نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰

Vol.9, No.2, Summer 2021

۶۷ -۸۱

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]

[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

برآورد پارامترهای (تاریخ و شدت) دو زلزله قدرتمند ایران با استفاده از ترکیب پیش‌نشانگرهای مختلف زلزله

محمدمهدی خوش گفتار[۱*]، محمدرضا سراجیان[۲]

۱- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، گروه سنجش از دور، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲- استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، گروه سنجش از دور، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲

چکیده

مخاطرات طبیعی سالیانه سبب کشته شدن هزاران انسان و میلیون‌ها دلار خسارت مالی در سراسر جهان می‌شوند. زلزله‌ها از جمله مخاطرات طبیعی‌ای می‌باشند که توجه ویژه‌ای به آن می‌شود، زیرا این پدیده عموماً بدون هشدار یا با هشدارهای بسیار کم رخ می‌دهد. پیش‌نشانگرهای زلزله می‌توانند به عنوان زنگ خطری برای زلزله‌های قریب الوقوع باشند. از آنجا که یک پیش‌نشانگر به تنهایی قادر به پیش‌بینی دقیق زلزله نیست، بنابراین لازم است انواع مختلف پیش‌نشانگرها با یکدیگر ترکیب شوند. در این مطالعه، پیش‌نشانگرهای محتوای کلی الکترون *(TEC)*، دمای سطح زمین *(LST)*، عمق نوری هواویزها *(AOD)* و شارّ گرمای نهان سطح *(SLHF)* برای دو زلزله شدید کرمانشاه و بم مورد بررسی و تجریه و تحلیل قرار گرفته‌اند. از دامنه میانه و میان‌چارکی برای تشخیص ناهنجاری استفاده شده است. وقتی وضعیت آشفته مرتبط با زلزله قریب الوقوع تشخیص داده شود، بر اساس نوع پیش‌نشانگر، بازه زمانی وقوع زلزله نسبت به روز زلزله برآورد می شود. سپس با توجه به مقدار انحراف پیش‌نشانگر از حالت نرمال، بزرگی زلزله قریب الوقوع تخمین زده می‌شود. به منظور ارزیابی پارامترهای نهایی زلزله (تاریخ و شدت زلزله)، برای هر منطقه، از روش میانگین مربعات خطا *(MSE)* استفاده شده است. در این پژوهش تاریخ و بزرگی زلزله برای هر پیش‌نشانگر در زلزله‌های کرمانشاه و بم تخمین زده شد. با تلفیق پارامترهای زلزله بدست آمده از تمامی پیش‌نشاگرها، پارامترهای نهایی زلزله در مورد این دو زلزله برآورد گردید، که با توجه به نتایج بدست آمده تاریخ و شدت تخمینی زلزله قریب الوقوع تقریباً با تاریخ و شدت ثبت شده برای زلزله مطابقت داشت. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می‌شود که افزایش تعداد و تنوع پیش‌نشانگرهای زلزله می‌تواند منجر به برآورد دقیق پارامترهای زلزله شود.

کلید واژه‌ها : سنجش از دور، زلزله، پیش‌نشانگر، سری زمانی.

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، خیابان کارگر شمالی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی.

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۰۸۸۳۷

Email: mm.khoshgoftaar@ut.ac.ir

۱- مقدمه

زلزله یک پدیده پویا می‌باشد و معمولاً به دلیل جابجایی پوسته اتفاق می‌افتد. وجود تغییرات قبل از زلزله یا همراه با آن ممکن است تأثیرات فیزیکی و شیمیایی متفاوتی بر روی لیتوسفر، اتمسفر و یونوسفر داشته باشد و بر این اساس امکان تشخیص آن وجود دارد. تغییرات در پارامترهای لیتوسفر ، اتمسفر و یونوسفر که پیش از زلزله‌های اصلی رخ می‌دهد را می‌توان به عنوان نشانه‌ای از زلزله‌های قریب الوقوع (پیش‌نشانگرهای زلزله) در نظر گرفت. تحقیقات گسترده‌ای که طی دهه‌های گذشته در مورد پیش‌بینی زلزله انجام شده است، منجر به شناسایی تعداد زیادی از پیش‌نشانگرهای زلزله در لیتوسفر، اتمسفر و یونوسفر شده است. اخیراً مشاهدات مختلف ماهواره‌ای و زمینی احتمال بروز آشفتگی‌های لیتوسفر، اتمسفر و یونوسفر را که در اثر فرآیندهای پیش از وقوع زلزله ایجاد شده‌اند، نشان داده‌اند. استفاده از سنجش از دور در پیش‌بینی زلزله بحث جدیدی نمی‌باشد و بحث‌های فراوانی در این زمینه مطرح شده است. با توجه به مزایای تکنیک‌های سنجش از دور از جمله پوشش وسیع، دوره بهنگام‌سازی کوتاه، قدرت‌های تفکیک بالا و قابلیت پردازش آنی و همچنین ارائه نظریه‌هایی که مدعی ایجاد تغییرات ناگهانی در پارامترهای یونسفری، اتمسفری و لیتوسفری ناشی از فعالیت زمین لرزه‌ای می‌باشند، سعی در کشف ارتباطی میان نحوه ایجاد تغییرات در این پارامترها و فعالیت‌های زمین لرزه‌ای می‌شود. مطالعات بسیاری در خصوص مشاهدات ماهواره‌ای اختلالات و آشفتگی‌های مرتبط با فعالیت‌های لرزه‌ای انجام شده است [۱، ۲، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۳، ۲۶ و ۲۷]. اگر بتوان نشان داد که اختلالات به وجود آمده از زلزله، واقعی و سیستماتیک هستند، می توان آنها را به عنوان پیش‌نشانگرهای کوتاه مدت در نظر گرفت که بین چند ساعت تا چند روز قبل از زلزله رخ می‌دهند. توجه به اینکه ضروری می‌باشد که تمامی پیش‌نشانگرها پیش از زلزله ظاهر نمی‌شوند و بسته به شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و موقعیت زمین‌ساختی هر منطقه، تعداد بخصوصی از آنها، دارای درجه اهمیت بیشتری می‌باشند. همچنین با توجه به اینکه هیچ پیش‌نشانگری بخودی خود نمی‌تواند به عنوان یک ابزار دقیق و مستقل برای پیش‌بینی زلزله مورد استفاده قرار گیرد، ازاینرو تلفیق انواع مختلف پیش‌نشانگرها می‌تواند راه حل مناسبی برای غلبه بر عدم قطعیت پیش‌بینی زلزله باشد و با دقت بالاتری می‌توان تاریخ، شدت و منطقه وقوع زلزله را پیش‌بینی نمود. اکثر مطالعات انجام شده، تنها به بررسی وجود پیش‌نشانگرها پیش از زلزله‌های عظیم پرداخته‌اند و هیچ بحثی از روشی برای پیش‌بینی زلزله‌ها از روی پیش‌نشانگرها نشده است. در ضمن اکثر مقالات تنها بر روی یک پیش‌نشانگر متمرکز شده‌اند و تعداد محدودی از تلفیق پیش‌نشانگرها استفاده کرده‌اند. موارد مذکور، ضعف کارهای انجام شده در این زمینه می‌باشند که منجر به ارائه مدلی برای پیش‌بینی زلزله از روی پیش‌نشانگرها نشده‌اند. البته لازم بذکر است که برخی مطالعات نیز سعی در ارائه مدلی برای تعیین تاریخ، شدت و منطقه وقوع زلزله براساس تلفیق پیش‌نشانگرهای مختلف داشته‌اند، ولی هیچ یک از آنها از تمامی پیش‌نشانگرهای ذکر شده برای این منظور استفاده نکرده‌اند [۱۲، ۱۴ و ۱۹]. در این مطالعه سعی شده است که با تلفیق پیش‌نشانگرهای متعدد، بتوان راه‌حلی برای برآورد پارامترهای نهایی زلزله که شامل تاریخ و شدت زلزله است، پیدا نمود.

۲- داده‌ها

با توجه به هدف این مقاله، داده‌های مورد نیاز از چندین منبع انتخاب شده‌اند. این داده‌ها به صورت یک سری زمانی در بازه ۶۰ روزه نسبت به مکان جغرافیایی زلزله‌های مورد نظر جمع‌آوری و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این داده‌ها به شرح زیر می‌باشند.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

۲-۱- داده‌های محتوای کل الکترونی (TEC[1])

یکی از پارامترهای مهم که در شناخت حالت و دینامیک یونسفر قابل استفاده می‌باشد، محتوای کل الکترونی می‌باشد که بصورت تعداد کلی الکترون‌ها در پلاسمای یونیزه در یک استوانه به مقطع یک مترمربع بین ماهواره و گیرنده تعریف می‌شود. مشاهده تشعشعات نابهنجار امواج الکترومغناطیسی با فرکانس بالا در زمین و عکس‌العمل‌های یونسفر در مناطق زلزله زده نشان می‌دهد که در اثر آنومالی‌های میدان الکترومغناطیس زمین قبل از زلزله، تغییراتی در این پارامتر بوجود می‌آید که بوسیله اثرات و اغتشاشاتی که یونسفر بر روی امواج گرفته شده بوسیله گیرنده‌های سیستم تعیین موقعیت جهانی دو فرکانسه می‌گذارد، قابل اندازه‌گیری می‌باشد. برای مطالعه تغییرات *TEC*، از داده‌های نقشه جهانی یونوسفر[2] (*GIM*) که توسط آزمایشگاه پیشرانه جت ناسا (*JPL*[3]) تولید شده، استفاده شده است. *GIM* در یک شبکه جهانی با قدرت تفکیک ۲٫۵×۵ درجه (طول و عرض جغرافیایی) با قدرت تفکیک زمانی ۲ ساعته ساخته شده است. مطالعات زیادی به بررسی پیش‌نشانگر *TEC* پرداخته‌اند [۱، ۲، ۱۱، ۱۵، ۲۱ و ۲۲].

۲-۲- داده‌های مادیس[4]

سازمان ناسا سنجنده مادیس را در سال ۱۹۹۹بر روی ماهواره ترا[5] و در سال ۲۰۰۲ بر روی آکوا[6] قرار داده است. این سنجنده هر یک یا دو روز یک بار از تمام سطح زمین در ۳۶ باند طیفی تصویربرداری می‌کند. سنجنده مادیس در مجموع شامل ۴۹۰ آشکارساز می‌باشد. در هر نوار اسکن، باندهای ۱ و ۲ با حد تفکیک مکانی ۲۵۰ متر توسط ۴۰ آشکارساز، باندهای ۳ تا ۷ با حد تفکیک مکانی ۵۰۰ متر توسط ۲۰ آشکارساز و باندهای ۸ تا ۳۶ با حد تفکیک ۱۰۰۰ متر توسط ۱۰ آشکارساز برداشت می‌شوند. در این مطالعه، از دو محصول دمای سطح زمین[7] (*LST*) و عمق نوری هواویزها[8] (*AOD*) ماهواره‌های ترا و آکوا استفاده شده است.

۲-۲-۱- داده‌های دمای سطح زمین (LST)

دمای سطح زمین، که تحت تأثیر تابش خورشید، آلبدوی سطح، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و غیره قرار دارد، نشاندهنده یک لایه سطحی کاملاً نازک از متوسط دما است [۱۰]. تبادل انرژی میان لایه‌های مرزی و سطحی تحت تأثیر *LST* قرار می‌گیرد و همچنین دمای هوا در نزدیکی سطح توسط *LST* تعیین می‌شود [۱۰]. گسترده‌ترین محصولات مورد استفاده با وضوح مکانی یک کیلومتر و دقت تقریباً یک درجه کلوین، داده‌های *LST* مربوط به سنجنده مادیس می‌باشد [۲۲]. *LST*، که استفاده از آن برای پایش کوتاه مدت زلزله سودمند می‌باشد، برای تجزیه و تحلیل تغییرات ماهانه مناسب است. برای پایش ناهنجاری، یک دوره زمانی ۴۰ روزه کافی است [۴]. در این مطالعه، محصولات *LST* تصاویر ماهواره‌ای مادیس در نزدیکی مرکز زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. تصاویر روزانه و شبانه *LST* که توسط ناسا تهیه شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفته است. این پیش‌نشانگر در بسیاری از مطالعات مورد توجه قرار گرفته است [۱، ۵، ۸، ۱۴، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۶ و ۲۷].

۲-۲-۲- داده‌های عمق نوری هواویزها (AOD)

AOD یکی از پارامترهای مهم در مطالعه گرد و غبارها می‌باشد. عمق نوری هواویزها در واقع به توزیع

---

[1] *Total Electron Content*
[2] *Global Ionospheric Map*
[3] *Jet Propulsion Laboratory*
[4] *MODIS*
[5] *Terra*
[6] *Aqua*
[7] *Surface Land Temperature*
[8] *Aerosol Optical Depth*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

هواویزهای گرد و غبار موجود در جوّ اشاره دارد. این کمیت وابسته به طول موج، به صورت کاهش نور در واحد طول بر روی یک مسیر مشخص تعریف می‌شود. مسیر نوری عمودی، فاصله عمودی از سطح زمین در قسمت فوقانی جوّ می‌باشد. مقدار عمق نوری می‌تواند با تراکم تعداد هواویزها و ویژگیهای آن ذرات متفاوت باشد. یکی از مکانیزم‌های احتمالی اثرات لرزه‌ای یونسفر، میدان الکتریکی تولید کننده زلزله است که با انتقال عمودی آشفتگی هواویزهای باردار شده در اتمسفر و یونیزاسیون هوا توسط رادون همراه با تشکیل خوشه‌های یونی بزرگ از اندازه هواویز پیش از وقوع زلزله، در ارتباط می‌باشد [۱۷]. در این مطالعه از محصول سطح ۳ روزانه مربوط به سنجنده‌های مادیس ترا و آکوا که "عمق نوری هواویزها در ۵۵۰ نانومتر" نامگذاری شده است، استفاده شده است. مطالعات زیادی به بررسی پیش‌نشانگر *TEC* پرداخته‌اند [۲، ۸، ۹ و ۱۷].

۲-۳- داده‌های ابزار پایش ازن (*OMI*[1])

OMI می‌تواند بین انواع هواویزها، مانند دود، گرد و غبار و سولفات‌ها تفاوت قائل شود و فشار و پوشش ابر را اندازه‌گیری نماید، که داده‌هایی را برای استخراج ازن تروپوسفریک فراهم می‌سازد. *OMI* فعالیت سنجنده *TOMS*را برای ثبت ازن کلی و سایر پارامترهای اتمسفری مرتبط با ازن و آب و هوا ادامه می‌دهد. قدرت تفکیک مکانی داده‌های آن °۰٫۲۵×°۰٫۲۵ (طول و عرض جغرافیایی) است. در این مطالعه، از محصول عمق نوری هواویزها ۴۸۳٫۵ نانومتر این سنجنده استفاده شده است.

۲-۴- داده‌های شار گرمای نهان سطح[2] (*SLHF*)

گرمای نهان، گرمایی است که ماده در هنگام تبدیل از حالتی به حالت دیگر از دست داده و یا جذب می‌کند. سطح زمین نه تنها گرما را توسط اشعه الکترومغناطیسی جذب و منتشر می‌کند بلکه انرژی را بصورت محسوسی با اتمسفر تبادل می‌کند. "شار گرمای نهان سطح" برای تشریح شار گرمایی از سطح زمین یا اقیانوس به اتمسفر مورد استفاده قرار می‌گیرد که با انجماد، ذوب شدن، تبخیر و تعرق آب مرتبط است. به بیان دیگر، شار گرمای نهان، شار گرمایی ناشی از تغییرات در فاز آب را نشان می‌دهد که مرتبط با تبخیر آب در سطح می‌باشد. *SLHF* مهم‌ترین مؤلفه بودجه انرژی سطح زمین است. با توجه به حرکت زیرزمینی و تعامل بین زیرزمین، سطح و اتمسفر، ناهنجاری *SLHF* که قبل از زلزله اتفاق می افتد مورد توجه قرار می گیرد [۳]. در این مطالعه از محصول *SLHF* بدست آمده از سنجنده *NOAA* استفاده شده است. این پیش‌نشانگر در بسیاری از مطالعات مورد توجه قرار گرفته است [۳، ۶، ۷، ۱۲ و ۱۷].

۲-۵- شاخص های ژئومغناطیسی

پارامترهای یونسفری اندازه‌گیری شده توسط ماهواره عمدتا تحت تأثیر طوفان‌های ژئومغناطیسی و اختلالات میدان ژئومغناطیسی به خصوص در مناطق استوایی و قطبی می‌باشند. با این حال، در مورد زلزله قریب‌الوقوع، ممکن است که بیشتر به شکل یک ناهنجاری تحت تأثیر قرار گیرد. چنین ناهنجاری هایی نیز باید برطرف شوند. به منظور تشخیص ناهنجاری‌های ناشی از فعالیت لرزه‌ای از ناهنجاری‌های ایجاد شده توسط فعالیت‌های ژئومغناطیسی و خورشیدی، از شاخص‌های ژئومغناطیسی و خورشیدی یعنی *Dst*، *Kp* و *F10.7* در این مطالعه استفاده شده است. شاخص *Kp*، نشانگر آهنگ تغییرات میدان‌های مغناطیسی نزدیک زمین می‌باشد. شاخص *Dst*، اطلاعاتی در مورد قدرت جریانات حلقوی در اطراف زمین که ناشی از پروتون و الکترون‌های خورشیدی است را ارائه می‌دهد و مقدار منفی آن به معنای تضعیف میدان مغناطیسی زمین می‌باشد که در طوفان‌های خورشیدی رخ می‌دهد. شاخص *F10.7*، شار رادیویی خورشید را در طول موج

[1] *Ozone Monitoring Instrument*

[2] *Surface Latent Heat Flux*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

۱۰/۷ سانتیمتر و در واحد فرکانس اندازه‌گیری می‌کند و ارتباط خوبی با تعداد لکه‌های خورشیدی و اشعه ماورای بنفش دارد. این شاخص برخلاف بسیاری از شاخص‌های خورشیدی، می‌تواند به راحتی براساس روز از سطح زمین و در تمام شرایط آب و هوایی اندازه-گیری شود. در شرایطی که آرامش ژئومغناطیسی خورشیدی برقرار است (به عنوان مثال $Kp<۲/۵$، nT -۲۰ $nT<Dst<۲۰$، SFU $F10.7<۱۲۰$) وضعیت طبیعی تلقی می شود. با این حال، اگر تغییرات غیرمعمولی در داده‌های یونوسفر مشاهده شود، می‌توان آن را به دلیل فعالیت لرزه‌ای در نظر گرفت.

۳- روش تجزیه و تحلیل برای تشخیص آنومالی و برآورد پارامترهای نهایی زلزله

برای دستیابی به ناهنجاری ناشی از زلزله از طریق تغییرات پیش‌نشانگرها، یک محدوده مناسب برای تغییرات نرمال پیش‌نشانگرها باید تعیین گردد. به همین منظور محدوده میانه و میان‌چارکی داده‌ها برای ایجاد مرز بالا و پایین آنها جهت جدا کردن ناهنجاری-های لرزه‌ای از تغییرات طبیعی استفاده شده است [۱۱].

حد بالا و پایین را می توان با استفاده از رابطه (۱) و (۲) محاسبه نمود:

$$\begin{cases} x_{low} = M - k \times IQR \\ x_{high} = M + k \times IQR \end{cases} \qquad \text{رابطه(۱)}$$

$$P = \pm 100 \times \left(\frac{\left(|D_x| - k \right)}{k} \right) \qquad \text{رابطه(۲)}$$

در روابط (۱) و (۲) عبارات x، x_{high}، x_{low}، M، IQR و Dx به ترتیب مقدار پارامتر، حد بالا، حد پایین، مقدار میانه[1]، دامنه میان‌چارکی[2] (برای آنکه بتوان مشکل تاثیرپذیری دامنه تغییرات از مقدارهای بزرگ و کوچک را از بین برد، می‌توان فاصله بین بزرگترین و کوچکترین مقدار را براساس چارک‌ها محاسبه کرد. به این ترتیب برای داده‌هایی که دارای مقدارهای دور افتاده هستند، فاصله بین چارک اول و سوم، می‌تواند برآورد بهتری برای محاسبه حداکثر پراکندگی داده‌ها بدست دهد. به این شاخص، دامنه میان چارکی می‌گویند.) و دیفرانسیل x هستند. مقدار k متناسب با شدت و بزرگی زلزله تعیین می‌گردد. به طور مثال، برای زلزله‌های با شدت بزرگتر از ۷ ریشتر، k را می‌توان بزرگتر از ۲ انتخاب نمود. اگر مقدار قدر مطلق Dx از k بیشتر باشد (به عنوان مثال $|Dx| > k$)، رفتار پارامتر مربوطه (x) غیرطبیعی تلقی می‌شود. با توجه به رابطه(۲)، می‌توان درصد تغییر پارامتر را از حالت نرمال مطابق رابطه (۳) نشان داد [۱۹]:

$$P = \pm 100 \times \left(\frac{\left(|D_x| - k \right)}{k} \right) \qquad \text{رابطه(۳)}$$

نتایج حاصل از تحقیق سراجیان و آخوندزاده (۲۰۱۱) نشان می‌دهد که مقدار Dx به طور نسبی با شدت زلزله متناسب است. برآورد شدت زلزله بر اساس مقدار Dx در جدول (۱) نشان داده شده است [۱۹].

همچنین با توجه به تاریخ مشاهده ناهنجاری، می‌توان تاریخ تقریبی یک زلزله قریب الوقوع را تخمین زد. بر اساس مشاهدات، به طور متوسط، یک فاصله ۱۵ روزه برای پیش‌نشانگرهای یونوسفری و اتمسفری، و همچنین یک فاصله ۱۶ روزه برای پیش‌نشانگرهای حرارتی از تاریخ مشاهده ناهنجاری تا روز زلزله در نظر گرفته شده است [۱۹].

برای ارزیابی پارامترهای نهایی زلزله (تاریخ و شدت زلزله) مربوط به هر منطقه مورد مطالعه، در ابتدا با استفاده از روش ذکر شده در مرحله قبل، پارامترهای تاریخ و شدت برای پیش‌نشانگرهای مختلف محاسبه گردید، سسپس با استفاده از روش خطای میانگین مربعات[3] *(MSE)*، می‌توان پارامترهای نهایی زلزله را

[1] *Median*
[2] *Interquartile Range*
[3] *Mean Square Error*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

برای منطقه مورد نظر بدست آورد. تاریخ و شدت زلزله به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

در ریاضیات و آمار، MSE روشی برای برآورد میزان خطاست که در واقع تفاوت بین مقادیر تخمینی و آنچه تخمین زده شده، است. MSE به دو دلیل تقریباً همه جا مثبت است (صفر نیست) یک اینکه تصادفی است و دوم به این دلیل که تخمین‌گر اطلاعاتی که قابلیت تولید تخمین دقیق‌تری دارد را حساب نمی‌کند. پس این شاخص که مقداری همواره نامنفی دارد، هرچقدر مقدار آن به صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده میزان کمتر خطا می‌باشد. تعریف MSE بر اساس توصیف تخمین‌گر یا پیش‌بینی‌کننده متفاوت است و شامل واریانس تخمین‌گر و بایاس است، که با رابطه(۴) تعریف می‌گردد [۲۴] :

$$MSE = V + (x - M)^2 \quad \text{رابطه(۴)}$$

در رابطه(۴)، V و M به ترتیب مقدار وریانس و میانه می‌باشند که بطور جداگانه برای مقادیر حد بالا و پائین پیش‌بینی شده پارامترهای زلزله (تاریخ و شدت) بدست آمده از تمامی پیش‌نشانگرها محاسبه می‌شوند و x مقدار پارامتر زلزله برای هر پیش‌نشانگر می‌باشد. هر پارامتری که حداقل مقدار MSE را داشته باشد به عنوان پارامتر نهایی زلزله در نظر گرفته می شود.

۴- مطالعات موردی، نتایج و بحث

در این مقاله به بررسی زلزله‌های رخ داده در شهرهای کرمانشاه و بم پرداخته شده است. جدول (۲) برخی از مشخصات این زلزله‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱: برآورد شدت زلزله [۱۹]

شدت زلزله	مقدار D_x
$M_w \leq 6$	$D_x \leq 1$
$6 < M_w \leq 7$	$1 < D_x \leq 2$
$7 < M_w \leq 8$	$2 < D_x \leq 3$
$8 < M_w$	$3 < D_x$

جدول ۲: مشخصات زلزله‌های مورد مطالعه در این مقاله [1]

منطقه مورد مطالعه	تاریخ	ساعت (UTC[2])	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شدت زلزله
کرمانشاه	۱۲-۱۱-۲۰۱۷	۱۸:۱۸:۱۷	۳۴٫۹۱ شرقی	۴۵٫۹۶ شمالی	۷٫۳
بم	۲۶-۱۲-۲۰۰۳	۰۱:۵۶:۵۲	۲۹٫۰۰ شرقی	۵۸٫۳۱ شمالی	۶٫۶

[1] *(http://earthquake.usgs.gov/)*

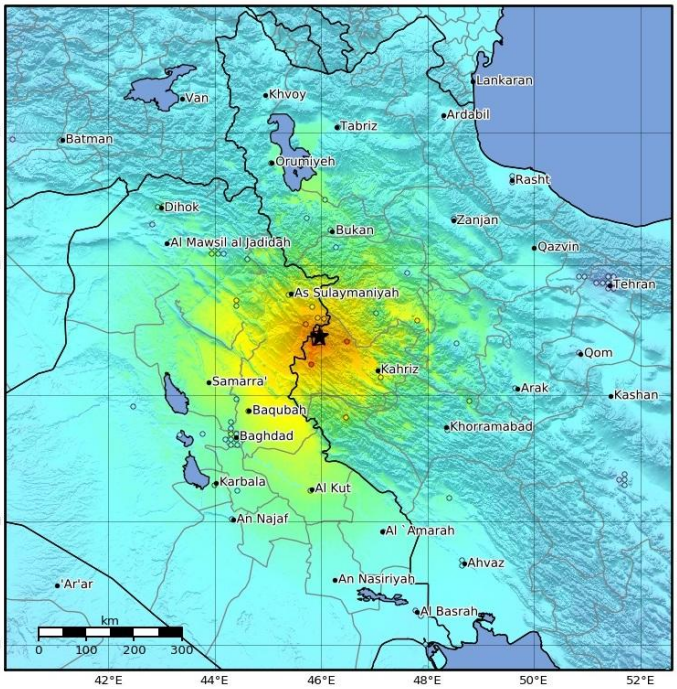
[2] *Coordinated Universal Time*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

۴-۱- زلزله کرمانشاه

در غربی‌ترین منطقه ایران ، زلزله‌ای به بزرگی ۷٫۳ ریشتر در ساعت ۲۱:۴۸ به وقت محلی (۱۸:۱۸:۱۷ به وقت گرینویچ) در تاریخ ۱۲ نوامبر ۲۰۱۷ (جدول (۲)) در سرپل‌ذهاب کرمانشاه رخ داده است (شکل (۱)).

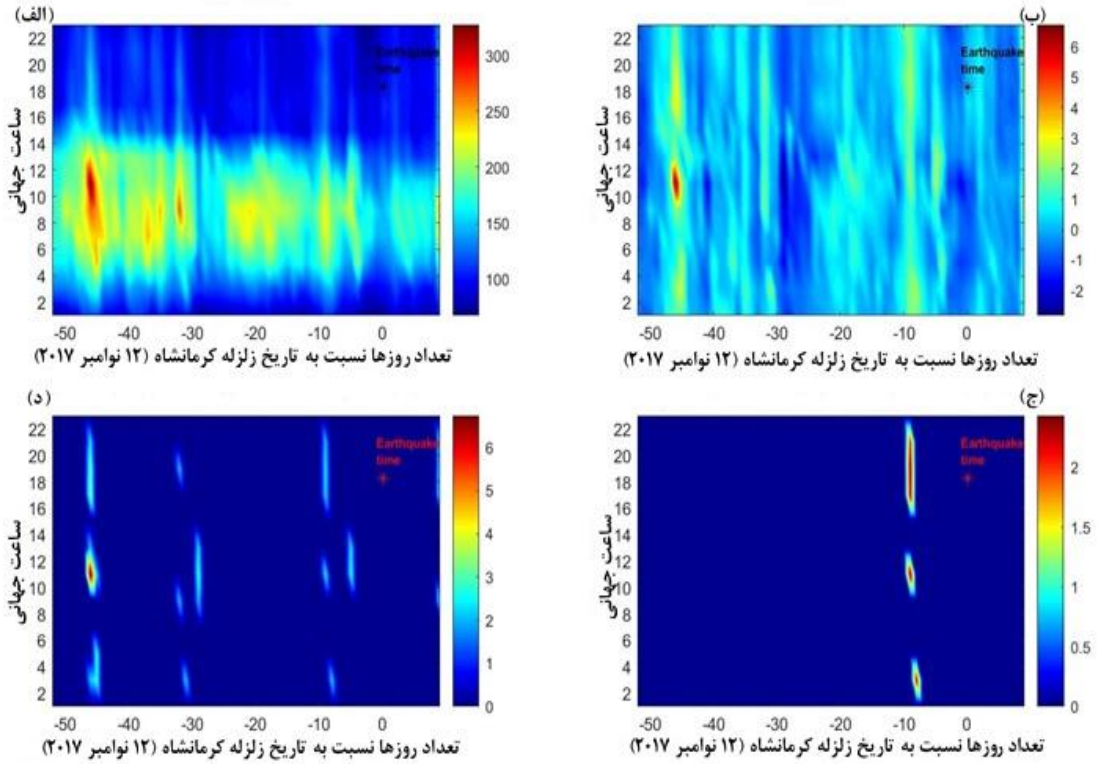
جدول(۳) پیش‌نشانگرهای مشاهده شده مربوط به زلزله کرمانشاه را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول(۳) نشان داده شده است، یک افزایش قوی در ناهنجاری TEC در طی چندین بازه زمانی و پس از حذف اثرات شاخص‌های ژئومغناطیسی و خورشیدی، مشاهده می‌شود. تغییرات غیرعادیTEC که در ۳ و ۴ نوامبر مشاهده شده است نشان می‌دهد که زلزله‌ای با شدت ۷ تا ۸ ریشتر بین ۴ تا ۱۹ نوامبر ۲۰۱۷ اتفاق افتاده است (شکل (۲)).



شکل ۱: مکان جغرافیایی مرکز زلزله کرمانشاه در منطقه مرزی میان ایران و عراق. ستاره نشاندهنده مرکز زلزله می‌باشد.[1]

[1] ***(https://earthquake.usgs.gov/earthquakes)***

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]



شکل ۲: نتایج آنالیز داده‌های *TEC* با استفاده از روش میانه و میان‌چارکی برای زلزله کرمانشاه. زمان زلزله با یک ستاره نمایش داده شده است. الف) تغییرات *TEC*، ب) تغییرات *DTEC* پس از اجرای روش میانه، ج) آنومالی‌های تشخیص داده شده بدون در نظر گرفتن شاخص‌های ژئومغناطیسی و خورشیدی، د) آنومالی‌های تشخیص داده شده با در نظر گرفتن شاخص‌های ژئومغناطیسی و خورشیدی

آنومالی*LST* مربوط به داده‌های روزانه سنجنده ترا در ۱۹ اکتبر ۲۰۱۷ حداقل مقدار ۳٫۲- را نشان می‌دهد، که بر اساس $Dx = ۳٫۲$ شدت زلزله‌ای که ممکن است بین ۲۰ دسامبر تا ۴ نوامبر رخ داده باشد، بیشتر از ۸ ریشتر تخمین زده می‌شود.

بررسی تغییرات داده‌های *AOD* به دست آمده از سنجنده *OMI* نشان می‌دهد که شدت تغییرات به وضوح از مرز بالایی به میزان ۳۷۰٫۹۶۶٪ فراتر می‌رود. این پیش‌نشانگر نشان می‌دهد که زمین لرزه‌ای با بزرگی بیش از۸ ریشتر بین ۲۷ اکتبر تا ۱۰ نوامبر رخ داده است. پیش‌نشانگر *AOD* به دست آمده از تغییرات سنجنده‌های ترا و آکوا از مرزهای بالا و پائین تعریف شده در ۳۱ مارس ۲۰۱۷ فراتر رفته است، که این امر نشادهنده وقوع یک زلزله با شدت بزرگتر از ۸ ریشتر بین ۱ تا ۱۰ نوامبر ۲۰۱۷ خواهد بود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

جدول ۳: لیست ناهنجاری‌های بدست آمده از پیش‌نشانگرهای مختلف زلزله کرمانشاه با استفاده از روش میانه

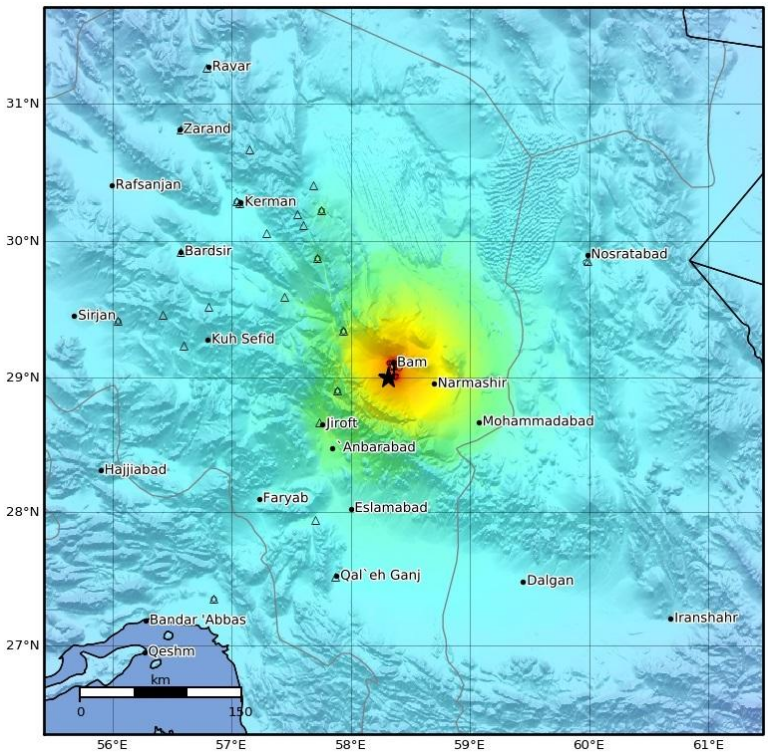
پیش‌نشانگر	تاریخ ناهنجاری مشاهده شده	تاریخ زلزله تخمین زده شده	مقدار انحراف (*Dx*)	شدت زلزله تخمین زده شده (ریشتر)
TEC	۴ نوامبر (*UTC= 4:00*)	۵ تا ۱۹ نوامبر	۲٫۲۳	بین ۷ تا ۸
	۳ نوامبر (*UTC= 22:00*)	۴ تا ۱۸ نوامبر	۲٫۱۱	بین ۷ تا ۸
	۳ نوامبر (*UTC= 20:00*)	۴ تا ۱۸ نوامبر	۲٫۴۲	بین ۷ تا ۸
	۳ نوامبر (*UTC= 18:00*)	۴ تا ۱۸ نوامبر	۲٫۳۱	بین ۷ تا ۸
	۳ نوامبر (*UTC= 12:00*)	۴ تا ۱۸ نوامبر	۲٫۴۳	بین ۷ تا ۸
LST Terra (Day Time)	۱۹ اکتبر	۲۰ اکتبر تا ۴ نوامبر	-۳٫۲	بیش از ۸
AOD (OMI)	۲۶ اکتبر	۲۶ اکتبر تا ۱۰ نوامبر	۹٫۴۲	بیش از ۸
AOD (Aqua)	۳۱ اکتبر	۱ تا ۱۵ نوامبر	۳٫۹۶	بیش از ۸
AOD (Terra)	۳۱ اکتبر	۱ تا ۱۵ نوامبر	۳٫۵۵	بیش از ۸
SLHF	۶ نوامبر	۷ تا ۲۲ نوامبر	۷٫۷۷	بیش از ۸
	۵ نوامبر	۶ تا ۲۱ نوامبر	۴٫۳۵	بیش از ۸
	۳ نوامبر	۴ تا ۱۹ نوامبر	۸٫۹۳	بیش از ۸

مطابق جدول(۳)، شدت زلزله برآورد شده برای ناهنجاری‌های مشاهده شده پیش‌نشانگر *SLHF* در ۳، ۵ و ۶ اکتبر ۲۰۱۷ بیشتر از ۸ ریشتر خواهد بود. همانطور که گفته شده، پارامترهای نهایی زلزله شامل تاریخ و شدت وقوع زلزله می‌شوند را می‌توان با استفاده از پارامترهای زلزله که از پیش‌نشانگرهای مختلف استنخراج می‌شود، برآورد نمود. محدوده پارامترهای نهایی مربوط به زلزله قریب الوقوع با استفاده از روش *MSE*محاسبه می‌شود. در خصوص زلزله کرمانشاه، پیش‌بینی می‌شود که زلزله‌ای با شدت بیش از ۸ ریشتر، در بازه زمانی ۴ تا ۱۹ نوامبر ۲۰۱۷ اتفاق خواهد افتاد (جدول (۵)).

۴-۲- زلزله بم

همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، در تاریخ ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ در ساعت ۰۱:۵۶:۵۲ به وقت گرینویچ زلزله شدیدی به قدرت $Mw = ۶٫۶$ در بم رخ داد (شکل (۳)).

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

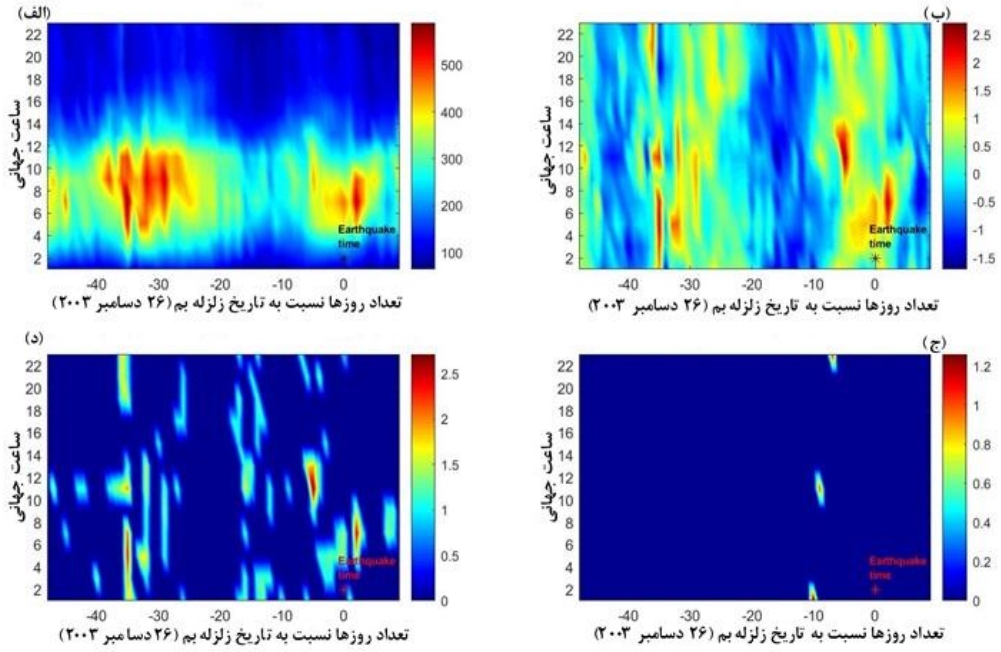


شکل ۳: مکان جغرافیایی مرکز زلزله بم. ستاره نشاندهنده مرکز زلزله می‌باشد.[1]

با بررسی پیش‌نشانگر *TEC* و پس از حذف اثرات شاخص‌های ژئومغناطیسی و خورشیدی، آنومالی‌های شدیدی در تاریخ‌های ۱۶ دسامبر (ساعت ۲ به وقت گرینویچ)، ۱۷ دسامبر (ساعت ۱۲ به وقت گرینویچ) و ۱۹ دسامبر (ساعت ۲۴ به وقت گرینویچ) مشاهده شده است. این ناهنجاری‌های شدید نشان می‌دهد که زلزله‌ای با شدت ۶ تا ۷ در بازه زمانی ۱۷ دسامبر ۲۰۰۳ تا ۳ ژانویه ۲۰۰۴ رخ خواهد داد (شکل (۴)).

[1] ***(https://earthquake.usgs.gov/earthquakes)***

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]



شکل ۴: نتایج آنالیز داده‌های *TEC* با استفاده از روش میانه و میان‌چارکی برای زلزله بم. زمان زلزله با یک ستاره نمایش داده شده است. شکل الف) تغییرات *TEC*، شکل ب) تغییرات *DTEC* پس از اجرای روش میانه، شکل ج) آنومالی‌های تشخیص داده شده بدون در نظر گرفتن شاخص‌های ژئومغناطیسی و خورشیدی، شکل د) آنومالی‌های تشخیص داده شده با در نظر گرفتن شاخص‌های ژئومغناطیسی و خورشیدی

داده‌های مربوط به تغییرات *LST* ثبت شده توسط سنجنده‌های آکوا و ترا ماهواره مادیس در جدول(۴) نشان داده شده است. با توجه به کاهش در داده‌های شبانه *LST* که در ۱۴ دسامبر ۲۰۰۳ مشاهده شده است، انتظار می‌رود که زمین لرزه‌ای به بزرگی ۶ تا ۷ ریشتر بین ۱۵ تا ۳۰ دسامبر ۲۰۰۳ رخ دهد. همچنین، تغییرات در داده‌های روزانه *LST* رفتار غیرمعمولی را در ۱۳ دسامبر ۲۰۰۳ نشان می‌دهد که این ناهنجاری نشاندهنده زلزله‌ای با شدت ۷ تا ۸ ریشتر خواهد بود که بین ۱۴ تا ۲۹ دسامبر ۲۰۰۳ رخ خواهد داد. مشخصات دیگر ناهنجاری‌های شناسایی شده ناشی از *LST* را می‌توان در جدول (۴) مشاهده نمود. *AOD* به دست آمده از سنجنده آکوا حداکثر ناهنجاری (۴٫۵۱ = *Dx*) را در ۱۲ دسامبر ۲۰۰۳ نشان می‌دهد که زمین لرزه‌ای با بزرگی بیش از ۸ ریشتر را بین ۱۳ تا ۲۷ دسامبر ۲۰۰۳ پیش‌بینی می‌کند. تغییرات غیرمعمول *AOD* از سنجنده ترا با مقادیر ۳٫۴۲ و ۲٫۲۹ که به ترتیب در ۱۲ دسامبر و ۱۳ نوامبر ۲۰۰۳ مشاهده شده است به ترتیب نشانگر زلزله‌های با شدت بیش از ۸ ریشتر و بین ۷ تا ۸ ریشتر خواهند بود. مطابق جدول(۴)، مقدار زمین لرزه تخمین زده شده برای ناهنجاری مشاهده شده در پیش‌نشانگر *SLHF* در تاریخ ۲۴ دسامبر ۲۰۰۳، بین ۷ تا ۸ ریشتر خواهد بود. با بررسی تغییرات در *SLHF*، افزایش‌های شدیدی به مقدار ۴٫۵۲، ۸٫۱۲، ۶٫۲۳ و ۳٫۱۴ به ترتیب در تاریخ‌های ۱۶ و ۱۵ دسامبر و ۲۹ و ۲۸ نوامبر مشاهده گردید که با توجه به این ناهنجاری‌ها می‌توان پیش‌بینی نمود که زلزله‌ای با بزرگی بیش از ۸ ریشتر در منطقه رخ خواهد داد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

جدول۴: لیست ناهنجاری‌های بدست آمده از پیش‌نشانگرهای مختلف زلزله بم با استفاده از روش میانه

پیش‌نشانگر	تاریخ ناهنجاری مشاهده شده	تاریخ زلزله تخمین زده شده	مقدار انحراف (Dx)	شدت زلزله تخمین زده شده (ریشتر)
TEC	۱۹ دسامبر (UTC= 24:00)	۲۰ دسامبر تا ۳ ژانویه	۱٫۱۴	بین ۶ تا ۷
	۱۷ دسامبر (UTC= 12:00)	۱۸ دسامبر تا ۱ ژانویه	۱٫۰۴	بین ۶ تا ۷
	۱۶ دسامبر (UTC= 02:00)	۱۷ تا ۳۱ دسامبر	-۱٫۲۶	بین ۶ تا ۷
LST Aqua (Night Time)	۱۴ دسامبر	۱۵ تا ۳۰ دسامبر	-۱٫۶۸	بین ۶ تا ۷
LST Aqua (Day Time)	۱۳ دسامبر	۱۴ تا ۲۹ دسامبر	-۲٫۳۲	بین ۷ تا ۸
LST Aqua (Night Time)	۱۳ دسامبر	۱۴ تا ۲۹ دسامبر	-۱٫۸۷	بین ۶ تا ۷
LST Terra (Day Time)	۱۳ دسامبر	۱۴ تا ۲۹ دسامبر	-۱٫۷۷	بین ۶ تا ۷
LST Aqua (Day Time)	۱۲ دسامبر	۱۳ تا ۲۸ دسامبر	-۲٫۹۱	بین ۷ تا ۸
LST Terra (Day Time)	۱۲ دسامبر	۱۳ تا ۲۸ دسامبر	-۲٫۰۲	بین ۷ تا ۸
LST Terra (Night Time)	۱۲ دسامبر	۱۳ تا ۲۸ دسامبر	-۱٫۸۱	بین ۶ تا ۷
LST Terra (Night Time)	۷ دسامبر	۸ تا ۲۳ دسامبر	۱٫۹۱	بین ۶ تا ۷
LST Aqua (Night Time)	۷ دسامبر	۸ تا ۲۳ دسامبر	۱٫۸۳	بین ۶ تا ۷
LST Terra (Night Time)	۶ دسامبر	۷ تا ۲۲ دسامبر	۲٫۱۴	بین ۷ تا ۸
LST Terra (Day Time)	۳۰ نوامبر	۱ تا ۱۶ دسامبر	-۳٫۳۲	بیش از ۸
AOD (Aqua)	۱۲ دسامبر	۱۳ تا ۲۷ دسامبر	۴٫۵۱	بیش از ۸
AOD (Terra)	۱۲ دسامبر	۱۳ تا ۲۷ دسامبر	۳٫۴۲	بیش از ۸
	۱۳ نوامبر	۱۴ نوامبر تا ۲۸ دسامبر	۲٫۲۹	بین ۷ تا ۸
SLHF	۲۴ دسامبر	۲۵ دسامبر تا ۹ ژانویه	۲٫۵۳	بین ۷ تا ۸
	۱۶ دسامبر	۱۷ دسامبر تا ۱ ژانویه	۴٫۵۲	بیش از ۸
	۱۵ دسامبر	۱۶ تا ۳۱ دسامبر	۸٫۱۲	بیش از ۸
	۲۹ نوامبر	۳۰ نوامبر تا ۱۵ دسامبر	۶٫۲۳	بیش از ۸
	۲۸ نوامبر	۲۹ نوامبر تا ۱۴ دسامبر	۳٫۱۴	بیش از ۸

در نهایت، با استفاده از پارامترهای زلزله به دست آمده از پیش‌نشانگرهای مختلف، پارامترهای نهایی زلزله یعنی تاریخ و بزرگی وقوع زلزله برآورد گردید. در خصوص زلزله بم، مطابق روش *MSE*، پیش‌بینی گردید که زمین لرزه‌ای با بزرگی ۷ تا ۸ ریشتر در بازه زمانی ۱۳ تا ۲۸ دسامبر ۲۰۰۳ به وقوع خواهد پیوست (جدول (۵)).

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

جدول ۵: پارامترهای زلزله ثبت شده و برآورد شده مرتبط با مناطق مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه	تاریخ زلزله		شدت زلزله (*Mw*)	
	ثبت شده	برآورد شده با روش *MSE*	ثبت شده	برآورد شده با روش *MSE*
کرمانشاه	۱۲ نوامبر ۲۰۱۷	۴ تا ۱۹ نوامبر ۲۰۱۷	۷٫۳	بزرگتر از ۸
بم	۲۶ دسامبر ۲۰۰۳	۱۳ تا ۲۸ دسامبر	۶٫۶	بین ۷ تا ۸

۵- نتیجه‌گیری

تغییرات پیش‌نشانگرهای مختلف زلزله در مورد دو زلزله کرمانشاه و بم به منظور شناسایی حالت‌های آشفته‌ای که ممکن است به یک زلزله قریب الوقوع مرتبط باشند، در این مطالعه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. یکی از اهداف این مطالعه، قابلیت ترکیب پیش-نشانگرهای مختلف زلزله در تشخیص مناسب ناهنجاری‌های واقعی مرتبط با زلزله است. برای هر پیش‌نشانگر، پارامترهای تاریخ و بزرگی مربوط به زلزله قریب الوقوع تخمین زده شد. با تلفیق پارامترهای زلزله بدست آمده از تمامی پیش‌نشاگرها، پارامترهای نهایی زلزله در مورد زلزله‌های کرمانشاه و بم برآورد گردید. با توجه به نتایج بدست آمده، تاریخ و شدت تخمینی زلزله قریب الوقوع تقریباً با تاریخ و شدت ثبت شده برای زلزله منطبق می‌باشند (جدول ۵). این امر می-تواند با بکارگیری پیش‌نشانگرهای مختلف جهت تجزیه و تحلیل زلزله‌های مورد مطالعه، مرتبط باشد. این بدان معنی است که افزایش تعداد و تنوع پیش‌نشانگرهای زلزله می‌تواند منجر به برآورد دقیق پارامترهای زلزله شود. ناهنجاری‌های لرزه‌ای ارائه شده در این مقاله می-توانند برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت زلزله امیدوار کننده باشند. به نظر می‌رسد با مطالعه بیشتر بر روی پیش-نشانگرها و زلزله‌های مختلف و همچنین ترکیب پیش-نشانگرها بتوان به نتایج بهتری در خصوص برآورد پارامترهای زلزله دست پیدا کرد.

مراجع

[1] *M. Akhoondzadeh, "An Adaptive Network-based Fuzzy Inference System for the detection of thermal and TEC anomalies around the time of the Varzeghan, Iran, (Mw D 6.4) earthquake of 11 August 2012." Advances in Space Research, Vol: 52(5), pp: 837–852, 2013.*

[2] *M. Akhoondzadeh, A. De Santis, D. Marchetti, A. Piscini, and G. Cianchini, "Multi precursors analysis associated with the powerful Ecuador (MW = 7.8) earthquake of 16 April 2016 using Swarm satellites data in conjunction with other multi-platform satellite and ground data". Advances in Space Research, Vol: 61(1), pp: 248–263, 2018.*

[3] *H.V. Alvan, F.H. Azad, and S. Mansor, "Latent heat flux and air temperature anomalies along an active fault zone associated with recent Iran earthquakes". Advances in Space Research, Vol: 52(9), pp: 1678–1687, 2013.*

[4] *A. Bhardwaj, S. Singh, L. Sam, A. Bhardwaj, F.J. Martín-Torres, A. Singh, and R. Kumar, "MODIS-based estimates of strong snow surface temperature anomaly related to high altitude earthquakes of 2015". Remote Sensing of Environment, Vol: 188, pp: 1–8, 2017.*

[5] *M. Blackett, M.J. Wooster, and B.D. Malamud, "Exploring land surface temperature earthquake precursors: A focus on the Gujarat (India) earthquake of 2001". Geophysical Research Letters, Vol: 38 (15), 2011.*

[6] *G. Cervone, S. Maekawa, R.P. Singh, M. Hayakawa, M. Kafatos, and A. Shvets, "Surface latent heat flux and nighttime LF anomalies prior to the Mw = 8.3 TokachiOki earthquake". Natural Hazards*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

and Earth System Sciences, Vol: 6(1), pp: 109–114, 2006.

[7] S. Dey, and R.P. Singh, R.P., "Surface latent heat flux as an earthquake precursor". Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol: 3(6), pp: 749–755, 2003.

[8] F.T. Freund, I.G. Kulahci, G. Cyr, J. Ling, M. Winnick, J. Tregloan-Reed, and M.M. Freund, "Air ionization at rock surfaces and pre-earthquake signals". Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol: 71(17), pp: 1824–1834, 2009.

[9] N.D. Ganguly, "Atmospheric changes observed during April 2015 Nepal earthquake". Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Vol: 140, pp: 16–22, 2016.

[10] Z.H. Jiao, J. Zhao, and X. Shan, "Pre-seismic anomalies from optical satellite observations: a review". Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol: 18(4), pp: 1013–1036, 2018.

[11] J.Y. Liu, Y.J. Chuo, S.J. Shan, Y.B. Tsai, Y.L. Chen, S.A. Pulinet, and S.B. Yu, "Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements". Annales Geophysicae, Vol: 22(5), pp: 1585–1593, 2004.

[12] M.R. Mansouri Daneshvar, M. Khosravi, and T. Tavousi, "Seismic triggering of atmospheric variables prior to the major earthquakes in the Middle East within a 12-year time-period of 2002–2013". Natural Hazards, Vol: 74(3), pp: 1539–1553,2014.

[13] S.K. Panda, S. Choudhury, A.K. Saraf, and J.D. Das, "MODIS land surface temperature data detects thermal anomaly preceding 8 October 2005 Kashmir earthquake". International Journal of Remote Sensing, Vol: 28(20), pp: 4587–4596, 2007.

[14] S. Pulinets, and D. Ouzounov, "Lithosphere–Atmosphere– Ionosphere Coupling (LAIC) model – An unified concept for earthquake precursors validation:. Journal of Asian Earth Sciences, Vol: 41(4), pp: 371-382, 2001.

[15] D. Ouzounov, N. Bryant, T. Logan, S. Pulinets, and P. Taylor, "Satellite thermal IR phenomena associated with some of the major earthquakes in 1999–2003". Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Vol: 31(4), pp: 154–163, 2006.

[16] K. Qin, L.X. Wu, X.Y. Ouyang, X.H. Shen, and S. Zheng, "Surface latent heat flux anomalies quasi-synchronous with ionospheric disturbances before the 2007 Pu'er earthquake in China". Advances in Space Research, Vol: 53(2), pp: 266–271, 2013.

[17] K. Qin, L.X. Wu, S. Zheng, Y. Bai, X. Lv, "Is there an abnormal enhancement of atmospheric aerosol before the 2008 Wenchuan earthquake?". Advances in Space Research, Vol: 54 (6), pp: 1029–1034, 2014.

[18] V. Rawat, A.K. Saraf, J. Das, K. Sharma, and Y. Shujat, "Anomalous land surface temperature and outgoing long-wave radiation observations prior to earthquakes in India and Romania". Natural Hazards, Vol: 59(1), pp: 33–46, 2011.

[19] M.R. Saradjian, and M. Akhoondzadeh, "Prediction of the date, magnitude and affected area of impending strong earthquakes using integration of multi precursors earthquake parameters". Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol: 11(4), pp: 1109–1119, 2011.

[20] A.K. Saraf, V. Rawat, P. Banerjee, S. Choudhury, S.K. Panda, S. Dasgupta, and J.D. Das, "Satellite detection of earthquake thermal infrared precursors in Iran". Natural Hazards, Vol: 47(1), pp: 119–135, 2008.

[21] E. Sentürk, S. Inyurt, I. Sertçelik, "Ionospheric anomalies associated with theMw7.3 Iran–Iraq borderearthquake and a moderate magnetic storm". Annales Geophysicae, Vol: 38, pp: 1031–1043, 2020.

[22] D. Tao, J. Cao, R. Battiston, L. Li, Y. Ma, W. Lie, Z. Zima, L. Wand, and M.W. Dunlop, "Seismo-ionospheric anomalies in ionospheric TEC and plasma density before the 17 July 2006 M7.7 south of Java

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

earthquake". Annales Geophysicae, Vol: 35(3), pp: 589–598, 2017.

[23] A.A. Tronin, "Remote sensing and earthquakes: A review". Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Vol: 31(4), pp: 138–142, 2006.

[24] D. Wackerly, W. Mendenhall, R.L. Scheaffer, "Mathematical Statistics with Applications (7 ed.)." Belmont, CA, USA: Thomson Higher Education, 2008.

[25] Z. Wan, "New refinements and validation of the collection-6 MODIS land-surface temperature/emissivity product". Remote Sensing of Environment, Vol: 140, pp: 36–45, 2014.

[26] W. Zhang, J. Zhao, W. Wang, H. Ren, L. Chen, and G. Yan, "A preliminary evaluation of surface latent heat flux as an earthquake precursor. Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol: 13(10), pp: 2639–2647, 2013.

[27] M. Zoran, "MODIS and NOAA-AVHRR land surface temperature data detect a thermal anomaly preceding the 11 March 2011 Tohoku earthquake". International Journal of Remote Sensing, Vol: 33(21), pp: 6805–6817, 2012.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]

[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.9 No.2, Summer 2021

Research Paper

Estimation of parameters (date and magnitude) of two strong earthquakes in Iran by integrating different earthquake precursors

Mohammad Mahdi Khoshgoftar [1*], Mohammad Reza Sarajian [2]

1- Phd student of remote sensing in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Professor in School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Natural hazards cause thousands of deaths and millions of dollars of financial losses all around the world every year. Earthquake is one of the natural hazards that receives special attention, because it usually occurs with very few or no warnings. Earthquake precursors can be used as an alarm for impending earthquakes. As a single precursor is not able to accurately predict an earthquake, it is necessary to integrate different types of precursors. In this paper, the precursors of total electron content (TEC), land surface temperature (LST), aerosol optical depth (AOD) and surface latent heat flux (SLHF) for two severe earthquakes in Kermanshah and Bam have been studied and analyzed. The median and interquartile are used to detect the anomaly. When an earthquake-related disturbance is detected, based on the type of precursor, the number of the days relative to the earthquake date is estimated. Then, according to the amount of deviation of the precursor from the normal state, the magnitude of the impending earthquake is estimated. In order to evaluate the final parameters (date and magnitude) of the earthquake for each region, the method of mean square error (MSE) has been used. The date and magnitude of the earthquake were estimated for each precursor in Kermanshah and Bam earthquakes. By combining the earthquake parameters obtained from all precursors, the final earthquake parameters were estimated for these two earthquakes, in which according to the obtained results, the estimated date and magnitude of the impending earthquakes almost corresponded with the recorded date and magnitude of the earthquakes. According to the obtained results, it can be concluded that increasing the number and variety of the earthquake precursors can lead to the accurate estimation of the earthquake parameters.

Key words: *Remote sensing, Earthquake, Precursor, Time series.*

Correspondence Address*: School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.*
Tel*: +98 218800883783.*
Email: *mm.khoshgoftaar@ut.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-09-19]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.2.6.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.2.67]