

## بررسی و تعیین پیش نشانگرهای لرزه ای با استفاده از مقیاس زمانی مارکوف بر اساس گردآوری و پردازش برخط داده های لرزه ای شبکه ملی لرزه نگاری باند پهن ایران

محمد مختاری<sup>۱</sup>، زهره مختاری<sup>۲</sup>، مریم اکبری لیواری<sup>۳</sup>، محمدرضا رحیمی تبار<sup>۴</sup>،

<sup>۱</sup>رئیس مرکز پیش بینی زمین لرزه کشور، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، [mokhtari@iiees.ac.ir](mailto:mokhtari@iiees.ac.ir)  
<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله شناسی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، [zohre.mokhtari@stu.iiees.ac.ir](mailto:zohre.mokhtari@stu.iiees.ac.ir)  
<sup>۳</sup>کارشناس مرکز پیش بینی زمین لرزه کشور، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، [m.akbari@iiees.ac.ir](mailto:m.akbari@iiees.ac.ir)  
<sup>۴</sup>عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف، [rahimitabar@sharif.edu](mailto:rahimitabar@sharif.edu)

### چکیده

در زندگی روزمره بسیاری از وقایع دارای عدم قطعیت هستند یعنی نمی توان با قطعیت در مورد آنچه که در ثانیه ها و دقایق بعد رخ می دهد صحبت کرد، این رویدادها را در زمره فرایندهای تصادفی قرار می دهند. تکنیک های ریاضیاتی و محاسبات عددی به کار رفته در مدل های تصادفی خیلی ساده نیستند به نحوی که در یک دوره مقدماتی، ابتدا کمی از این مدل های تصادفی به محققان آموزش داده می شود تا آن ها را قادر سازد تفکر در مورد کاربردهای فرایندهای تصادفی ای که در حیطه ی تحقیقاتشان موجود می باشد، آغاز کنند. برای در مدل کردن پدیده های تصادفی نیاز به ابزار های ریاضیاتی داریم. با بررسی داده های لرزه نگاشت از طریق فرایندهای تصادفی با استفاده از گشتاورهای شرطی نشان دادیم که لرزه نگاشتها شامل نوفه های محیطی و محلی می باشند نهایتا با بررسی کمیت های ریاضی موردنظر در مورد پیش یابی زمان زمین لرزه ، مکان و بزرگای آن بحث کرده ایم.

**واژه های کلیدی:** عدم قطعیت، محاسبات عددی، فرایندهای تصادفی، نوفه، پیش یابی، مکان، بزرگا

### Abstract

In everyday life, many events are uncertain, that is, one cannot speak with certainty about what happens in seconds and minutes; these events are categorized as random processes. Mathematical techniques and numerical calculations used in random models are not very simple, so that in an introductory period, a small amount of these random models is taught to researchers to enable them to think about the applications of random processes which are available in their research. We need mathematical tools to model random phenomena. By investigating seismic map data using random processes using conditional moments, we showed that seismic maps include local and environmental noise. Finally, we predict the magnitude of the earthquake location and time ahead of considering the required mathematical quantities.

**Keywords:** uncertainty' numerical calculations' random processes' noise' predict' location' magnitude

### ۱ مقدمه

بررسی خواص آماری سری های زمانی فیزیولوژیکی از این نظر اهمیت دارد که تا حدودی می توان به ساز و کار حاکم بر این سیستم ها پی برد. چنین آنالیزهایی بر اساس این واقعیت اند که سیستم های فیزیولوژیکی بصورت سیستم پیچیده افت و خیز می کند (انوری، ۱۳۹۴).

در یک سیستم تصادفی آنچه که اهمیت دارد، بررسی احتمال وقوع یک اتفاق است. در فرایندهای مارکوف، احتمال شرطی در هر گام فقط به یک گام قبلی بستگی دارد [۲].

**طول مارکوف:** شرط لازم برای مارکوف بودن فرآیند این است که تابع چگالی احتمال شرطی داده ها در گام های متوالی آن فرآیند در معادله چپمن-کولموگروف صدق کند. با گسسته سازی فرآیند در پنجره های زمانی که حداقل برابر با طول مارکوف باشند می توان فرآیند نهایی را مارکوف در نظر گرفت. در ابتدا کمیت  $S$  که تفاضل دو طرف معادله چپمن-کولموگروف است، به فرم زیر تعریف می شود:

$$S = | p(x_3, t_3 | x_1, t_1) - \int dx_2 p(x_3, t_3 | x_2, t_2) p(x_2, t_2 | x_1, t_1) |$$

به ازای هر  $x_1$  و  $x_3$  معین، مقادیر مختلف  $|t_3 - t_1|$  را امتحان کرده، مینیمم  $S$  را از طریق رسم منحنی  $S$  بر حسب  $|t_3 - t_1|$  می یابیم. در نهایت وقتی که  $S \approx 0$ ،  $|t_3 - t_1|$  برابر با طول مارکوف فرآیند،  $T_m$ ، خواهد بود (قاسمی، ۱۳۸۴) (انوری، ۱۳۹۴).

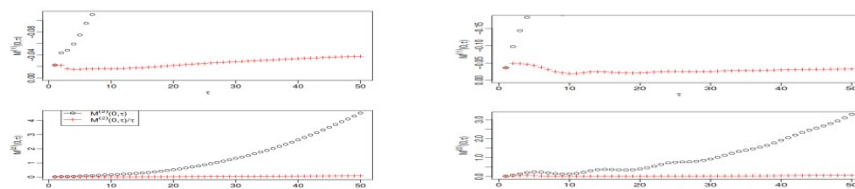
روش خودمتمشابهی تعمیم یافته: یک روش متداول که معمولاً برای تحلیل آماری فرآیندهای تصادفی به کار می رود، بررسی رفتار مقیاس بندی است. در این نوع بررسی تابع ساختار مرتبه  $q$  ام را به صورت زیر تعریف می کنند:

$$S_q(\tau) = \langle |x(t+\tau) - x(t)|^q \rangle$$

نقطه‌ی شروع منحنی را  $T_1$  می نامیم (قاسمی، ۱۳۸۴).

## ۲ روش تحقیق

**بررسی نوفه لرزه نگاشت:** بررسی فرایندهای تصادفی در حضور نوفه با معرفی معادله فوکر-پلانک و بیان معادله لانژون به-عنوان رهیافتی برای فهم و تحلیل این فرایندها به پدیده ناشی از نوفه‌های محیطی و تاثیر آن بر روی محاسبات ضرایب سوق و پخش از طریق داده‌های تجربی انجام می شود. در بررسی روش خودمتمشابهی تعمیم یافته و طول مارکوف مشاهده شد که مواقعی که لرزه نگاشت حامل نوفه محیطی است کمیت‌های  $T_1$  و  $T_M$  نیز افزایش می یابد و ما را به اشتباه می اندازد. بر این اساس بر آن شدیم که میزان نویز ایستگاه های لرزه نگاری پژوهشگاه بین المللی زلزله و مهندسی زلزله را با استفاده از این روش مورد ارزیابی قرار دهیم. در اینصورت، وقتی افزایش  $T_1$  و  $T_M$  را در یک ایستگاه داریم به نتایج ناشی از این نوفه سنجی مراجعه کرده و می بینیم که آیا این ایستگاه در این ساعات جزء ایستگاه های نوفه دار محسوب می شود یا خیر. اگر جواب منفی باشد این افزایش با اعتماد بیشتر به عنوان هشدار در نظر گرفته می شود. در این راستا، لرزه نگاشت ایستگاه های مختلف پژوهشگاه در ساعاتی از روز، ۱۳ GMT-۹، و شب، ۰۱ GMT-۲۱، مورد ارزیابی قرار گرفت. زیرا نویزهای محیطی مربوط به فعالیتهای اجتماعی ممکن است فقط در روز موجود باشد. به عنوان مثال رفتار ایستگاه قم، ghvr، در ساعات شبانه در شکل ۱ الف (سمت راست) در روز و ۱ ب (سمت چپ) در شب نمایش داده شده است.

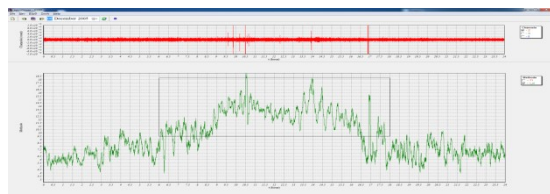


شکل ۱ این شکل رفتار نمودارهای  $M^{(n)}(y, \tau)$  (دایره) و  $M^{(n)}(y, \tau)/\tau$  (علامت بعلاوه) را برای ایستگاه قم (ghvr) در روز (الف) و در شب (ب) نشان می دهد.

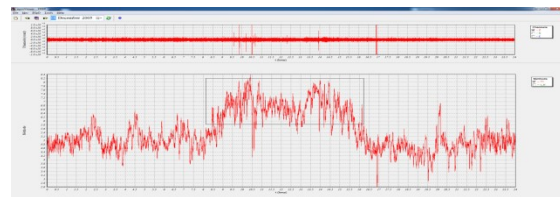
با مقایسه مشاهده می شود که نمودار  $M^{(n)}(y, \tau)/\tau$  در  $\tau = 0$  واگرانشده است و این نشان می دهد که در سیگنال نویز وجود ندارد. می توان نتیجه گرفت که در ایستگاه قم نویز بر دیتا غلبه ندارد. نتایج بررسی ایستگاه های دیگر در جدولی گردآوری شده است، که به جهت رعایت اختصار اینجا ذکر نمی کنیم و در پیوست گزارشات موجود می باشد. منظور از ایستگاه خوب، ایستگاهی که نویز بر دیتا غلبه ندارد. همچنین اگر پدیده ای دارای پرش ذاتی باشد، تعمیمی برای معادله لانژون لازم است. برای استخراج دینامیک حاکم بر یک سیستم از روی داده های اندازه گیری شده تجربی می توان به باز تولید معادله فوکر-پلانک و یا معادله دینامیکی آن یعنی معادله لانژون پرداخت. در فرایند پخشی- پرشی اکثر سری های زمانی که از فرایندهای طبیعی به دست می آیند، دارای  $D^4(y, t) \neq 0$  می باشند که به معنی ناپیوستگی فرایند است یکی از مدل هایی که می توان معادله لانژون را به آن تعمیم داد، فرایند پخشی- پرشی است. که همه توابع و پارامترهای این معادله به صورت غیر پارامتری از سری زمانی به دست می آیند.

**نوفه های محیطی:** در ایستگاه کرمان از حدود ساعت ۳ GMT که متناظر با ۶:۳۰ صبح می باشد معمولاً مقدار هر دو کمیت  $T_1$  و  $T_m$  از مقدار زمینه افزایش می یابد و با توجه به موقعیت ایستگاه، تا غروب یا ساعت ۱۲ شب ادامه پیدا میکند. در

بسیاری از موارد این افزایش می‌تواند به دلیل نویز محیطی ناشی از فعالیت‌های اجتماعی و روزانه و یا زلزله باشد. همچنین بازه زمانی افزایش ناشی از نویز می‌تواند به موقعیت مکانی ایستگاه یعنی فاصله از شهر یا روستا و یا فاصله از جاده بستگی داشته باشد. زمانی که افزایش کمیتهای مورد مطالعه به زمین لرزه ختم نشود و همزمان با ساعات افزایش فعالیت‌های اجتماعی و روزانه باشد این افزایشها قطعاً ناشی از نویز و نوفه‌های محیطی هستند که به صورت تیبیکال در منطقه دیده حضور دارند. یک اپراتور به لحاظ تجربی هرچه روی این موارد بیشتر کار کند تفاوت افزایش کمیت ناشی از نوفه را با زلزله بهتر تشخیص خواهد داد. بدین منظور نمونه‌هایی از افزایشهای ناشی از نویز را در ادامه خواهیم آورد. شکل ۲ و ۳ افزایشی را در ایستگاه کرمان از کمیت‌های  $T_m$  و  $T_1$  (سیگنال پایین) نسبت به لرزه نگاشت (سیگنال بالا) نشان می‌دهد. که از ساعت ۶ همزمان با ظهور نویز محیطی ناشی از فعالیت‌های اجتماعی و روزانه می‌باشد. در این شکلها محور افقی زمان و محور عمودی کمیت محاسبه شده است.



شکل ۳: افزایش کمیت  $T_m$ .

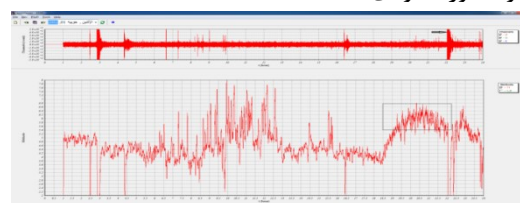
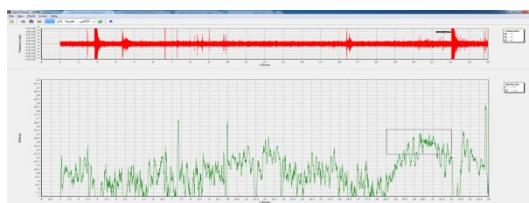


شکل ۲: افزایش کمیت  $T_1$ .

نویز محیطی ناشی از فعالیت‌های اجتماعی روزانه در تعیین هشدار زمین‌لرزه اختلال ایجاد می‌کند، زیرا اگر زمین‌لرزه در این ساعات از روز اتفاق بیفتد مشخص نیست که افزایش دو کمیت  $T_m$  و  $T_1$  هشدار برای زمین‌لرزه است یا به دلیل نویز روزانه. به همین دلیل افزایش‌هایی که در این ساعات اتفاق افتاده است به عنوان هشدار معیوب اعلام شده است. به عنوان مثال ایستگاه کرمان در تاریخ ۲۰۱۲/۰۵/۰۳ در شکل ۴ نشان داده شده است. در ساعت ۹:۱۰ زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۵/۴ در استان ایلام اتفاق افتاده است و کمیت  $T_1$  نیز در این ایستگاه از ساعت ۶ افزایش یافته است. ولیکن این افزایش به‌عنوان هشدار معیوب اعلام می‌گردد زیرا باید اثر نویز روزانه نیز در این ساعات در نظر گرفته شود.

ملاحظه می‌شود که در بررسی روش خودمتمشابهی تعمیم‌یافته و طول مارکوف واقعی که لرزه‌نگاشت حامل نوفه محیطی است کمیت‌های  $T_m$  و  $T_1$  نیز افزایش می‌یابد و ما را به اشتباه می‌اندازد. بر این اساس ضروری است که میزان نویز ایستگاه-های لرزه‌نگاری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله و مهندسی زلزله را با استفاده از کالیبراسیون دستگاهها مورد ارزیابی قرار دهیم (مختاری و همکاران، ۱۳۸۴) که در ابتدا به آن اشاره شد در اینصورت، وقتی افزایش  $T_m$  و  $T_1$  را در یک ایستگاه داریم به نتایج ناشی از این نوفه سنجی مراجعه کرده و می‌بینیم که آیا این ایستگاه در این ساعات جزء ایستگاه‌های نوفه‌دار محسوب می‌شود یا خیر. اگر جواب منفی باشد این افزایش با اعتماد بیشتر به عنوان هشدار در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال ایستگاه کرمان ( $krbr$ ) در نتایج بررسی ایستگاهی به عنوان ایستگاه خوب ارزیابی شده و منظور از ایستگاه خوب، ایستگاهی که نویز بر دیتا غلبه ندارد.

**هشدارهای مشاهده شده:** از بین ۱۱ ایستگاه که این دو روش برای آنها چک شد، خارج از ساعاتی که نویز محیطی وجود دارد، تعداد ۱۰ هشدار داشته‌ایم که برای رعایت اختصار در این مقاله نیست و در پیوست و گزارش نهایی موجود می‌باشد. به عنوان مثال ایستگاه کرمان در تاریخ ۲۰۱۲/۰۷/۰۱ در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. در ساعت ۰۱:۲۲ زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۵/۳ در استان خراسان رضوی اتفاق افتاده است و در این ایستگاه از ساعت ۱۹ افزایش یافته است. در این شکلها محور افقی زمان و محور عمودی کمیت محاسبه شده است.



شکل ۴: افزایش کمیت T1

شکل ۵: افزایش کمیت Tm.

### ۳ نتیجه‌گیری

در این پژوهش داده های لرزه ای (لرزه نگاشت) را از طریق فرآیندهای تصادفی مورد بررسی قرار دادیم. در محاسبه کمیات مورد نظر که به روش مارکوف و خودمتشابهی تعمیم یافته بررسی گردید مشاهده شد که این مقادیر به نوبه های محیطی و محلی وابسته هستند و با استفاده از گشتاورهای شرطی نشان دادیم که لرزه نگاشتها شامل نوبه های محیطی و محلی می باشند (مختاری و همکاران، ۱۳۸۴) در تشخیص ما اختلال ایجاد می کنند. بنابراین مشکل اصلی در پردازش لرزه نگاشت ها نوبه های محیطی است که اطلاعات غلطی وارد سیستم می کنند باید به دنبال روشهایی باشیم که فرکانس این نوبه ها را محاسبه کرده و بدون اینکه به داده ها آسیبی بزند این فرکانسها را حذف نماید لازم به ذکر است که این موضوع نیاز به مطالعه و بررسی بیشتری دارد که در حال انجام می باشد. با توجه به داده های پردازش شده، ایستگاههایی که نوبه پایین تری دارند و همچنین ایستگاههای با نوبه پایین تر که در بررسی ها به عنوان ایستگاه خوب (ایستگاهی که دیتا بر نوبه غلبه دارد) معرفی شده اند هشدار قابل اعتمادتری ارائه می دهند و نتیجه گرفتیم باید تمرکز مطالعات را روی این ایستگاهها افزایش داد و هشدارهای مقبول و معیوبی نیز ثبت کردیم که قابل ملاحظه می باشند. با افزایش تمرکز مطالعات بر روی این ایستگاهها مشاهده کردیم در موارد بسیار زیادی هشدارهای موفق و یا قابل توجه داشته ایم که به عنوان پیش یابی زمانی زمین لرزه به هدف ابتدایی دست یافتیم همچنین در قدم بعدی برای تخمین و پیشیابی مکان و بزرگای زمین لرزه نیاز به افزایش ایستگاههای لرزه نگاری و استقرار شبکه های مترکم داریم تا با کاهش خطا و افزایش دقت با اطمینان بیشتری از تخمین مکان و بزرگای زلزله صحبت کنیم.

### منابع

- باز تولید فرایندهای تصادفی. فاطمه قاسمی، محمدرضا رحیمی تبار، رساله دکتری، ۱۳۸۴
- بررسی سیستمهای پیچیده دینامیک مغز و تلاطم: از سری های زمانی تا جریان اطلاعات. مهرناز انوری، محمدرضا رحیمی تبار، رساله دکتری، ۱۳۹۴
- مختاری، محمد، محمدرضا رحیمی تبار، کامران کاویانی، محمد دهقان و مریم اکبری، کالیبراسیون سیستم هشدار ایستگاههای لرزه نگاری، پروژه پژوهشی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله ۱۳۸۴