ارزیابی مدل ابر زلزله با برآورد نرخ همبستگی میان رویدادهای زلزله و پیش‌بینی آنها در ایران برای سه ماهه چهارم ۲۰۰۹

محمدرضا منصوری دانش[۱]،علی اصغر برهمن[۲]،پرویز منصوری دانشور[۳]

چکیده

مدل ابر زلزله بر اساس فعالیت‌های تجربی و تحقیقاتی «ژونگهائو شو» در سال ۲۰۰۴ ارائه شده است و طبق پیش‌بینی‌های وی برای سازمان زمین‌شناسی آمریکا در سال های ۲۰۰۳-۱۹۹۴ این مدل با احتمال بیش از ۷۲ درصد، کارایی خود را ثابت کرده است. این در حالی است که در کشورمان تاکنون ارزیابی علمی و دقیقی از این مدل تجربی ارائه نشده است. هدف اصلی تحقیق حاضر ارزیابی مدل ابر زلزله برای پیش‌بینی تعداد دفعات رویداد زلزله در طی یک بازه زمانی محدود است. برای این منظور تعداد دفعات رویداد زلزله با بزرگای بیشتر از ۲/۵ ریشتر در گستره سرزمینی ایران مورد توجه قرار گرفت. برای تشکیل بانک اطلاعاتی از دو مرجع استفاده شد: یکی مجموعه تصاویر ماهواره‌ای هواشناسی با سری زمانی نیم ساعته برای ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر ۲۰۰۹ که توسط اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی در اختیار قرار گرفت و دیگری بولتن زلزله‌شناسی و کاتالوگ زمین‌لرزه‌های ایران در سه ماهه چهارم سال ۲۰۰۹ که توسط شبکه ملی لرزه نگاری باند پهن ایران زیر نظر پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله تهیه شده است. ابتدا ابرهای زلزله بر روی تصاویر ماهواره‌ای هواشناسی در بازه زمانی مورد نظر تعیین شدند. تعداد این ابرهای زلزله در نقشه شبکه‌بندی ایران با ابعاد پیکسلی ۲×۲ درجه بر پایه مختصات ریاضی WGS و در برنامه GIS ژئورفرنس شدند. در نهایت پس از انطباق تعداد زلزله‌های به وقوع پیوسته در پیکسل‌های متناظر، نرخ همبستگی تراکم ابرهای زلزله با تعداد زمین لزره‌ها، معناداری مطلوبی به میزان ۰.۸۳۷ و R^2معادل ۰.۷ را نشان داد. همچنین یافته‌های این تحقیق نشان داد که مدل ابر زلزله توانایی پیش بینی ۶۹٪ از کل زلزله‌های بزرگتر از ۲/۵ریشتر را برای ایران در بازه زمانی مورد تحقیق دارد.

کلید واژه‌ها: ابر زلزله، پیش‌بینی، تصاویر ماهواره‌ای، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نرخ همبستگی

مقدمه

ضرورت ارزیابی خطر زلزله موضوعی است که امروزه به یکی از دغدغه‌های مدیریت بحران کشور تبدیل شده است به طوری که در سال‌های اخیر پایگاه داده‌های جغرافیایی GIS برای برآورد ریسک زلزله در سطح وسیعی به‌کار گرفته شده استکه عمدتا شامل برنامه‌ریزی کاربری زمین برای‌تعیین درجات آسیب‌پذیری در مقابل زلزله می‌شود *(جایکا؛ (۱۳۷۹)فصل۲: ۷).*

این در حالی است که ارزیابی خطر وقوع زلزله رابطه تنگاتنگی با مدل‌های پیش‌بینی و پیش نگری[۱] زلزله و تعیین شدت و بزرگی آن دارد. زلزله شناسان معمولا از مدل‌های ریاضی و احتمالی برای پش‌بینی زلزله استفاده می‌کنند.

۱- دانشجوی دکترای اقلیم شناسی در برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران **Email: mrm_daneshvar2012@yahoo.com**
۲- کارشناسی ارشد مدیریت اجرایی، مرکز آموزش مدیریت استان خراسان رضوی، ایران **Email: ali_a_berahmand@yahoo.com**
۳-دانشجوی دکترای زمین شناسی (رسوب شناسی)، گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران **Email: p.mansouri.daneshvar@gmail.com**

مثلا با محاسبه چگالی لرزه‌های به وقوع پیوسته و توزیع تصادفی آن در شبکه گسل‌ها، وضعیت لرزه‌خیزی یک منطقه پیش‌بینی می‌شود *(Holliday, J.L., Rundle, J.B-413: 87–91)*.

در کشورمان نیز تلاش‌هایی برای تحلیل فرمول‌های لرزه‌خیزی مناطق مختلف با استفاده از مدل‌های ریاضی نظیر مدل فرکتال صورت گرفته است *(آقاشاهی و همکاران:۳۰۹۸-۳۰۹۰)*.

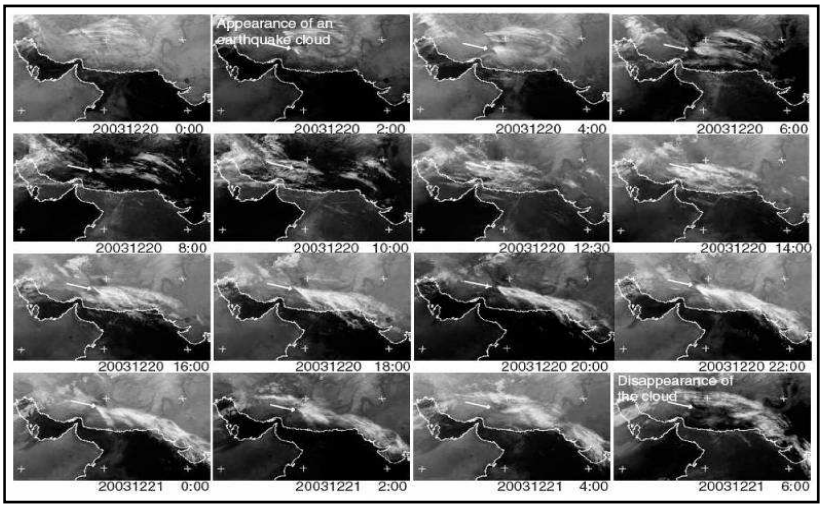
اما از سویی پارامترهای متعددی هم که تعداد آنها به بیش از۳۰ مورد می‌رسد برای پیش‌بینی زلزله بررسی شده‌اند. برای نمونه می‌توان از تغییر در پتانسیل گرانی زمین نام برد که از تغییر چگالی پوسته تغییرات ارتفاعی توسط دستگاه‌هایی با دقت میکروگال رصد می‌شود *(صمیمی، نعیمی،۱۳۸۶: ۱۵۳-۱۵۹)*. و یا می‌توان به تغییرات الگوهای رفتاری حیوانات به خصوص سگ‌ها در اثر امواج الکترومغناطیس ناشی‌از زلزله اشاره کرد *(بکایی و آل داوود، ۱۳۸۶: ۴۸-۳۶)*. علاوه بر موارد پیش گفته می‌توان از تصاعد گاز رادون یک تا ۱۰ روز پیش از وقوع زلزله *(رحیمی و همکاران ۱۳۸۶: ۱۰۲-۹۶)*، تغییرضریب پخش گرما در خاک اطراف گسل *(رضاپور و همکاران ۱۳۸۶: ۱۱۰-۱۱۸)*، نوسان سطح آب چاه‌ها، تغییر در مقاومت الکتریکی و تجمع تنش در پوسته زمین *(یزدانی و کلانتر، ۱۳۸۶: ۳۰۴- ۲۹۸)* به عنوان پارامترهایی یاد کرد که پیش‌بینی کننده وضعیت قبل از وقوع زلزله می‌باشند. اما امروزه پیش نشانگرهای هواشناسی و جوی به طرز گسترده‌ای در پیش‌بینی زلزله، مورد بررسی قرارمی‌گیرد. برای مثال یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که تغییرات به وجود آمده در زمین در اثر زلزله، می‌تواند باعث تغییراتی درشارش‌های گرمایی شود *(Singh, R.P., Bhoi, S., Sahoo, A.K., 2001)*. و یا ایجاد ستون‌های بخار آب را در اتمسفر تشکیل دهد *(Dey,s.,etal.,(2004),No.33)*. و یا تغییرات الکترو مغناطیسی را در یونوسفر باعث شود *(Shvets,A.V.,etal.,(2004),No.29,627-637)* و یا منجر به بارش باران گردد *(Sassa, K., at all.,(2005),No.48 C)*. از منظر ارتباط پدیده‌های اقلیمی با بروز زمین لرزه و سابقه استفاده از پارامترهای هواشناسی در پیش‌بینی زلزله می‌توان به تحقیقات دانشمندان روسی در دهه نود اشاره کرد که به بی‌هنجاری‌های دمایی تصاویر ماهواره‌ای ابرها پیش از وقوع زلزله‌ای در آسیای مرکزی پی برده بودند. «موروزوف» محقق روسی چنین بی‌هنجاری ابری[۲] را در امتداد یک گسل بررسی کرد و شکافی طولی در دل یک توده ابر ضخیم در سال ۱۹۸۴ مشاهده کرد. بر این اساس او استنباط کرد گازهایی با فشار از گسل متصاعد شده و توده ابر را ساییده و شکافی به آن شکل را ایجاد کرده است که آن را پدیده «دگازینگ[۳]»نامید *((Morozova, L.I.,(1997No.9:94-96))*. اما در خصوص سابقه پیش‌بینی وقوع زمین لرزه با استفاده از مدل ابر زلزله[۴] به طور خاص باید به اقدامات «ژونگهائو شو[۵]» اشاره کرد. نتایج مدل ابر زلزله بر اساس فعالیت‌های تجربی و تحقیقاتی وی در سال ۲۰۰۴ ارائه شده است و طبق پیش‌بینی‌های وی برای سازمان زمین‌شناسی آمریکا در طی سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۹۴ از ۵۰ پیش‌بینی انجام شده، ۳۶ پیش‌بینی درست بوده و به وقوع پیوسته است. به بیان دیگر این مدل با احتمال بیش از ۷۲ درصد، کارایی خود را نشان داده است *(Harrington,D.,Shou,Z.H.,(2004):39-63)*. این مدل ممکن است پیش‌بینی

۱- دقت شود که به طور ادبی Prediction و Forecast به معنی پیش‌بینی و پیش‌گویی به شکل تجربی و اثبات گرا است در حالی که Foresight به معنای پیش‌نگری به شکلی رفتارشناسانه و هنجارگرا می‌باشد. در این مقاله برای پرهیز از اختلاف از همان واژه جا افتاده Prediction به مفهوم پیش‌بینی استفاده می‌شود.

2 -Cloud Anomaly
3 -Degassing
4 -Earthquake cloud
5 -ZhonghaoShou

کننده وضعیت زلزله از چندین ساعت گرفته تا حدود ۱۰۳ روزقبل از وقوع زلزله باشد. البته «شو» تئوری اولیه مدل ابر زلزله خود را قبل از ارائه در سازمان زمین شناسی آمریکا، در سال ۱۹۹۹ با عنوان «دهیدراسیون[1]» مطرح کرده بود که علت ایجاد وفوران گازهای گرم و بخارات شیمیایی حاصل از فعالیت درونی گسل‌ها را توضیح می‌داد *(Shou, Z.H., (1999):No.64, 53-57)*. روی هم رفته مطابق پدیده دهیدراسیون، قبل از وقوع زلزله در نقطه‌ای که گسل لرزه‌خیز وجود دارد، بخارات و گازهای گرمی از زمین خارج می شوند که پس از سرد شدن به ابر تبدیل می‌شوند. این ابرها دارای مشخصات زیر هستند: ۱- شکل گیری آنها معمولا به طور بسیار ناگهانی حتی گاهی اوقات درچند ثانیه صورت می‌پذیرد در حالی که ابرهای طبیعی که درچارچوب هواشناسی می‌گنجند این گونه نیستند. ۲- ابرهای زلزله به دلیل فشار زیادی که درحین خروج از زمین دارند، دارای یک شکل خاص می‌باشند. مثلا گاه به فرم چند خط موازی در یک امتداد بروز می‌کنند درصورتی‌که ابرهای طبیعی، دارای شکل و فرم توده‌ای و حجیم هستند. ۳- گاهی اوقات این ابرها برخلاف جهت باد حرکت می‌کنند. ۴- اگر یک توده ابر طبیعی در بالای مرکز زلزله قرار داشته باشد در ابتدا بخارهای آب به علت گرمایی که دارند باعث بوجود آمدن یک حفره بزرگ در داخل ابر طبیعی می‌شوند و این نشان دهنده غیرطبیعی بودن ابرها می‌باشد. در طول دهه اخیر هم مطالعاتی بر روی در داده های ماهواره‌ای هواشناسی به روش سنجش از دور[2] انجام شده است. که در یکی از این نمونه‌ها «چوداری» و همکاران به طور خاص بر وجود بی‌هنجاری دمایی‌در ابرهای زلزله بم درتاریخ ۲۱ دسامبر ۲۰۰۳ قبل از وقوع زلزله تأکید کرده‌اند زلزله‌ای که در تاریخ ۲۵ دسامبر ۲۰۰۳ به بزرگی ۶.۶ ریشتربه وقوع پیوست*(Choudhury, S.,et al.,:(2006)Vol.27,No.20:4381-4396)*. اما قبل از او «شو» بود که ابر زلزله بم را در طی ۲۶ ساعت از ۲ صبح ۲۰ دسامبر تا ۴ صبح ۲۱ دسامبر ۲۰۰۳ رصد کرده بود که تشکیل این ابر زلزله با تبعیت از پدیده دهیدراسیون در شکل (۱) نمایش داده شده است.

شکل (۱): روند سریالی تشکیل ابر زلزله در زمین لرزه ۶.۶ ریشتری بم با پیروی از پدیده دهیدراسیون



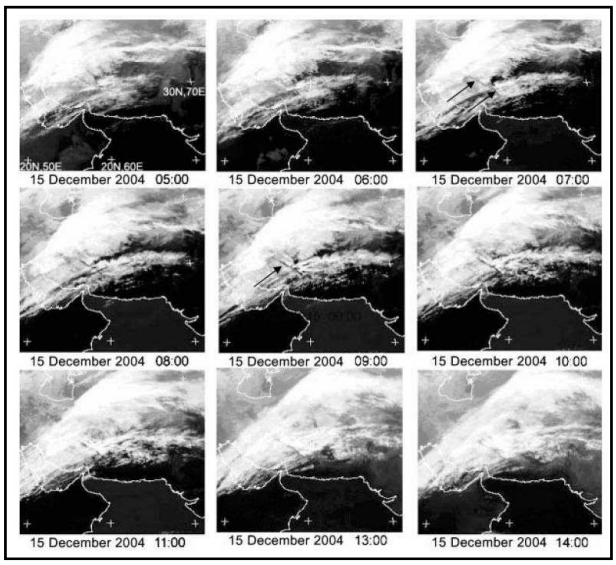
منبع: هارینگتون و شو، ۲۰۰۴: ص۴۳

1 -Dehydration
2 -Remote sensing

تحلیل سینوپتیکی طی یک هفته قبل از وقوع زلزله تا وقوع زلزله بم نشان دهنده تغییرات سینوپتیکی سریع درمنطقه رخ داده به طوریکه در یک روزیک مرکز کمفشار در منطقه فعال بوده و تشکیل یک سلول بسته کمفشار نموده و طی مدت کوتاهی تضعیف و یک مرکز پرفشار شکل گرفته که در نوبه خود غیرعادی بوده است. این در حالی است که تشکیل این الگوهای سینوپتیکی یعنی مراکز کمفشار و پرفشار در یک منطقه معمولا ۳تا۴ روز ماندگار بوده و به تدریج تضعیف می‌گردند. بنابراین به نظر می‌رسد، تجزیه و تحلیل نقشه‌های هواشناسی در مواقعیکه تغییرات سینوپتیکی در سطح زمین به سرعت و به صورت غیر عادی انجام می‌گیرد، در پیش بینی وقوع زلزله‌های بزرگ موثر باشد. این استنتاج مؤید تشکیل ابرهای موسوم به زلزله قبل از وقوع زلزله می‌باشد. در جدیدترین کارها بر اساس پارامترهای هواشناسی نیز دو محقق چینی پیش‌بینی‌هایی را انجام داده‌اند. آنها با استفاده از تئوری «دهیدراسیون» و «دگازینگ» ابری را در ۱۵ دسامبر ۲۰۰۴ برای محدوده $^{\circ}$۳۵-$^{\circ}$۲۵ عرض شمالی و $^{\circ}$۶۰-$^{\circ}$۵۶ طول شرقی در ایران مشاهده کردند و درست پس از ۶۹ روز در تاریخ ۲۲ فوریه ۲۰۰۵ در موقعیت $^{\circ}$۳۰.۸ عرض شمالی و $^{\circ}$۵۶.۸ طول شرقی (زرند) زلزله ای به بزرگای ۶.۳ ریشتر به وقوع پیوست. همین طور ابری مشابه در تاریخ ۲۶ دسامبر ۲۰۰۵ برای محدوده $^{\circ}$۳۵-$^{\circ}$۲۵ عرض شمالی و $^{\circ}$۶۰-$^{\circ}$۵۶ طول شرقی در ایران مشاهده شد و پس از ۶۴ روز درتاریخ ۲۸ فوریه ۲۰۰۶ و در موقعیت $^{\circ}$۲۸.۱ عرض شمالی و $^{\circ}$۵۶.۸ طول شرقی (حاجی آباد) زلزله ای به بزرگای تقریبا ۶.۰ ریشتر به وقوع پیوست. *(Guo, G., Wang, B., (2008),Vol.29,No.7:1921-1928)*.

در شکل (۲) تصاویر ماهواره‌ای روند تشکیل ابر زلزله در تاریخ ۱۵ دسامبر ۲۰۰۴ زرند نمایش داده شده است که البته از پدیده «دگازینگ» پیروی می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که وقوع ابر زلزله به شکلی با وقوع بی‌هنجاری دمایی هم در ارتباط است. لذا روش سنجش از دور با استفاده از این دو مدل می‌تواند نتایج بهتری را هم تولید کند.

شکل (۲): روند سریالی تشکیل ابر زلزله در زمین لرزه ۶.۳ ریشتری زرند با پیروی از پدیده دگازینگ



منبع: گو و وانگ، ۲۰۰۸: ص۱۹۲۳

هدف ما در این تحقیق ارزیابی مدل ابر زلزله برای امکان پیش‌بینی تعداد دفعات رویداد زلزله در طی بازه زمانی سه ماهه چهارم سال ۲۰۰۹ می‌باشد. در نهایت ضمن تولید نقشه‌های تراکم زلزله های پیش‌بینی شده بر اساس مدل ابر زلزله، به محاسبه نرخ همبستگی آن با رویداد زلزله های به وقوع پیوسته در ایران می‌پردازیم.

محدوده مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه تحقیق را سرزمین ایران تشکیل می‌دهد، که در مرکزیت کمربند چین‌خورده آلپ- هیمالیا قرار دارد. این منطقه جزئی از کمربند زلزله جهانی به شمار می‌آید و به لحاظ جغرافیایی با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع مابین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴تا۶۳ درجه‌طول شرقی واقع شده که بیشترین مساحت آن در سطوح ارتفاعی ۲۰۰۰-۱۰۰۰ متر گسترده شده است. ایران در میان سایر کشورهای منطقه و جهان رتبه نخست را در تعداد زلزله‌های با شدت بالای ۵/۵ ریشتر در سال به خود اختصاص داده است *(حبیبی و همکاران۱۳۸۷مجله هنرهای زیبا،شماره ۳۳: ۳۶-۲۷)*. این سرزمین که به لحاظ تراکم جمعیتی بیشترین جمعیت را در غرب و شمال خود جای داده بر اساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۲۰۰۶ دارای ۷۰۴۷۲۰۰۰ نفر جمعیت بوده است *(مرکز ملی آمار ایران۱۳۸۵)*. ایران از نظر زمین‌شناسی در منطقه فعال تکتونیکی قرار دارد و در کل شواهد گوناگون مانند زمین‌لرزه‌ها، آتشفشان‌های نیمه فعال، سواحل بالا آمده، تداوم بالا آمدن گنبدهای نمکی، گل‌فشان‌ها، پیدایش گسل‌های لرزه‌ای و...، نشانگر تغییر و تحول ژئودینامیکی کنونی پوسته ایران و عدم تعادل آن است *(آقانباتی (۱۳۸۳)چاپ۱،۶۴۰: ۵۷۵ -۵۷۶)*. از نظر اقلیمی نیز ایران در منطقه گرم و خشک جهان قرار گرفته است اما به سبب موقعیت خاص آن و قرارگیری دو حوضه بزرگ آبی و رطوبتی دریای خزر و خلیج فارس در شمال و جنوب و کشیدگی رشته کوه‌های البرز و زاگرس در آن چهار نوع اقلیم معتدل و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر، اقلیم سرد در کوهستانهای غربی کشور، اقلیم گرم و خشک در فلات مرکزی و اقلیم گرم و مرطوب، در سواحل جنوبی ایران پدید آمده است.

روش تحقیق

روش مورد استناد در این تحقیق پیش‌بینی زلزله بر اساس مدل ابر زلزله است. پیش از این گفته شد که محققین با ارائه تئوری‌های دهیدراسیون و دگازینگ به بررسی ارتباط زلزله با تغییرات پارامترهای اقلیمی پرداخته‌اند که ماحصل آنها بحث بر سر الگو و نحوه تشکیل ابرهای زلزله بوده است. در کشورمان تاکنون با استناد به این روش استفاده عملی صورت نگرفته است و در معدود مطالعات انجام شده نیز فقط به ترجمه‌ای از معرفی این روش پرداخته شده است *(تاج آبادی، ۱۳۸۳ماهنامه راه و ساختمان، سال ۲، شماره ۱۵: ۷-۵)* و *(عطاپور و شاکرمی،۱۳۸۶: ۱۷۳-۱۷۶)*. البته در تحقیق خوبی هم که به انجام رسیده است، با بررسی ابر زلزله بم بر اساس فعالیت‌های «شو» بر وجود رابطه منطقی بین ابر زلزله با نوسانات و تغییرات شدید بین پارامترهای اقلیمی دما، درصد رطوبت نسبی و سرعت و فشار باد تأکید شده است *(رسانه و حاج بابایی ۱۳۸۶: ۱۰۲- ۱۰۹)*. ما در این تحقیق با هدف ارزیابی مدل ابر زلزله برای

امکان پیش‌بینی تعداد دفعات رویداد زلزله در طی بازه زمانی سه ماهه چهارم سال ۲۰۰۹، پس از حذف زلزله‌های با بزرگای کمتر از ۲/۵ ریشتر، تعداد دفعات رویداد زلزله را فارغ از درجه بزرگی آن درگستره سرزمینی ایران مورد توجه قرار دادیم. توجه شود حذف زلزله‌های کمتر از ۲/۵ریشتر به دلیل مقیاس تحقیق حاضر و مقیاس تصاویر ماهواره‌ای هواشناسی بوده که امکان ثبت و مشاهده ابرهای زلزله را برای این زمین لرزه‌ها دشوار می‌سازد. فرآیند ثبت ابر زلزله طبق روش‌شناسی آن شامل مشاهده تجربی شکل‌گیری پدیده ابر در یک نقطه مشخص به همراه پایش روند ادامه‌داری آن است که بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای هواشناسی در سری‌های زمانی نیم ساعته می‌باشد. نکته مهم عدم تحرک و جابه‌جایی ابر در طی زمان است که آن را از جریانات هوایی دارای رطوبت که مداوما توسط بادهای غربی وارد کشور می‌شوند متمایز می‌سازد. که این فعالیت بر اساس شبکه‌بندی کشور در GIS برای هر پیکسل شبکه به طور جداگانه و به طور تجربی به انجام می‌رسد. بر مبنای شبکه‌بندی پایه تولید شده برای کل کشور، تعداد ابرهای زلزله پیش‌بینی شده و تعداد زلزله‌های به وقوع پیوسته در بازه زمانی تحقیق به ترتیب به عنوان متغیرهای مستقل و وابسته تحقیق، ثبت شده و در نقشه شبکه‌بندی در برنامه GIS وارد شدند. هدف از این اقدامات محاسبه نرخ همبستگی تراکم ابرهای زلزله (زلزله‌های مورد پیش‌بینی با استفاده از مدل ابر زلزله) با تعداد زمین لزره‌های به وقوع پیوسته بود که در برنامه SPSS انجام شد. برای تشکیل بانک اطلاعاتی تحقیق نیز از دو مرجع استفاده شد. یکی مربوط به مجموعه تصاویر ماهواره‌ای هواشناسی[1] با سری زمانی نیم ساعته برای ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر ۲۰۰۹ است که توسط اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی *(سازمان هواشناسی ایران ۱۳۸۹تصاویر ماهواره‌ای ، اکتبر تا دسامبر۲۰۰۹)*، در اختیار قرار گرفته است و دیگری مربوط به بولتن زلزله‌شناسی و کاتالوگ زمین‌لرزه‌های ایران[2] در سه ماهه چهارم سال ۲۰۰۹ است که توسط شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن ایران زیر نظر پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تهیه شده است *(پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی۱۳۸۹)*. تعیین تراکم تعداد زمین لرزه‌ها خود شاخصی مستقل است که از آن می‌توان برای پیش‌بینی کوتاه مدت و حتی بلندت مدت زلزله‌ها استفاده کرد و تهیه بولتن‌های زلزله‌شناسی و کاتالوگ زمین‌لرزه‌های ایران به راحتی امکان این کار را برای واحدهای ارضی و پیکسلی مشخص، فراهم کرده است. در فعالیتی مشابه، محققین چگالی زلزله‌های با بزرگای بیشتر از یک ریشتر کاتالوگ‌های زلزله ایستگاه‌های لرزه نگاری را در دوره ده ساله ۲۰۰۷-۱۹۹۶ برمبنای شبکه‌ای چهارگوش در اطراف ایستگاه‌های لرزه‌نگاری تهران با پیکسل‌های ۵۰×۵۰ کیلومتر در مختصات UTM، به دست آورده و در پایان به طور استنباطی به ارتباط تراکم زلزله‌ها با تکتونیک منطقه اشاره کرده‌اند *(بیت اللهی و نعمتی۱۳۸۶مرکز مطالعات زلزله، موسسه ژئوفیزیک: ۵۸-۶۹)*.

بحث و یافته‌های تحقیق

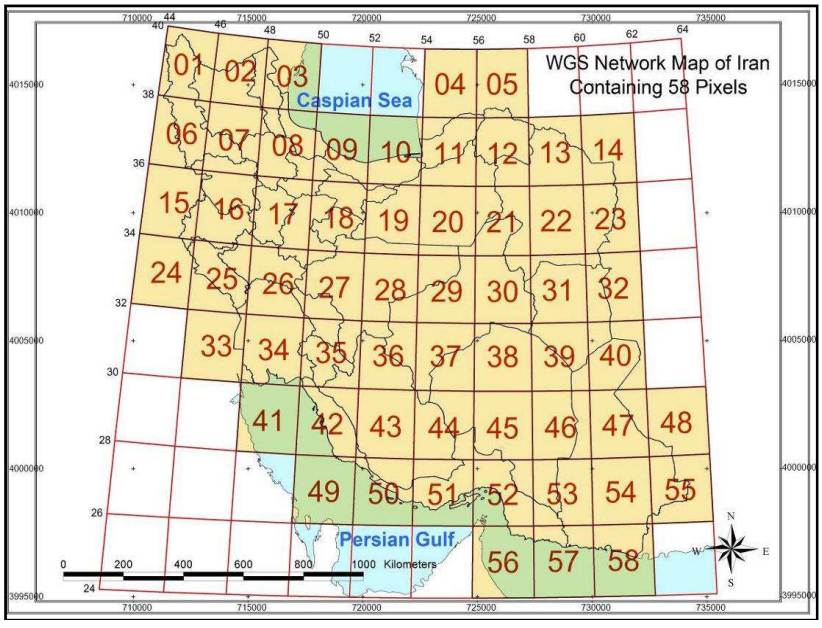
فرآیند تحقیق با تولید نقشه شبکه‌بندی ایران با ابعاد پیکسلی ۲×۲ درجه بر پایه سیستم مختصات WGS و در برنامه GIS آغاز شد. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود کل مساحت ایران در قالب ۵۸ شبکه پیکسلی تعیین

۱- لینک دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای هواشناسی: **http://www.irimo.ir/farsi/satellite/main.asp**

۲- سایت دسترسی به بولتن ها و کاتالوگ های زلزله شناسی: **http://www.iiees.ac.ir**

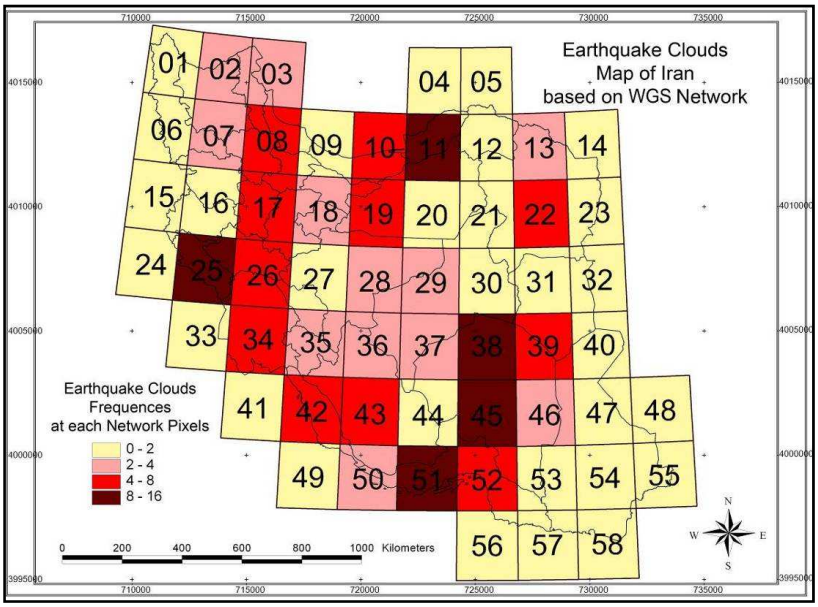
حدود و ترسیم شده است. آنگاه تصاویر ماهواره‌ای ابرها بر روی این شبکه‌بندی ژئورفرنس شدند تا با بررسی حدودا ۴۴۱۵ تصویر ماهواره‌ای متوالی با سری نیم ساعته، ابرهای زلزله مشاهده شده در هر شبکه پیکسلی تعیین شده و در فیلد مشخص پیش‌بینی زلزله در GIS وارد شوند. بر این اساس در طی این سه ماه ۱۸۰ ابر زلزله برای کل شبکه ۵۸ پیکسلی مشاهده شدند که توزیع و تراکم آنها برای هر پیکسل محاسبه و در قالب نقشه‌ای تولید گردید (شکل۴). در اینجا برای نمونه روش تجربی تشخیص ابرهای زلزله در یک مورد خاص ارائه می‌گردد. این ابر زلزله در پیکسل‌های شماره ۵۳ و ۵۴ به شکل خطی در امتداد گسل قصرقند- نیکشهر در موقعیت °۲۷-°۲۶ عرض شمالی و °۶۱-°۵۹ طول شرقی و در تاریخ ۲ اکتبر ۲۰۰۹ در طی ساعات ۸ تا ۱۳ رصد شد که در تاریخ ۲۹ نوامبر ۲۰۰۹ به بزرگای ۴/۱ ریشتر در موقعیت °۲۶/۵ عرض شمالی و °۵۹/۹ طول شرقی (نیکشهر) حادث گردید. روند سریالی تشکیل ابر زلزله در زمین لرزه فوق الذکر در شکل (۵) نمایش داده شده است.

شکل (۳): شبکه بندی ایران با ابعاد پیکسلی ۲×۲ درجه بر پایه سیستم مختصات WGS



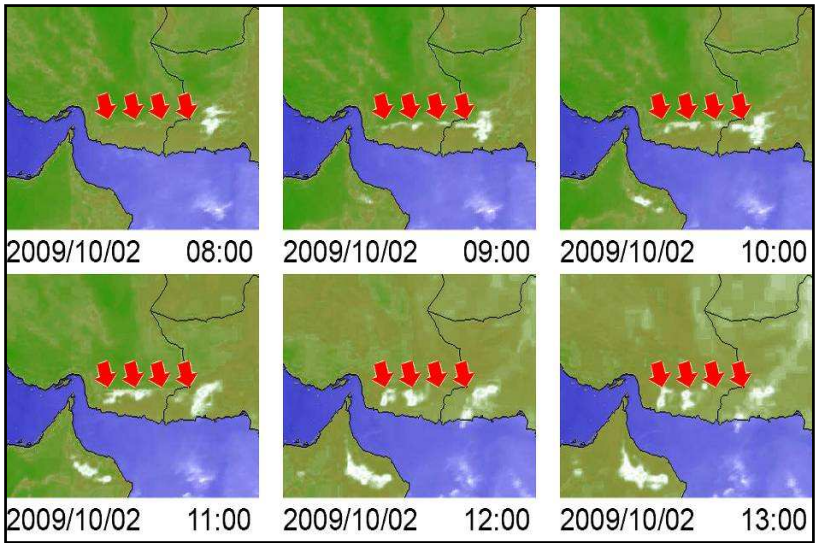
منبع: نگارنده

شکل (۴): تراکم تعداد ابرهای زلزله مشاهده شده برای شبکه پیکسلی ایران بر پایه سیستم مختصات WGS در سه ماهه چهارم ۲۰۰۹



منبع: نگارنده

شکل (۵): روند سریالی تشکیل ابر زلزله در زمین لرزه ۴.۱ ریشتری امتداد گسل قصرقند-نیکشهر



منبع: نگارنده بر اساس تصاویر ماهواره ای اداره کل هواشناسی از اکتبر تا دسامبر ۲۰۰۹

طبق نقشه تراکم تعداد ابرهای زلزله در شکل (۴) مشاهده شد که پیکسل‌های شماره ۱۱، ۲۵، ۳۸، ۴۵ و ۵۱ بیشترین تراکم تعداد ابرهای زلزله مشاهده شده را به خود اختصاص داده‌اند و در طبقه دارای فراوانی ۱۶-۸ مورد زلزله قرار گرفته‌اند. پس از آن با استناد به کاتالوگ زمین لرزه‌های ایران در سه ماهه چهارم ۲۰۰۹ زلزله‌های به وقوع پیوسته در این بازه زمانی نیز بر روی همین شبکه پیکسلی ژئورفرنس شدند و در فیلد مشخص زلزله‌های به وقوع

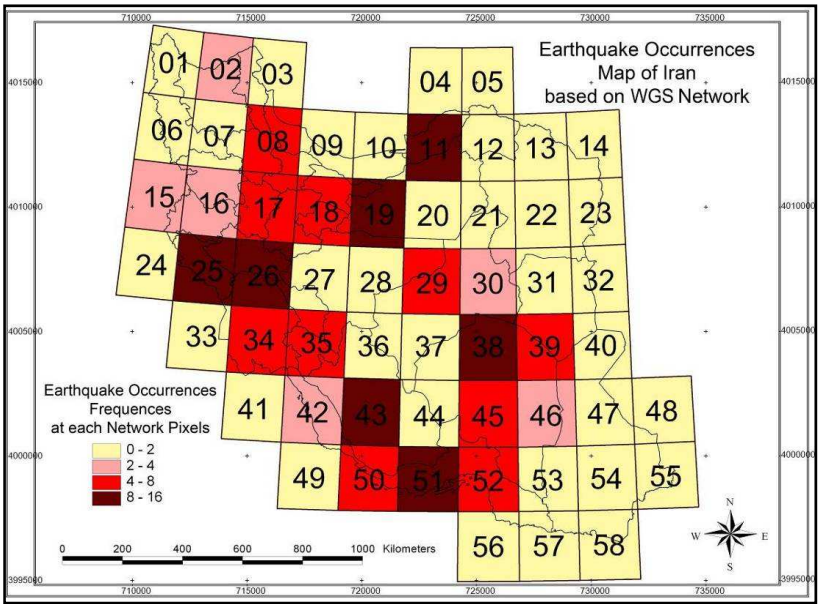
پیوسته در GIS وارد شدند. توزیع و تراکم این زلزله‌ها که مجموعا ۲۰۰ زلزله را شامل می‌شدند برای هر پیکسل محاسبه و به صورت نقشه ترسیم و تولید گردید (شکل۶). طبق نقشه تراکم تعداد زلزله‌های به وقوع پیوسته درشکل (۶) مشاهده شد که پیکسل‌های شماره ۱۱، ۱۹، ۲۵، ۲۶، ۳۸، ۴۳ و ۵۱ بیشترین تراکم تعداد زلزله‌های به وقوع پیوسته را به خود اختصاص داده‌اند و در طبقه دارای فراوانی ۱۶-۸ مورد زلزله قرار گرفته‌اند. در جدول (۱) نتایج زلزله‌های پیش‌بینی شده و رویدادهای زلزله در طی سه ماه برای مجموع محدوده مطالعاتی ایران ارائه شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تعداد زلزله‌های پیش‌بینی شده مطابق مدل ابر زلزله به میزان ۹۰٪ با تعداد زلزله‌های بزرگتر از ۲/۵ ریشتری در بازه زمانی تحقیق هم‌پوشانی دارد. و در این میان تعداد زلزله‌های درست پیش‌بینی شده توسط مدل‌در قالب پیکسل‌های شبکه نیز معادل۶۹٪ از مجموع زلزله‌های به وقوع پیوسته می‌باشد.

جدول (۱): ارزیابی مدل ابر زلزله در تعداد پیش بینی صحیح از زلزله های به وقوع پیوسته برای کل کشور در سه ماهه چهارم ۲۰۰۹

شبکه مورد مطالعه	مجموع	درصد
مجموع زلزله‌های به وقوع پیوسته در سه ماهه چهارم	۲۰۰	۱۰۰
تعداد زلزله‌های پیش‌بینی شده توسط مدل ابر زلزله	۱۸۰	۹۰
تعداد زلزله‌های پیش‌بینی نشده توسط مدل ابر زلزله	۲۰	۱۰
زلزله‌های اتفاق نیفتاده از زلزله‌های پیش‌بینی شده	۴۲	۲۱
زلزله‌های درست پیش‌بینی نشده از مجموع زلزله‌ها	۶۲	۳۱
زلزله‌های به وقوع پیوسته از زلزله‌های پیش‌بینی شده	۱۳۸	۶۹

منبع: نگارنده

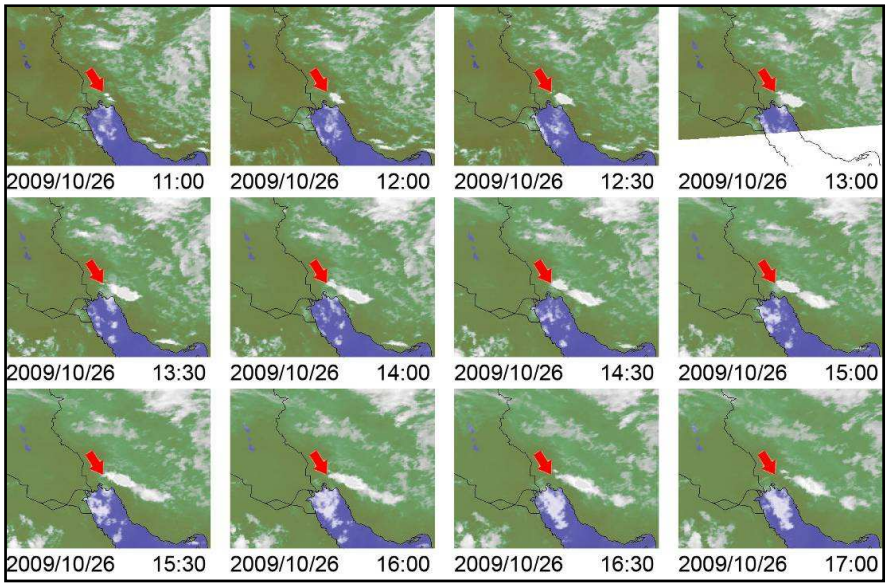
شکل (۶): تراکم تعداد زلزله های به وقوع پیوسته برای شبکه پیکسلی ایران بر پایه سیستم مختصات WGS در سه ماهه چهارم ۲۰۰۹



منبع: نگارنده بر اساس بولتن زلزله‌شناسی و کاتالوگ زمین‌لرزه‌های ایران در سه ماهه چهارم سال ۲۰۰۹

در سه ماهه چهارم ۲۰۰۹ در مجموع ۲۰۰ مورد زلزله در شبکه پیکسلی ایران به وقوع پیوسته است. اینکه دقیقا چه تعداد از زلزله‌های پیش‌بینی شده توسط مدل ابر زلزله در پیکسل‌های مربوطه در همین سه ماه به وقوع پیوسته‌اند و یا چه مقدار از زلزله‌های رخ داده در پیکسل‌ها وجود داشته‌اند که توسط مدل ابر زلزله پیش‌بینی نشده‌اند، تحلیلی است که در جدول (۱) به آنها نیز پرداخته شده است. بر طبق جدول (۱) در مجموع ۱۸۰ مورد ابر زلزله (۹۰٪) در سه ماهه چهارم ۲۰۰۹ مشاهده شده است که پیش‌بینی کننده وضعیت ۱۸۰ زلزله بالای ۲/۵ ریشتر می‌باشد. بنابراین از ۲۰۰ مورد زلزله به وقوع پیوسته،۲۰ مورد (۱۰٪) توسط مدل ابر زلزله پیش‌بینی نشده است از مجموع ۱۸۰ زلزله پیش‌بینی شده برای کل پیکسل‌ها نیز اساسا ۴۲ مورد (۲۱٪) در بازه زمانی سه ماهه چهارم ۲۰۰۹ به وقوع نپیوسته است. به طوری که این ۴۲ مورد در پیکسل‌ها و موقعیت‌های دیگری پیش‌بینی شده که در این سه ماه زلزله‌ای برای این پیکسل‌ها و موقعیت‌ها به ثبت نرسیده است. لذا روی هم رفته می‌توان گفت مدل ابر زلزله در طی این بازه زمانی از ۲۰۰ مورد زلزله به وقوع پیوسته فقط توانسته ۱۳۸ مورد یعنی ۶۹٪ را به درستی و به تفکیک پیکسل‌های شبکه‌بندی کشور پیش‌بینی نماید که آن‌ها گزارش زلزله به وقوع پیوسته و ثبت شده هم وجود دارد. نکته مورد توجه اینکه الزاما برای همه زلزله‌ها نمی‌توان ابر زلزله را گزارش کرد چرا که سازو کار همه زلزله‌ها به نحوی نیست که بتواند به ظهور ابر زلزله بینجامد. همچنین باید دقت داشت که همه ابرهای زلزله الزاما در طی بازه زمانی سه ماهه به وقوع نمی‌پیوندند چرا که طبق روش شناسی «شو» ابر زلزله ممکن است پیش‌بینی کننده وضعیت زلزله از چندین ساعت گرفته تا حدود ۱۰۳ روز قبل از وقوع زلزله باشد. البته این بازه زمانی با این اختلاف یکی از اشکالات بزرگ مدل ابر زلزله نیز می‌باشد چرا که نوسان زیادی برای احتمال وقوع زمین لرزه ایجاد می‌کند. به هر حال می‌توان انتظار داشت کارایی مدل ابر زلزله حداقل ۶۹٪ و حداکثر تا ۹۰٪ در نوسان باشد. برای اثبات این موضوع می‌توان به بررسی بزرگترین ابر زلزله مشاهده شده توسط تیم تحقیق در پیکسل شماره ۳۴، اشاره کرد. این ابر در موقعیت $^{\circ}$۳۲-$^{\circ}$۳۰ عرض شمالی و$^{\circ}$۵۰-$^{\circ}$۴۸ طول شرقی و در تاریخ ۲۶ اکتبر ۲۰۰۹ رصد شد حال آنکه در تاریخ‌های ۱۲ فوریه و ۱۴ فوریه ۲۰۱۰ به شکل دو زلزله به بزرگای ۴.۲ ریشتر در موقعیت $^{\circ}$۳۰.۵ عرض شمالی و $^{\circ}$۴۹.۹ طول شرقی (آغاجاری) حادث شد (شکل ۷). باید توجه داشت که ابرهای این زلزله که از پدیده دهیدراسیون پیروی می‌کرد حداقل ۱۰۸ روز قبل از وقوع مشاهده شدند. بنابراین مدل ابر زلزله در طی سه ماهه چهارم یک سال میلادی می‌تواند مشخص کننده وضعیتی باشد که در آن حداقل ۶۹٪ تا حداکثر ۹۰٪ زلزله‌ها مورد پیش‌بینی در مقیاس پیکسل‌های ۲×۲ درجه مختصات WGS در کشور باشد. با توجه به حجم زیاد انطباق همه ابرهای زلزله با زمین لرزه‌های به وقوع پیوسته امکان درج و نمایش همه آنها در این مقاله امکان پذیر نبود و همه ۱۳۸ ابر زلزله شناسایی شده در دیتابیس پشتیبان مقاله ذخیره گردید. در نهایت نرخ همبستگی تراکم تعداد ابرهای زلزله به عنوان متغیر مستقل با تعداد زمین لزره‌های به وقوع پیوسته به عنوان متغیر وابسته در برنامه SPSS محاسبه گردید. طبق آزمون پیرسون با معناداری مطلوب و sig کمتر از ۰.۰۵ نرخ همبستگی به میزان ۰.۸۳۷ و مربع رگرسیون معادل ۰.۷ به دست آمد که اولا نشان دهنده وجود رابطه‌ای قوی و مستقیم بین دو متغیر و در ثانی گویای وجود وضعیت قابل پیش‌بینی برای معادله بین دو متغیر است (جدول ۲).

شکل (۷): روند سریالی تشکیل ابر زلزله در زمین لرزه های متوالی ۴.۲ریشتری آغاجاری



منبع: نگارنده بر اساس تصاویر ماهواره ای اداره کل هواشناسی از اکتبر تا دسامبر ۲۰۰۹

جدول ۲): محاسبه نرخ همبستگی میان تعداد ابرهای زلزله (متغیر مستقل) با تعداد زمین لزره های به وقوع پیوسته (متغیر وابسته)

مدل		ضرایب			t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
متغیر مستقل (تعداد ابرهای زلزله)	ثابت	-۰.۲۵۴	۰.۴۵۱		-۰.۵۶۳	۰.۵۷۶
	پیش بینی	۱.۱۹۳	۰.۱۰۴	۰.۸۳۷	۱۱.۴۶۸	۰.۰۰۰۰
متغیر وابسته	زلزله های به وقوع پیوسته					

منبع: نگارنده

با توجه به نتایج جدول (۲) می‌توان معادله رگرسیونی دو متغیر در هر پیکسل از شبکه برای سه ماهه چهارم ۲۰۰۹ را به شرح رابطه زیر تولید کرد:

$$O = 1.193P - 0.254$$

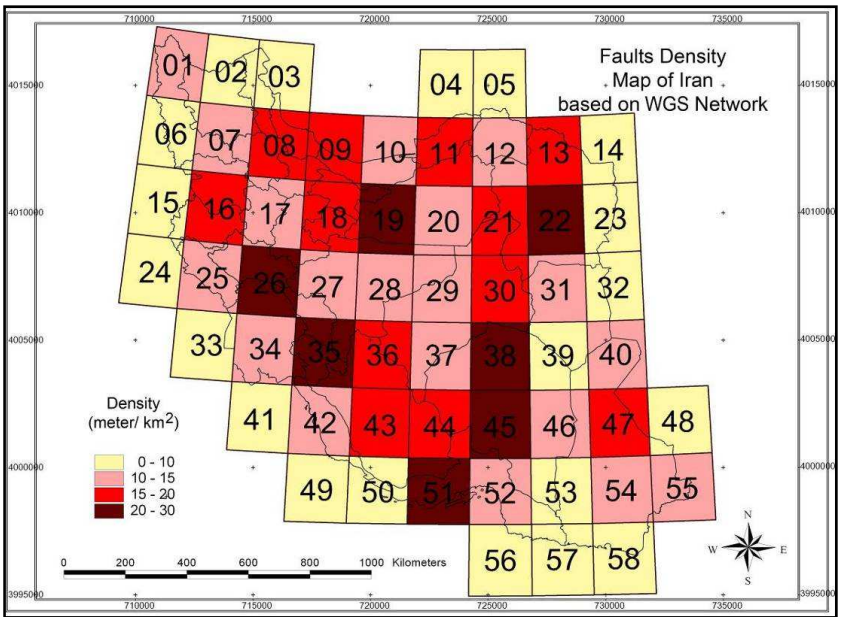
که در رابطه فوق O تعداد زلزله‌های به وقوع پیوسته در هر پیکسل و P تعداد ابرهای زلزله مشاهده شده در هر پیکسل است. باید توجه داشت این معادله فقط قابلیت تعمیم برای سه ماهه چهارم هر سال میلادی (تقریبا منطبق بر فصل پاییز) را دارد و نتایج دقیق‌تر منوط به تحقیقات بیشتر برای سایر فصول در آینده خواهد بود. در ادامه برای تحلیل نتایج به دست آمده به پراکنش شبکه گسل‌های لرزه‌خیز کشور پرداخته می‌شود چرا که به طور کلاسیک این اعتقاد وجود دارد که رابطه گسل و زلزله دو طرفه است یعنی وجود گسل‌های زیاد در یک منطقه جدید موجب بروز زلزله جدید است *(نگارش، ۱۳۸۴ مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره۵۲: ۹۳- ۱۱۰)*.

بدین منظور نقشه گسل‌های فعال ایران *(حسامی و همکاران۱۳۸۲)* در شبکه‌بندی پایه تحقیق ژئورفرنس شد و چگالی گسلش هر پیکسل محاسبه گردید که به صورت نقشه چگالی گسل‌های فعال ایران درشکل (۸) منعکس شده است. محاسبه چگالی گسلش نیز بر مبنای حاصل تقسیم طول گسل‌های موجود در هر پیکسل (متر) به مساحت هر پیکسل (کیلومترمربع) محاسبه گردید.

در شکل (۸) مشخص است که پیکسل‌های ۱۹، ۲۲، ۲۶، ۳۵، ۳۸، ۴۵ و ۵۱ بیشترین چگالی گسل‌های فعال را به خود اختصاص داده‌اند و در طبقه دارای تراکم ۳۰-۲۰ متر در کیلومترمربع قرار گرفته‌اند. مقایسه سه نقشه اخیر نشان می‌دهد که دو پیکسل شماره ۳۸ و ۵۱ علاوه بر اینکه از تراکم بالای تعداد ابرهای زلزله و نیز فرکانس بالای رویدادهای زلزله در سه ماهه چهارم ۲۰۰۹ برخوردار هستند بلکه داری چگالی زیاد گسل خوردگی نیز می‌باشند.

لذا می‌توان نتیجه گرفت که ضرورت انجام اقدامات لازم برای کاهش آسیب‌پذیری در فیزیکی و جمعیتی به ویژه در این دو پیکسل بایستی در اولویت مدیریت بحران کشور باشد. این دو پیکسل در خط زلزله غربی و جنوبی کشور در امتداد زاگرس قرار دارند که از نظر وقوع زلزله دارای فرکانس بالایی بوده و ۵۰.۸۳ درصد اززلزله‌های یکصد سال اخیر ایران را در برداشته است *(زمردیان، ۱۳۸۵ژئومورفولوژی ایران؛ جلد۱: چاپ۳، ۱۰۶-۲۸۱).*

شکل (۸): چگالی گسل های فعال برای شبکه پیکسلی ایران بر پایه سیستم مختصات WGS

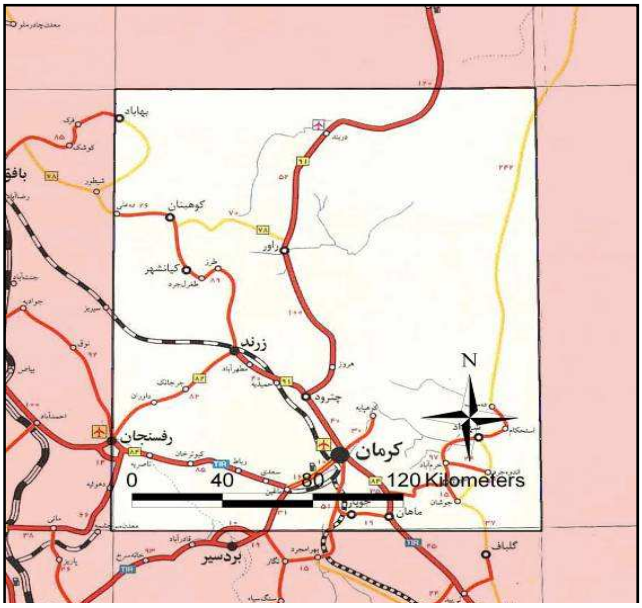


منبع: نگارنده با استفاده از نقشه گسل های فعال ایران

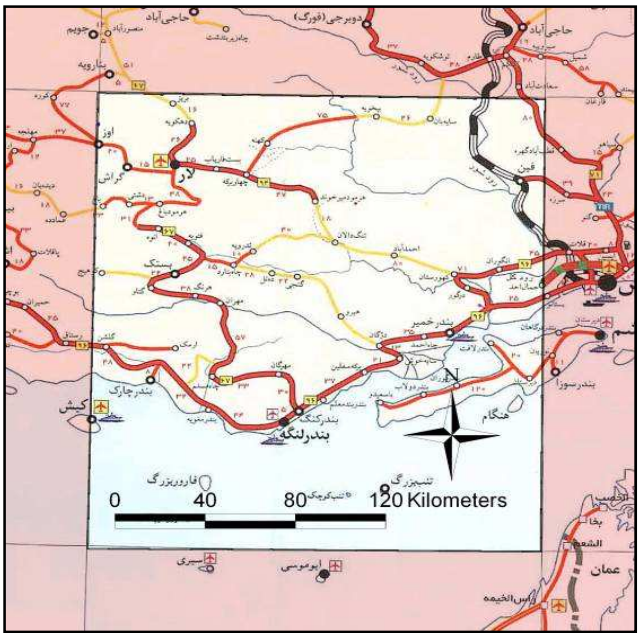
به ویژه پیکسل ۳۸ که در شکل (۹) و بر مبنای نقشه راه‌های ایران *(سازمان نقشه برداری ایران(۱۳۸۲) نقشه راههای ایران،مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰)* نمایش داده شده و منطقه کرمان، ماهان، زرند، راور، کوهبنان و بهاباد را شامل می‌شود به لحاظ ژئومورفیک جزء واحد کرمان متعلق به زمین ساخت ایران مرکزی است و از ویژگی‌های عمده آن وجود ساختمان‌های مختلط چین خورده و شکسته می‌باشد و وجود سیستم‌های گسلی مهم مانند چاپدونی، لکرکوه، کوهبنان، نایبند، کلمرد و... نشان دهنده تحول و تکامل آن به صورت فروزمین و فرازمین های جداگانه با تغییرات

شدید رخساره ها و ضخامت زیاد در مساحت‌های کم می‌باشد *(علایی طالقانی، ۱۳۸۴ژئومورفولوژی ایران، نشر قومس، چاپ۳، ۲۵۰-۴۰۴).*

شکل (۹): موقعیت پیکسل شماره ۳۸ (منطقه کرمان) و پیکسل شماره ۵۱ (منطقه بندرلنگه) در سیستم مختصات WGS



پیکسل شماره ۳۸ (کرمان)



پیکسل شماره ۵۱ (بندرلنگه)

منبع: نگارنده بر اساس نقشه راه های ایران، ۱۳۸۲

نتیجه گیری

این تحقیق با هدف ارزیابی مدل ابر زلزله برای امکان پیش‌بینی تعداد دفعات رویداد زلزله در طی بازه زمانی سه ماهه چهارم سال ۲۰۰۹ برای کل ایران به انجام رسید و برای این منظور از منابع اطلاعاتی تصاویر ماهواره‌ای هواشناسی و بولتن زلزله‌شناسی و کاتالوگ زمین لرزه‌های ایران در این بازه زمانی استفاده شد. برای به دست آوردن ارزیابی مدل ابر زلزله در مقاله حاضر بر مبنای شبکه‌بندی محدوده مطالعاتی، تعداد ابرهای زلزله پیش‌بینی شده و تعداد زلزله‌های روی داده در بازه زمانی سه ماهه پایانی ۲۰۰۹ به ترتیب به عنوان متغیرهای مستقل و وابسته در قالب شبکه‌بندی مشتمل بر ۵۸ پیکسل در برنامه GIS محاسبه شد. مدل ابر زلزله در طی این بازه زمانی از ۲۰۰ مورد زلزله توانست ۱۳۸ مورد یعنی ۶۹٪ را به درستی به تفکیک ۵۸ پیکسل شبکه‌بندی کل کشور پیش‌بینی نماید. همچنین نرخ همبستگی متغیرهای وابسته و مستقل نیز به میزان ۰.۸۳۷ به دست آمد که نشان دهنده وجود رابطه قوی و مستقیم بین دو متغیر و بیانگر وضعیت قابل پیش‌بینی برای ایجاد معادله بین دو متغیر بود. همچنین پس از تولید نقشه تراکم تعداد ابرهای زلزله و زلزله‌های رخ داده، مقایسه‌ای هم بین نتایج با چگالی گسل‌های فعال در هر پیکسل از شبکه‌بندی کشور انجام شد که نشان داد دو پیکسل ۳۸ و ۵۱ علاوه بر برخورداری از تراکم بالای تعداد ابرهای زلزله و فرکانس زلزله‌های به وقوع پیوسته، از چگالی گسل خوردگی زیادی نیز برخوردارند. لذا بذل توجه مدیریت بحران کشور برای پیشگیری از آثار منفی وقوع زلزله‌های بزرگ در این مناطق به خصوص در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر ضروری به نظر می‌آید.از طرفی استفاده ازروش‌های جدید رادیومتری و سنجش از دور برای پیش‌بینی زلزله به ویژه با بررسی دگرشکلی زمین، دمای سطحی زمین، رطوبت هوا، محتوای گازی و ذرات معلق جو و پراکندگی ابرها *(Tronin,A.A.,(2006),No.31 :138-142)* که در حال توسعه است می‌تواند با اهتمام بیشتری مورد توجه پژوهشگران و کارشناسان قرار گیرد.

منابع

۱–جایکا ،آژانس همکاری‌های بین المللی ژاپن (۱۳۷۹). مطالعات ریز پهنه‌بندی زمین لرزه‌ای تهران بزرگ، مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ ، فصل ۷:۲

2-Holliday,J.l.Rundle.J.B.Tiampo,K.F.,Klein,W.,Donnelan,A.,(2006)Modification of the pattern informatices method for forecasting large warthquke events using complex eigenfactoes.tectonophysics,413:87-91.

۳- آقاشاهی و خطیب، (۱۳۸۶). مقایسه b2فرمول لرزه‌خیزی با ابعاد فراکتالی زمین لرزه‌ها در پهنه گسله زاهدان (شرق ایران). مجموعه مقالات یازدهمین انجمن زمین شناسی ایران.

۴- صمیمی و نعیمی، (۱۳۸۶). مطالعه تغییرات گرانی به عنوان یک پیش نشانگر زلزله . مجموعه مقالات اولین همایش پیش نشانگرهای زلزله . مرکز مطالعات پیش نشانگرهای زلزله موسسه ژئوفیزیک .

۵- بکایی و آل داوود ، (۱۳۸۶). استفاده رفتاری ناشی از امواج الکترومغناطیس در پیشگویی زلزله در سگ . مجموعه مقالات اولین همایش پیش نشانگرهای زلزله . مرکز مطالعات پیش نشانگرهای زلزله موسسه ژئوفیزیک.

۶- رحیمی وهمکاران، (۱۳۸۶). ایجاد شبکه پایش پیوسته گاز رادون درون آب زیرزمینی چاه‌های عمیق دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان جهت بررسی نقش پیش نشانگری گاز رادون در رویداد زلزله . مجموعه مقالات اولین همایش پیش نشانگرهای زلزله.مرکز مطالعات پیش نشانگرهای زلزله موسسه ژئوفیزیک.

۷- رضاپور و همکاران، (۱۳۸۶). بررسی رابطه پارامترهای هواشناختی با زلزله در گستره البرز و احتمال استفاده از آن به عنوان یک پیش نشانگر.مجموعه مقالات اولین همایش پیش نشانگرهای زلزله .مرکز مطالعات پیش نشانگرهای زلزله موسسه ژئوفیزیک.

۸- یزدانی و کلانتر، (۱۳۸۶). میدان تنش در پوسته زمین به عنوان یکی از پیش نشانگرهای اصلی زلزله . مجموعه مقالات اولین همایش پیش نشانگرهای زلزله . مرکز مطالعات پیش نشانگرهای زلزله موسسه ژئوفیزیک.

9- singh,R.P.,Bhoi,s.,sahoo,AK.,(2001)significant changes in ocean parameters after the Gujarat earthquake.curr.sci.80(11):1376-1377.

10- Dey , S,. Sarkar . S., Singh,r.p., (2004)anomalous changes in column water vapor after Gujarat earthquake.Advances in space research,No.33:274-278.

11- Shvets,A.v ., Hayakawa,M.,Molchanov , o.A .Ando,Y.,(2004)A study of ionospheric response to regional seismic activity by VLF radio sounding. Physics and Chemistry of the Earth,No.29,627-637

12- Sassa,K,.Fukuoka,H.,S ekiguchi,T.,Moriwaki,H.,Hirotaka,O.,(2005), Achievements of aerial prediction of earthquake and rain induced rapid and long-traveling flow phenomena (APERITIF)progect:Annuals of Disas. Prev.Res.Inst.,KyotoUniv.,No. 48 C.

13- Morozova,L.I.,(1997)Dynamics of cloudy anomalies above fracture regions during natural and anthropogenically caused seismic activities .FizikaZemli,No. 9: 94-96.

14- Harrington, D., Shou,Z.H.,(2004)Bam Earthquake prediction and Space Technology, EarthquakevPrediction Center, New York,USA:39-63

15- Shou,Z.H.,(1999)Earthquake Clouds a reliable precursor.Science and Utopia,No.64,53-57.(in Turkish)

16- Choudhury,S.,Dasgupta, S ., Saraf , A.K., Panda , S ., (2006) Remote sensing observations of pre-earthquake thermal anomalies in Iran.International Journal of Remote Sensing, Vol.27, No.20:4381-4396.

17- Guo , G., Wang , B., (2008) Cloud anomaly before Iran earthquake.International Journal of Remote Sensing, Vol.29,No. 7 : 1921-1928.

۱۸- حبیبی و همکاران، (۱۳۸۷). تعیین عوامل سازه‌ای ساختمانی موثر در آسیب پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS و FuzzyLogic. مجله هنرهای زیبا. شماره ۳۳ .

۱۹- مرکز ملی آمار ایران (۱۳۸۵). نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن.

۲۰- آقانباتی ، (۱۳۸۳). زمین شناسی ایران . سازمان زمین شناسی کشور . چاپ ۱.

۲۱- تاج آبادی ، (۱۳۸۳). ابرهای زلزله . ماهنامه راه و ساختمان . سال ۲ . شماره ۱۵.

۲۲- عطاپور وشاکرمی ، (۱۳۸۶). مدل ابر زلزله به عنوان پیش نشانگر زلزله با نگرشی بر ابر زلزله بم . مجموعه مقالات اولین همایش پیش نگرش‌های زلزله . مرکز مطالعات پیش نگرش‌های زلزله موسسه ژئوفیزیک.

۲۳- رسانه و حاج بابایی (۱۳۸۶) معرفی چند پیش نگرش هواشناسی و بررسی روند تغییرات آنها قبل از وقوع زلزله (مطالعه موردی:زلزله بم).مجموعه مقالات اولین همایش پیش نگرش‌های زلزله . مرکز مطالعات پیش نگرش‌های زلزله موسسه ژئوفیزیک.

۲۴- سازمان‌هواشناسی ایران(۱۳۸۹).اداره کل هواشناسی استان خراسان رضوی.تصاویر ماهواره‌ای(اکتبرتا دسامبر۲۰۰۹).

۲۵- پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۸۹). بولتن زلزله شناسی و کاتالوگ زمین لرزه‌های ایران (سه ماهه چهارم سال ۲۰۰۹).

۲۶- بیت اللهی و نعمتی ، (۱۳۸۶). بررسی چگالی زمین لرزه‌ها و نحوه تغییرات آن نسبت به زمان در حوزه تهران و اطراف آن . مجموعه مقالات اولین همایش پیش نگرش های زلزله . مرکز مطالعات پیش نگرش‌های زلزله موسسه ژئوفیزیک.

۲۷- نگارش ، (۱۳۸۴). زلزله شهرها و گسل ها. مجله پژوهش های جغرافیایی . شماره۵۲.

۲۸- حسامی وهمکاران، (۱۳۸۲). نقشه گسل‌های فعال ایران . گروه زلزله زمین ساخت پژوهشکده زلزله زمین شناسی ایران . مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰.

۲۹- زمردیان،(۱۳۸۵)ژئومورفولوژی ایران.جلد۱. فرآیند های‌ساختمانی ودینامیک‌درونی.دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ ۳.

۳۰- سازمان نقشه برداری ایران (۱۳۸۲).نقشه راه‌های ایران .مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰۰.

۳۱- علایی طالقانی ، (۱۳۸۴). ژئومورفولوژی ایران . نشر قومس . چاپ ۳.

32-Tronin , A.A.,(2006)Remote sensing and earthquakes : A review.Physics and Chemistry of the Earth,No.31:138-142