

بررسی زمین لرزه‌های رخ داده در استان قزوین (ثبت شده توسط مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران)

انوشیروان انصاری، استادیار، گروه زلزله‌شناسی مهندسی - پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی

چکیده

آوج با بزرگای ۶/۵ [۲] همگی بر اهمیت لرزه‌ای این استان می‌باشد.

مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران، در راستای ثبت حوادث لرزه‌ای سراسر کشور و همچنین ثبت اطلاعات لرزه‌ای باندپهن، از سال ۱۳۷۶ راه‌اندازی گردیده است. وجود ایستگاه‌های کاوش، چاران، زنجان، آشتیان و سنندج در اطراف استان قزوین باعث گردیده تا رخ داده‌های زمین‌لرزه در این استان با دقت خوبی ثبت گردد. به دلیل اهمیت لرزه‌خیزی این استان و به‌منظور ثبت دقیق‌تر حوادث لرزه‌ای و همچنین کاهش بزرگای آستانه ثبت شبکه در این استان، در طرح توسعه مرکز شبکه، دو ایستگاه دیگر نیز به ایستگاه‌های ذکر شده اضافه خواهد شد.

در این مقاله در ابتدا به‌صورت خلاصه جایگاه داده‌های لرزه‌ای و اهمیت شبکه‌های لرزه‌نگاری بیان گردیده است. از میان انواع داده‌های لرزه‌نگاری، داده‌های باندپهن به دلیل دارا بودن باند وسیعی از مولفه‌های فرکانسی مورد نیاز در مطالعات مختلف زلزله‌شناسی از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو در ادامه سعی گردیده است تا اهمیت و جایگاه این داده‌ها در مطالعات مختلف زلزله‌شناسی بیان گردد. سپس در ادامه به‌صورت خلاصه به معرفی شبکه لرزه‌نگاری کشور اقدام گشته و با نگاهی عمیق‌تر خصوصیات و جانمایی این شبکه به‌منظور ثبت حوادث لرزه‌ای استان قزوین بیان شده است. در انتها نیز خصوصیات کاتالوگ حوادث لرزه‌ای ثبت شده در استان قزوین توسط مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نتایج حاصل ارائه گشته است.

۲- جایگاه داده‌های لرزه‌ای در علم زلزله‌شناسی و زلزله‌شناسی مهندسی

علم زلزله‌شناسی از مهمترین شاخه‌های علوم زمین است

زلزله ۱۳۴۱ سال بوئین‌زهرا و ۱۳۸۱ آوج در استان قزوین شاهدهی بر لرزه‌خیزی این استان و نیاز به توجه ویژه به جنبه‌های لرزه‌خیزی آن می‌باشد. مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران در راستای تحقق اهداف خود، از بدو تأسیس اقدام به پایش لرزه‌ای مناطق مختلف کشور نموده است. در مقاله حاضر ضمن اشاره به اهمیت وجود شبکه‌های لرزه‌نگاری و جایگاه داده‌های لرزه‌نگاری باندپهن، برنامه توسعه مرکز شبکه و نحوه پوشش حوادث لرزه‌ای بوقوع پیوسته در استان قزوین ارائه گردیده است. با احداث ایستگاه‌های جدید در استان و اطراف آن و با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های موجود، تمامی حوادث لرزه‌ای در استان با بزرگای بیش از ۲/۰ ثبت خواهد شد. همچنین در این مقاله پیشینه لرزه‌خیزی استان که توسط مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ثبت گردیده از زوایای مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: شبکه لرزه‌نگاری، لرزه‌نگاری باندپهن، لرزه‌خیزی، قزوین

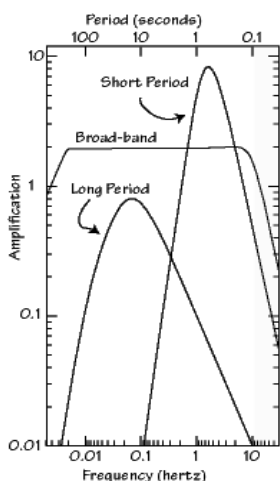
۱- مقدمه

استان قزوین باتوجه به قرارگیری در موقعیت خاص جغرافیایی و زمین‌شناسی و وجود گسل‌های توانمند لرزه‌زا و پیشینه لرزه‌خیزی فعال در سال‌های گذشته و وقوع زمین‌لرزه‌های مخرب در سال‌های اخیر و همچنین وجود بیشترین مراکز صنعتی از اهمیت بالایی برخوردار است. وجود گسل‌های فعال از قبیل گسل ایپک، آوج، حسن‌آباد و آبدره و همچنین وقوع زلزله‌های مخرب بسیار در سده‌های پیشین از قبیل زلزله‌های ۱۱۱۹، ۱۸۰۳ و ۱۸۰۸ [۱] و همچنین وقوع زلزله‌های ۱۰ شهریور ۱۳۴۱ هجری شمسی بوئین‌زهرا با بزرگای $M_w 6/9$ و $Ms 7/2$ [۲] و زلزله اول تیر ماه ۱۳۸۱ هجری شمسی در

بزرگنمایی این دستگاه‌ها در گستره فرکانسی کمتر از ۰/۱ هرتز قرار دارد. این دستگاه‌ها معمولاً برای ثبت امواج سطحی و امواج پیکری دور لرزه کار می‌رود.

(۳) دستگاه‌های باندپهن (Broadband): پس از دو دهه نصب و راه‌اندازی تجهیزات لرزه‌نگاری کوتاه دوره و بلند دوره و همچنین پیشرفت در طراحی و ساخت تجهیزات، متخصصین نسل جدیدی از تجهیزات پیشرفته لرزه‌نگاری را طراحی نمودند که به تجهیزات باند پهن معروفند. این نوع دستگاه‌های لرزه‌نگاری قادر به ثبت باند وسیعی از گستره فرکانسی با بزرگنمایی ثابت می‌باشند. از اواسط دهه ۸۰ میلادی که این تجهیزات عملاً در شبکه‌های لرزه‌نگاری به کار گرفته شدند، کمک شایان توجهی به توسعه و پیشرفت علم زلزله‌شناسی نمودند. این دستگاه‌ها قادر به ثبت امواج لرزه‌ای در محدوده فرکانسی ۰/۰۱ تا ۵۰ هرتز یا ۰/۰۳ تا ۵۰ هرتز می‌باشند. دستگاه‌های باندپهن معمولاً دارای حساسیت بسیار بالایی بوده و قادر به ثبت ارتعاشات زمین در حد یک نانومتر بر ثانیه می‌باشند. لازم به ذکر است که این دستگاه‌ها معمولاً سرعت ارتعاشات زمین را ثبت می‌کنند.

حساسیت بسیار بالای این دستگاه‌ها و محدوده پریودی وسیع آنها باعث گردیده تا نصب و راه‌اندازی این دستگاه‌ها در مقایسه با سنسورهای کوتاه دوره و بلند دوره بسیار مشکل‌تر باشد. در شکل ۱، محدوده تواتری دستگاه‌های مختلف لرزه‌نگاری نشان داده شده است.



شکل (۱): محدوده فرکانسی دستگاه‌های مختلف لرزه‌نگاری.

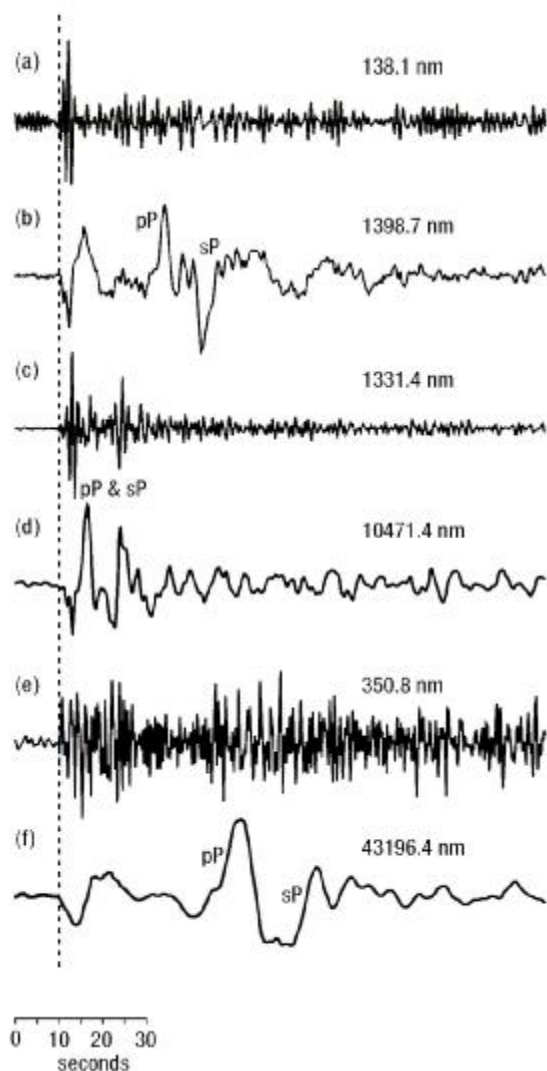
که براساس تجزیه و تحلیل داده‌های لرزه‌ای بنا گردیده است. ارتعاشات مکانیکی ثبت شده به وسیله دستگاه‌های لرزه‌نگاری را لرزه‌نگاشت می‌نامند. این لرزه‌نگاشت‌ها به صورت آنالوگ و رقمی می‌باشند. با عنایت به پیشرفت و توسعه تجهیزات لرزه‌نگاری و ثبت اطلاعات دقیق از ارتعاشات رویدادهای مصنوعی و طبیعی، کیفیت داده‌های لرزه‌نگاری و طبیعتاً رشد علم زلزله‌شناسی افزایش چشمگیری یافته است. با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری ثبت شده در ایستگاه‌های مختلف و استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل این داده‌ها، امکان شناسایی ساختار داخلی زمین (هسته، گوشته و پوسته)، مدلسازی چشمه‌های لرزه‌ای برای تعیین پارامترهای هندسی گسل‌ها و آتشفشان‌های مسبب رویدادهای لرزه‌ای، طراحی سازه‌های مقاوم به منظور کاهش آسیب‌پذیری و کاهش تلفات جانی و خسارات مالی ناشی از وقوع رویدادهای لرزه‌ای بوجود آمده است. وجود داده‌های لرزه‌نگاری با کیفیت مطلوب جهت اجرای صحیح و دقیق هر یک از موارد فوق کاملاً ضروری است.

باتوجه به فاصله‌های متفاوت چشمه‌های لرزه‌ای و ایستگاه‌های لرزه‌نگاری، ثبت داده‌ها با گستره وسیعی از فرکانس‌ها و دامنه‌های متفاوت همراه است. در این راستا، در مقیاس منطقه‌ای ($600 < \Delta < 2000 \text{ km}$) امواج پیکری فرکانس‌هایی در گستره یک تا چند ده هرتز را نشان می‌دهند درحالی که امواج پیکری دور لرزه فرکانس‌هایی در گستره یک دهم تا یک هرتز را نشان می‌دهند [۳]. از طرف دیگر امواج سطحی دارای گستره فرکانس ۰/۰۵ تا ۰/۱ هرتز می‌باشند. علاوه بر آن دامنه امواج دریافت شده از زمین لرزه‌های کوچک و بزرگ متفاوت است. معمولاً برای ثبت کامل دامنه‌های کوچک و بزرگ و همچنین ثبت محدوده وسیعی از فرکانس‌ها اغلب از دستگاه‌های متفاوت لرزه‌نگاری استفاده می‌شود که عمده‌ترین این نوع دستگاه‌ها عبارتند از [۳]:

(۱) دستگاه‌های کوتاه دوره (Short-Period): بیشینه بزرگنمایی این دستگاه‌ها در گستره فرکانسی ۱ تا ۱۰ هرتز قرار دارد. دستگاه‌های کوتاه دوره قادر به ثبت تمام موج‌های لرزه‌ای حاصل از رویدادهای محلی، منطقه‌ای و دور لرزه می‌باشند.

(۲) دستگاه‌های بلند دوره (Long-Period): بیشینه

افزایش دقت ثبت رویدادهای لرزه‌ای و تعیین مشخصات رویدادها و پوشش کامل گسل‌های توانمند و نواحی لرزه‌خیز کشور، از جمله برنامه‌های اصلی پژوهشگاه است.



شکل (۲): مقایسه شکل موج‌های ثبت شده توسط دستگاه‌های لرزه‌نگار کوتاه دوره و باندپهن (b)، شکل موج ثبت شده توسط دستگاه کوتاه دوره و باندپهن در زلزله ۱۹۷۰ هندوستان- برمه (d)، شکل موج ثبت شده توسط دستگاه کوتاه دوره و باندپهن در زلزله ۱۹۹۶ ینان چین (e)، شکل موج ثبت شده توسط دستگاه کوتاه دوره و باندپهن در زلزله ۲۰۰۰ وکانوآیلند. همان‌طور که از شکل مشخص است، بسیاری از فازهای لرزه‌ای در شکل‌های موج ثبت شده توسط دستگاه‌های کوتاه دوره قابل رویت نیست. در حالیکه این فازهای لرزه‌ای در رکوردهای ثبت شده توسط دستگاه‌های باندپهن به خوبی قابل تفکیک و تشخیص است.

۳- اهمیت داده‌های لرزه‌نگاری باندپهن در علم زلزله‌شناسی

داده‌های لرزه‌نگاری باندپهن ابزاری بسیار قدرتمند جهت تحقیقات مختلف در عرصه زلزله‌شناسی می‌باشد. در طول دهه‌های گذشته، اکثر داده‌های لرزه‌ای ثبت شده در سراسر دنیا تنها قسمتی از طیف لرزه‌ای زلزله را ثبت کرده‌اند در صورتی‌که با استفاده از دستگاه‌های لرزه‌نگاری باندپهن امکان ثبت قسمت وسیعی از طیف لرزه‌ای فراهم شده و دریچه‌های تحقیقاتی بسیاری بر روی محققین گشوده می‌گردد. در شکل ۲، مثال واقعی از نحوه قابلیت ثبت فازهای مختلف لرزه‌ای توسط دستگاه‌های کوتاه دوره و باندپهن مقایسه شده است [۴].

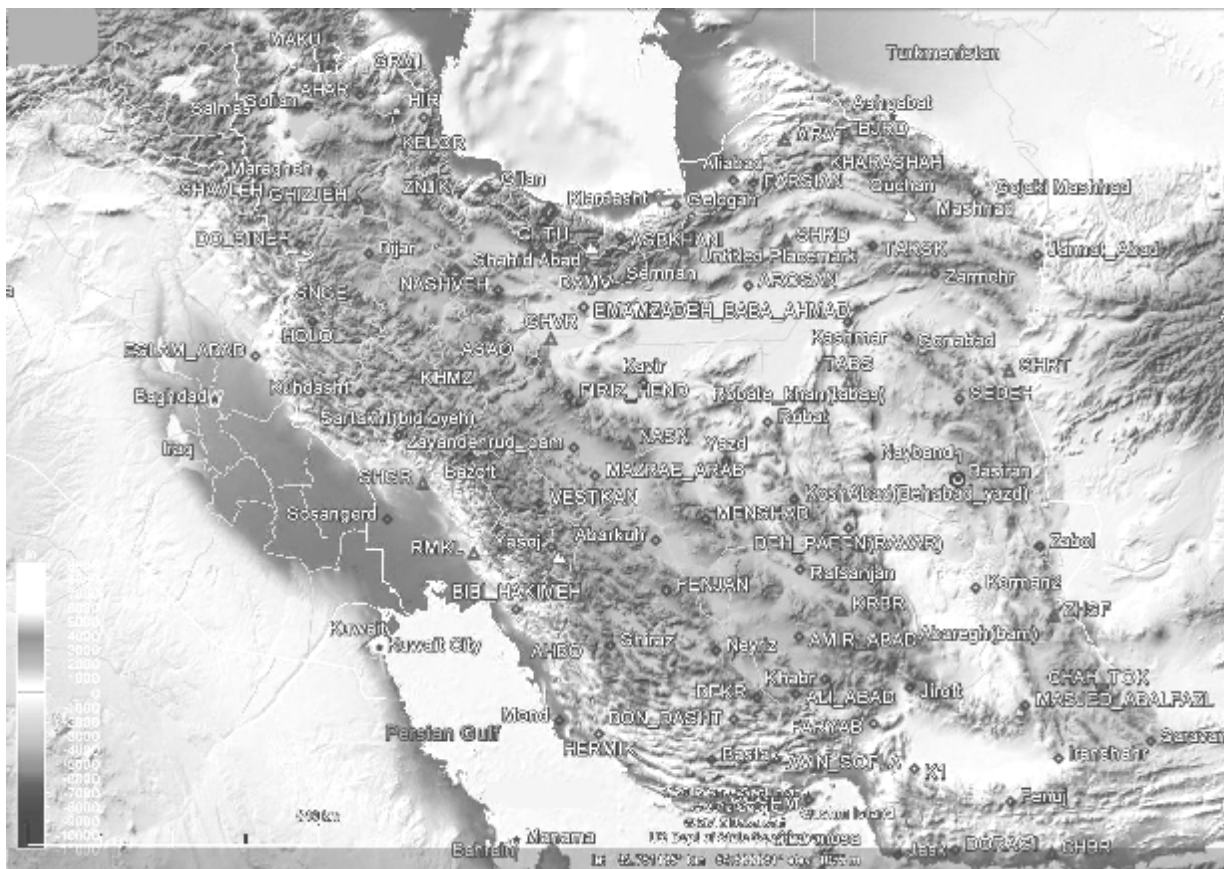
داده‌های باندپهن نه تنها امکان مناسبی جهت شناسایی فازهای مختلف لرزه‌ای ایجاد می‌کنند بلکه امکان تعیین بهتر خصوصیات منابع لرزه‌ای را نیز فراهم می‌آورند. به عبارت دیگر، با استفاده از روش شبیه‌سازی امواج لرزه‌ای، امکان تعیین ماتریس ممان لرزه‌ای فراهم می‌گردد. با استفاده از ماتریس ممان لرزه‌ای نیز می‌توان بزرگای گشتاوری زلزله، ابعاد کانون و سازوکار گسلش را تعیین نمود.

یکی دیگر از کاربردهای بسیار مهم داده‌های لرزه‌ای باندپهن، تفکیک حوادث لرزه‌ای از سایر حوادث از قبیل انفجارات مختلف می‌باشد. گرچه امکان تفکیک حوادث لرزه‌ای زلزله از انفجارات با دستگاه‌های کوتاه دوره نیز میسر می‌باشد اما با توجه به محتوای فرکانسی حوادث انفجار، داده‌های لرزه‌نگاری باندپهن امکان تفکیک حوادث را با دقت بالاتری فراهم می‌آورد.

۴- مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران

توسعه و گسترش ایستگاه‌های مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران به منظور ایجاد زیرساخت‌های لازم جهت انجام پژوهش‌های بنیادین و توسعه‌ای در عرصه زلزله‌شناسی و زلزله‌شناسی مهندسی در راستای شناخت هرچه بیشتر خصوصیات لرزه‌ای و لرزه‌زمین‌ساخت فلات ایران به همراه

- پوشش کامل کشور به کمک ایستگاه‌های لرزه‌نگاری به منظور تعیین اطلاعات لازم در رابطه با لرزه‌خیزی مناطق مختلف کشور؛
 - ثبت زمین‌لرزه‌های دور و نزدیک در گستره وسیعی از فرکانس‌ها و دامنه‌ها به دلیل استفاده از لرزه‌نگاری باندهای پهن؛
 - اعلام و گزارش زمین‌لرزه‌ها در کمترین زمان ممکن با استفاده از سیستم پیام کوتاه، پست الکترونیک و وب سایت برای اطلاع‌رسانی به مسئولین مربوطه جهت کاربردهای مدیریت بحران؛
 - انجام مطالعات لازم بر روی داده‌های لرزه‌ای و تفکیک حوادث زلزله از سایر حوادث لرزه‌ای از قبیل انفجارات.
- در شکل ۳، موقعیت ایستگاه‌های موجود و ایستگاه‌های طرح توسعه این مرکز نشان داده شده است. با اجرا و راه‌اندازی کلیه ایستگاه‌های طرح توسعه و تکمیل شبکه با ۱۰۰ ایستگاه لرزه‌نگاری باندهای پهن، امکان ثبت حوادث لرزه‌ای در کل کشور با بزرگای بیش از ۱/۵ فراهم می‌گردد.
- از مزایای این شبکه می‌توان به مواردی از قبیل مانیتورینگ دائم لرزه‌های مناطق کشور از طریق ثبت و ارسال پیوسته اطلاعات به مرکز شبکه در تهران از طریق خطوط ماهواره، پردازش همزمان این اطلاعات، اعلام سریع نتایج در وبگاه پژوهشگاه و اطلاع‌رسانی حوادث زلزله از طریق پیام کوتاه به مسئولین کشوری اشاره نمود. به‌طور کلی اهداف راه‌اندازی مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندهای پهن ایران را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:
 - مانیتورینگ پیوسته وضعیت لرزه‌خیزی فلات ایران؛
 - تهیه بانک اطلاعاتی شکل امواج لرزه‌ای فلات ایران به منظور انجام تحقیقات بنیادین در عرصه زلزله‌شناسی و زلزله‌شناسی مهندسی؛
 - مطالعه ماهیت لرزه‌خیزی کشور، تعیین ساختار پوسته و مناطق لرزه‌خیز به کمک اطلاعات ثبت شده در شبکه لرزه‌نگاری؛
 - تهیه یک بانک اطلاعاتی کامل از زمین‌لرزه‌های رویداده در کشور؛

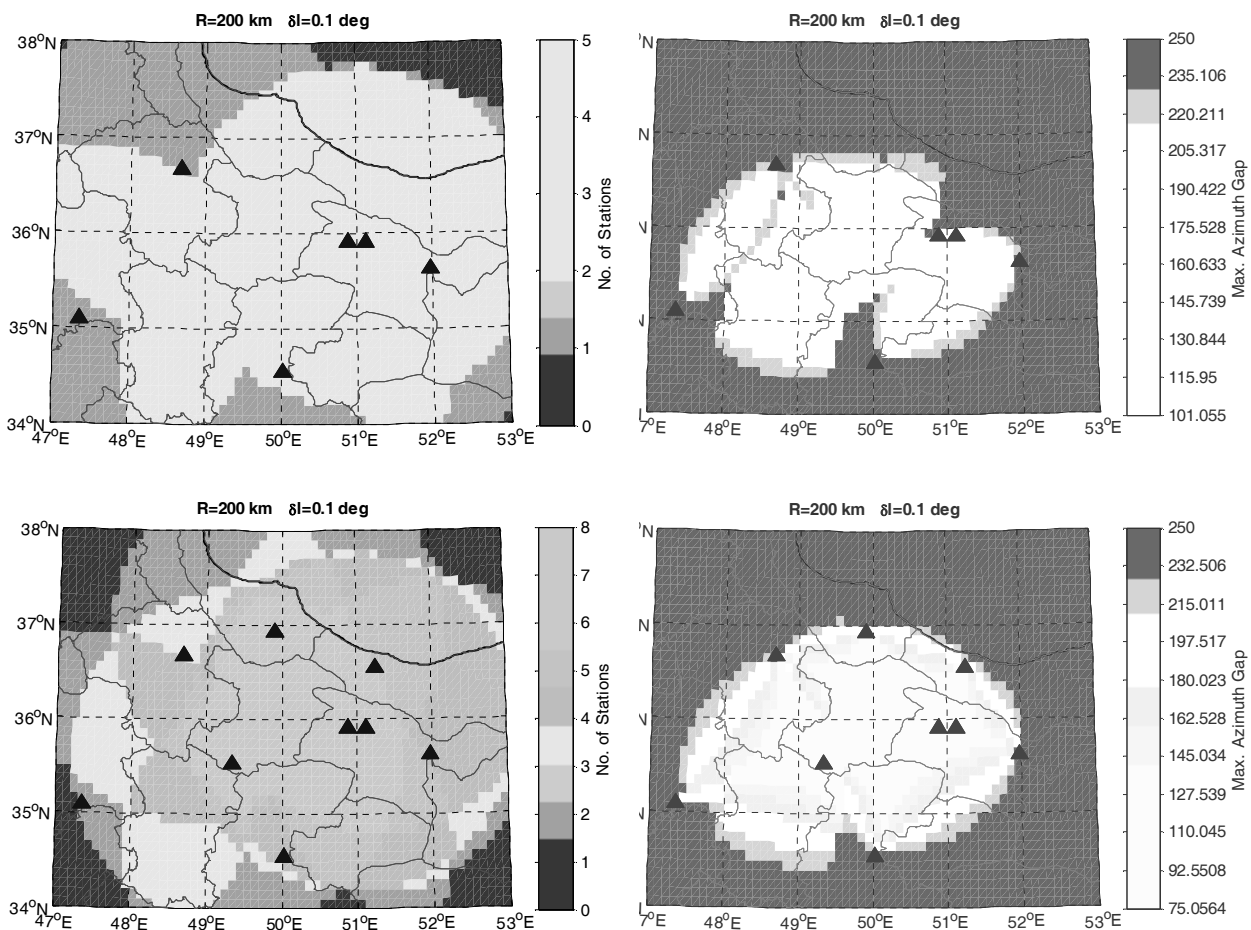


شکل (۳): موقعیت ایستگاه‌های موجود (مثلث) و ایستگاه‌های طرح توسعه (لوزی) مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندهای پهن ایران.

۵- تحلیل مکانی موقعیت ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران جهت ثبت زلزله‌های رخ داده در استان قزوین

تعیین توسعه آتی مطلوب به جهت ثبت دقیق حوادث لرزه‌ای رخ داده در استان قزوین، در این بخش نتایج تحلیل مکانی موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری شبکه باند پهن ایران در اطراف این استان ارائه گشته است. به این منظور ناحیه مورد مطالعه به اندازه $0/1$ در $0/1$ درجه تقسیم‌بندی شده و فرض می‌گردد که یک زلزله فرضی در هر یک از این قسمت‌ها به وقوع بپیوندد. از لحاظ اصول طراحی شبکه، به منظور تعیین موقعیت حوادث با بزرگی حداقل ۲، لازم است تا هر حادثه زلزله توسط حداقل ۳ ایستگاه در فاصله ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتری حادثه مورد نظر ثبت گردد. همچنین حداکثر نبود آزمون‌تی نیز باید کمتر از ۱۵۰ درجه باشد [۲]. در شکل ۴، نتایج تحلیل مکانی وقوع حوادث فرضی در محدوده استان قزوین و اطراف‌های آن نشان داده شده است.

اولین کاربرد شبکه‌های لرزه‌نگاری، تعیین محل کانون زلزله‌های بوقوع پیوسته در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به عبارت دیگر اولین گام در بسیاری از طرح‌های تحقیقاتی، شناسایی کانون وقوع زلزله می‌باشد. از این رو در طراحی شبکه لرزه‌نگاری، بررسی پوشش کامل منطقه مورد نظر از لحاظ تعیین موقعیت زلزله‌های احتمالی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در طراحی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران، هدف اصلی پوشش تقریباً یکنواخت تمام مناطق لرزه‌خیز کشور می‌باشد. به‌منظور بررسی میزان پوشش حال حاضر شبکه و



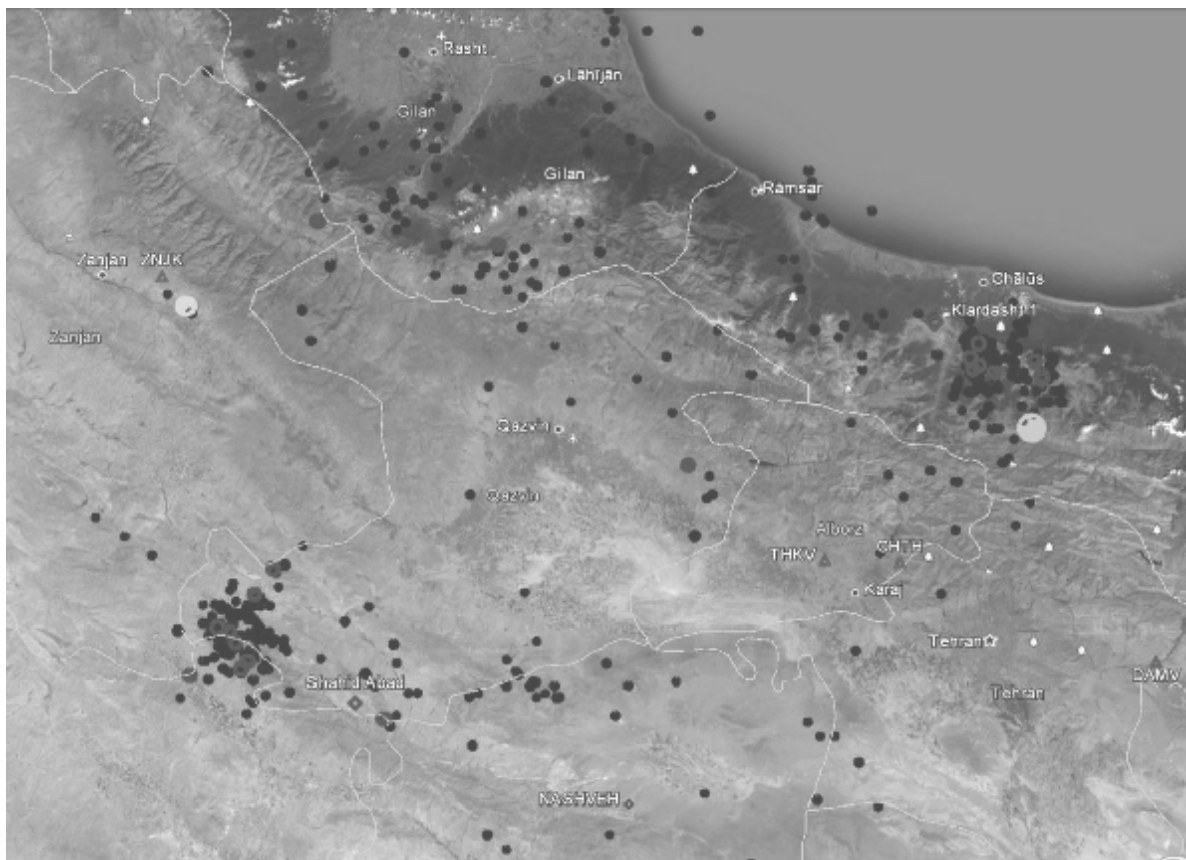
شکل (۴): وضعیت موجود ایستگاه‌های مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران در اطراف استان قزوین، (بالا) وضعیت موجود ایستگاه‌های لرزه‌نگاری، (چپ) تعداد ایستگاه‌های موجود در شعاع ۲۰۰ کیلومتری یک حادثه فرضی، (راست) حداکثر نبود آزمون‌تی در شعاع ۲۰۰ کیلومتری یک حادثه فرضی، (پایین) وضعیت طرح توسعه ایستگاه‌های لرزه‌نگاری.

با احداث ایستگاه‌های فوق، امکان ثبت هر حادثه لرزه‌ای با بزرگای بیش از ۲ در هر نقطه از استان فراهم می‌گردد.

۶- کاتالوگ حوادث لرزه‌ای ثبت‌شده در استان قزوین

از سال ۲۰۰۴ تا انتهای ماه ژوئن سال ۲۰۱۲ میلادی، تعداد ۴۳۳ حادثه زلزله با بزرگای ۲/۵ تا ۶/۴ در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شهر قزوین به ثبت رسیده است. نقشه پراکندگی این حوادث در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل به خوبی مشخص است، میزان فعالیت لرزه‌ای در اکثر نقاط استان بسیار پایین می‌باشد و اکثر حوادث ثبت شده در این بازه زمانی مربوط به جنوب‌غربی استان و در نزدیکی شهرهای آوج و آبگرم می‌باشد. بر اساس این شکل، در این محدوده زمانی هیچ زلزله با بزرگای بیش از ۵/۰ در استان قزوین به وقوع نپیوسته است. توزیع تعداد این حوادث بر اساس بزرگا و همچنین

همان‌طور که از این شکل به خوبی نمایان می‌باشد، در وضعیت کنونی، به فرض وقوع زلزله در نواحی مختلف استان، تنها دو یا حداکثر ۳ ایستگاه لرزه‌نگاری در فاصله ۲۰۰ کیلومتری حادثه رخ داده قرار دارند. در این شعاع، نبود آزیموتی نیز همواره بیش از ۱۸۰ درجه می‌باشد. به منظور رفع این نقیصه، مطالعات احداث سه ایستگاه لرزه‌نگاری در شمال و جنوب استان انجام گرفته است. ایستگاه جنوبی در خود استان قزوین و در اطراف شهر آوج احداث خواهد شد. دو ایستگاه شمالی در استان مازندران (اطراف شهر کلاردشت) و استان گیلان (اطراف شهر دیلمان) واقع گردیده است. نتایج ارائه شده در شکل ۴ حاکی از این واقعیت است که با احداث این سه ایستگاه، به فرض وقوع حادثه زلزله در هر نقطه از استان قزوین، حداقل ۵ ایستگاه لرزه‌نگاری در فاصله کمتر از ۲۰۰ کیلومتر اقدام به ثبت این حادثه خواهند نمود. همچنین نبود آزیموتی در کل استان به کمتر از ۱۳۰ درجه تقلیل خواهد یافت. بر این اساس و



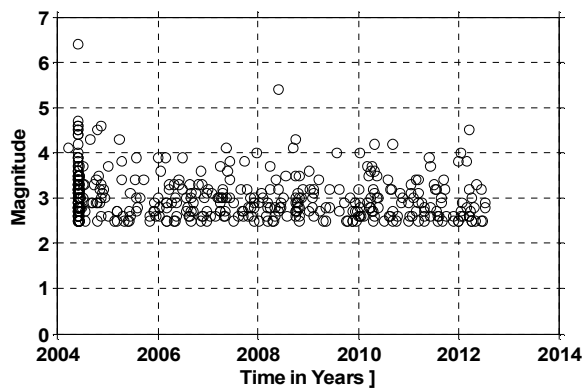
شکل (۵): لرزه‌خیزی ثبت شده در شعاع ۱۵۰ کیلومتر به شهر قزوین از سال ۲۰۰۴ تا ژوئن ۲۰۱۲ میلادی، شعاع دواير متناسب با بزرگا می‌باشد

توزیع بزرگا بر حسب زمان در شکل ۶ نمایش داده شده است. همان‌طور که از این شکل به‌خوبی مشخص است، تنها دو زلزله با بزرگای بیشتر از ۵ در این ناحیه به وقوع پیوسته است. این الگوی لرزه‌خیزی مشابه الگوی لرزه‌خیزی مشاهده شده در سایر نقاط استان لرزه‌زمین‌ساخت البرز می‌باشد که در آن زلزله‌های بزرگ به ندرت ولی با بزرگای بالا به وقوع می‌پیوندد. همچنین در شکل ۶ میزان بزرگای حد کامل بودن کاتالوگ لرزه‌ای در فاصله ۱۵۰ کیلومتری شهر قزوین که با استفاده از روش حداکثر انحناء [۵] محاسبه گشته نشان داده شده است. به‌طور کلی، کاتالوگ لرزه‌ای این ناحیه که توسط مرکز ملی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران به ثبت رسیده است، برای بزرگای بیشتر از ۲/۹ کامل می‌باشد. به بیان دیگر، تمامی حوادث لرزه‌ای با بزرگای بیش از ۲/۹

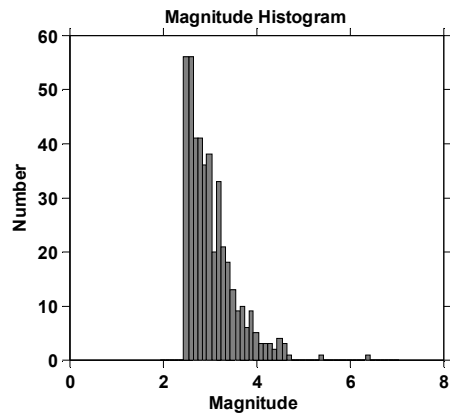
توسط شبکه باندپهن ایران در این منطقه به ثبت رسیده است. همچنین در این شکل، نمودار تغییرات بزرگای حد کامل بودن بر اساس زمان ترسیم گشته است. همان‌طور که از این شکل مشخص است، بزرگای حد کامل بودن این ناحیه با زمان یک روند نزولی را طی کرده است. همان‌گونه که در بخش پیشین نیز اشاره شد، با راه‌اندازی سه ایستگاه جدید در اطراف استان قزوین، بزرگای حد کامل بودن حداقل به بزرگای ۲/۰ کاهش خواهد یافت.

۷- نتیجه‌گیری

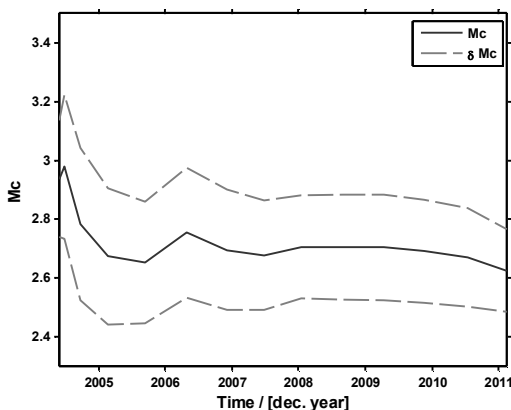
استان قزوین یکی از استان‌های لرزه‌خیز در کشور می‌باشد که تاکنون زلزله‌های مخرب بسیاری را تجربه کرده‌است. وقوع زلزله‌های ۱۰ شهریور ۱۳۴۱ هجری



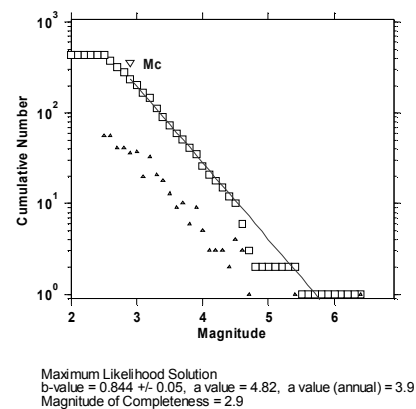
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل (۶): (الف) توزیع حوادث لرزه‌ای ثبت شده در شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهر قزوین از سال ۲۰۰۴ تا ژوئن ۲۰۱۲ میلادی، (ب) توزیع حوادث بر اساس زمان و بزرگا، (ج) تعیین بزرگای حد کامل بودن کاتالوگ لرزه‌ای، (د) تغییرات بزرگای حد کامل بودن کاتالوگ لرزه‌ای بر اساس زمان.

- history of Persian earthquakes, Cambridge University Press, Cambridge, England, 219p.
2. Engdahl, E.R., Jackson, J.A., Myers, S.C., Bergman, E.A., and Priestley, K. (2006). Relocation and assessment of seismicity in the Iran region, *Geophys. J. Int.*, **167**, 761-778.
 3. Havskov J. and Alguacil G. (2006). Instrumentation in earthquake seismology, *Modern approaches in geophysics*, ISBN-10: 140-202-9683, ISBN-13: 978-140-202-9684.
 4. Douglas, A. (2001). The UK broadband seismology network, *Astronomy & Geophysics*, **42**(2), 2.19-2.22
 5. Wiemer, S. and Wyss, M. (2000). Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the western United States, and Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **90**, 859-869.

شمسی بوئین زهرا با بزرگای ۶/۹ و زلزله اول تیرماه ۱۳۸۱ هجری شمسی در آوج با بزرگای ۶/۵ همگی گواهی بر اهمیت لرزه‌ای این استان می‌باشد. در این مقاله، توزیع ایستگاه‌های شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران در اطراف استان قزوین مورد بررسی قرار گرفته و طرح توسعه آتی این مرکز ذکر گردیده است. انجام آنالیز توزیع مکانی حوادث لرزه‌ای در این استان پس از راه‌اندازی سه ایستگاه جدید حاکی از قابلیت ثبت کلیه حوادث لرزه‌ای با بزرگای بیش از ۲ در استان می‌باشد. همچنین در این مقاله کاتالوگ لرزه‌ای ثبت شده در شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهر قزوین مورد بررسی قرار گرفته است. در حال حاضر و با توزیع ایستگاه‌های موجود، بزرگای حد کامل بودن کاتالوگ در این ناحیه برابر ۲/۹ می‌باشد.

۸- منابع

1. Ambraseys, N.N. and Melville, C.P. (1982). A