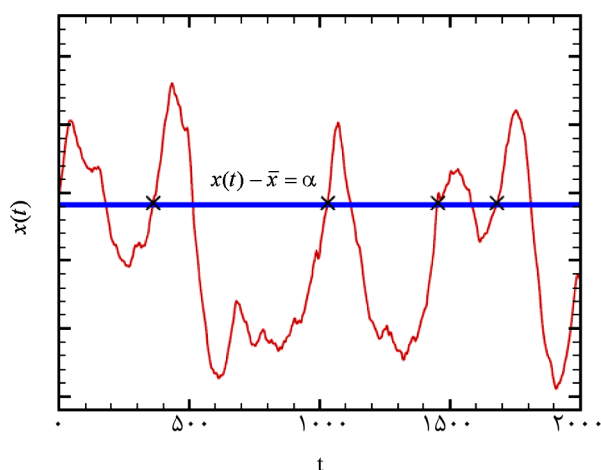
برای درک بهتر، خلاصه‌ای از تجزیه و تحلیل LC بیان می‌شود. یک سری $\{x(t)\}$ از فاصله زمانی بین رویدادهای زلزله در نظر گرفته می‌شود. n_{α}^{+} بیانگر تعداد تفاضل مثبت در سطح $x(t) - \bar{x} = \alpha$ در فاصله زمانی است، شکل (1). مقدار میانگین n_{α}^{+} برای همه فواصل زمانی برابر $N_{\alpha}^{+}(T)$ است:

$$N_{\alpha}^{+}(T) = \langle n_{\alpha}^{+}(T) \rangle \quad (1)$$

که $\langle \cdot \rangle$ نشان‌دهنده متوسط آنسامبل (ensemble average) است. برای یک فرآیند همگن (ثابت) متوسط تعداد بالا رفتن متناسب با فاصله زمانی T می‌باشد. در نتیجه:

$$N_{\alpha}^{+}(T) = \nu_{\alpha}^{+} T \quad (2)$$

که در آن ν_{α}^{+} فرکانس متوسط تقاطع با شیب مثبت در سطحی برابر با $y = x(t) - \bar{x} = \alpha$ است. پارامتر فرکانس ν_{α}^{+} می‌تواند از زمینه تابع چگالی احتمال PDF (Probability Density Function)، $y \equiv x(t) - \bar{x}$ و $y' = (y(t + Dt) - y(t)) / Dt = Dy / Dt$ استنباط شود که $P(y, y')$ نام‌گذاری می‌شود [8, 9, 12, 15, 16].



شکل (1): تقاطع با شیب مثبت در یک سطح دلخواه $x(t) - \bar{x} = \alpha$.

در فاصله زمانی Dt نمونه در سطح $x(t) - \bar{x} = \alpha$ فقط می‌تواند با شیب مثبت عبور کند، چنانچه ویژگی $x(t) - \bar{x} < \alpha$ را در شروع فاصله زمانی داشته باشد. علاوه

روش فوق برای تخمین اطلاعات آماری سری‌ها است. تقاطع سطح برای آنالیز سری‌های زمانی استفاده می‌گردد. تقاطع سطح بر پایه فرآیندهای تصادفی است که به فهم مقیاس وابستگی سری‌های زمانی به فرآیندهای تصادفی کمک می‌کند.

ابداً روش تقاطع سطح، مطالعه سری‌هایی با دیدهای مختلف است. به‌وسیله تقاطع سطح می‌توان حافظه (memory)، غیرگوسی بودن (non-Gaussianity) و زمان انتظار (طول) (waiting time (length)) (زمان متوسطی که باید انتظار کشید تا این که یک رویداد برای بار مجدد مشاهده شود) اندازه‌گیری کرد [8-12]. از آنجایی که نوفه‌های گاوسی نمونه شناخته شده هستند، مقایسه آن‌ها با داده‌های تجربی می‌تواند به عنوان یک معیار برای درک بهتر نتایج به‌دست آمده از روش تقاطع سطح اعمال شده به داده‌های تجربی استفاده شود.

مقدار مجموعی N_{tot}^{+} نامیده می‌شود که نشان‌دهنده تعداد کل بالا رفتن (upcrossings) یک سری و چگونگی ایفای نقش حافظه است. برای بررسی بهتر اثرات حافظه، نقاط هر سری زمانی زمینه‌ای را بُر زده (shuffle) و تعداد کل تقاطع در سری‌های برخوردی N_{sh}^{+} محاسبه می‌شود. سپس به مقایسه با داده‌های سری زمانی اصلی خود N_{tot}^{+} ، برای به‌دست آوردن درصد تغییر در سیستم پرداخته می‌شود. با روش بُر زدن، خودهمبستگی‌ها (autocorrelations) از بین می‌رود [13-16].

عامل ایجاد زلزله حرکت‌های درونی زمین است؛ اما آیا به‌راحتی می‌توان رفتار آن را پیش‌بینی نمود؟ وقتی تعداد متغیرهای تأثیرگذار بر سیستمی زیاد باشد، به‌راحتی نمی‌توان عامل و یا عوامل اصلی برای بررسی رفتار آن را عنوان و برچسب‌گذاری کرد. به این ویژگی، پیچیدگی سیستم می‌گویند. چیزی که به‌عنوان نتیجه و رویداد فعلی و همچنین رویدادهای گذشته در نهایت مشاهده می‌شود برآیند همه عوامل تأثیرگذار است. آیا با مطالعه و بررسی سابقه و رفتار سیستم می‌توان به روش و نتایجی مبنی بر توصیف و پیش‌بینی رفتار سیستم رسید؟!

بر آن، حداقلی برای زمان t وجود دارد، اگر سطح $x(t) - \bar{x} = \alpha$ در فاصله Dt تقاطع داشته باشد که به مقدار $x(t) - \bar{x}$ در زمان t بستگی دارد؛ بنابراین تقاطع مثبتی از $x(t) - \bar{x} = \alpha$ در فاصله زمانی Dt بعدی خواهد بود، اگر در زمان t

$$x(t) - \bar{x} < \alpha \quad (3)$$

$$\frac{D[x(t) - \bar{x}]}{Dt} < \frac{\alpha - [x(t) - \bar{x}]}{Dt}$$

همان‌طور که در فرکانس نشان داده شد v_{α}^{+} را می‌توان به صورت تابع چگالی احتمال $P(y = \alpha, y')$ به صورت رابطه (4) تعریف نمود:

$$v_{\alpha}^{+} = \int_0^{\infty} P(\alpha, y') y' dy' \quad (4)$$

که در آن بخش $P(\alpha, y')$ تابع چگالی احتمال مشترک $P(y, y')$ در مقدار $y = \alpha$ است.

همچنین می‌توان کمیت $N_{tot}^{+}(q)$ را به صورت رابطه (5) تعریف کرد:

$$N_{tot}^{+}(q) = \int_{-\infty}^{+\infty} v_{\alpha}^{+} |\alpha - \bar{\alpha}|^q d\alpha \quad (5)$$

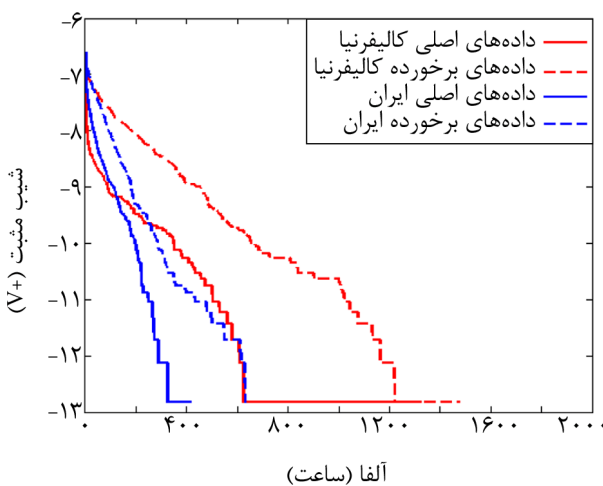
که در لحظه اول $q = 0$ ، تعداد نهایی تقاطع با شیب مثبت را برای بازگشت به بزرگای زلزله نشان می‌دهد. هنگامی که $q < 1$ است، درباره زلزله‌های مکرر و کوچک اطلاعات را نشان می‌دهد و تا وقتی $q > 1$ است، به رویدادهای نادر و زلزله‌های بزرگ حساس خواهد بود [9, 16, 17].

به منظور بررسی اثر همبستگی و حافظه، N_{sh}^{+} محاسبه می‌شود و تعداد نهایی تقاطع با شیب مثبت را در سری‌های زمانی هنگامی که بُر خورده‌اند را نشان می‌دهد. در اینجا، جایگشت تصادفی (random permutation) برای بُر زدن داده‌ها استفاده می‌شود. خودهمبستگی‌ها توسط روش بُر زدن از بین می‌رود. در نتیجه با مقایسه N_{tot}^{+} از داده‌های اصلی با N_{sh}^{+} محاسبه‌شده از داده‌های بُر خورده، می‌توان مقدار همبستگی را در سری‌های زمانی به دست آورد که اطلاعات مفیدی از سری‌های زمانی را نشان می‌دهد. با مقایسه اختلاف بین N_{sh}^{+} و N_{tot}^{+} (پس از بُر زدن)، حافظه

$$R \equiv \left| \frac{N_{sh}^{+} - N_{tot}^{+}}{N_{tot}^{+}} \right| \quad (6)$$

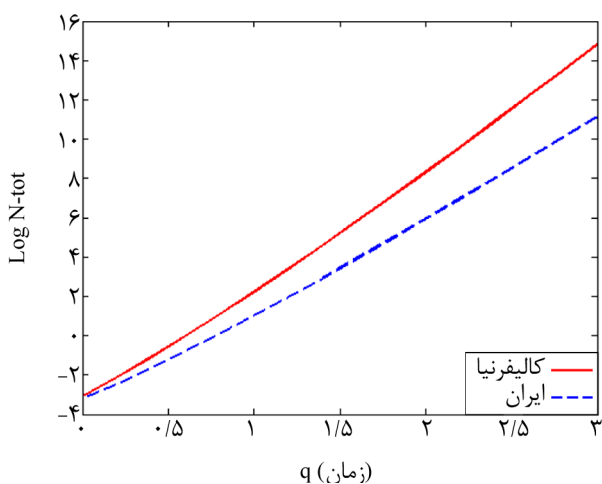
3 - بحث و نتایج

زلزله‌های ایران و کالیفرنیا از تاریخ 1971/01/01 تا 2013/08/03 مورد مطالعه قرار گرفت. بنای مطالعه حاضر بر مقایسه این دو ناحیه و همبستگی‌های آماری زلزله‌ها در این دو ناحیه است. زلزله‌های بزرگ‌تر از 4 ریشتر انتخاب شده و با فاصله‌های زمانی بین زلزله‌ها، سری زمانی و با فاصله‌های مکانی بین زلزله‌ها سری مکانی تشکیل می‌شود [22]. تقاطع با شیب مثبت با استفاده از رابطه (4) برای داده‌های ایران به صورت زیر به دست آمد. در شکل (2)، داده‌های اصلی و بُر خورده نشان داده شده است.



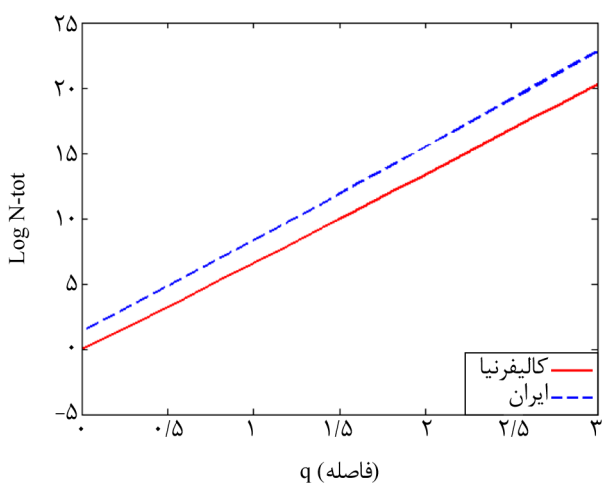
شکل (2): نمودار v_{α}^{+} زلزله‌های ایران و کالیفرنیا برای داده‌های اصلی و بُر خورده در سری زمانی.

همچنین در زمان‌های دورتر انتظار وقوع زلزله بزرگ‌تر در کالیفرنیا بیشتر از ایران است.



شکل (4): نمودار N_{tot}^+ زلزله‌های ایران و کالیفرنیا در سری زمانی.

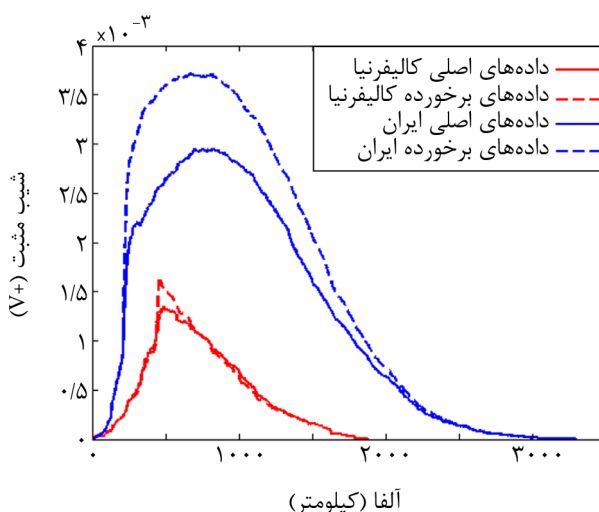
تعداد نهایی تقاطع با شیب مثبت با استفاده از رابطه (5) در سری حاصل از مکان برای زلزله‌های ایران و کالیفرنیا محاسبه می‌شود، شکل (5).



شکل (5): نمودار N_{tot}^+ زلزله‌های ایران و کالیفرنیا در سری مکانی.

شیب نمودار برای کالیفرنیا و ایران تقریباً یکسان است. به عبارت دیگر وقوع زلزله در کالیفرنیا و ایران از نظر مکانی رفتار مشابهی دارد. با استفاده از رابطه (6) تغییرات نسبی بین زلزله‌های ایران و کالیفرنیا برای سری زمانی برای q بین صفر تا 3 محاسبه شده است که در شکل (6) مشاهده می‌شود.

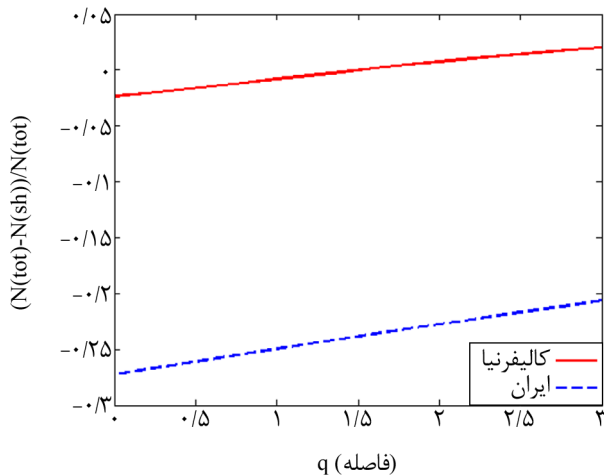
شکل (2)، وجود همبستگی مثبت زلزله‌های ایران و کالیفرنیا نسبت به زمان را نشان می‌دهد. البته همبستگی در مقایسه با نمودار زلزله‌های ایران کمتر است. همان‌طور که در شکل (2) مشاهده می‌شود، در زلزله‌های کوچک ایران همبستگی بیشتری وجود دارد، اما همبستگی زمانی در کالیفرنیا در زلزله‌های بزرگ بیشتر است. سری مکانی زلزله‌های ایران، برای داده‌های اصلی و داده‌های بُر خورده در شکل (3) نشان داده شده است.



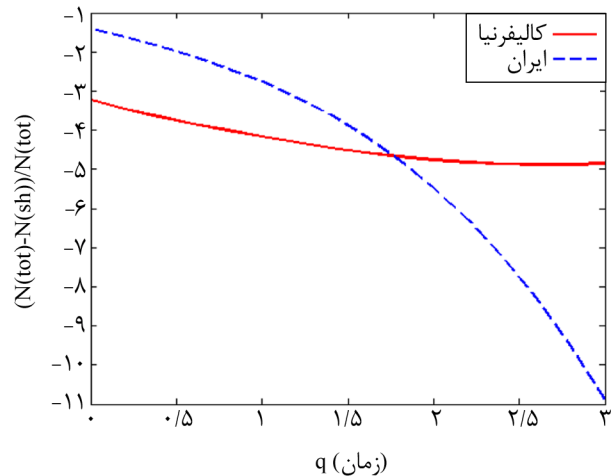
شکل (3): نمودار v_{α}^+ زلزله‌های ایران و کالیفرنیا برای داده‌های اصلی و بُر خورده در سری مکانی.

در این مورد نیز همبستگی زلزله‌ها مشهود است. همان‌طور که شکل (3) نشان می‌دهد همبستگی در زلزله‌های ایران بیشتر است. همچنین نشان می‌دهد که زلزله‌ها از یکدیگر اثر پذیرفته و موجب تحریک یکدیگر می‌شوند. به عبارت دیگر درصد زلزله‌های القایی در ایران از کالیفرنیا بیشتر است.

تعداد نهایی تقاطع با شیب مثبت با استفاده از رابطه (5) در سری زمانی برای زلزله‌های ایران و کالیفرنیا محاسبه می‌شود که در شکل (4) نشان داده شده است. شیب نمودار برای کالیفرنیا بیشتر از ایران است که نشان می‌دهد وقوع زلزله در کالیفرنیا از ایران محتمل‌تر است و از نظر زمانی هر چه زلزله‌ها بزرگ‌تر شوند این احتمال افزایش می‌یابد.



شکل (7): نمودار $(N_{sh}^+ - N_{tot}^+) / N_{tot}^+$ زلزله‌های ایران و کالیفرنیا در سری مکانی.

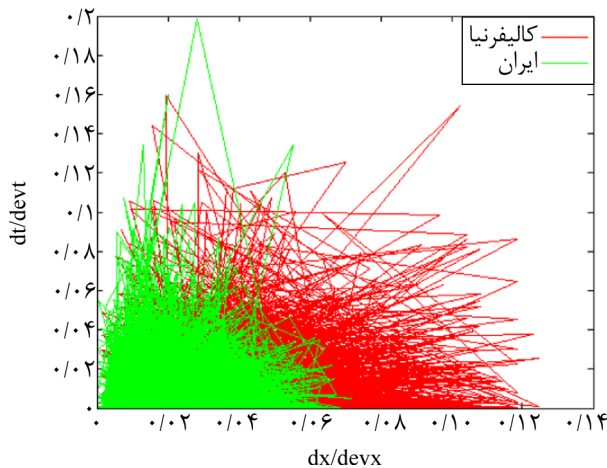


شکل (6): نمودار $(N_{sh}^+ - N_{tot}^+) / N_{tot}^+$ زلزله‌های ایران و کالیفرنیا در سری زمانی.

جدول (2): مقادیر تعداد کل تقاطع با شیب مثبت و تغییرات نسبی در سری مکانی.

$ N_{sh}^+ - N_{tot}^+ / N_{tot}^+$	N_{sh}^+	N_{tot}^+	
0/2506	5/0091	4/0054	ایران
0/0156	0/9387	0/9536	کالیفرنیا

شکل (8): توزیع مکانی - زمانی زلزله‌های ایران و کالیفرنیا را نشان می‌دهد.



شکل (8): نمودار N_{tot}^+ زلزله‌های ایران و کالیفرنیا در توزیع مکانی - زمانی.

در ادامه، تقاطع نمودار در شعاع‌های مختلف برای دو منطقه محاسبه شده و به صورت بر واحد سطح شده و نمودار لگاریتمی - لگاریتمی آن در شکل (9) نشان داده شده است.

همان‌طور که شکل (6) نشان می‌دهد، در زلزله‌های کوچک‌تر، ایران فعال‌تر و حساس‌تر است؛ اما وقتی زلزله‌ها از حدی بزرگ‌تر می‌شود کالیفرنیا فعالیت بیشتری دارد. به عبارت دیگر برای زلزله‌های کوچک حافظه ایران بیشتر از کالیفرنیا است.

در جدول (1)، مقادیر تقاطع با شیب مثبت برای داده‌های اصلی و بُرخورده و همچنین مقدار اختلاف نسبی سری زمانی برای زلزله‌های ایران و کالیفرنیا در $q=0$ آورده شده است.

جدول (1): مقادیر تعداد کل تقاطع با شیب مثبت و تغییرات نسبی در سری زمانی.

$ N_{sh}^+ - N_{tot}^+ / N_{tot}^+$	N_{sh}^+	N_{tot}^+	
1/1232	0/0859	0/0405	ایران
3/7169	0/2149	0/0456	کالیفرنیا

با استفاده از رابطه (6) تغییرات نسبی بین زلزله‌های ایران و کالیفرنیا برای سری حاصل از مکان‌ها برای q بین صفر تا 3 محاسبه می‌شود، شکل (7).

همان‌طور که در شکل (7) مشاهده می‌شود از نظر مکانی در زلزله‌های کوچک و بزرگ، رفتار مشابهی دارد.

در جدول (2) مقادیر تقاطع با شیب مثبت برای داده‌های اصلی و بُرخورده و همچنین مقدار اختلاف نسبی سری مکانی برای زلزله‌های ایران و کالیفرنیا $q=0$ آورده شده است.

مقدار اختلاف نسبی در سری زمانی برای زلزله‌های کالیفرنیا بیشتر از ایران است. به عبارت دیگر زلزله‌ها در کالیفرنیا از نظر زمانی حافظه بیشتری نسبت به ایران دارند. یعنی در زلزله‌های کالیفرنیا پس از وقوع یک زلزله برای رویداد بعدی زمان بیشتری وجود دارد.

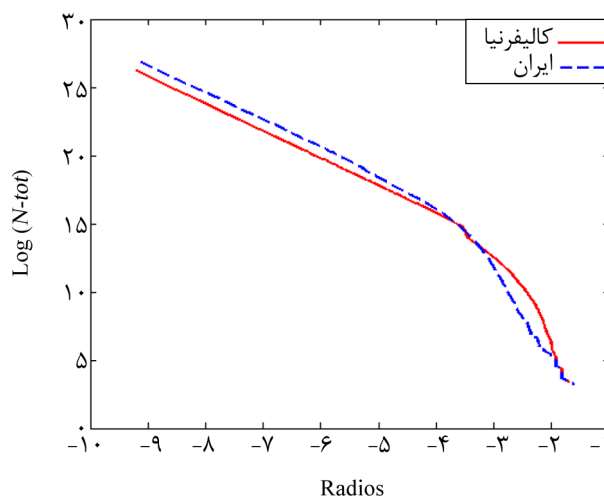
مقدار اختلاف نسبی در سری مکانی برای ایران بیشتر از کالیفرنیا است. به این معنی که از نظر مکانی همبستگی بیشتری در زلزله‌های ایران وجود دارد. به بیان دیگر پس از وقوع زلزله انرژی گسل تخلیه شده و این انتظار که گسل حاضر و یا گسل‌های نزدیک آن زلزله ایجاد کنند، کمتر می‌شود.

در ایران میل به وقوع زلزله در مکان نزدیک‌تر و یا زمان نزدیک‌تر و یا هر دو مورد و از زمانی به بعد و فاصله‌ای به بعد است. در کالیفرنیا زلزله میل دارد در مکان دورتر و یا زمان دورتر و یا هر دو مورد رخ دهد. این نتیجه می‌تواند به دلیل تفاوت نوع گسل‌های این دو منطقه باشد. در ایران گسل‌های با طول کوتاه‌تر به تعداد بیشتر است؛ اما در کالیفرنیا گسل‌های با طول بزرگ (گسل سن‌آندریاس به طول 1300 کیلومتر) و به تعداد کم وجود دارد؛ بنابراین با وقوع زلزله‌ای در کالیفرنیا انرژی زمین تخلیه شده و گسل دیگری وجود ندارد تا زلزله‌ای ایجاد نماید. پس برای زلزله بعدی زمان بیشتری طول می‌کشد تا تجمع انرژی صورت گرفته و یا زلزله در مکانی دورتر رخ دهد.

بیشتر زلزله‌های کالیفرنیا امتداد لغز می‌باشد در حالی که در ایران بیشتر زلزله‌ها از نوع تراستی است؛ بنابراین وقتی زلزله‌ای در کالیفرنیا رخ می‌دهد انرژی زمین تخلیه شده و مابقی گسل تخلیه تنش می‌شود؛ اما در ایران حرکت گسل‌ها عمودی است و رفتار مستقل‌تری دارد.

مراجع

1. Rice, S.O. (1994) Mathematical analysis of random noise. *Bell System Technical Journal*, **23**, 282-332.
2. Rice, S.O. (1945) Mathematical analysis of random noise. *Bell System Technical Journal*, **24**, 46-156.



شکل (9): نمودار لگاریتمی N_{tot}^+ بر واحد سطح زلزله‌های ایران و کالیفرنیا در توزیع مکانی-زمانی.

بررسی شکل‌های (8) و (9) نشان می‌دهد تقاطع با شیب مثبت در توزیع مکانی-زمانی به صورتی است که در ایران میل به زلزله شعاع نزدیک‌تر (مکان نزدیک‌تر و یا زمان نزدیک‌تر و یا هر دو مورد) می‌باشد. از زمانی به بعد و فاصله‌ای به بعد، در کالیفرنیا زلزله میل دارد در شعاع دورتر (مکان دورتر و یا زمان دورتر و یا هر دو مورد) رخ دهد. این نتیجه می‌تواند به دلیل تفاوت نوع گسل‌های این دو منطقه باشد. همچنین رفتار زلزله‌ها از شعاعی به بعد متفاوت می‌شود.

4 - نتیجه گیری

آنچه از نتایج این تحلیل دیده می‌شود این است که آنالیز تقاطع سطح، ویژگی‌های مهمی از سری‌های زمانی و مکانی زلزله‌ها آشکار می‌کند. اختلاف‌هایی که میان نمودارهای مربوط به داده‌های اصلی و بُر خورده وجود دارد نشان می‌دهد احتمالاً می‌توان از این ابزار برای تمیز دادن نوع زلزله‌ها و فراوانی آن‌ها و همچنین مقدار همبستگی زلزله‌ها در ناحیه‌های مختلف استفاده کرد. اختلاف نسبی بین داده‌های اصلی و بُر خورده برای زلزله‌های کالیفرنیا بیشتر از ایران است. به عبارتی دیگر در کالیفرنیا پس از یک رویداد مدت زمان بیشتری برای رویداد بعدی وجود دارد.

- Analysis*. 3rd Ed. (Harlow, UK: Longman Scientific and Technical).
12. Shahbazi, F., Sobhanian, S., Rahimi Tabar, M.R., Khorram, S., Frootan G.R., and Zahed, H. (2003) Level crossing analysis of growing surfaces. *J. Phys. A: Math. Gen.*, **36**(10), 2517-2524.
 13. Vahabi, M. and Jafari, G.R. (2007) *Global Privatization and Its Impact*, Ed. I, Hagen, J. and Halvorsen, T.S. (Hauppauge, NY: Nova Science) chapter 7.
 14. Ghasemi, F., Sahimi, M., Peinke, J., Friedrich, R., Jafari, G.R., and Rahimi Tabar M.R. (2007) Markov analysis and Kramers-Moyal expansion of nonstationary stochastic processes with application to the fluctuations in the oil price. *Phys. Rev. E*, **75**, 060102(R).
 15. Jensen, M.H., Johansen, A., Petroni, F., and Simonsen, I. (2004). Inverse statistics in the foreign exchange market. *Physica A*, **340**, 678-684.
 16. Movahed, M.S., Jafari, G.R., Ghasemi, F., Rahvar, S., and Rahimi Tabar, M.R. (2006) Multifractal detrended fluctuation analysis of sunspot time series. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, (2), P02003.
 17. Peitgen, H.O., Saupe, D., and Barnsley, M.F. (1988) *The Science of Fractal Images*. Springer-Verlag.
 18. Bunde, A., Eichner, J.F., Havlin, S., Kantelhardt, J.W., Koscielny-Bunde, E., Rybski, D., Vjushin, D., and Zhidkov, I. (2005) Long-term persistence in the atmosphere: on test beds for climate models and a natural mechanism for clustering of extreme events. *Proceedings of Iranian Phys. Soc.*, Teheran.
 19. Shadkhoo, S. and Jafari, G.R. (2009) Multifractal detrended cross-correlation analysis of temporal and spatial seismic data. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, **72** (4), 679-683.
 20. Vahabi, M. Jafari, G.R., and Movahed, M.S. (2011) Analysis of fractional Gaussian noises
 3. Newland, D.E. (1993) *An Introduction To Random Vibrations, Spectral and Wavelet Analysis*. 3rd Ed. (Harlow, UK: Longman Scientific and Technical).
 4. Rahimi Tabar, M.R., Sahimi, M., Kaviani, K., Allamehzadeh, M., Peinke, J., Mokhtari, M., Vasaghi, M., Nirry, M.D., Ghasemi, F., Bahraminasab, A., Tabatabai, S., and Fayazbakhsh, F. (2005) Dynamics of the Markov time scale of seismic activity may provide a short-term alert for earthquakes. arXiv: physics/0510043v1 [physics.geo-ph].
 5. Shadkhoo, S. and Jafari, G.R. (2009) Multifractal detrended cross-correlation analysis of temporal and spatial seismic data. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, **72**(4), 679-683.
 6. Rahimi Tabar, M.R., Sahimi, M., Kaviani, K., Allamehzadeh, M., Peinke, J., Mokhtari, M., Vesaghi, M., Nirry, M.D., Ghasemi, F., Bahraminasab, A., Tabatabai S., Fayazbakhsh, F., and Akbari, M. (2007) Modelling Critical and Catastrophic Phenomena in Geoscience: A Statistical Physics Approach. *Lecture Notes in Physics*, **705**, 281-301, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
 7. Simonsen, I., Jensen, M.H., and Johansen, A. (2002) Investment horizons: A time-dependent, measure of asset performance. *The European Physical Journal*, **27**, 583.
 8. Rosato, V., Simonsen, I., Meloni, S., Peters, K., Festenberg, N. von, and Helbing D. (2008) A complex system's view of critical infrastructures. *Managing Complexity: Insights, Concepts, Applications*, 241-260.
 9. Mogens, H.J., Johansen, A., and Simonsen, I. (2003) Inverse statistics in economics: the gain-loss asymmetry. *Physica A., Statistical Mechanics and its Applications*, **324**(1-2), 338-343.
 10. Jensen, M.H. (1999) Multiscaling and Structure Functions in Turbulence: An Alternative Approach. *Physical Review Letters*, **83**, 76.
 11. Newland, D.E. (1993) *An Introduction to Random Vibrations, Spectral and Wavelet*

using level crossing method. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, (11), P11021.

21. Vahabi, M., Jafari, G. R. and Sadegh Movahed, M. (2011) Analysis of fractional Gaussian noises using level crossing method. *J. Stat. Mech.*, P11021.
22. Data was downloaded from <http://www.iiees.ac.ir/> and <http://www.usgs.gov/>.