

شبیه‌سازی بیراهی مکانیابی زمین‌لرزه‌ها و کاربرد آن در شبکه لرزه‌نگاری تهران

محمد اشتری جعفری^۱

^۱ عضو هیئت علمی موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران (e-mail: muhammad@ut.ac.ir)
(دریافت: ۸۵/۰۷/۲۰، پذیرش نهایی: ۸۶/۰۸/۲۰)

چکیده

مکانیابی لرزه‌ای با برگردان خطی یا غیر خطی زمان‌های رسید، پارامترهای زمین‌لرزه را محاسبه می‌کند. مکان یافته شده، اغلب راه حلی است که بیشترین همخوانی بین داده‌های محاسباتی و داده‌های اندازه‌گیری شده را ایجاد می‌کند. بیراهی در مکانیابی لرزه‌ای را بیشتر می‌توان ناشی از: بیراهی در خواندن موج‌های لرزه‌ای، تشخیص نادرست موج‌های لرزه‌ای و بیراهی در مدل محاسبه زمان رسید دانست. مکان نادرست محاسبه شده تحت تاثیر این عامل‌ها، خود تحت تاثیر تعداد و پراکندگی مکانی (پیکربندی) ایستگاه‌های نگارنده قرار دارد. در این مقاله با به‌دست آوردن رابطه‌هایی، بیراهی مورد انتظار برای شبکه لرزه‌نگاری تهران با دو مدل سرعت متفاوت، شبیه‌سازی شده است. محاسبه‌ها نشان می‌دهند که کارایی شبکه در امتداد طول آن بهتر از عرض و بیراهی مورد انتظار فاصله رومرکزی زیاد به‌نظر می‌رسد. با مقایسه دو مدل به‌کار رفته به‌نظر می‌رسد که در داخل شبکه دو مدل تقریباً معادل اما برای رویدادهای خارج از شبکه، مدل دوم اندکی بهتر عمل می‌کند. بنابراین پیشنهاد می‌شود تا در هنگام تجدید نظرهای آتی در پیکربندی شبکه لرزه‌نگاری تهران یا سایر شبکه‌های موجود و در دست راه‌اندازی، این روش و نتیجه‌های ناشی از آن مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: بیراهی مورد انتظار، شبیه‌سازی بیراهی، بیراهی مکانیابی، پیکربندی شبکه، زمان رخداد

۱ مقدمه

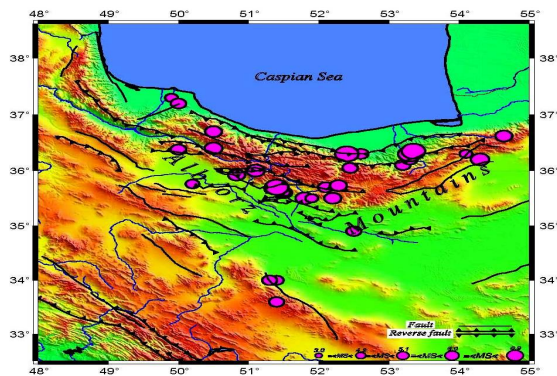
تکمیل و اجرای این روش‌ها و کاستن از هشدارهای کاذب ناشی از نقص‌های موجود در مبانی علمی و الگوریتم‌های کاربردی آنها است. پیش لرزه‌ای می‌تواند کمک فراوانی به پژوهش‌های لرزه‌زمین‌ساختی و خطر لرزه‌ای کند. تدارک نقشه‌های خطر لرزه‌ای در اندازه‌های متفاوت و برای ساختگاه‌های گوناگون به ایجاد و اجرای کدهای ساختمانی که در بلندمدت کمک فراوانی به کاهش خطر لرزه‌ای می‌کنند، مفید است. پیشنهاد شبکه‌های لرزه‌نگاری جدید باید هدف یا هدف‌های مشخصی داشته باشد و بر مبنای آن، راه حلی بهینه را از دیدگاه سخت‌افزاری و نرم‌افزاری برگزیند. این بدان معنا است که شبکه‌های لرزه‌نگاری نمی‌توانند به یک اندازه هدف‌های گوناگون را برآورده سازند، به‌طوری‌که شبکه‌ای ممکن است برای کاوش‌های ساختاری و پیمایش‌های لرزه‌ای مناسب باشد، اما امکان اعلام

شبکه‌های لرزه‌نگاری کاربردهای گوناگونی مانند هشدار لرزه‌ای، پایش لرزه‌خیزی، کاوش در ساختار زمین، پیمایش‌های لرزه‌ای و مانند آن دارند (Lee and Stuart, 1981). کاوش در ساختار زمین و پیمایش‌های لرزه‌ای از نخستین کاربردهای ایستگاه‌ها و شبکه‌های لرزه‌نگاری‌اند که استفاده‌های گوناگون بنیادی و مهندسی دارند. پژوهش در هشدارهای لرزه‌ای اگرچه سال‌هاست که شروع شده، اما هنوز راه بسیاری تا تکمیل و اجرایی شدن دارد. دستگاه‌های دولتی و غیردولتی توجه فراوانی به این بخش دارند، زیرا در صورت اجرای درست آن می‌توان از زیان‌های جانی و مالی فراوانی که زمین‌لرزه‌های مهیب ایجاد می‌کنند به میزان زیادی کاست. هشدارهای لرزه‌ای از نظر زمانی به: فوری، کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تقسیم می‌شوند. امروزه دانشمندان با یکپارچه سازی روش‌های گوناگون ژئوفیزیکی در پی

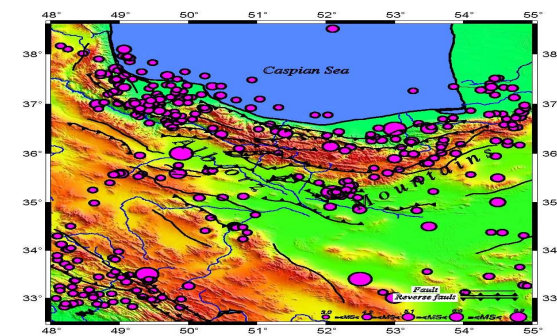
به بهره‌گیری از داده‌های درخواستی به صورت شکل موج‌های لرزه‌ای است.

۲ ویژگی‌های گستره عمومی شبکه لرزه‌نگاری تهران گستره عمومی این شبکه در برگیرنده کوه‌های البرز که کمربندی فعال با در حدود ۱۰۰ کیلومتر عرض و ۶۰۰ کیلومتر طول است می‌شود. امتداد آن در غرب با کوه‌های تالش و در شرق با کوه‌های کپه داغ است. این کمربند از لایه‌های متفاوت رسوبی و آتشفشانی از کامبرین تا ائوسن که در طی برخورد سنوزوئیک تغییر شکل یافته‌اند، تشکیل شده است. گسل‌های تراستی متفاوتی در امتدادی به موازات البرز تشکیل شده‌اند. اغلب تراست‌های جنوبی به سمت شمال و تراست‌های شمالی به سمت جنوب شیب دارند. در این بین گسل‌های توانمند متفاوتی، البرز مرکزی را که شبکه مورد نظر در آن قرار دارد، تحت تاثیر خود قرار داده‌اند. بیشتر این گسل‌ها جنباً و به موازات کمربند کوه‌زایی قرار دارند و در همگرایی مایلی که در عرض آن صورت می‌گیرد شرکت می‌کنند. گسل‌های شمال البرز و خزر با مولفه چپگرد از گسل‌های مهم قرار گرفته در شمال شبکه هستند. در بین مهم‌ترین گسل‌های جنباً در این گستره، می‌توان از گسل شمال تهران نام برد. دو گسل مهم دیگر در گستره شبکه گسل‌های مشا و طالقان هستند که مولفه امتداد لغز چپگرد دارند. گسل مشا آبراه‌ها را در حدود ۳۰ تا ۳۵ کیلومتر جابه‌جا کرده است و جابه‌جایی امروزی آن در حدود ۳ میلی‌متر در سال است. در جنوب ساختگاه شبکه نیز گسل‌های جنبی متعددی مانند مانند ایپک، پارچین، گرمسار، مجموعه گسلی ری و پیشوا وجود دارند که اغلب دارای مولفه معکوس مایل چپگردند (Berberian et al., 1993; Vernant et al., 2004). از سال ۷۴۳ تا ۱۱۷۷ چهار زلزله بزرگ‌تر از ۷ این ناحیه و حوالی آن را تخریب کرده‌اند ولی در هشتصد سال گذشته تنها یک زلزله بزرگ‌تر از هفت، یعنی زلزله سال

هشدارهای لرزه‌ای را نداشته باشد. بنابراین می‌توان راه‌اندازی شبکه را به مراحل مانند طراحی، انتخاب سامانه، انتخاب ساختگاه ایستگاه‌ها و اجرا - اداره تفکیک کرد. از نظر اندازه (تعداد یا گسترش) شبکه‌ها به بزرگ، متوسط و کوچک و از دید هندسی نیز می‌توان آنها را به آرایه (دایره‌ای یا خطی) و خوشه‌ای طبقه‌بندی کرد. به هر شکل یکی از وظیفه‌های اساسی هر شبکه لرزه‌نگاری مکانیابی درست و دقیق لرزش‌های نگاشته شده است. عامل‌های گوناگونی مانند: پیکربندی شبکه، الگوریتم مکانیابی، مدل سرعت و سطح نوفه لرزه‌ای و مانند آن بر درستی و دقت مکانیابی لرزه‌ای تاثیر دارند. یکی از پژوهش‌هایی که برای شبکه‌های لرزه‌نگاری در حال کار بسیار مفید واقع می‌شود، بررسی بیراهی مورد انتظار مکانیابی، در گستره نصب آنها است (Steinberg et al., 2003; Rost et al., 2002; Douglas A., 2002; Rabinowitz, 1990; Husebye et al., 1989; Rudd et al., 1988; Mykkeltveit et al., 1983) شبکه‌های لرزه‌نگاری متفاوت اعم از صنعتی و تحقیقاتی همواره پرسش‌هایی در خصوص توانایی آنها در نگاشت رویدادهای لرزه‌ای و انواع بیراهی‌ها، به‌ویژه بیراهی‌های ناشی از پیکربندی شبکه مطرح می‌شود. این مقاله با شبیه‌سازی نظری بیراهی، دید راهبران شبکه را در چگونگی پراکندگی بیراهی نسبت به پیکربندی شبکه فعلی روشن‌تر و راه را برای امکان‌سنجی و بهبود وضعیت فعلی آن فراهم‌تر می‌سازد. شبکه لرزه‌نگاری تهران شامل ایستگاه‌های سه مولفه کوتاه‌دوره است که داده‌های آن پس از دریافت در ایستگاه با خط‌های بی‌سیم به ایستگاه مرکزی مخابره می‌شود. در ایستگاه مرکزی نشانه‌های زمانی روی رویدادها نگاشته و پیش‌پردازش روی سری‌های زمانی حاصل صورت می‌گیرد. آن‌گاه بر اساس پارامترهای سامانه رویدادها از رشته پیوسته داده‌ها جدا و پردازش‌های پایانی برای استخراج اطلاعات درخواستی صورت می‌گیرد. پس از این مرحله است که کاربر قادر



شکل ۱. لرزه‌خیزی تاریخی در البرز مرکزی و حوالی آن.



شکل ۲. لرزه‌خیزی دستگاهی در البرز مرکزی و حوالی آن.

متفاوتی تولید می‌کنند. بنابراین شبیه‌سازی بیراهی مورد انتظار محاسباتی کمک فراوانی به بهبود کارایی و بهینه‌سازی شبکه می‌کند. روش متداول در این زمینه شبیه‌سازی پراکندگی بیراهی با استفاده از تحلیل پیش‌بینی است که در این پژوهش نیز از همین روش استفاده شده است. برای حل این مسئله، فرض بر آن است که تعدادی ایستگاه لرزه‌نگاری در گستره‌ای موجود و در حال کارند، حال می‌خواهیم بیراهی آماری ناشی از پیکربندی شبکه را با فرض وجود مقدار معینی از عدم قطعیت در خواندن زمان رسید، محاسبه کنیم. فرض کنیم شبکه مورد نظر دارای n ایستگاه باشد، در این صورت معادله زمان رسید موج به ایستگاه i ام شبکه را می‌توان به شکل زیر در آورد:

$$t_i = t_0 + \frac{d_i}{V} + \varepsilon_i \quad (1)$$

که در آن t_0 زمان نامعلوم رویداد و $(\Delta_i^2 + h^2)^{1/2}$ فاصله کانونی است و V سرعت و h معلوم فرض

۱۸۳۰ روی داده است. حداقل می‌توان به سه زمین‌لرزه تاریخی (در سال‌های ۹۵۸، ۱۶۶۵، ۱۸۳۰) اشاره کرد که در طول گسل مشا رخ داده‌اند. اما زمین‌لرزه‌های دیگری هم وجود دارند که نمی‌توان آنها را به گسل خاصی نسبت داد. آنچه این موقعیت را پیچیده می‌سازد وجود گسل‌های معکوسی (محمودیه، داودیه و شیان) با شیب به سمت جنوب است که می‌توان آنها را عامل خیزش بلوک پادیواره گسل شمال تهران در نظر گرفت. در این صورت زلزله‌های سال‌های ۸۵۵، ۸۵۶ و ۱۱۷۷ را می‌توان به گسل‌های با شیب به سمت جنوب نسبت داد (Berberian et al., 1999). شکل ۱ لرزه‌خیزی تاریخی و شکل ۲ لرزه‌خیزی دستگاهی در البرز مرکزی و اطراف آن را که شبکه لرزه‌نگاری تهران در آن قرار دارد نشان می‌دهد. پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها رویدادهای نمایانده شده در شکل ۲ به روش پیشنهادی (Reasenber, 1985 حذف شده‌اند. ناگفته پیداست که چنین گستره لرزه‌خیزی نیاز به پایش لرزه‌ای دارد، لذا از ابتدای بنیان موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، توجه ویژه‌ای به این منطقه شده است. اولین ایستگاه لرزه‌نگاری در شهر تهران در سال ۱۹۶۵ میلادی و اولین شبکه (به شکل آرایه دایره‌ای) در سال ۱۹۷۵ میلادی و شبکه لرزه‌نگاری تهران (خوشه‌ای شکل) در سال ۱۹۹۵ به راه افتادند.

۳ روش کار

رویدادهای لرزه‌ای پس از رها شدن انرژی به شکل موج‌های لرزه‌ای مسیر بین چشمه و گیرنده را می‌پیمایند. با نداشتن زمان رسید با لرزه‌نگارها می‌توان با روش‌های محاسباتی که اساس آنها بر برگردان خطی یا غیر خطی است، محل چشمه را تعیین کرد. عامل‌های گوناگونی بر درستی مکان یافته شده تاثیر می‌گذارند که یکی از مهم‌ترین آنها پیکربندی شبکه است، به طوری که پیکربندی‌های متفاوت در شرایط یکسان، جواب‌های

نشان داد که عضوهای L از رابطه‌های زیر به دست

می‌آیند (Bullen & Bolt; 1985):

$$L_{i1} = 1 \quad (10)$$

$$L_{i2} = \frac{\partial t_{pi}}{\partial \Delta} \cos AZ_i \cos \theta_0 \quad (11)$$

$$L_{i3} = \frac{\partial t_{si}}{\partial \Delta} \sin AZ_i \quad (12)$$

که در آنها θ_0 طول جغرافیایی رومرکز زمین لرزه، θ_i طول جغرافیای ایستگاه نام و AZ_i آزیموت ایستگاه نام است. بنابراین با در اختیار داشتن همه اجزای مورد نیاز در رابطه ۳ می‌توان بیراهی‌های مورد نظر را شبیه‌سازی کرد. به طریق مشابه رابطه‌هایی برای سایر پارامترها (مثلا عرض جغرافیایی و زمان رویداد) به دست خواهد آمد.

۴ کاربرد

با توجه به آنچه که گفته شد و با توجه به رابطه‌های ۱ تا ۱۲ بیراهی مورد انتظار برای مکانیابی زمین لرزه‌های نگاشته شده با شبکه لرزه‌نگاری تهران را برای زمین لرزه فرضی در عمق ۵ کیلومتری و در گستره محدود به ۳۳-۳۷ شمالی و ۴۹-۵۳ شرقی مدل‌سازی کرده‌ایم. در این مدل‌سازی از دو مدل سرعت لرزه‌ای استفاده کرده‌ایم. مدل اول مدل پیشنهادی اشتری و همکاران (۲۰۰۵) و مدل دوم مدل پیشنهادی عکاشه (۱۹۷۵) است. این دو مدل علاوه بر آنکه با روش‌های کاملاً متفاوت به دست آمده‌اند؛ نماینده دو گروه متفاوت سرعتی: اولی با سرعت عادی پوسته و دومی با سرعت کم پوسته است. بدیهی است که این محاسبات را می‌توان برای هر زمین لرزه فرضی دیگری با ژرفای متفاوت تکرار کرد. در این محاسبات دو حالت مکانیابی (با و بدون استفاده از امواج برشی) در نظر گرفته شده و برای هر دو حالت بیراهی مورد انتظار در طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، فاصله رومرکز و زمان رویداد زمین لرزه فرضی شبیه‌سازی شده است.

می‌شوند.

پس، فاصله رومرکز تابعی از مختصات x_0 و y_0 نامعلوم و مختصات معلوم ایستگاه لرزه‌نگاری x_i و y_i است، به طوری که:

$$\Delta_i = [(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2]^{1/2} \quad i=1,2,\dots,n \quad (2)$$

با چند تغییر متغیر ساده می‌توان بردار راه حل مسئله در دستگاه مختصات جغرافیایی را به شکل $l = (t_0, \lambda_0, \phi_0)^T$ به دست آورد (Aki and Richards, 2004). می‌دانیم که t_{pi} و t_{si} زمان رسید موج‌های فشاری و برشی به هر ایستگاه نسبت به λ_0 و ϕ_0 غیرخطی‌اند، پس می‌توان ماتریس هم‌پراش (کواریانس) بردار l را به شکل زیر در آورد (Menke, 1989):

$$\text{Co var}(l) = [L^T W L]^{-1} \quad (3)$$

که در آن:

$$L_{ij} = \left[\frac{\partial t_{pi}}{\partial \theta_j}, i=1,2,\dots,n, \frac{\partial t_{si}}{\partial \theta_j}, i=n+1,\dots,2n; j=1,2,3 \right] \quad (4)$$

است. اگر در نظر بگیریم که بین زمان‌های رسید، همبستگی وجود ندارد در این صورت ماتریس وزنی W قطری و به شکل زیر خواهد بود:

$$W = \text{diag} [w_{p1}, \dots, w_{pn}, w_{s1}, \dots, w_{sn}] \quad (5)$$

از سوی دیگر بین پراش باقی‌مانده‌های زمانی $\sigma^2(t_{pi})$ و $\sigma^2(t_{si})$ و وزن‌های w_{pi} و w_{si} می‌توان روابطی به شکل زیر برقرار کرد (Hudson, 1964):

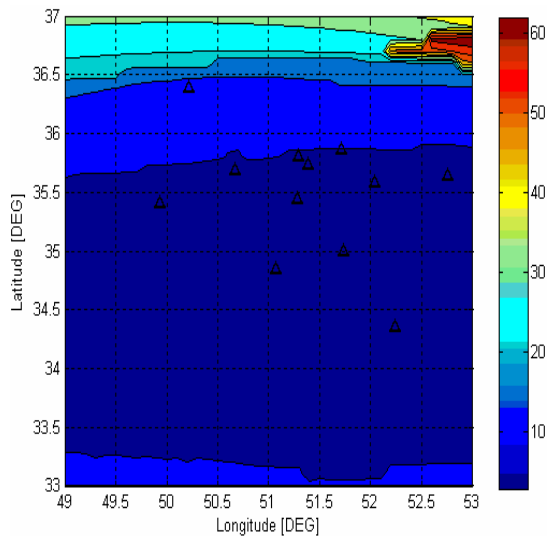
$$\sigma^2(t_{pi}) = E(t_{pi} - t_{pi}^{cal})^2 \quad (6)$$

$$w_{pi} = \frac{1}{\sigma^2(t_{pi})} \quad (7)$$

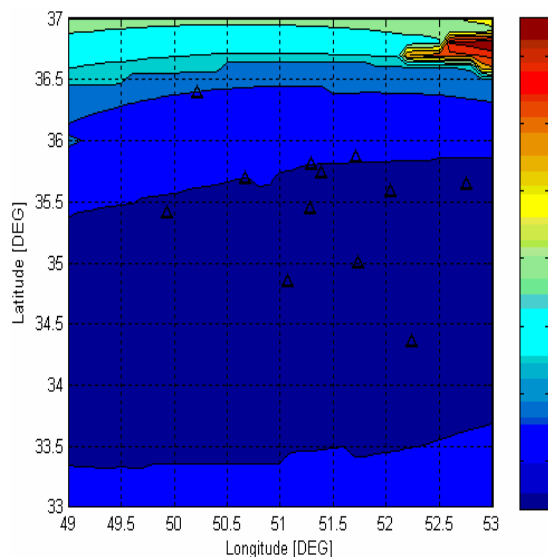
$$\sigma^2(t_{si}) = E(t_{si} - t_{si}^{cal})^2 \quad (8)$$

$$w_{si} = 1/\sigma^2(t_{si}) \quad (9)$$

که در آن E عملگر امید ریاضی و t_{pi}^{cal} و t_{si}^{cal} زمان‌های رسید محاسباتی در ایستگاه نام هستند. بدین ترتیب می‌توان



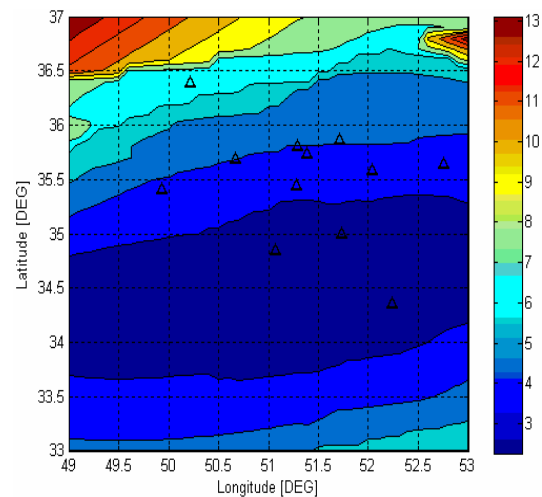
شکل ۴. بیراهی مکانیابی عرض جغرافیایی با خواندن موج فشاری (کیلوپاسکال) ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۱.



شکل ۵. بیراهی مکانیابی زمان رویداد با خواندن موج فشاری (ثانیه) ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۱.

پارامترهای مدل فیزیکی مورد نظر برگردانده می‌شوند. نتیجه این برگردان را می‌توان در مدلی پیشرو که شامل مجموعه‌ای از داده‌های محاسبه شده از مدل فیزیکی مورد نظر است به کار گرفت. با تعریف سنجش‌گر ناپرازندگی می‌توان تفاوت داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده را یافت. در این صورت راه حل پایانی مجموعه‌ای از

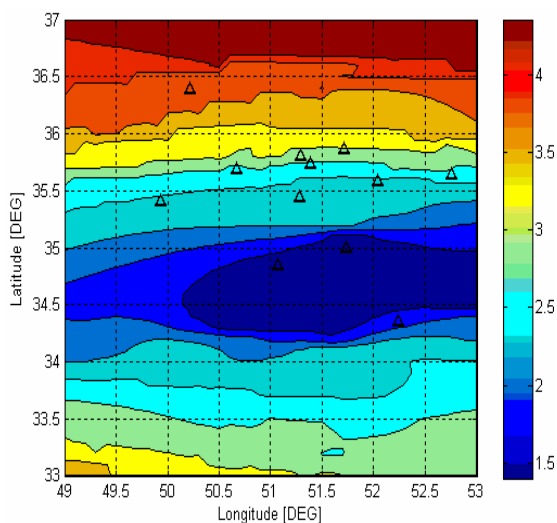
شکل‌های ۳ تا ۱۸ بزرگی احتمالی بیراهی مورد انتظار را برای پیکربندی ابتدایی شبکه تهران بر اساس این دو مدل سرعت نشان می‌دهند. برای این محاسبه‌ها، محدوده جغرافیایی مورد نظر به شبکه‌ای ۰/۱×۰/۱ درجه تجزیه و با فرض رویداد زمین‌لرزه در هریک از سلول‌های این شبکه، بیراهی‌های مورد انتظار، براساس رابطه‌های ارائه شده محاسبه و با کد رنگی نمایش داده شده‌اند. دیده می‌شود که در مقایسه شکل‌های ۳ تا ۶ و ۱۱ تا ۱۴ با شکل‌های ۷ تا ۱۰ و ۱۵ تا ۱۸ (که نشانگر دو حالت با و بدون استفاده از موج‌های برشی در محاسبه مکانیابی است) در حالت با استفاده از موج‌های برشی، بیراهی مورد انتظار کاهش می‌یابد. این نتیجه با پیشنهادهایی که پیش از این در این زمینه می‌شد همخوانی دارد (Gomberg et al., 1990). بدین معنی که بیراهی مورد انتظار با خواندن موج فشاری همراه با موج برشی کاهش یافته است. روند کلی هر دو مجموعه شکل نیز بیانگر افزایش احتمال بیراهی با افزایش فاصله از شبکه و به سوی خارج آن است.



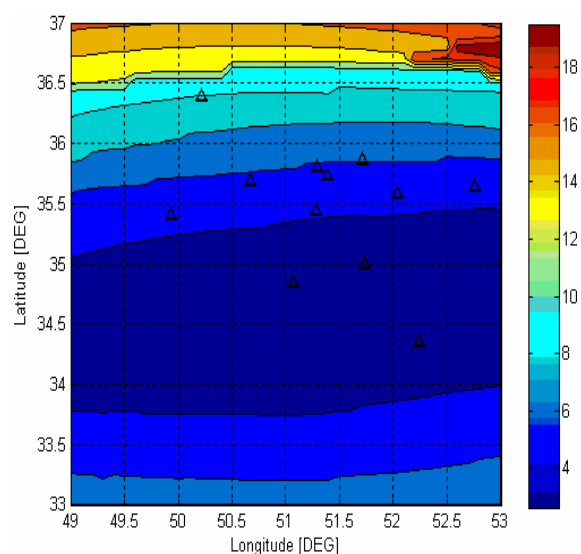
شکل ۳. بیراهی مکانیابی طول جغرافیایی با خواندن موج فشاری (کیلوپاسکال) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۱.

۵ بحث و نتیجه‌گیری

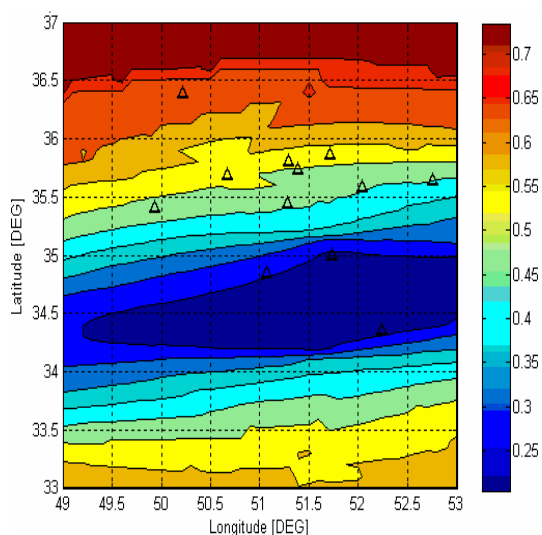
مکانیابی زمین‌لرزه‌ای، مسئله‌ای وارون است. در مسئله‌های وارون معمولاً داده‌های اندازه‌گیری شده برای بازیافت



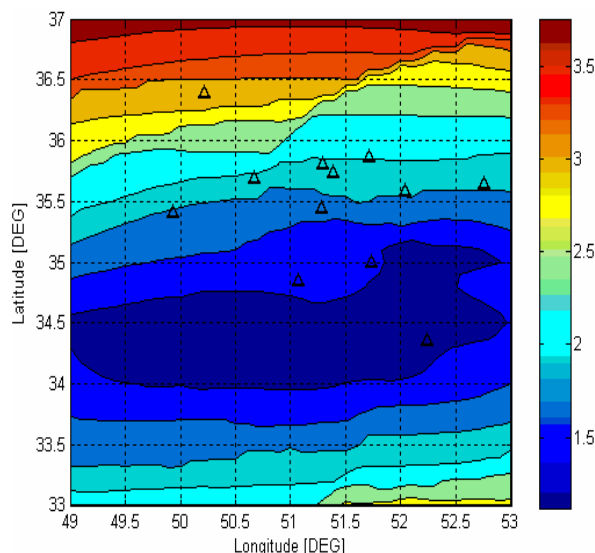
شکل ۸. بیراهی مکانیایی عرض جغرافیایی با خواندن موج‌های فشاری و برشی (کیلومتر) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۱.



شکل ۶. بیراهی مکانیایی رومرکز با خواندن موج فشاری (کیلومتر) ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۱.



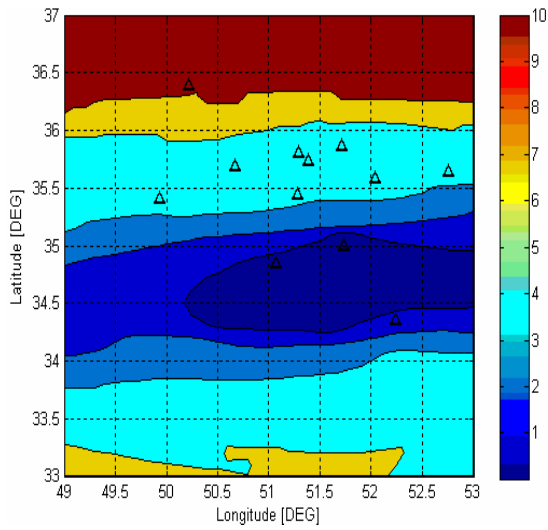
شکل ۹. بیراهی مکانیایی زمان رویداد با خواندن موج‌های فشاری و برشی (ثانیه) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۱.



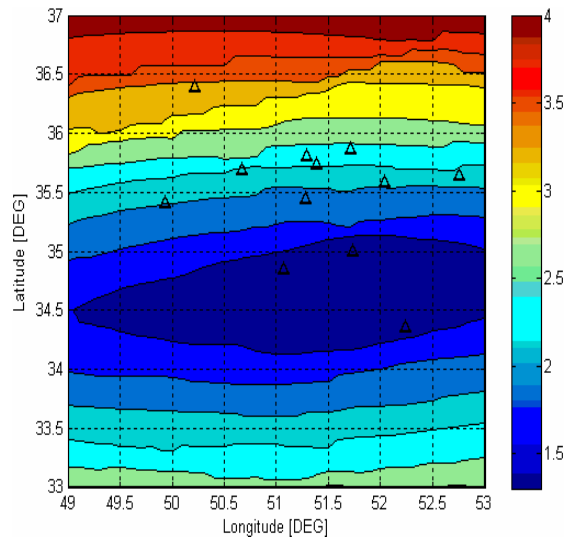
شکل ۷. بیراهی مکانیایی طول جغرافیایی با خواندن موج‌های فشاری و برشی (کیلومتر) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۱.

(که معمولاً بر اساس روشی خطی یا غیر خطی برای تحلیل بیراهی معرفی می‌شود) شامل روشی برای کاهش بیراهی بین زمان‌های رسید اندازه‌گیری شده و محاسبه شده است. از سوی دیگر بیراهی در مکانیایی لرزه‌ای را می‌توان ناشی از بیراهی در خواندن موج‌های لرزه‌ای، تشخیص نادرست موج‌های لرزه‌ای و بیراهی در مدل محاسبه زمان رسید دانست. مکان نادرست محاسبه شده در

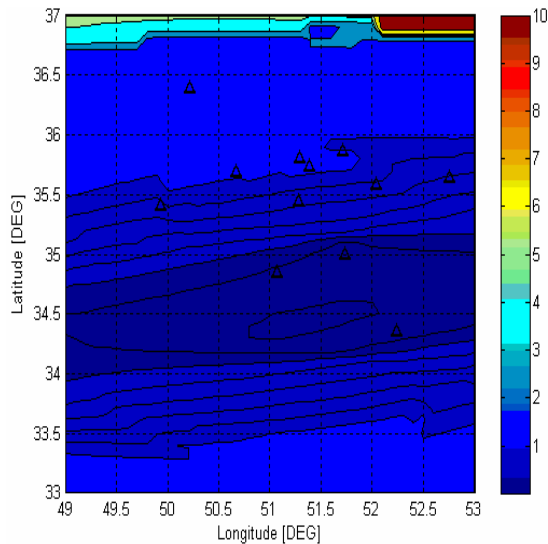
پیش‌بینی‌هاست که بیشترین همخوانی (بر اساس تعریف سنجش‌گر به کار رفته) را با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد. در مکانیایی لرزه‌ای، که داده‌ها شامل مجموعه ناکاملی از خواندن موج‌های لرزه‌ای در ایستگاه‌های لرزه‌ای اند، مدل پیشرو، شامل روش محاسبه زمان رسید از مرکز ژرفی به ایستگاه لرزه‌ای و سنجش‌گر نابرازندگی



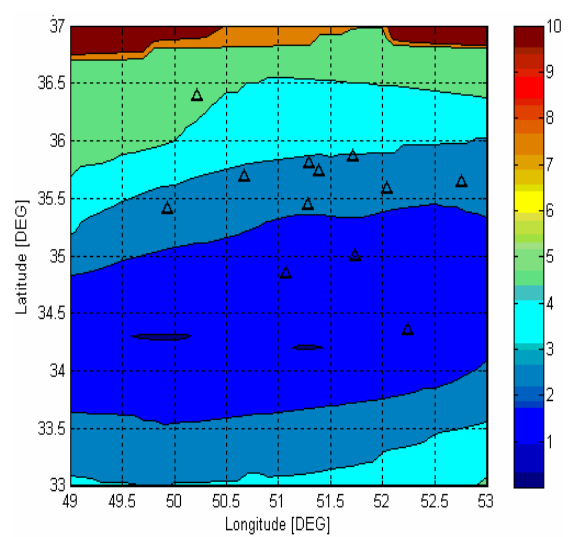
شکل ۱۲. بیراهی مکانیابی عرض جغرافیایی با خواندن موج فشاری (کیلومتر) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۲.



شکل ۱۰. بیراهی مکانیابی رومرکز با خواندن موج‌های فشاری و برشی (کیلومتر) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۱.



شکل ۱۳. بیراهی مکانیابی زمان رویداد با خواندن موج فشاری (ثانیه) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۲.

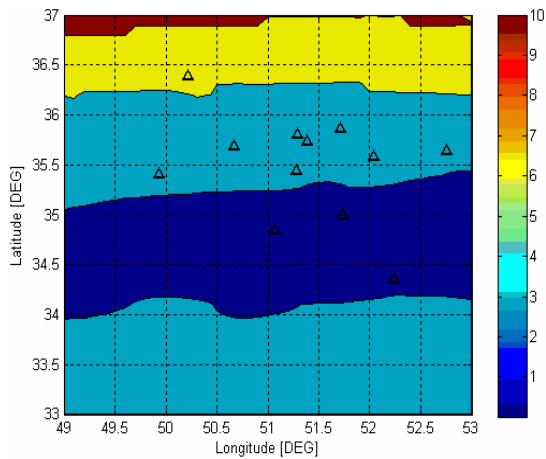


شکل ۱۱. بیراهی مکانیابی طول جغرافیایی با خواندن موج فشاری (کیلومتر) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۲.

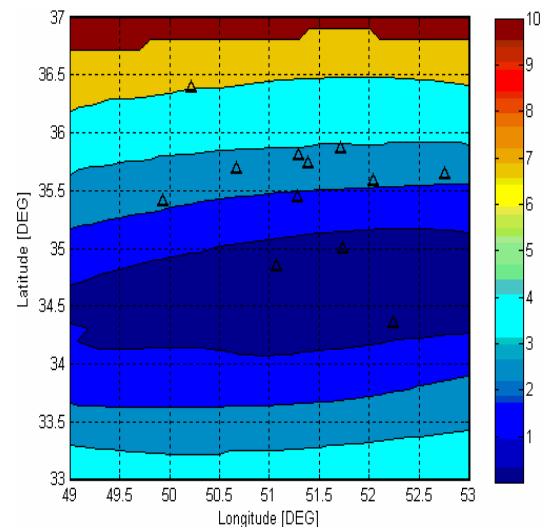
برای زلزله‌های مشخص (ژرفای معین ۵ کیلومتر و بیراهی معین در خواندن موج‌های لرزه‌ای در حدود یک ثانیه) در شبکه‌ای متشکل از سلول‌های $1 \times 1 \times 0.1$ درجه، که رویدادهای فرضی در آنها رخ می‌دهند، محاسبه شده است. با توجه به آنکه طول شبکه (شرقی-غربی) از عرض آن (شمالی-جنوبی) بیشتر است، شبکه کارایی بیشتری و بیراهی کمتری برای طول جغرافیایی نشان می‌دهد

اثر این عامل‌ها خود تحت تاثیر تعداد و پیکربندی مکانی ایستگاه‌های نگارنده رویداد لرزه‌ای مورد محاسبه قرار دارند. (Flinn, 1965; Tarantola and Valette, 1982; Pavlis, 1986; Rabinowitz, 1990; Steinberg et al., 2003)

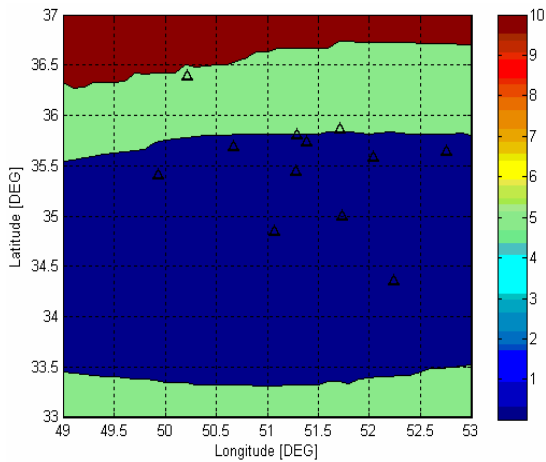
در این مقاله به دست آوردن رابطه‌هایی (رابطه‌های ۱ تا ۱۲) بیراهی مورد انتظار برای پارامترهای مکانیابی لرزه‌ای (طول و عرض جغرافیایی، رومرکز و زمان رویداد)



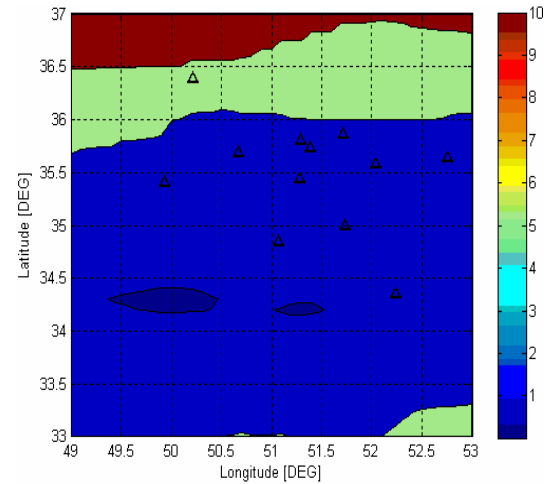
شکل ۱۶. بیراهی مکانیایی عرض جغرافیایی با خواندن موج‌های فشاری و برشی (کیلومتر) ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۲.



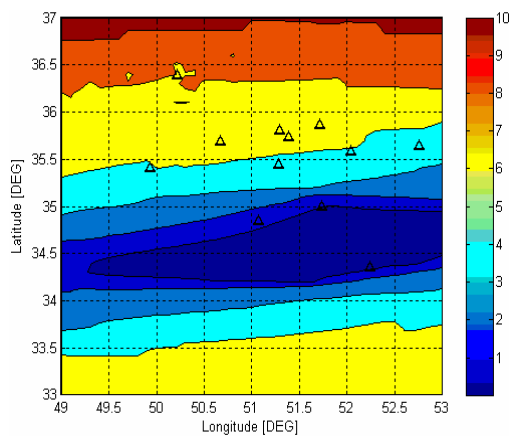
شکل ۱۴. بیراهی مکانیایی رومرکز با خواندن موج فشاری (کیلومتر) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۲.



شکل ۱۷. بیراهی مکانیایی زمان رویداد با خواندن موج‌های فشاری و برشی (ثانیه) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۲.



شکل ۱۵. بیراهی مکانیایی طول جغرافیایی با خواندن موج‌های فشاری و برشی (کیلومتر) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۲.



شکل ۱۸. بیراهی مکانیایی رومرکز با خواندن موج‌های فشاری و برشی (کیلومتر) - ژرفای رویداد ۵ کیلومتری - مدل ۲.

(شکل‌های ۳، ۴، ۷، ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۶). اما به همین دلیل، بیراهی مورد انتظار فاصله رومرکزی افزایش می‌یابد (شکل‌های ۶، ۱۰، ۱۴، ۱۸). بیراهی زمان رویداد نیز در حدود چندین ثانیه و همانطور که انتظار می‌رود با افزودن زمان خواندن موج برشی، این بیراهی‌ها نیز کاهش می‌یابند (شکل‌های ۵، ۹، ۱۳، ۱۷). با مقایسه دو مدل به کار رفته به نظر می‌رسد که در داخل شبکه، دو مدل تقریباً معادل، اما برای رویدادهای خارج از شبکه مدل دوم

- Seismology, edited by Jennings, P., Kanamori, H. and Lee, W., 357-367, Academic, USA.
- Flinn, E. A., 1965, Confidence regions and error determinations for seismic event location, *Rev. Geophys.*, **3**, 157-185.
- Gomberg, J. S., Shedlock, J. K. and Roecker, S., 1990, The effect of s-wave arrival times on the accuracy of hypocenter estimation, *BSSA*, **80**, 1605-1628.
- Hudson, D., 1964, *Statistics*, Cern, Switzerland.
- Husebye, E. S. and Rudd, B. O., 1989, Array seismology- past, present and future developments, in *observatory seismology*, edited by Litehiser, J. J., Univ. of Calif. Press, Berkeley, USA.
- Lee, W. K. H. and Stuart, S., *Principals and applications of microearthquake networks*, 1981, Academic Press.
- Menke, W., 1989, *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, Academic Press, USA.
- Mykkeltveit, S., Astebol, S., Doornbos, J. and Husebye, S., 1983, Seismic array configuration optimization, *BSSA*, **73**, 173-186.
- Pavlis, G. L., 1986, Appraising earthquake hypocenter location errors: A complete, practical approach for single event locations, *BSSA*, **76**, 1699-1717.
- Rabinowitz, N. and Steinberg, M. D., 1990, Optimal configuration of a seismographic network: A statistical approach, *BSSA*, **80**, **1**, 187-196
- Reasenber, P. A., 1985, Second order moment of Central California seismicity, 1969-82, *JGR*, **90**, 5479-5495.
- Rost, S. and Thomas, C., 2002, Array seismology: Methods and applications, *Rev. Geophys.*, **40(3)**, 1008.
- Rudd, B. O., Husebye, E. S., Ingate, S. F. and Christofferson, A., 1988, Event location at any distance using seismic data from a single three component station, *BSSA*, **78**, 308-325.
- Steinberg, M. D. and Rabinowitz, N., 2003, Optimal seismic monitoring for event location with application to On Site Inspection of the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty, *Metrika*, **58**, 31-57
- Tarantola, A. and Valette, B., 1982, Generalized nonlinear inverse problem solved using the least squares criterion, *Rev. Geophys. Space Phys*, **20**, 219-232.
- Vernant P., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Mason, F., Nankali, H., Ritz, J.
- اندکی بهتر عمل می‌کند. برای شبکه‌های محلی، معمولاً نتیجه‌های با بیراهی کمتر از کسری از ثانیه در مورد زمان رویداد و حدود کیلومتر در مورد مختصات مکانی، مناسب در نظر گرفته می‌شوند. در هر دو حالت شبیه‌سازی شده، بیراهی مورد انتظار برای شبکه تهران بالاتر از مقدارهای فوق است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در صورت بررسی مجدد پراکنندگی مکانی و پیکربندی این شبکه، نتایجی از این دست مورد توجه قرار گیرند. در این تجدید نظر می‌توان از روش ارائه شده در این پژوهش برای بهینه‌سازی پیکربندی شبکه لرزه‌نگاری تهران و یا سایر شبکه‌های در حال کار و یا در دست بررسی سود جست. به کار بستن چنین راهکاری می‌تواند موجب صرفه‌جویی فراوان در زمان و هزینه‌های مالی شود و از سردرگمی کاربران شبکه که ناشی از نا آگاهی از پراکنندگی احتمالاتی خطا در شبکه است، بکاهد. نباید فراموش کرد هدف این مقاله مدل‌سازی بیراهی مورد انتظار ناشی از پیکربندی شبکه بوده است و سایر پارامترها در نظر گرفته نشده‌اند.

منابع

- Aki, K. and Richards, P. G., 1980, *Quantitative Seismology: Theory and Methods*, Freeman, USA.
- Akashah, B., 1975, Travel time residuals in the Iranian Plateau, *J. of Geophysics*, **41**, 281-288.
- Ashtari, M., et al., 2005, Microseismicity in the Tehran region, *Tectonophysics*, **395**, 193-208.
- Berberian, M., 1993, Seismotectonic and earthquake-fault investigations in the region of Tehran, Report No. 56, Geological Survey of Iran.
- Berberian, M. and Yeats, R. S., 1999, Pattern of historical earthquake rupture in the Iranian plateau, *BSSA*, **89**, 120-139.
- Bullen, K. E. and Bolt, B. A., 1985, *An Introduction to the Theory of Seismology*, Cambridge University Press, UK.
- Douglas, A., 2002, Seismometer arrays - Their use in earthquake and test ban seismology, in *Handbook of Earthquake and Engineering*

F., Sedighi, M. and Tavakoli, F., 2004, Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data: Earth Planet. Sci. Lett., **223**, 177-185.