Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۵
پاییز ۱۳۹۵، صفحات ۱۵۳-۱۳۷

ایرج جباری[۱]
زینب قادری[۲]

رابطه‌ی بین رویداد زلزله‌ها، زمان و بارش در ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰٤/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۰۲

چکیده

وقوع چندین زلزله در سال‌های اخیر در هنگام شب و انتظار رابطه وقوع آن‌ها با آب‌های زیرزمینی محرک انجام این پژوهش برای بررسی دو مسأله‌ی رابطه زلزله‌ها با زمان وقوع و همچنین با مقادیر بارش‌ها در ایران و در واحدهای زمین ریخت‌شناختی آن بوده است که برای انجام آن زلزله‌های ٤ ریشتر و بیش از آن طی سال‌های ۱۹۸۰- ۲۰۰۹ از پایگاه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و داده‌های بارش ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ روز قبل از وقوع زلزله از پایگاه سازمان هواشناسی به‌دست آمد و در اکسل دسته‌بندی شد و رابطه‌ی آن‌ها با روش‌های آماری تجزیه‌وتحلیل گردید. نتایج آزمون‌های کای دو و فی نشان داد که به‌طور کلی در طی ۳۰ سال و همچنین در هر سال در طی دوره آماری تفاوت معنی‌داری در فراوانی وقوع زلزله‌ها در شب یا روز وجود ندارد. در مورد رابطه‌ی زلزله با بارش‌ها نیز همبستگی اسپیرمن وضعیت بدون همبستگی را در هر ۵ بازه‌ی زمانی (۱۰ روز، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ روز قبل از وقوع زلزله) نمایان کرد. همچنین از نظر فراوانی وقوع زلزله با فراوانی بارش‌های قبل نیز، به‌طور کل رابطه‌ی معنی‌داری به‌دست نیامد. نظری دقیق‌تر به نتایج نشان داد که در بعضی سال‌ها در هر بازه‌ی زمانی یک رابطه‌ی معنی‌دار را می‌توان یافت ولی این روابط بیش‌تر در نبود بارش یا کم بودن آن معنی دارند. باوجود این، فراوانی وقوع

۱- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه رازی، کرمانشاه. E-mail: ir_jabbari@yahoo.com
۲- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

زلزله با فراوانی بارش قبل از آن تنها در بعضی سال‌ها و فقط در واحد زاگرس نتایج معنی‌داری را ارائه داد؛ به‌طوری که آزمون‌های کای‌دو و وی کرامر نشان داد که در سال ۱۹۹٦ در بازه‌ی زمانی ۱۰ روز و ۱۵ روز با افزایش بارش تا مرز ۳۸ میلی‌متر رخداد زلزله بیش‌تر شده است؛ به عبارت دیگر از ٤۲ مورد زلزله‌ی به وقوع پیوسته در ١٤ مورد، زلزله‌ها بارشی بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر و کم‌تر از ۳۸ میلی‌متر داشتند؛ در صورتی‌که با گذر بارش از مرز ۳۸ میلی‌متر، ۲۸ مورد زلزله به وقوع پیوسته است.

کلید واژه‌ها: مدیریت بحران، زمین‌لرزه، بارش، زمان، ایران.

مقدمه

شواهدی زیادی وجود دارد که فشار سیال بر روی پایداری گسل‌ها تأثیر می‌گذارد (تسانگ هو[3]، ۱۹۷٦: ۳۲۹؛ میلر[4]، ۲۰۱۳). این شواهد را می‌توان از زلزله‌هایی که به‌وسیله تزریق مستقیم سیال در داخل چاه‌ها (هیلی[5] و همکاران، ۱۹٦۸: ۱۳۰۸؛ ریلی[6] و همکاران، ۱۹۷٦: ۱۲۳٦؛ پاین و بچلور[7]، ۱۹۸٤: ۲٦۱؛ کریسیانس[8] و همکاران، ۲۰۰۵: ۳۱۹)، از نفوذ آب در سنگ‌های زیرین در نتیجه آبگیری سدهای بزرگ (سیمپسون[9]، ۱۹۸٦: ٤۰؛ تاوانی[10]، ۱۹۹۷: ۲۹۰) و از دوره‌های بارشی و دبی رود (کاستین[11] و همکاران، ۱۹۸۷: ٦۲) به‌دست آورد. تعدادی از محققان همبستگی معنی‌داری را بین زلزله‌های کم‌عمق و بارش‌ها به‌دست آورده‌اند (رُس و پاوُنی[12]، ۱۹۹۲: ۱۹۵؛ مارچو[13]، ۱۹۹۵: ۲۹۰؛ وستراوس و ژائو[14]، ۱۹۸۹؛ کارفی و شاپیرا[15]، ۱۹۹۰: ۲۸۱؛ سار و مانگا[16]، ۲۰۰۳: ٦۱۵).

بارش فصلی و تغذیه سفره‌های زیرزمینی، افزایش فشارهای هیدرودینامیک محصور شده را در پی دارد. این سفره‌ها به‌صورت کانال‌های آب زیرزمینی در امتداد مرز گسل‌ها جاری می‌شوند. افزایش لغزندگی و کاهش اصطکاک در امتداد گسل‌ها، باعث می‌شود در اندک زمانی بعد از بارش‌ها زلزله رخ دهد (کارفی و شاپیرا، ۱۹۹۱: ۲٥٦). معمولاً

3- Tsung-Ho
4- Miller
5 - Healy
6- Raleigh
7- Pine and Batchelor
8- Chrisiansen
9- Simpson
10 -Tawani
11- Costin
12- Roth and Pavoni
13- Murço
14- Westerhaus and Zshau
15- Karfi and Shapira
16- Saar and Manga

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

گسلش لرزه با مناطق اضافه فشار سیالات همراه است و بارش باران غیرعادی می‌تواند روند فعالیت لرزه‌ای را تحت تأثیر قرار دهد (مارچو، ۱۹۹۹: ۱۲٦). مارچو (۱۹۹۵: ۲۸۷) قبلاً نشان داده بود که ۷۰٪ زلزله‌های آلبانی در ماه نوامبر و آوریل و یک سوم زلزله‌ها در نوامبر و دسامبر اتفاق می‌افتند و با استفاده از آزمون شوستر نشان داد که در بعضی مناطق کشور همبستگی بیش‌تری بین زلزله‌های فصلی و بارش وجود دارد. در جنوب‌شرقی آلمان نیز بالاترین فعالیت لرزه‌ای، در ماه‌های تابستان که بالاترین بارندگی سالیانه وجود دارد مشاهده شده است (کرافت[17] و همکاران، ۲۰۰٦: ۲٥٦). از طرف دیگر جیمنز و گراسیا فرناندز[18] (۱۹۹۹: ٤٦۷) نیز با ۹۹ درصد اطمینان همبستگی را بین دوره‌های بارشی شدید و توزیع زمانی فعالیت ریز زلزله‌های محلی جزیره آتشفشانی ترنیف در جزایر قناری به‌دست آوردند. در صورتی که بررسی‌های ماتیوز[19] و همکارانش (۲۰۰۹: ٤۱۲) نشان داد فعالیت لرزشی در آتشفشان سوفریر هیلز مونت سرات[20]، حداکثر ظرف مدت ۳۰ دقیقه بعد از شروع وقایع بارندگی شدید و اوج بسیار گسترده‌تر، با تأخیر ٦ تا ٤۰ ساعت رخ می‌دهد. همچنین طبق بررسی‌های مارتینی[21] و همکارانش (۲۰۰۹: ۲٤٤) تمام عناصر به نقش باران در راه‌اندازی زلزله (در آتشفشان فوگو سائو میگوئل آزور) اشاره دارد. این زلزله‌ها احتمالاً از طریق تغییرات فشار در عمق در پاسخ به باران سطحی و تعامل با سیستم زمین گرمایی است رخ می‌دهند. مقدار تغییرات سرعت زلزله نیز می‌تواند به وقایع بارندگی مرتبط باشد.

ولی سار و مانگا (۲۰۰۳: ٦۱٥) این رابطه را بین تغذیه آب‌های زیرزمینی به علت ذوب برف فصلی با وقوع زلزله‌ها به‌دست آوردند و نشان دادند که تقریباً ۱٥۱ روز بعد از تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی زلزله‌ها رخ می‌دهند. وقایع لرزه‌ای بعد از سیل‌های عمده رودخانه وردن در فرانسه، به علت تغییرات فشار ناپایدار محلی، ناشی از بارگیری سفره‌های بزرگ زیرزمینی و مصنوعی صورت گرفته است (بولینگر[22] و همکاران، ۲۰۰۹: ۲۸).

ایران در یک کمربند زلزله‌خیز قرار دارد. داده‌های زلزله نشان می‌دهد که در طی ۳۰ سال گذشته در حدود ۳٤۲٤ زلزله‌ی خطرناک (٤ ریشتر و بالاتر) این کشور را تحت تأثیر قرار داده؛ به عبارتی هر ساله به‌طور متوسط ۱۱۰ زلزله در آن رخ داده است. باوجود این، روابط یاد شده برای مدیریت بهتر زلزله‌ها به‌خوبی آشکار نشده است و همواره این پرسش مطرح است که آیا در مناطق مختلف آن، وجود سیالات، بارش، سیل، تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی وغیره در تحریک حرکات گسل‌ها مؤثر بوده‌اند و از سوی دیگر پرسش دیگری که وجود دارد زمان وقوع زلزله‌هاست که

17- Kraft
18- Jimenez and Garcia-Fernandez
19- Matthews
20- Soufrière Hills Volcano, Motserrat
21- Martini
22- Bollinger

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

در سال‌های اخیر این تصور را به وجود آورده است که اغلب زلزله‌ها در مواقع شب رخ می‌دهند. از این‌رو در این تحقیق سعی شده است تا بررسی شود که آیا رابطه‌ای بین وقوع زلزله‌ها در زمان خاص یا با وقوع بارش‌های ویژه در ایران یا دست‌کم در نواحی خاصی از آن وجود دارد.

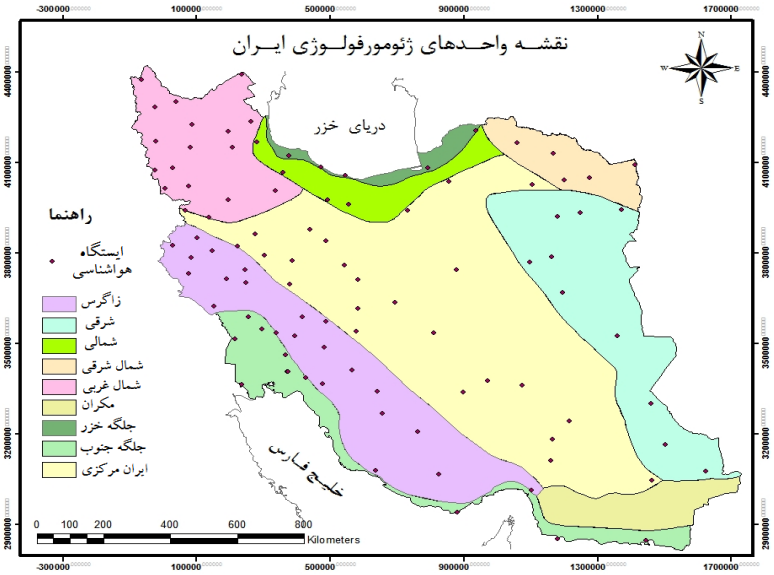
قلمرو مورد مطالعه

ایران با وسعت ۱٦٤٨١٩٥ کیلومترمربع، مابین ۲۵ تا ٤٠ درجه عرض شمالی و ٤٤ تا ٦٣ درجه طول شرقی واقع شده است. گسل‌های متعدد مانند گسل زاگرس، کازرون، البرز، سمنان، آستارا، تبریز، درود، قم-زفره، نایبند و غیره و همچنین چین‌خوردگی‌های گوناگون با ایجاد ناهمواری‌ها از نظر زمین‌ساختی و اقلیمی گوناگونی ویژه‌ای به این کشور بخشیده است. عواملی مانند جابه‌جایی صفحه‌ی اروپا نسبت به ایران، راندگی پوسته‌ی اقیانوسی دریای عمان به زیر مکران، همچنین راندگی پوسته‌ی اقیانوسی خزر جنوبی به زیر البرز، حرکت صفحه‌ی هند و شبه‌جزیره‌ی عربستان در اثر گسترش کف دریای سرخ در ایجاد لرزه‌خیزی و فعالیت گسل‌ها در این کشور مؤثر بوده‌اند (جداری عیوضی، ۱۳۹۰: ۷).

گوناگونی اقلیمی ایران با حضور دو ناهمواری البرز و زاگرس در نوسانات فضایی بارش آن کاملاً آشکار می‌شود. هر چند که متوسط بارش ۳٤۱ میلی‌متر گزارش می‌شود ولی از ۲۰۰۰ میلی‌متر در جنوب غربی دریای خزر تا ۵۰ میلی‌متر در چاله‌های مرکزی ایران نوسان پیدا می‌کند. در مجموع، مقدار بارندگی سالانه از مغرب به مشرق و از شمال به جنوب کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر، بیش‌ترین مقدار بارندگی در محل ورود بادهای غربی به داخل کشور و در دامنه بادگیر موانع کوهستانی قرار دارد (علیجانی، ۱۳۷۹: ۱۲۱).

وجود این گوناگونی باعث شده است تا ایران بر اساس یکی از عوامل، مانند ویژگی‌های ساختمانی-رسوبی، تاریخ کوهزایی، زمان و نوع پوسته و همچنین امتداد گسل‌ها، دخالت مقاومت و نوع سنگ، دخالت سیستم‌های چین‌خوردگی و غیره پهنه‌بندی شود (شکل ۱). در حالی که پهنه‌بندی کشور بر اساس دو جنبه‌ی بارشی و زمین ساختی برای اهداف این پژوهش ضروری است. از آن‌جا که پهنه‌بندی بر اساس زمین‌ریخت‌شناسی معمولاً این دو ویژگی را به‌طور غیرمستقیم نمایان می‌سازد برای اهداف این پژوهش نیز تقسیم‌بندی علایی (۱۳۸۸: ۷۲) که بر این اساس صورت گرفته است انتخاب شد؛ بنابراین نخست نقشه‌ی توپوگرافی ایران با مقیاس ۱:۵۱۵۰۰۰۰ با نرم‌افزار Global Mapper ژئو رفرنس شد و حدود تقریبی واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی ایران از طریق نرم‌افزار ArcGIS ویرایش گردید تا موقعیت زلزله‌ها و ایستگاه‌های باران‌سنجی نزدیک به آن‌ها در داخل هر واحد زمین‌ریخت‌شناسی تعیین شود.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025



شکل ۱: حدود تقریبی واحدهای ژئومورفولوژی ایران

مواد و روش‌ها

در این تحقیق داده‌های زلزله‌های ٤ ریشتر و بیش از آن طی سال‌های ۱۹۸۰– ۲۰۰۹ از پایگاه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله به‌دست آمد. این داده‌ها در مجموع ۳٤۲٤ زلزله را در بر می‌گرفتند. داده‌ها بر اساس واحدها، مکان وقوع زلزله، بزرگی زلزله، ساعت وقوع آن و عمق زلزله با استفاده از نرم‌افزارExcel مرتب گردید. به‌منظور بررسی رابطه‌ی وقوع زلزله‌ها با زمان شبانه‌روز، با توجه به ساعت وقوع آن‌ها در دو رده‌ی زمانی شب و روز قرار داده شد. داده‌های بارش روزانه‌ی به‌دست آمده از سازمان هواشناسی کشور نیز با استفاده از نرم‌افزارExcel مرتب شد. سپس در نقشه‌ی ژئورفرنس شده‌ی واحدهای ژئومورفولوژیک ایران موقعیت زلزله‌ها و ایستگاه‌های باران‌سنجی نزدیک به آن‌ها مشخص گردید و داده‌های مربوط به بزرگی زلزله، زمان وقوع زلزله‌ها و بارش‌ها برای هر یک از واحدها جدا گردید. تجزیه‌وتحلیل داده‌های مربوط به فراوانی وقوع زلزله‌ها در شب یا روز با استفاده از آزمون‌های کای دو و فی، در نرم‌افزار SPSS انجام شد و سپس با استفاده از آزمون‌های کای دو و وی کرامر فراوانی وقوع زلزله‌ها در مدت زمان شب و روز در هر یک از واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. در مرحله‌ی بعد رابطه‌ی معنی‌داری وقوع زلزله با مجموع بارش قبل از آن، در ۵ بازه‌ی زمانی ۱۰ روز، ۱۵ روز، ۲۰ روز، ۳۰ و ٤۰ روز برای کل منطقه‌ی مورد مطالعه و برای هر یک از واحدها با استفاده از نرم‌افزار Spss تجزیه‌وتحلیل شد. برای نشان دادن میزان رابطه‌ی زلزله و بارش، همبستگی اسپیرمن به‌کار برده شد. در صورتی‌که برای بررسی رابطه فراوانی وقوع زلزله با فراوانی بارش مربوطه آزمون‌های کای دو و وی کرامر استفاده شد.

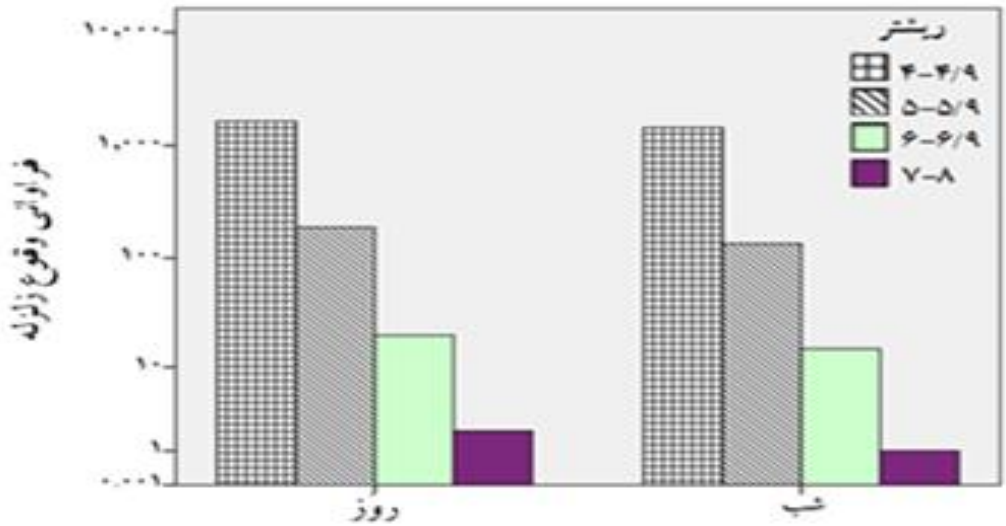
Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

یافته‌ها و بحث

- ارتباط وقوع زلزله‌های ایران با مدت زمان شب و روز

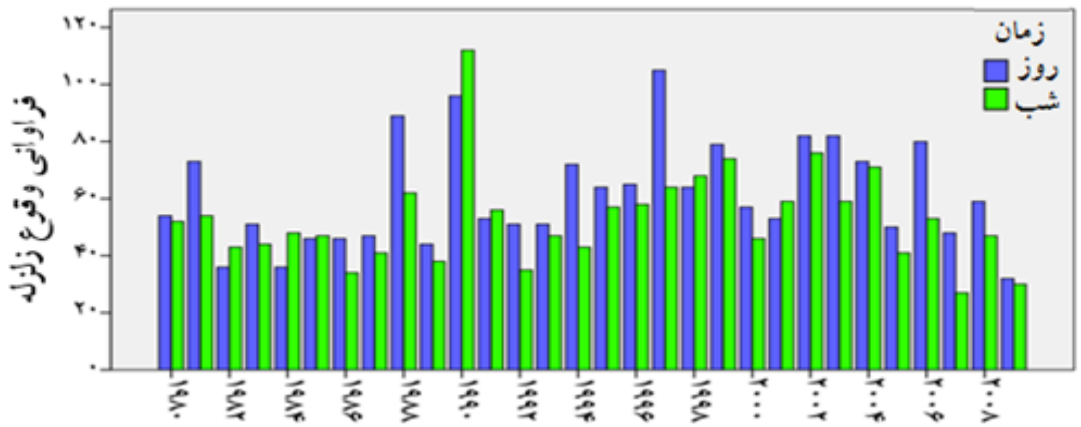
برای بررسی فراوانی وقوع زلزله‌ها در شب و روز با استفاده از ساعت وقوع آن‌ها، در دو دوره‌های زمانی شب و روز دسته‌بندی گردید. بدین ترتیب، بررسی‌ها نشان می‌دهد ۱۸۳۷ زلزله در طول مدت روز و ۱۵۸۲ زلزله در طول مدت شب به وقوع پیوسته است. به عبارتی ۵۳/۷ درصد زلزله‌ها در روز و ٤٦/۳ درصد زلزله‌ها در شب رخ داده‌اند (شکل ۲ و جدول ۱). نتایج آزمون‌ها نیز نشان می‌دهد، به‌طور کل در طی ۳۰ سال تفاوت معنی‌داری در فراوانی وقوع زلزله‌ها در شب یا روز وجود ندارد (df = ۳۱، P < ۰/۰۵) (شکل ۳ و جدول ۲). با توجه به نتایج آنالیز آماری انجام‌شده، فراوانی وقوع زلزله در مدت زمان شب و روز در هر سال از دوره‌ی آماری نیز تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. به عبارت دیگر سالی نبوده است که در زلزله‌های ایران، تفاوت معنی‌داری در فراوانی وقوع زلزله‌ها در شب یا روز رخ داده باشد (شکل ۳).

با این وجود بررسی فراوانی وقوع زلزله‌ها در مدت زمان شب و روز در واحدهای زمین‌ریخت‌شناسی مختلف نشان می‌دهد که تنها در واحد شرقی ایران ٦۳/۷٪ زلزله‌ها در طول روز و ۳٦/۳٪ درصد، در طی شب رخ داده است (جدول ۳) که این میزان در مواقع روز به‌طور معنی‌داری نسبت به تعداد وقوع آن در شب بیش‌تر است (df = ۲۲، P < ۰/۰۵) (جدول ٤). معنی‌داری تفاوت فراوانی وقوع زلزله در ساعات شبانه و روز به‌ویژه در سال ۱۹۹۷ آشکارتر است. به‌طوری که از ٤۰ مورد زلزله ۳۱ مورد در روز و ۹ مورد در شب رخ داده است.



شکل ۲: فراوانی وقوع زلزله در شب و روز بر حسب ریشتر

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025



شکل ۳: فراوانی وقوع زلزله در مدت زمان شب و روز طی سال‌های ۱۹۸۰- ۲۰۰۹

جدول ۱- فراوانی و درصد وقایع زلزله در روز و شب برحسب ریشتر طی سال‌های (۱۹۸۰- ۲۰۰۹)

زمان	تعداد	درصد کل تعداد	درصد کل مجموع	کم‌ترین	بیش‌ترین
روز	۱۸۳۷	٪۵۳ /۷	٪۵۳/۹	٤	۷/۳
شب	۱۵۸۲	٪٤٦/۳	٪٤٦/۱	٤	۷/۷
کل	۳٤۱۹	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٤	۷/۷

جدول ۲- نتایج سطح معنی‌داری در بررسی تعداد وقایع زلزله در شب و روز طی سال‌های (۱۹۸۰- ۲۰۰۹)

سطح معنی‌داری	مقدار	نوع آزمون	سطح معنی‌داری	درجه آزادی	مقدار	نوع آزمون	
۰/۰۵۳	۰/۱۱٤	فی	۰/۰۵۳	۳۱	٤٤/٦۹	کای دو	کل دوره‌ی آماری (۱۹۸۰- ۲۰۰۹)
			۰/۰۲٤	۳۱	٤۸/٤۳	نسبت احتمال	
	۳٤۱۹	تعداد معتبر	۰/۰۱	۱	٦/٦٦	ارتباط خط با خط	
					۳٤۱۹	تعداد معتبر	

جدول ۳- توزیع فراوانی وقوع زلزله در شب و روز در واحد ژئومورفولوژی شرقی

زمان	تعداد	درصد کل تعداد	مینیمم	ماکزیمم
روز	۱۲۳	٪۶۳/۷	۴-۴/۹	۷-۸
شب	۷۰	٪۳۶/۳	۴-۴/۹	۶-۶/۹
کل	۱۹۳	٪۱۰۰	۴-۴/۹	۷-۸

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

جدول ٤- نتایج آزمون کای دو و وی کرامر در بررسی فراوانی وقوع زلزله در شب و روز در واحد زمین‌ریخت شناسی شرقی

سطح معنی‌داری	مقدار	نوع آزمون	سطح معنی‌داری	درجه آزادی	مقدار	نوع آزمون	واحد ژئومورفولوژی
۰/۰۰٦	۰/٤۷	وی کرامر	۰/۰۰٦	۲۲	٤۲/۳۷	کای دو	شرقی
			۰	۲۲	۵۰/۵۷	نسبت احتمال	
	۱۹۳	تعداد معتبر	۰/۸۱	۱	۰/۰۵۸	ارتباط خط با خط	
					۱۹۳	تعداد معتبر	

- ارتباط وقوع زلزله‌ها با بارش‌ها

بررسی داده‌های مربوط به زلزله‌ها و مجموع بارش ۱۰ روز قبل نشان داد که از ۲٤۱۰ مورد زلزله در بیش از ۱۰۰۰ مورد بارشی رخ نداده است (شکل ٤ الف). بررسی میزان رابطه وقوع زلزله با بارش از طریق همبستگی اسپیرمن، وضعیت بدون همبستگی را نشان می‌دهد (r_s=۰/۰۲٤ ؛ n=۲٤۰۵ ؛ P>۰/۰۵). با این حال نتایج آزمون‌های کای دو و وی‌کرامر در بررسی فراوانی وقوع زلزله با فراوانی بارش‌های ۱۰ روز قبل نیز، به‌طور کل رابطه‌ی معنی‌داری نشان نداد (df = ۱۱۰۱، P > ۰/۰۵) (جدول ۵). در سال‌های مختلف نیز به غیر از سال ۲۰۰٦ رابطه‌ی معنی‌داری دیده نشد (df = ۷۲، P <۰/۰۵) (جدول ۵). همچنین بررسی مقدار آماره‌ی وی کرامر در این سال با رقم ۰/۷۷٦ رابطه‌ای نه‌چندان قوی را نشان می‌دهد.

جدول ۵- نتایج آزمون کای دو و وی کرامردر بررسی فراوانی وقوع زلزله و مجموع بارش ۱۰ روز قبل

سطح معنی‌داری	مقدار	نوع آزمون	سطح معنی‌داری	درجه آزادی	مقدار	نوع آزمون	سال وقوع زلزله
۰	۰/۷۷۶	وی کرامر	۰	۷۲	۱۴۹/۱۶۷	کای دو	۲۰۰۶
			۱	۷۲	۲۹/۳۵۶	نسبت احتمال	
	۱۲۴	تعداد معتبر			۱۲۴	تعداد معتبر	
۱	۰/۳۵۷	وی کرامر	۱	۱۱۰۱	۹۲۰/۹۳۹	کای دو	کل دوره‌ی آماری
			۱	۱۱۰۱	۳۸۸/۶۹۸	نسبت احتمال	
	۲۴۱۰	تعداد معتبر			۲۴۱۰	تعداد معتبر	

بررسی داده‌های مربوط به زلزله‌ها و مجموع بارش ۱۵ روز قبل نشان داد که از ۲٤۰۸ مورد زلزله در بیش از ۱۰۰۰ مورد بارشی رخ نداده است (شکل ٤ ب). همبستگی اسپیرمن بین دو مجموعه داده رابطه‌ی معنی‌داری را نشان نداد

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

(r_s=۰/۰۱۵ ؛ n=۲٤۰۳ ؛ P>۰/۰۵). سایر آزمون‌ها نیز به‌طور کل رابطه‌ی معنی‌داری بین فراوانی وقوع زلزله با فراوانی بارش‌های ۱۵ روز قبل را ارائه نمی‌دهند (df = ۱۳۷۱، P > ۰/۰۵) (جدول ٦). با این وجود بررسی سال‌های مختلف آماری بیان‌کننده‌ی ارتباط معنی‌دار طی سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰٦ می‌باشد (P < ۰/۰۵) (جدول ٦).

جدول ٦- نتایج آزمون کای دو و وی کرامر در بررسی فراوانی وقوع زلزله و مجموع بارش ۱۵ روز قبل

سطح معنی‌داری	مقدار	نوع آزمون	سطح معنی‌داری	درجه آزادی	مقدار	نوع آزمون	سال وقوع زلزله
۰	۰/۹۱	وی کرامر	۰	٤۱	۷۸/٦۵	کای دو	۱۹۹۵
			۰/۹۸	٤۱	۲۳/۸٦	نسبت احتمال	
	۹۵	تعداد معتبر			۹۵	تعداد معتبر	
۰	۰/۷۸	وی کرامر	۰	۷٦	۱۵۰/٦٦	کای دو	۲۰۰٦
			۱	۷٦	۳۱/٦٤	نسبت احتمال	
	۱۲٤	تعداد معتبر			۱۲٤	تعداد معتبر	
۱	۰/۳٦۸	وی کرامر	۱	۱۳۷۱	۹۷۷/۹٤	کای دو	کل دوره‌ی آماری
			۱	۱۳۷۱	٤۳۰/۱۹	نسبت احتمال	
	۲٤۰۸	تعداد معتبر			۲٤۰۸	تعداد معتبر	

بررسی داده‌های مربوط به زلزله‌ها و مجموع بارش ۲۰ روز قبل نیز نشان داد که از ۲٤۰٦ مورد زلزله نزدیک به ۱۰۰۰ مورد بارشی رخ نداده است (شکل ٤ پ). در مورد میزان رابطه‌ی زلزله با مجموع بارش ۲۰ روز قبل نیز نتایج همبستگی اسپیرمن نبود همبستگی را نشان داد (r_s=۰/۰۰۳ ؛ n=۲٤۰۱ ؛ P>۰/۰۵). آزمون‌های کای دو و وی کرامر بر روی این داده‌ها گویای نبود رابطه‌ی معنی‌داری بین فراوانی وقوع زلزله با فراوانی بارش‌های ۲۰ روز قبل می‌باشد (df = ۱۵۷۸، P > ۰/۰۵) (جدول ۷). با این وجود طی سال‌های متفاوت آماری در سال‌های ۱۹۸۳، ۱۹۹۵ و ۲۰۰٦ رابطه‌ی معنی‌داری بین فراوانی وقوع زلزله با فراوانی بارش دیده شد (P < ۰/۰۵) (جدول ۷).

بررسی داده‌های مربوط به زلزله‌ها و مجموع بارش ۳۰ روز قبل نشان داد از ۲٤۰٤ مورد زلزله در کم‌تر از ۱۰۰۰ مورد بارشی رخ نداده است (شکل ٤ ت). در مورد میزان رابطه‌ی زلزله با مجموع بارش ۳۰ روز قبل نتایج همبستگی اسپیرمن وضعیت نبود همبستگی را نشان داد (r_s=۰/۰۰۵ ؛ n=۲۳۹۹ ؛ P>۰/۰۵). همچنین سایر آزمون‌ها نیز به‌طور

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

کل رابطه‌ی معنی‌داری بین فراوانی وقوع زلزله با فراوانی بارش‌های ۳۰ روز قبل را ارائه نداد (df = ۱۹۸۹، P>۰/۰۵) (جدول ۸). موارد استثنایی در این رابطه در طی سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۶ مشاهده شد (P < ۰/۰۵) (جدول ۸).

جدول ۷- نتایج آزمون کای دو و وی کرامر در بررسی فراوانی وقوع زلزله و مجموع بارش ۲۰ روز قبل

سطح معنی‌داری	مقدار	نوع آزمون	سطح معنی‌داری	درجه آزادی	مقدار	نوع آزمون	سال وقوع زلزله
۰/۰۳۳	۰/۷۷۷	وی کرامر	۰/۰۳۳	۳۸	۵۵/۵۸	کای دو	۱۹۸۳
			۰/٦٤٨	۳۸	۳٤/۱۵	نسبت احتمال	
	٤٦	تعداد معتبر			٤٦	تعداد معتبر	
۰/۰۰۱	۰/۹۱	وی کرامر	۰/۰۰۱	٤٥	۷۸/٦٥	کای دو	۱۹۹۵
			۰/۹۹٦	٤٥	۲۳/۸٦	نسبت احتمال	
	۹۵	تعداد معتبر			۹۵	تعداد معتبر	
۰	۰/۷۷۳	وی کرامر	۰	۸۲	۱٤۸/۲۲۷	کای دو	۲۰۰٦
			۱	۸۲	۳۱/۵۸٦	نسبت احتمال	
	۱۲٤	تعداد معتبر			۱۲٤	تعداد معتبر	
۱	۰/۳۸۸	وی کرامر	۱	۱۵۷۸	۱۰۸۵/۹۰۹	کای دو	کل دوره‌ی آماری
			۱	۱۵۷۸	٤۷۸/٦٤	نسبت احتمال	
	۲٤۰٦	تعداد معتبر			۲٤۰٦	تعداد معتبر	

مانند موارد قبل، بررسی میزان رابطه‌ی زلزله و بارش ٤۰ روز قبل از طریق همبستگی اسپیرمن وضعیت بدون همبستگی را نمایان کرد (r_s=۰/۰۱۰ ؛ n=۲۳۹۷ ؛ P>۰/۰۵). نتایج سایر آزمون‌ها نیز حاکی از این است که به‌طور کل رابطه‌ی معنی‌داری بین فراوانی وقوع زلزله و فراوانی مجموع بارش ٤۰ روز قبل از آن، وجود ندارد (df = ۲۲۳۸، P > ۰/۰۵) (جدول ۹). در صورتی‌که رابطه‌ی معنی‌دار تنها در طول سال‌های ۱۹۸۱، ۱۹۹۵ و ۲۰۰٦ دیده شد(P < ۰/۰۵) (جدول ۹). بررسی داده‌های مربوط به زلزله‌ها و مجموع بارش ٤۰ روز قبل نیز نشان داد از ۲٤۰۲ مورد زلزله در کم‌تر از ۱۰۰۰ مورد بارشی رخ نداده است (شکل ٤ ج).

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

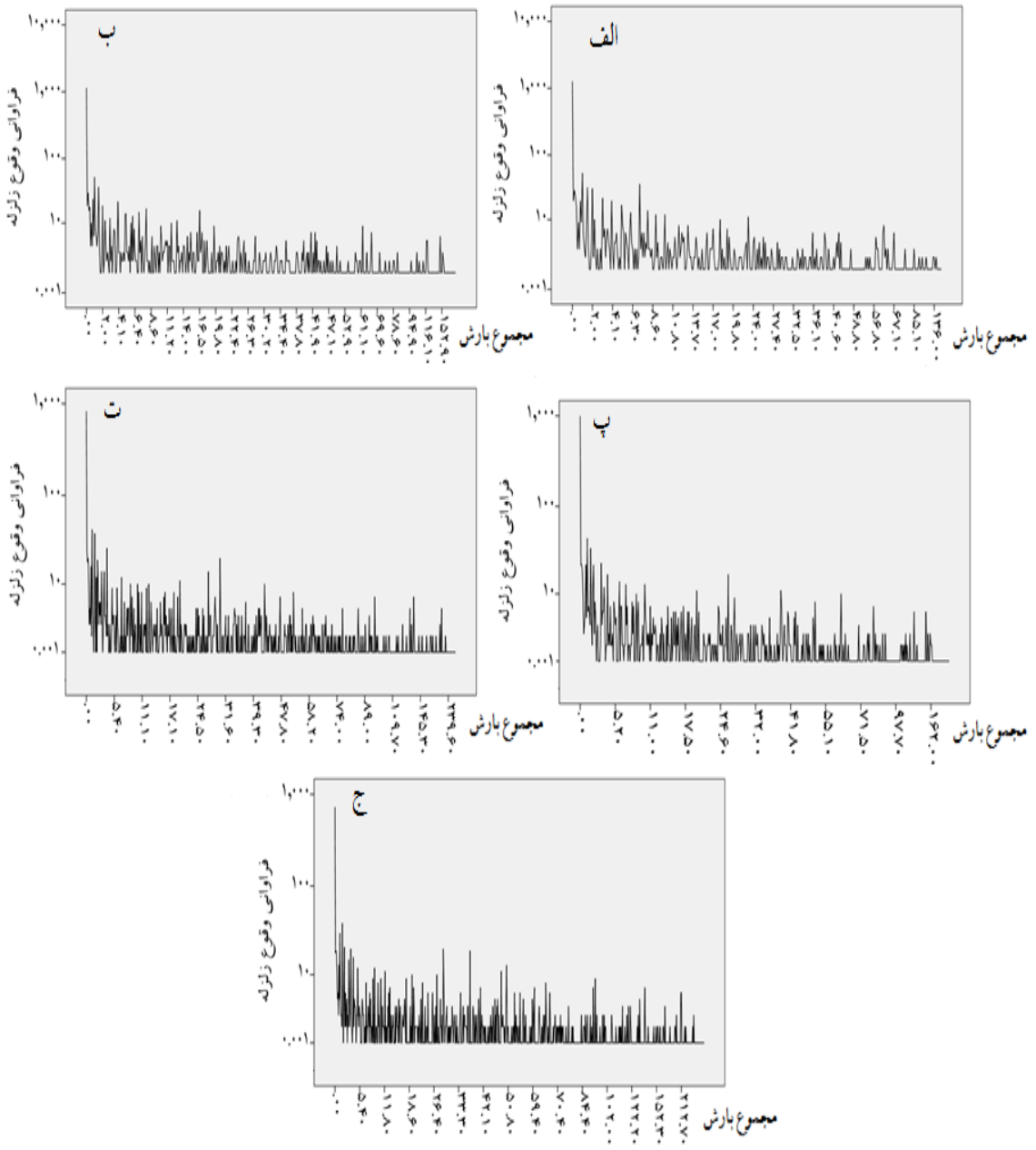
جدول ۸- نتایج آزمون کای دو و وی کرامر در بررسی فراوانی وقوع زلزله و مجموع بارش ۳۰ روز قبل

سطح معنی‌داری	مقدار	نوع آزمون	سطح معنی‌داری	درجه آزادی	مقدار	نوع آزمون	سال وقوع زلزله
۰/۰۴۲	۰/۹۱	وی کرامر	۰/۰۴۲	۵۸	۷۷/۸۱۷	کای دو	۱۹۹۵
			۱	۵۸	۲۳/۷۹۹	نسبت احتمال	
	۹۴	تعداد معتبر			۹۴	تعداد معتبر	
۰	۰/۷۸۱	وی کرامر	۰	۹۶	۱۵۱/۲۰۴	کای دو	۲۰۰۶
			۱	۹۶	۳۲/۲	نسبت احتمال	
	۱۲۴	تعداد معتبر			۱۲۴	تعداد معتبر	
۱	۰/۴۳۵	وی کرامر	۱	۱۹۸۹	۱۳۶۹/۹۴۹	کای دو	کل دوره‌ی آماری
			۱	۱۹۸۹	۵۸۴/۷۰۷	نسبت احتمال	
	۲۴۰۴	تعداد معتبر			۲۴۰۴	تعداد معتبر	

جدول ۹- نتایج آزمون کای دو و وی کرامر در بررسی فراوانی وقوع زلزله و مجموع بارش ۴۰ روز قبل

سطح معنی‌داری	مقدار	نوع آزمون	سطح معنی‌داری	درجه آزادی	مقدار	نوع آزمون	سال وقوع زلزله
۰/۰۲۹	۰/۶۳	وی کرامر	۰/۰۲۹	۷۵	۹۹/۹	کای دو	۱۹۸۱
			۰/۹۹۶	۷۵	۴۶/۴۱۷	نسبت احتمال	
	۸۴	تعداد معتبر			۸۴	تعداد معتبر	
۰/۰۴۸	۰/۹۱	وی کرامر	۰/۰۴۸	۵۸	۷۶/۹۸۳	کای دو	۱۹۹۵
			۱	۵۸	۲۳/۷۳۴	نسبت احتمال	
	۹۳	تعداد معتبر			۹۳	تعداد معتبر	
۰	۰/۸۲۱	وی کرامر	۰	۱۰۲	۱۶۷/۴۵۶	کای دو	۲۰۰۶
			۱	۱۰۲	۴۰/۳۵۷	نسبت احتمال	
	۱۲۴	تعداد معتبر			۱۲۴	تعداد معتبر	
۱	۰/۴۳۶	وی کرامر	۱	۲۲۳۸	۱۳۷۱/۸۱	کای دو	کل دوره‌ی آماری
			۱	۲۲۳۸	۶۴۵/۹۱۱	نسبت احتمال	
	۲۴۰۲	تعداد معتبر			۲۴۰۲	تعداد معتبر	

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025



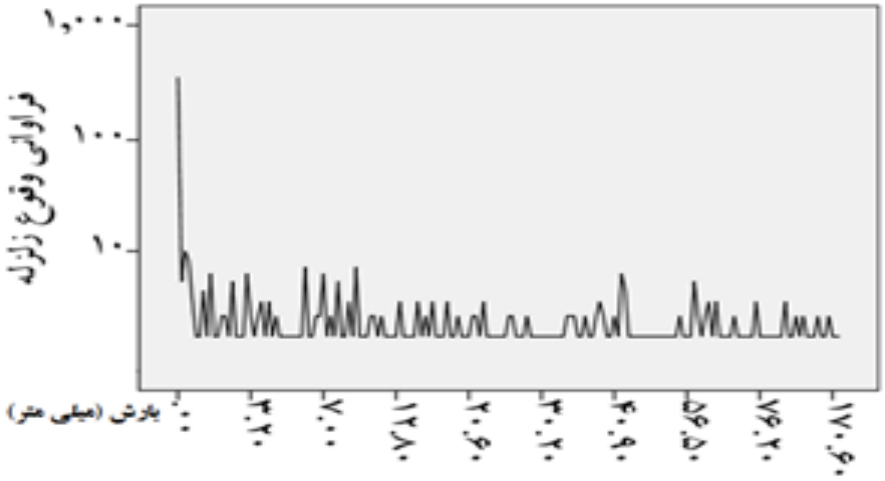
شکل ٤: مجموع بارش ۱۰ روز قبل از وقوع زلزله (الف)، ۱۵ روز قبل (ب)، ۲۰ روز قبل (پ)، ۳۰ روز قبل (ت)، ٤۰ روز قبل (ج)

- ارتباط وقوع زلزله‌ها با مجموع بارش‌های قبلی در واحدهای ژئومورفولوژی

بررسی داده‌ها درباره رابطه‌ی وقوع زلزله با فراوانی بارش قبل از آن، در ۵ بازه‌ی زمانی در واحدهای زمین ریخت شناختی نشان داد که تنها در واحد زاگرس تغییرات قابل‌توجهی در میزان زلزله با توجه به بارش‌های ۱۰ روز قبل رخ داده است؛ به‌طوری که از ٦٦٨ مورد زلزله در این واحد در حدود ۵۰۰ مورد بارشی رخ نداده است (شکل ۵).

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

نتایج آزمون‌های کای‌دو و وی کرامر نیز نشان داد که رابطه‌ی معنی‌داری بین فراوانی وقوع زلزله با فراوانی مجموع بارش ۱۰ روز قبل از آن تنها در این واحد زمین‌ریخت‌شناسی وجود دارد (P < ۰/۰۵ ،df = ۳٦٤) (جدول ۱۰). این در حالی است که اولاً هیچ رابطه‌ی معنی‌داری بین فراوانی زلزله و فراوانی بارش در بازه‌های ۱۵ روز، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ روز قبل از زلزله‌ها در این واحد مشاهده نشد و دوم این‌که با حذف ایستگاه‌های بدون داده‌ی بارشی و بارش‌های کم تر از ۱۰ میلی‌متر رابطه‌ی موجود دیگر برقرار نشد. این بدین معنی است که در این پهنه رابطه به‌صورت کاذب ظاهر شده است. در بررسی دقیق سال‌ها نیز به این رابطه‌ی کاذب می‌توان دست یافت؛ به نحوی که در سال ۲۰۰٦ این رابطه برای کل کشور در تمام بازه‌ها معنی‌دار می‌باشد؛ اما در این مورد نیز با حذف بارش‌های کم‌تر از ۱۰ میلی‌متر رابطه‌ای مشاهده نشد؛ بنابراین به‌طور کل می‌توان گفت وجود بارش‌هایی که صورت گرفته است نمی‌تواند در تحریک گسل‌ها مؤثر باشد و زلزله‌ها به میزان معنی‌داری در نبود بارش یا بارش‌های اندک رخ داده‌اند.



شکل ۵: مجموع بارش ۱۰ روز قبل از وقوع زلزله در واحد ژئومورفولوژی زاگرس

جدول ۱۰- نتایج آزمون کای دو و وی کرامردر بررسی فراوانی وقوع زلزله و مجموع بارش ۱۰ روز قبل، در واحد زاگرس

سطح معنی‌داری	مقدار	نوع آزمون	سطح معنی‌داری	درجه آزادی	مقدار	نوع آزمون	واحد ژئومورفولوژی
۰/۰۰۲	۰/۵۷۸	وی کرامر	۰/۰۰۲	۳٦٤	٤٤٦/۳	کای دو	زاگرس
			۱	۳٦٤	۸۷/۸۱	نسبت احتمال	
	٦٦۸	تعداد معتبر			٦٦۸	تعداد معتبر	

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

برای اطمینان از این‌که داده‌های بارشی پایین تجزیه‌وتحلیل را تحت تأثیر قرار ندهند ایستگاه‌هایی که داده‌های بارشی نداشتند و همچنین بارش‌های کم‌تر از ۱۰ میلی‌متر حذف شدند و تنها به تجزیه‌وتحلیل داده‌های با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر پرداخته شد؛ بررسی‌ها آشکار کرد به‌طور کلی، هیچ رابطه‌ی معنی‌داری در فراوانی وقوع زلزله با فراوانی بارش قبل از آن، در ۵ بازه‌ی زمانی وجود ندارد. این وضعیت برای حوزه‌های مختلف زمین ریخت‌شناختی نیز حفظ شد. در حالی‌که بررسی‌های بیش‌تر نشان داد که در سال ۱۹۹٦ در بازه‌ی زمانی ۱۰ روز و ۱۵ روز قبل از وقوع زلزله رابطه‌ی معنی‌داری با بارش وجود دارد. با بررسی داده‌های بارش در این سال مشاهده شد که موقعی که بارش از مرز ۳۸ میلی‌متر می‌گذرد رخداد زلزله بیش‌تر می‌شود؛ به عبارت دیگر در ١٤ مورد از ٤٢ مورد زلزله‌ی به وقوع پیوسته، بیش تر از ۱۰ میلی‌متر و کم‌تر از ۳۸ میلی‌متر بارش صورت گرفته است؛ در صورتی‌که با گذر بارش از مرز ۳۸ میلی‌متر، ۲۸ مورد زلزله به وقوع پیوسته است.

این مقدار بارش صورت گرفته در روزهای قبل از وقوع زلزله در مقایسه با بعضی مناطق دیگر جهان که مورد تحقیق قرار گرفته‌اند، مقدار خیلی کمی است که اگر خشکسالی‌های چند دهه‌ی اخیر و بهره‌برداری‌های بیش از حد از آب‌های زیرزمینی را نیز در محاسبات وارد شود نقش آن در میزان تغذیه آبخوان‌ها و به لغزش درآوردن گسل‌ها بیش از پیش تنزل می‌کند. به‌عنوان مثال، سوئیس که تحقیق رُس و پاوُنی (۱۹۹۲) در آنجا صورت گرفته است در بعضی ماه‌ها بیش از ۳۰۰ میلی‌متر بارش دریافت می‌کند. حتی، این مقدار بارش نیز ممکن است در بعضی مناطق با ذوب برف حاصل از بارش ماه‌های قبل تداخل پیدا کند (ماچو، ۱۹۹۲: ۱۲٦؛ سار و مانگا، ۲۰۰۳: ٦۱۵). طبیعی است که در این شرایط تغذیه آب‌های زیرزمینی نیز بیش‌تر صورت گرفته و اثرگذاری آن در لغزندگی سطح گسل‌ها افزایش می‌یابد. ولی هر گسلی بسته به میزان انرژی ذخیره شده، نوع گسل، عمق آن، نوع تشکیلات زمین‌شناسی و عوامل دیگر در آستانه معینی شروع به جابه‌جایی می‌کند و این باعث می‌شود که اگر بارش به‌اندازه کافی باشد، واکنش گسل‌ها در برابر آن با تأخیر صورت گیرد. در کوه هود[23] در اورگان آمریکا این تأخیر نسبت به ذوب برف و تغذیه آب‌های زیرزمینی ۱۵۱ روز برآورد شده است (سار و مانگا، ۲۰۰۳: ٦۱۵) و در هوشتُفن[24] آلمان با وقوع بارش‌ها این زمان تأخیر به ۹ تا ۱۱ روز و در بعضی فصول به ٦ روز کاهش می‌یابد (کارفت و همکاران، ۲۰۰٦: ۲۵٦). در این شرایط ممکن است گسل‌ها مخصوصاً در اعماق کم‌تر به‌صورت زلزله‌های ضعیف واکنش نشان دهند. به همین دلیل است که اغلب پژوهشگران مانند کریسیانسن و همکاران (۲۰۰۵: ۳۱۰) و رُس و پاوُنی (۲۰۰۵: ۳۱۰) در تحقیقات خود زلزله‌های خیلی‌کم‌عمق (۳ تا ۱۵ کیلومتری) را موردتوجه قرار داده‌اند.

23- Mt. Hood
24- Hochstaufen

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

در این تحقیق درست است که برای اهداف مدیریتی، زلزله‌های بزرگ‌تر از ٤ ریشتر و با اعماق مختلف (تا عمق ۲۵۰ کیلومتری) موردتوجه قرار گرفت، ولی با کنار گذاشتن زلزله‌های عمیق و تمرکز تجزیه‌وتحلیل‌ها بر روی زلزله‌های سطحی نیز در نتایج تغییر چندانی پیدا نشد.

نتیجه‌گیری

وقوع زلزله‌ها از نظر زمانی می‌تواند در هر زمانی رخ دهد. فراوانی چند رویداد بزرگ در شب یا در روز نمی‌تواند دلیلی بر برتری یکی از دوره‌های شب یا روز گردد. نتایج این تحقیق و پژوهش‌های کمی که در این زمینه صورت گرفته است نشان می‌دهد که یافتن رابطه‌ای بین فراوانی وقوع زلزله‌ها و زمان وقوع آن‌ها بسیار سخت می‌باشد و دست‌کم با فن‌های به‌کار رفته در این تحقیق نظم خیلی زیادی در وقوع زمانی زلزله‌های ایران مشاهده نمی‌شود.

باوجود این، درباره‌ی نقش بارش در وقوع زلزله‌ها تحقیقات قابل‌توجهی صورت گرفته است و نقشی که بارش در تغذیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی، افزایش لغزندگی و کاهش اصطکاک و در نتیجه در تحریک گسل‌ها و وقوع زلزله‌ها دارد آشکار شده است. علی‌رغم این، در ایران و واحدهای زمین‌ریخت‌ساختی آن به دلیل این‌که جریان آب در داخل زمین برای لغزنده نمودن سطوح گسلی کم است، این رابطه به‌طور مشخص برای زلزله‌های بزرگ‌تر از ٤ ریشتر به‌دست نیامد؛ بنابراین، برای بررسی بیش‌تر لازم است که مناطق بارشی بالا، نوع بارش و تأخیر زمانی که برای ذوب برف وجود دارد و همچنین توده‌های آبی مانند سدها نیز مورد توجه قرار گیرد.

در هر صورت، چیزی که به این بررسی مربوط می‌شد تعیین رابطه زلزله‌های با شدت بالا با دو عامل زمان و بارش به‌منظور مهار یا مدیریت آن‌ها بود که نتایج آن می‌تواند به پرسش‌های مطرح شده در سال‌های اخیر پاسخ داده و شک برنامه ریزان را برای مدیریت بحران مرتفع سازد. به عبارت دیگر، این آگاهی به‌دست می‌آید که برنامه‌ریزان و مدیران بحران باید به برنامه‌های امدادی خود در شب و روز و ساعات مختلف آن به یک اندازه بها داده و میزان آمادگی خود را برای مدیریت بحران براساس نیازی که در هر موقع می‌تواند وجود داشته باشد تنظیم کنند. از سوی دیگر درست است رابطه ضعیفی بین بارش و زلزله‌های بزرگ‌تر از ٤ ریشتر به‌دست نیامد ولی وجود بعضی روابط معنی‌دار در بعضی سال‌ها همچنان بحث را برای بررسی ابعاد دیگر آن از جمله بارش‌های برف در روزهای قبل از بارش، سطح آب‌های زیرزمینی و زلزله‌های کم‌عمق و ضعیف باز می‌گذارد. در این صورت ممکن است رابطه مستقیمی که باید بین بارش‌ها و آبخوان‌ها با زلزله‌های خیلی کوچک‌تر از ٤ وجود داشته باشد ظاهر شود. میزان این همبستگی از نظر میزان تأثیری که در کاهش زلزله‌های بزرگ می‌تواند داشته باشد اهمیت دارد و می‌تواند توجهات بیش‌تری را به سمت آبخوان‌داری جلب کند.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

منابع

- جداری‌عیوضی، جمشید (۱۳۹۰)، «***ژئومورفولوژی ایران***»، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

- عیلجانی، بهلول (۱۳۷۹)، «***آب‌وهوای ایران***»، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

- علایی‌طالقانی، محمود (۱۳۸۸)، «***ژئومورفولوژی ایران***»، نشر قومس، تهران.

- Bollinger, L., Nicolas, M., Marin, S., (2009), "Hydrological triggring of the seismicity around a salt diaper in castellane france", ***Earth and Planetary Scienc Letters***, 290: 20-29.

- Chrisiansen, L. B., Hurwitz, S., Saar, M. O., Ingebritsen, S. E., Hsieh, P.A., (2005), "Seasonal seismicity at western United States volcanic centers", ***Earth and Planetary Science Letters***, 240: 307– 321.

- Costain, J. K., Bollinger, G.A., Speer, J. A., (1987), "Hydroseismicity: a hypothesis for the role of water in the generation of intraplate seismicity", ***Seismol. Res. Lett***, 58: 41-64.

- Gimenez, M. j., Garcia-fernandez, M., (1999), "Occurrence of shallow earthquake following periods Of intense rainfall in Tereife,canary Island", ***Journal of Volcanology and Geothermal Research***, 103: 463-468.

- Kraft, T., Wassermann, J., Schmedes, E., Igel, H., (2006), "Meterological triggering of earthquake swarms at Mt. Hochstaufen, SE- Germany", ***Tectonophysics*** 424: 245-258.

- Kafri, U., Shapira, A., (1991), "Correlation between earthquake occurrence, rainfall and water level in lake kinnereth, Israael, ***Physics of the Earth and Planetary Interiors***, 62: 277-283.

- Martini, F., Bean, C. J., Saccorotti, G., Viveiros, F., Wallenstein, N., (2009), "Seasonal cycles of seimic velocity variation detected using code wave interferometry At fogo volcano, sao Miguel, Azores, during 2003-2004", ***Journal oF Volcanology and Geothermal Research***, 181: 231-246.

- Matthews, A. J., Barclay, J., Johnstone, J. E., (2009), "The fast response of volcano- Seismic activity intense precipitation:Triggering of primary vocanic activity by rainfall at Soufriere Hills vocano, Montserrat", ***Journal of Volcanology and Geothermal Research***, 184: 405-415.

- Miller, S. A., (2013), "The role of fluids in tectonic and earthquake processes", ***Advances in Geophysics***, 54: 1- 46.

- Murço, B., (1999), "Statical investigation on possible seasonality of seismic activity and rainfall-induced earthquake in Balkan area", ***Physics of the earth and planetary interiors*** 114: 119-127.

- Murcco, B., (1995), "The seasonality of Albanian earthquakes and cross- correlation with rainfall", ***Physics of the Earth and Planetary Interiors***, 88: 285- 291.

- Roth, PH., Pavoni, N., Deichmann, N., (1992), "Seismotectonics of the eastern Swiss Alps and evidence for precipitation– induced variations of seismic activity", ***Toctonophysics***, 207: 183-197.

Downloaded from geographical-space.ahar.iau.ir at 15:50 IRST on Tuesday December 16th 2025

- Saar, O. M., Manga, M., (2003), "Seismicity induced by seasonal ground water recharge At Mt. Hood, Oregon", ***Earth And Planetary Science Letters***, 414: 605-618.
- Tsung-Ho, H., Hsueh-Hai, L., (1976), "Strong-motion obsevation of water-induced earthquakes at Hsinfengkiang reseroir in China", ***Engineering Geology***, 10: 315-330.
- Healy, J. H., Rubey, W.W., Griggs, D. T., Raleigh, C. B., (1968), "The Denver earthquakes, ***Science***, 161: 1301-1310.
- Pine, R. J., Batchelor, A. S., (1984), "Downward migration of shearing in jointed rock during hydraulic injections. Int", ***J. Rock Mech.Min. Sci***, 21: 229-263.
- Raleigh, C. B., Healy, J. H., Bredehoeft, J. D., (1976), "An experimentin earthquake control at Rangely, Colorado", ***Science***, 191: 1230-1237.
- Roth, Ph., Pavoni, N., Deichmann, N., (1992), "Seismotectonics of the eastern Swiss Alps and evidence for precipitation-induced variations of seismic activity", ***Tectonophysics***, 207: 183-197.
Simpson, D. W., (1986), "Triggered earthquakes", ***Annu. Rev. Earth Planet. Sci***, 14: 21-42.
Talwani, P., (1997), "On the nature of reservoir-induced seismicity.Pure Appl", ***Geophys***, 150: 473-492.
- Westerhaus, M., Zschau, J., (1989), "Tidal tilt modi®cation at the western end of the north Anatolian fault zone: an indication for slow changes of crustal properties, In: Zschau", J., Ergu Enay, O., (Eds.), ***"Turkish±German Earthquake Research Project***", pp 82-108.