

مدل سازی ضریب بزرگنمایی خاک‌های ماسه‌ای به دو روش شبکه عصبی و برنامه‌ریزی بیان ژن

نجمه علی‌دادی^۱ و عباس مهدویان^{۲*}

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران- آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲دانشیار، دانشکده مهندسی عمران- آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۰۲

چکیده

زمانی که امواج زمین‌لرزه از لایه‌های آبرفتی می‌گذرند؛ دامنه امواج لرزه‌ای در برخی از دوره‌ها به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که با عنوان بزرگنمایی سایت شناخته می‌شود. در این صورت می‌توان آن را با یک مدل تحلیلی به‌صورت نسبت طیف پاسخ سطح زمین به طیف پاسخ حرکت ورودی برآورد کرد. این رفتار در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها و شریان‌های حیاتی ضروری است. در این مقاله سعی شده است که این تأثیر در لایه‌های ماسه‌ای با ستبراهای متفاوت بررسی شود. برای نمونه، شهرستان ارومیه به عنوان یکی از کلان‌شهرهای شمال باختری ایران و منطقه‌ای زمین‌لرزه‌خیز بررسی شده است. ۱۲۰ گمانه ژئوتکنیکی حفر و لایه‌های ماسه‌ای با ستبراهای متفاوت در بخش مرکزی و خاوری آن دیده شده است. در این تحلیل‌ها از شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی شبیه‌سازی شده بر پایه نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای به عنوان حرکت ورودی برای تحلیل استفاده شده است. سپس با مقایسه شتاب‌های طیفی در دوره‌های مختلف سطح زمین با مقادیر متناظر روی سنگ‌بستر لرزه‌ای طیف بزرگنمایی شتاب طیفی در دوره‌های مختلف ارائه و به‌دنبال آن با استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک مدل‌سازی این ضرایب انجام شد. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده افزایش قابل توجه ضریب بزرگنمایی در برخی از دوره‌ها با افزایش ستبرای لایه‌های ماسه‌ای است. با استفاده از نتایج مدل‌سازی ارائه شده می‌توان ضرایب بزرگنمایی خاک‌های ماسه‌ای شهر ارومیه را با ستبراهای متفاوت به ازای دوره‌های متغیر تا ۴ ثانیه برآورد کرد. در این مطالعه نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از معیارهای ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا جواب‌های دقیق‌تری نسبت به برنامه‌ریزی بیان ژن ارائه کرده است. همچنین در این مطالعه با استفاده از الگوریتم تکاملی برنامه‌ریزی بیان ژن رابطه ریاضی به ازای ستبرای لایه ماسه‌ای و دوره‌های متفاوت بیان می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تحلیل خطی معادل، اثرات ساختگاهی، ضریب بزرگنمایی، شتاب‌نگاشت مصنوعی، شبکه عصبی، برنامه‌ریزی بیان ژن

E-mail: A_Mahdavian@sbu.ac.ir

*نویسنده مسئول: عباس مهدویان

۱- پیش‌نوشتار

با نتایج او دارد. البته ضرایب سایت NEHRP برای لایه‌های رسوبی ژرف کاربردی نیست. او ضرایب ساختگاهی وابسته به ژرفا را در نواحی می‌سی‌سی‌پی پیشنهاد داد که این ضرایب در دوره‌های کوتاه کمتر بوده و در دوره‌های بلند بیشتر از ضرایب NEHRP ارائه داده است.

ایران جزو مناطقی از دنیاست که در کمربند لرزه‌خیز آلپ- هیمالیا جای گرفته است. شهرستان ارومیه در شمال باختر ایران، یکی از شهرهای پرجمعیت و با پیشینه کهن تاریخی است. بررسی پیشینه لرزه‌خیزی این منطقه نشان از فعالیت سامانه گسلی این منطقه دارد. برای نمونه می‌توان به زمین‌لرزه‌های ۸ ژانویه سال ۱۷۸۰ میلادی تبریز با بزرگای ۴/۴M، اکتبر سال ۱۷۸۶ میلادی مرند با بزرگای ۳/۳Ms و ۶ مه سال ۱۹۳۰ میلادی سلماس با بزرگای ۲/۲Ms اشاره کرد.

مهم‌ترین سناریوی لرزه‌ای در گستره نزدیک به شهر ارومیه، گسل سرو است که از فاصله ۲۳ کیلومتری نقطه مرکزی شهر عبور می‌کند. البته شیب آن به‌سوی شهر است. ۱۲۰ گمانه ژئوتکنیکی در این شهر حفر شد. بررسی اطلاعات گمانه‌های حفاری شده نشان می‌دهد که لایه‌های آبرفتی در بخش مرکزی و خاوری این منطقه از جنس ماسه با ستبراهای متفاوت است. با توجه به فعالیت بالای لرزه‌ای منطقه و اهمیت این شهر و تأثیر ستبرای رسوبات آبرفتی بر پاسخ حرکت زمین، به‌منظور پی بردن به ضریب بزرگنمایی دامنه امواج حرکت زمین در لایه‌های ماسه‌ای، تحلیل‌های دینامیکی این منطقه انجام شد.

برای ارزیابی رفتار غیرخطی پاسخ لرزه‌ای زمین، روش خطی معادل که یک روش تقریبی است؛ به کار گرفته می‌شود. این روش یکی از متداول‌ترین روش‌هاست و برای بسیاری از مسائل نتایج منطقی ارائه می‌دهد.

اگر چه روش غیرخطی نمایش دقیق‌تری از پاسخ غیرخطی خاک ارائه می‌دهد؛ اما لازمه روش‌های غیرخطی وجود یک رابطه تنش- کرنش یا مدل رفتاری قابل اعتماد است. بنابراین انجام یک مجموعه کامل آزمون‌های آزمایشگاهی و صحرایی برای ارزیابی متغیرهای مدل غیرخطی ضروری است.

تأثیر شرایط خاک محل بر ویژگی‌های حرکات زمین، هنگامی که امواج زمین‌لرزه از لایه‌های خاک عبور می‌کنند و به سطح زمین می‌رسند؛ از دیرباز آشکار شده است. مطالعات صورت گرفته توسط پژوهشگران نشان می‌دهد که ویژگی‌های لایه‌های خاک شامل نوع، ژرفا و نیمرخ خاک حتی در زمین‌لرزه‌های متوسط بر دامنه پاسخ زمین مؤثر است و از عوامل مهم در برآورد حرکت زمین به شمار می‌رود (Drennov et al., 2013; Eker et al., 2012; Erdik and Durukal, 2004; Pitilakis, 2004).

گزارش خرابی‌های باقیمانده از زمین‌لرزه‌های گذشته نشان می‌دهد که یکی از عوامل مؤثر در خرابی سازه‌ها تأثیر رسوبات آبرفتی بر امواج زمین‌لرزه است که سبب بزرگنمایی دامنه امواج حرکتی زمین شده است. چند نمونه از زمین‌لرزه‌هایی که در دهه‌های اخیر به سبب بزرگنمایی امواج زمین‌لرزه سبب آسیب به سازه‌ها شده‌اند، عبارت‌اند از: زمین‌لرزه Leninakan در سال ۱۹۸۸ (Borcherdt et al., 1989)، زمین‌لرزه Gobi-Altai در سال ۱۹۵۷، زمین‌لرزه Chuia در سال ۲۰۰۳ (Lunina et al., 2014)، زمین‌لرزه Mexico City در سال ۱۹۸۵، زمین‌لرزه Loma Prieta در سال ۱۹۸۹، زمین‌لرزه Kobe در سال ۱۹۹۵، زمین‌لرزه Kocaeli-Düzce در سال ۱۹۹۹ و زمین‌لرزه Christchurch در سال ۲۰۱۰ (Koçkar and Akgun, 2012). یکی دیگر از متغیرهایی که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است تأثیر ستبرای لایه آبرفتی بر متغیرهای پاسخ حرکت زمین است. (Rodriguez-Marek et al. (2001). نشان دادند که ستبرای خاک یکی از متغیرهای مهم بر پاسخ امواج لرزه است. (Pitilakis et al. (2004). نیز متغیرهای مؤثر بر پاسخ تأثیر ویژگی‌های زمین را مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که نوع خاک، ستبرای لایه، دوره چیره و به‌طور متوسط سرعت موج برشی لایه‌های آبرفتی که روی سنگ بستر قرار دارند؛ به‌عنوان متغیرهای کلیدی حاکم بر پاسخ محل هستند.

Hashash (2011) نیز گزارش داد که ستبرای خاک نقش بنیادین در برآورد حرکات زمین دارد و نشان داد ضرایب سایت NEHRP تا ستبرای ۳۰ متر تطبیق خوبی

۲- روش آنالیز

۲-۱. مدل خاک

از آنجا که برای حل یک مسئله مقدار مرزی، قوانین رفتاری مصالح یکی از معادلات بنیادی است؛ مدل‌های بسیاری از رفتار خاک ارائه شده است. معمولاً مدل‌های رفتاری که کمیت‌ها و متغیرهای آنها به وسیله آزمایش‌های معمول مکانیک خاک قابل تعیین باشند؛ بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. برای محاسبه پاسخ لرزه‌ای زمین به کمک تئوری انتشار امواج، مهم‌ترین موضوع تعیین رفتار سیکنی خاک‌ها به کمک مدلی مناسب بر پایه رابطه میان تنش برشی و کرنش برشی است. مدل‌سازی رفتار خاک تحت بارگذاری چرخه‌ای باید به شکلی انجام شود که بتواند رفتار خاک در محدوده کرنش‌های مورد نیاز را مدل کند. بر این اساس در این مطالعه از مدل هیپربولیک استفاده شد.

به این ترتیب می‌توان پاسخ یک سامانه از لایه‌های رسوبی و با ویژگی میرایی خاص را در حالت یک بعدی برای یک تحریک هارمونیک ساده با بسامد زاویه‌ای ω به دست آورد. توجه به این نکته ضروری است که این روش مبنای حل معادله انتشار موج در فضای بسامد است.

از آنجایی که روش خطی مستلزم متغیر مدول برشی G و β ثابت برای هر لایه خاک است؛ باید مقادیر این متغیرها را متناسب با تراز کرنش تولید شده در هر لایه تعیین کرد. بنابراین کرنش مؤثر که به‌طور تجربی مقداری میان 50% تا 75% درصد کرنش برشی بیشینه توصیه شده است؛ به‌عنوان کرنش تولید شده در نظر گرفته شد. در رهیافت خطی معادل، ویژگی‌های غیرخطی مدول برشی و میرایی برای تعیین ویژگی‌های خطی معادل خاک، با استفاده از یک فرایند تکرار شونده و برای یافتن مقادیر مدول برشی و میرایی سازگار با کرنش‌های مؤثر در هر لایه به کار می‌رود.

در روش خطی معادل، استفاده از منحنی‌های تغییرات مدول برشی و ضریب میرایی نسبت به کرنش برشی، در هر لایه مجزا کاربرد داشته است و از این رو نتایج مناسب‌تری، مطابق با طبیعت به دست می‌دهد.

۲-۲. مطالعه موردی: شهر ارومیه

– **شرایط ژئوتکنیکی منطقه:** شهر ارومیه و محدوده گل‌مان در ناحیه شمال باختر ایران در استان آذربایجان غربی، در باختر دریاچه ارومیه نزدیک به ناحیه مرزی ایران و ترکیه جای گرفته است و از دید تقسیمات لرزه‌زمین‌ساختی به‌طور کلی در محدوده استان لرزه‌زمین‌ساختی وان و ایران مرکزی قرار دارد و از ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی آن پیروی می‌کند. با حفر ۱۲۰ گمانه در نقاط مختلف شهر ارومیه به ویژگی‌های لایه‌بندی زمین از جمله جنس، وزن مخصوص هر لایه، تعداد ضربات SPT، اندازه‌گیری سرعت امواج برشی، تراز آب زیرزمینی و ... پرداخته شده است.

– **تحلیل خطر لرزه‌ای بر روی سنگ‌بستر ارومیه:** در این مطالعه از روش‌های معمول تحلیل خطر احتمالاتی و تعینی به منظور انجام مطالعات تحلیل خطر زمین‌لرزه استفاده شد. بررسی ریخت‌زمین‌ساختی دقیقی از عکس‌های هوایی موجود و تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. منابع لرزه‌شناسایی شده و فهرست زمین‌لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه

گردآوری و پردازش شد و متغیرهای لرزه‌خیزی به دست آمد. مهم‌ترین سناریوی لرزه‌ای در گستره نزدیک به شهر ارومیه، گسل سرو با سازوکار عادی همراه با مؤلفه راست‌الغز راست‌گرد است. این گسل در فاصله ۲۳ کیلومتری مرکز شهر ارومیه قرار دارد. شیب این گسل به سوی خاور (به سوی شهر ارومیه) است. طول گسل سرو ۷۵ کیلومتر است که با توجه به ۵ رابطه تجربی (Wells and Coppersmith (1994) و Nowroozi (1985), Ambraseys and Jackson (1998), Bonilla et al. (1984) و Selmons (1977) بیشترین توان لرزه‌ای این گسل ۷ Ms برآورد شده است.

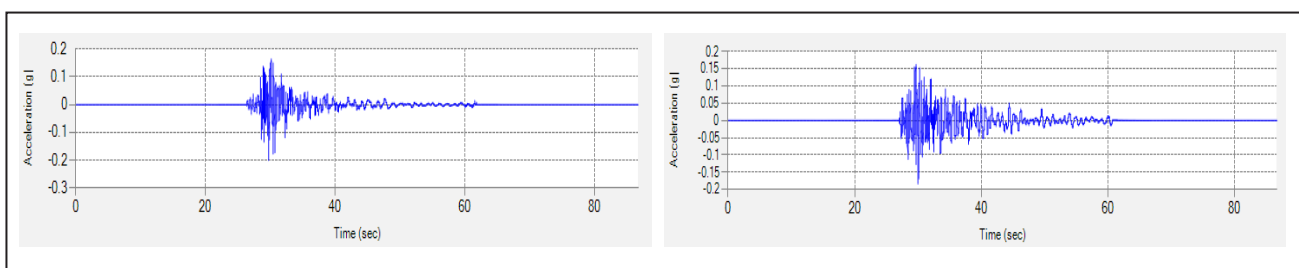
بزرگ‌ترین زمین‌لرزه دستگامی روی داده در گستره مورد مطالعه، زمین‌لرزه ۶ مه ۱۹۳۰ میلادی سلماس است. فاصله رومرکز این زمین‌لرزه تا نقطه مرکزی مطالعات حدود ۸۷ کیلومتر و بزرگای آن $7/2 Ms$ گزارش شده است. یکی دیگر از زمین‌لرزه‌های بزرگ روی داده در گستره مورد مطالعه زمین‌لرزه ۲۲ فوریه ۱۹۳۴ (۵/۷ Ms) است که در ۷۶ کیلومتری نقطه مرکزی مطالعات رخ داده است.

به منظور برآورد بیشینه مقادیر متغیرهای شتاب افقی و قائم و طیف‌های مربوط به جنبش نیرومند زمین در سنگ‌بستر لرزه‌ای ساختگاه مورد مطالعه، از روش احتمالی مدل چشمه‌های خطی/انوری لرزه‌زا در تعیین متغیرهای زمین‌لرزه‌های طراحی و برای دوره بازگشت‌های ۷۵ سال، ۴۷۵ سال (معادل با زمین‌لرزه مبنای طراحی و $SL1$) و ۲۴۷۵ سال (معادل با بزرگ‌ترین زمین‌لرزه طراحی $SL2$) و بر پایه روابط میرایی مختلف استفاده شده است.

نتایج برای متغیر PGA به‌صورت خطوط هم‌تراز به دست آمد و سنگ‌بستر منطقه مورد نظر پهنه‌بندی لرزه‌ای شد.

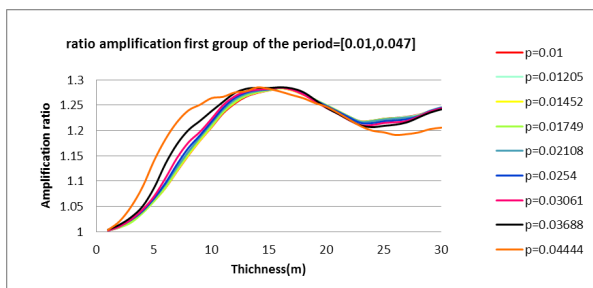
سپس طیف‌هایی به روش‌های احتمالاتی و آماری برای نقاط مختلف محاسبه، نتایج به دست آمده با طیف مندرج در آیین‌نامه ساختمان‌های ایران (۲۸۰۰) مقایسه، شرایط آیین‌نامه اعمال و طیف‌هایی برای سطوح مختلف طراحی و برای سنگ‌بستر لرزه‌ای مشخص و نهایی شد. به منظور انجام تحلیل خطر لرزه‌ای از ۵ رابطه کاهیدگی (Campbell and Bozorgnia (2003 and 2008), Ambraseys et al. (2005) و Boore and Atkinson (2008) و Akkar and Bommer (2010) استفاده شده است. در هنگام تعیین پارامترهای جنبش نیرومند زمین از ۵ رابطه یاد شده با تشکیل یک الگوریتم درخت منطقی با وزن مساوی استفاده شده است.

پاسخ لایه‌های خاک به شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه حساس است؛ بنابراین باید با چندین شتاب‌نگاشت مختلف و به‌کارگیری تحلیل دینامیکی رسوبات آبرفتی به این تغییرات دست یافت. دسترسی به شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده از زمین‌لرزه‌های واقعی در محدوده مورد مطالعه ناممکن است؛ بنابراین شتاب‌نگاشت‌هایی به روش مصنوعی و با روش به مقیاس درآوردن شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده از زمین‌لرزه‌های دیگر نقاط استفاده شد. این شتاب‌نگاشت‌ها از دید محتوای بسامدی با طیف ویژه به دست آمده برای سطوح مختلف طراحی مشابه شدند. شکل ۱ نمونه‌ای از شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی تولید شده برای سنگ‌بستر لرزه‌ای را نشان می‌دهد.

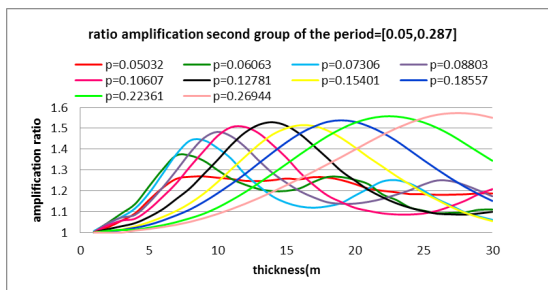


شکل ۱- نمونه‌ای از شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی تولید شده برای سنگ‌بستر لرزه‌ای.

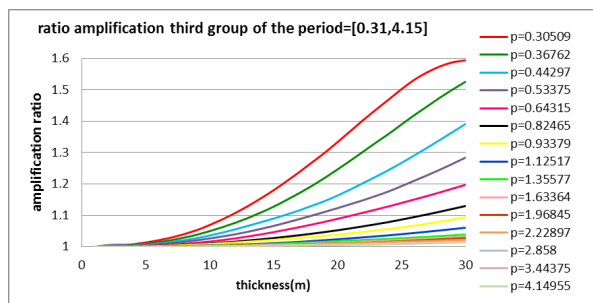
نتایج به دست آمده را به صورت شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نیز می‌توان نمایش داد. به طوری که به ازای دوره‌های متفاوت، مقادیر بزرگنمایی در برابر ستریای گمانه‌ها رسم شده است. همان‌طور که بیان شد تحلیل‌ها به ازای ستریای متغیر ۱، ۲، ۳، ... و ۳۰ متر صورت گرفته است که پس از میانگین‌گیری به ازای هر ستبر، ضریب بزرگنمایی برای ۱۰۱ دوره تعیین شده است. در نتیجه تعداد داده‌های ضریب بزرگنمایی ۳۰۳۰ عدد است، که با توجه به فراوانی داده‌ها برای بررسی آسان‌تر و مدل‌سازی بهتر، نمودارها در ۳ دسته دوره‌ای دسته‌بندی شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود؛ در دسته اول تفاوت ملموسی میان ضرایب بزرگنمایی در دوره‌های این دسته دیده نمی‌شود؛ به طوری که در دسته دوم و سوم (شکل‌های ۵ و ۶) تغییرات بیشتری با توجه به افزایش دوره وجود دارد؛ طوری که با افزایش دوره به ازای ستریای کمتر، ضریب بزرگنمایی کمتر می‌شود و با افزایش دوره، بیشترین ضریب بزرگنمایی در ستریای بالاتر رخ می‌دهد.



شکل ۴- نمودار ضرایب بزرگنمایی در بازه دوره (۰/۰۱ تا ۰/۰۴۷).



شکل ۵- نمودار ضرایب بزرگنمایی در بازه دوره (۰/۰۵ تا ۰/۲۷۸).



شکل ۶- نمودار ضرایب بزرگنمایی در بازه دوره (۰/۳۱ تا ۴/۱۵).

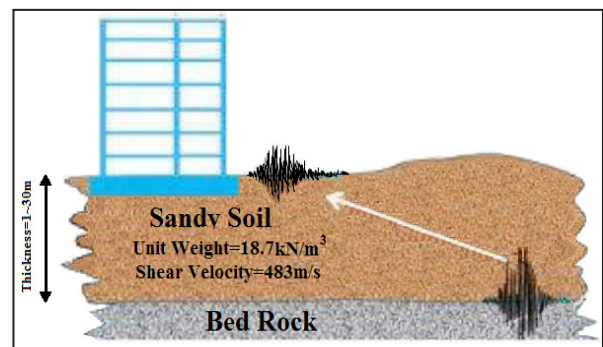
شکل ۷ نیز مقادیر بیشینه ضریب بزرگنمایی را در برابر ستریای متغیر گمانه‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود منحنی مقادیر ضریب بزرگنمایی تا ژرفای ده متر شیب تندی دارد و پس از آن با افزایش ستریای لایه ماسه‌ای، با شیب بسیار ملایمی افزایش می‌یابد.

شماری از زمین‌لرزه‌های انتخاب شده روی داده در ایران که شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده آنها در دسترس و شتاب‌نگاشت آنها از نظر شرایط ویژه این طرح مناسب بوده‌اند، به شرح زیر هستند و ویژگی‌های آنها نیز در جدول ۱ بیان شده است:

- زمین‌لرزه کره‌س (۱۹۹۹/۵/۶) روی داده در ناحیه جنوب باختری ایران با بزرگای ۶/۲ Mw
- زمین‌لرزه چنگوره، آوج (۲۰۰۲/۶/۲۲) روی داده در ناحیه شمال باختر ایران با بزرگای ۶/۵ Mw
- زمین‌لرزه فیروزآباد- کجور (۲۰۰۴/۵/۲۸) روی داده در ناحیه شمالی ایران با بزرگای ۶/۴ Mw
- زمین‌لرزه سیلاخور (۲۰۰۶/۳/۳۱) روی داده در ناحیه باختری ایران با بزرگای ۶/۱ Mw

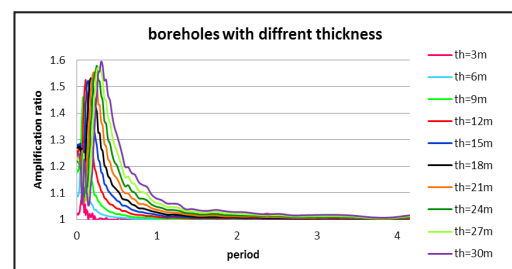
۳- نتایج تحلیل پاسخ زمین

با بررسی اطلاعات گمانه‌های حفر شده در شهر، مقدار وزن مخصوص و سرعت موج برشی میانگین لایه‌های خاک ماسه‌ای منطقه مورد نظر به ترتیب ۱۸/۷ کیلو نیوتن بر متر مکعب و ۴۸۳ متر بر ثانیه به دست آمده است. همچنین بررسی اطلاعات گمانه‌ها نشان داد که ستریای لایه‌های ماسه‌ای در این منطقه تا بیشینه ۳۰ متر متغیر است. در نتیجه لایه ماسه‌ای با ستریای ۱، ۲، ۳، ... و ۳۰ متر با ویژگی‌های یاد شده با استفاده از نرم‌افزار Deepsoil تحلیل شدند (Hashash et al., 2011). گفتنی است که در تحلیل پاسخ زمین از روش خطی معادل استفاده شده است. با توجه به اینکه تحلیل پاسخ یک بعدی زمین برای ساختگاه‌های افقی یا با شیب کم مفید است که مرز لایه‌ها در آنها موازی هستند؛ فرض تحلیل یک بعدی در این منطقه قابل قبول است. در این تحلیل‌ها از ۸ شتاب‌نگاشت مصنوعی شبیه‌سازی شده بر پایه نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای برای هر یک از سطوح لرزه‌ای استفاده شد. سپس با استفاده از نسبت طیف پاسخ حاصل از تحلیل به طیف پاسخ هر شتاب‌نگاشت سنگ‌بستر لرزه‌ای (که همان طیف‌های طراحی لرزه‌ای هستند)، ضریب بزرگنمایی به ازای هر دوره به دست آمد. سپس به ازای ستریای هر یک از لایه‌ها، نتایج تحلیل این ۸ شتاب‌نگاشت میانگین‌گیری شد که روش نمادین آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

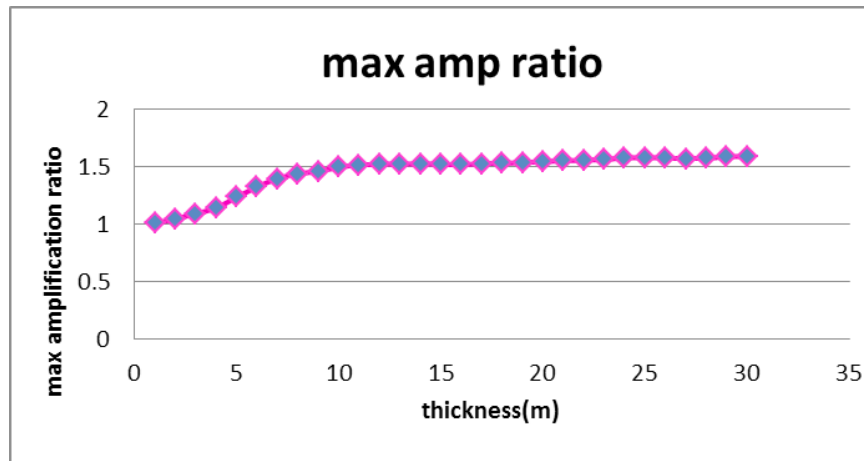


شکل ۲- مدل نمادین تحلیل آبرفت در گمانه‌های شهر ارومیه.

در نمودار شکل ۳ نتایج حاصل از تحلیل گمانه‌های ماسه‌ای با ستریای متفاوت نشان داده شده است. هر منحنی ضریب بزرگنمایی را بر پایه دوره برای هر گمانه نشان می‌دهد (علی‌دادی، ۱۳۹۵).



شکل ۳- نمودار ضرایب بزرگنمایی نسبت به دوره (ثانیه) با توجه به ستریای لایه ماسه‌ای.



شکل ۷- نمودار بیشینه ضرایب بزرگنمایی.

جدول ۱- ویژگی‌های شتاب‌نگاشت‌های به مقیاس در آمده برای زمین‌لرزه‌های مختلف طراحی.

Earthquake Name	Recording Station	Event Date	Mag	PAG(g)	Duration(s)
			EQ\St dist		
75yr					
Asalem	Hashtpar	Nov 4,1978	Ms6,1,Mw6,4 Dist= 8km	Hor(L)=0.102-g HOr(T)=-0.090g Ver=-0.051g	Hor(L)=16 HOr(T)=14 Ver=14
Silakhor, iran	Darreh Asbar	2006 , 3,31	Ms5.9Mw6.1 Dist=25km	Hor-1=0.079g Hor-2=0.089g Ver = -0.05g	Hor-1=28 Hor-2=30 Ver=33
Kahak, Ghom, Iran	BAKHSHDARI	Jun.,18,2007	Ms5.1Mw5.5 Dist=10km	Hor(L)=0.088g Hor(t)=-0.102g Ver=-0.05g	Hor(L)=19 HOr(T)=24 Ver=25
475yr					
Changooreh-Avaj ,Iran	Avaj	2002, 6,22	Ms6,4,Mw6,5 Dist = 26km	Hor(L)=0.20-g HOr(T)=-0.195g Ver=-0.11g	Hor(L)=11 HOr(T)=22 Ver=13
Karebas,Iran	Deh-Bala	1999,5,6	Ms6.3Mw6.2 Dist =24km	Hor(L)=0.24-g HOr(T)=-0.22g Ver=-0.11g	Hor(L)=14 HOr(T)=20 Ver=14
Kojur-Firoozabad,Iran	Poul	2004,5,28	Ms6.3Mw6.3 Dist =17km	Hor(L)=0.21-g HOr(T)=-0.20g Ver=-0.11g	Hor(L)=25 HOr(T)=25 Ver=23
Silakhor,Iran	Tooshk-Ab-Sard	2006,3,31	Ms5.9Mw6.1 Dist =25km	Hor(L)=0.202-g HOr(T)=-0.232g Ver=-0.115g	Hor(L)=12 HOr(T)=11 Ver=7
2475yr					
Manjil-Rudbar ,Iran	Abbar	1990.6,20	Ms7.4Mw7.4 Dist =10km	Hor(L)=0.31-g HOr(T)=-0.32g Ver=-0.22g	Hor(L)=35 HOr(T)=33 Ver=33
Bam,Iran	Farmandari	Dec. 26,2003	Ms6.8Mw6.6 Dist =7km	Hor(L)=0.35-g HOr(T)=-0.39g Ver=-0.22g	Hor(L)=10 HOr(T)=20 Ver=13
Van,Turkey	VAN Muradiye Meteoroloji	2011/10/23	Ms7.3Mw7.3 Dist =40km	Hor(L)=0.32-g HOr(T)=-0.38g Ver=-0.204g	Hor(L)=28 HOr(T)=18 Ver=21

۴- مدل‌سازی

در این مطالعه قصد داریم با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی نتایج ضریب بزرگنمایی حاصل از تحلیل را بر پایه پارامتر ستبرای و پررود مدل‌سازی کنیم. در این مطالعه از دو روش استفاده شده است.

۴-۱. برنامه‌ریزی بیان ژن

GEP (Ferreira, 2001a) روشی مناسب برای مدل‌سازی فرایندهای غیرخطی و پیچیده است. این روش جزو الگوریتم‌های تکاملی به شمار می‌شود که بر پایه نظریه تکامل داروین استوار هستند. در این پژوهش، از برنامه‌ریزی بیان ژن که شکل گسترش یافته برنامه‌ریزی ژنتیک است؛ برای پیش‌بینی ضریب بزرگنمایی امواج لرزه‌ای شهر ارومیه استفاده شده است. این نوع الگوریتم، افرادی کدگذاری شده به شکل کروموزوم‌های خطی با طول ثابت و قابل بیان به شکل ساختارهای شاخه‌ای هستند (Ferreira, 2006). نرم‌افزار مورد استفاده در این پژوهش نرم‌افزار GeneXproTools (Ferreira, 2001a) است.

عناصر اصلی در الگوریتم برنامه‌ریزی بیان ژن، افزون بر کروموزوم‌ها درختان توسعه را نیز شامل می‌شود که از اطلاعات ژنتیکی کد شده در کروموزوم‌ها هستند. این سازمان متشکل از توابع و ترمینال‌ها درختان توسعه است و نوع تعامل میان زیردرخت توسعه‌ها را قوانین بسیار ساده‌ای تعیین می‌کند. سازمان ساختاری و کارکردی ژن در الگوریتم برنامه‌ریزی بیان ژن بدین صورت است که هر ژن یک سر و یک دنباله دارد و این ساختار همیشه تضمین‌کننده تولید برنامه‌های معتبر است (Ferreira, 2001b).

اولین مرحله در پیش‌بینی ضریب بزرگنمایی به کمک این نرم‌افزار، تولید جمعیت اولیه از راه‌حل‌هاست که به کمک یک سری توابع صورت می‌گیرد. سپس کروموزوم‌ها به صورت بیان درختی نشان داده می‌شوند؛ در مرحله بعد باید کارایی یا سازگاری هر عضو جمعیت کروموزوم‌ها را به کمک تابع برازش ارزیابی کرد. به کمک تابع برازش و حفظ پاسخ‌های برتر و حذف پاسخ‌های ضعیف‌تر می‌توان به پاسخ مطلوب نزدیک شد. شکل ۸ فرایند گام‌به‌گام مدل برنامه‌ریزی بیان ژن را نشان می‌دهد.

یکی از نقاط قوت GEP عبارت است از طبیعت منحصربه‌فرد چند ژنه آن که زمینه ارزیابی مدل‌های پیچیده‌ای را فراهم می‌آورد که شامل چندین زیر مدل هستند. - بحث و نتایج برنامه‌ریزی بیان ژن: برای پیدا کردن بهترین رابطه ریاضی که بتواند توصیف‌کننده مدل ضریب بزرگنمایی امواج لرزه‌ای شهر ارومیه باشد؛ از برنامه‌ریزی بیان ژن به کمک نرم‌افزار GeneXproTools 4.0 استفاده شد.

برای رسیدن به مدل‌سازی قابل قبول توسط این برنامه، ضرایب بزرگنمایی در ۳

بازه دوره‌ای تقسیم شد (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). در مرحله بعد داده‌های مربوط به هر دسته به نرم‌افزار GeneXproTools وارد شد. داده‌های هر دسته شامل متغیر ستبرای از ۱ تا ۳۰ متر و دوره مربوط به هر دسته با عنوان داده‌های ورودی و ضرایب بزرگنمایی متناظر با آنها با عنوان داده‌های قابل پیش‌بینی است. پس از انجام مدل‌سازی ۳ دسته یاد شده مدل‌سازی بیشینه ضرایب بزرگنمایی انجام شد. همان‌گونه که گفته شد، به ازای ستبرای‌های متفاوت به‌طور مستقل از دوره، بیشینه ضرایب بزرگنمایی به دست آمد. مدل‌سازی بیشینه ضریب بزرگنمایی بر حسب ستبرای در این نرم‌افزار انجام شده است.

روند پیش‌بینی ضرایب بزرگنمایی با استفاده از برنامه‌ریزی بیان ژن به صورت زیر است:

مرحله اول، شامل انتخاب ترمینال‌ها و توابع برای ایجاد کروموزوم‌هاست. ترمینال‌ها همان متغیرهای تأثیرگذار در پیش‌بینی ضرایب بزرگنمایی هستند. انتخاب توابع مناسب نیز کاملاً مشخص نیست و در پژوهش‌های مختلف توابع متفاوتی در نظر گرفته شده است. اما تقریباً در همه موارد عملگرهای اصلی حسابی به کار گرفته شده است. در این پژوهش نیز چهار عملگر $\{+, -, *, \div\}$ به عنوان عملگرهای اصلی و عملگرهای دیگری همچون روابط مثلثاتی و لگاریتمی و ... به عنوان عملگرهای فرعی انتخاب شده‌اند. در جدول ۱ عملگرهای به کار گرفته شده در این پژوهش بیان شده است.

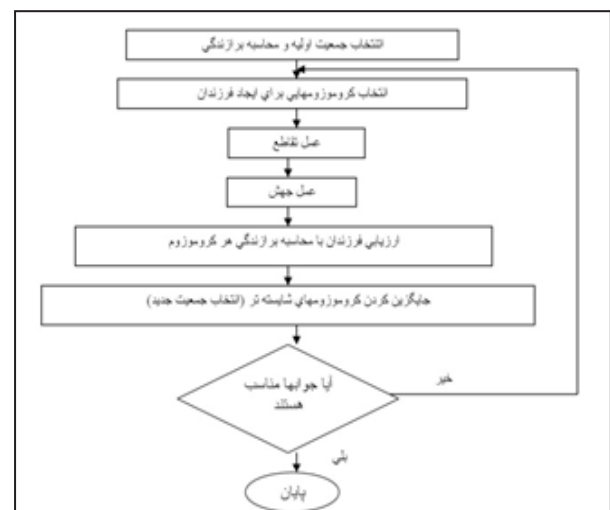
مرحله دوم، انتخاب ساختار کروموزوم‌ها شامل طول سر و تعداد ژن‌هاست. طول سر برابر ۷ انتخاب و با انجام آزمون و خطا از میان ۳ یا ۴ و ۵ ژن در هر کروموزوم، در نهایت ۳ ژن در نظر گرفته شده و همچنین در هر اجرا ۳۰ کروموزوم انتخاب شده است.

مرحله سوم، انتخاب تابع پیوند است که تعیین‌کننده ارتباط میان زیردرخت‌هاست. در این پژوهش ۳ ژن انتخابی به وسیله تابع مجموع به هم پیوند داده شده است. مرحله چهارم، انتخاب عملگرهای ژنتیکی و نرخ آنهاست. در این مرحله، ترکیبی از عملگرهای ژنتیکی همچون جهش و تقاطع استفاده شده است. در جدول ۲ متغیرها و توابع مورد استفاده در این مدل‌سازی بیان شده است.

جدول ۳ مقادیر مربوط به هر یک از شاخص‌های آماری مدل پیش‌بینی ضرایب بزرگنمایی را به ازای هر دسته دوره و بیشینه ضریب بزرگنمایی نشان می‌دهد. برای ارزیابی مدل‌ها از نمایه‌های میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی بهره برده شده است. یکی از برتری‌های GEP به دست آوردن رابطه ریاضی میان ورودی‌ها و متغیر خروجی است.

جدول ۲- متغیرهای ورودی برنامه‌ریزی بیان ژن.

پارامتر	مقدار
تابع ارزیابی (Fitness function)	RRSE
تابع پیوند (Linking function)	جمع
مجموعه توابع (Function set)	$+, -, *, \div, \sqrt{x}, \ln, \exp, \sin, \cos, \text{Atan}, \wedge 2, \wedge 3, \text{Rt}$
تعداد کروموزوم‌ها (Number of chromosomes)	۳۰
تعداد ژن‌ها (Number of genes)	۳
اندازه سر ژن (Gene head size)	۷
نرخ تقاطع (Recombination rate)	۰/۱
نرخ جهش (Mutation rate)	۰/۰۴۴



شکل ۸- الگوریتم برنامه‌ریزی بیان ژن.

جدول ۳- مؤلفه‌های آماری مدل‌های GEP ضریب بزرگنمایی.

ضریب بزرگنمایی	میانگین مربعات خطا (MSE)	ضریب همبستگی (R)
گروه اول پر بود	$2.21 e^{-4}$	0.9847
گروه دوم پر بود	$1.67 e^{-3}$	0.97391
گروه سوم پر بود	$1.0829 e^{-4}$	0.9946
بیشینه ضریب بزرگنمایی	$2.7212 e^{-4}$	0.9953

۴-۲. شبکه عصبی

شبکه‌های عصبی با الهام از سامانه مغز و سلول‌های عصبی (نرون) جانوران به وجود آمده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به شبکه‌های عصبی زیستی محدوده بسیار کوچکی را پوشش می‌دهند و توانایی و قابلیت بسیار کمتری نسبت به شبکه‌های عصبی زیستی دارند. آنچه مورد توجه است؛ توانایی محاسباتی شبکه در انجام یک فعالیت خاص، همانند تقریب زدن یک تابع است (Demuth et al., 1998).

– **ساختار شبکه عصبی:** همه شبکه‌های عصبی دست کم ۳ مؤلفه اصلی نرون، وزن‌های ارتباطی و لایه‌های مجزای دارای نرون دارند که با وزن‌ها به هم مرتبط می‌شوند. نرون‌ها در حکم واحدهای محاسباتی پایه هستند.

در جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ ساختارهای درختی پیش‌بینی ضرایب بزرگنمایی و فرم ریاضی ساختارهای حاصل به‌منظور پیش‌بینی ضرایب بزرگنمایی به ازای هر دسته از دوره‌ها و بیشینه ضریب بزرگنمایی ارائه شده است. در این جدول منظور از متغیرهای d_0 و d_1 به ترتیب دوره و ستبرای لایه ماسه‌ای است. شکل‌های ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مقادیر حاصل از تحلیل و برآوردی ضرایب بزرگنمایی را نشان می‌دهند. با توجه به ساختارهای درختی نشان داده شده و شکل‌های ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ می‌توان دریافت که مدل‌ها دقت قابل قبولی دارند و بنابراین می‌توان آنها را در برآورد ضرایب بزرگنمایی به کار بست. از سوی دیگر مدل‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی بیان‌زن دارای برتری نسبی در مقایسه با دیگر مدل‌ها هستند که دلیل آن ارائه یک روش حل قابل قبول میان مؤلفه‌های ورودی و خروجی مدل است.

شماره ژن	ضرایب ثابت	رابطه ریاضی به‌دست‌آمده از مدل
۱	$G1C0 = 9.500153; G1C1 = 5.997193$	$d_0 (\cos[\sqrt[3]{\frac{d_0}{G_1 C_1}} (d_0 - G_1 C_0)])$
۲	$G2C0 = -3.301391; G2C1 = 0.989289$	$Arc \tan[\sqrt[3]{\frac{d_1 - G_2 C_0}{d_0 - G_2 C_1}} - (d_0 * G_1 C_1)]$
۳	$G3C0 = -0.389831; G3C1 = 0.308655$	$d_0 + ((d_0 + G_3 C_0)^3)(\sin(d_1 * G_3 C_1))$

جدول ۴- بیان درختی و مدل ریاضی مدل ضریب بزرگنمایی در بازه اول دوره (۰/۰۱ تا ۰/۰۴۷).

شماره ژن	ضرایب ثابت	رابطه ریاضی به‌دست‌آمده از مدل
۱	$G1C0 = 9.52594; G1C1 = 0.41571$	$\cos(\cos[G_1 C_1 * d_1] \{ d_0 - G_1 C_0 \} - (G_1 C_0 - d_0))$
۲	$G2C0 = 6.103546; G2C1 = -7.544983$	$[\cos(\sin(\frac{d_1}{G_2 C_1}))] * \frac{Exp(d_0)}{G_2 C_0 - d_0}$
۳	$G3C0 = 0.764008; G3C1 = 9.903778$	$(\sqrt[3]{\sqrt{d_1 + \frac{G_3 C_0}{d_1}}})(\sin G_3 C_1)^2$

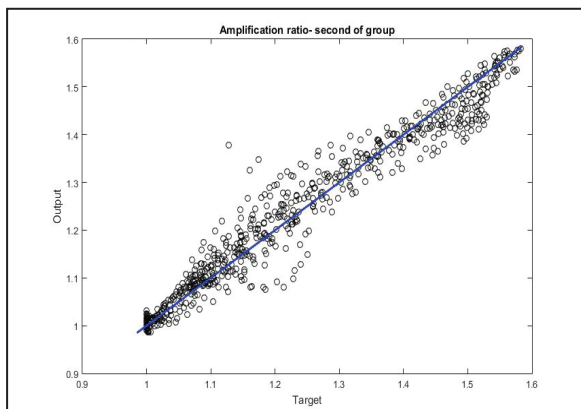
جدول ۵- بیان درختی و مدل ریاضی مدل ضریب بزرگنمایی در بازه دوم دوره (۰/۰۵ تا ۰/۲۷۸).

جدول ۶- بیان درختی و مدل ریاضی مدل ضریب بزرگنمایی در بازه سوم دوره (۳۱ تا ۴/۱۵).

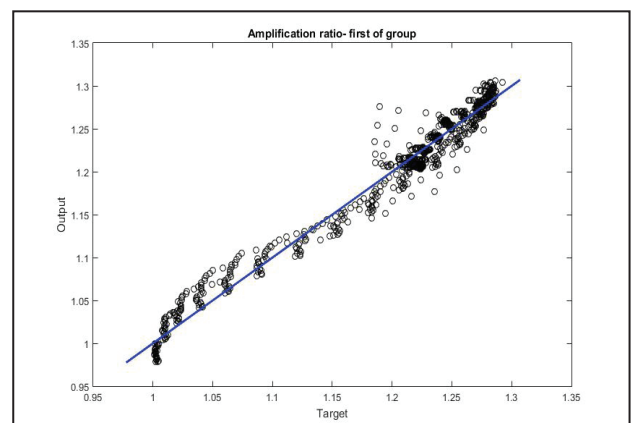
شماره ژن	ضرایب ثابت	رابطه ریاضی به دست آمده از مدل
۱	$G1C0 = -5.016113; G1C1 = 1.438599;$	$\sqrt[8]{\frac{d_1}{d_0} \sqrt{d_0 - G_1 C_0}}$
۲	$G2C0 = 1.18927; G2C1 = -9.93509;$	$\text{Sin}(\text{Arc tan}((\frac{G_2 C_1}{d_1} - d_0) G_2 C_0^2)^3)$
۳	$G3C0 = 9.63147; G3C1 = 0.54776;$	$\frac{\sqrt[3]{(d_0 - G_3 C_1)} + \sqrt[3]{d_0}}{\sqrt[3]{d_1 + d_0}}$

جدول ۷- بیان درختی و مدل ریاضی مدل بیشینه ضریب بزرگنمایی در بازه دوره (۱ تا ۴/۱۵).

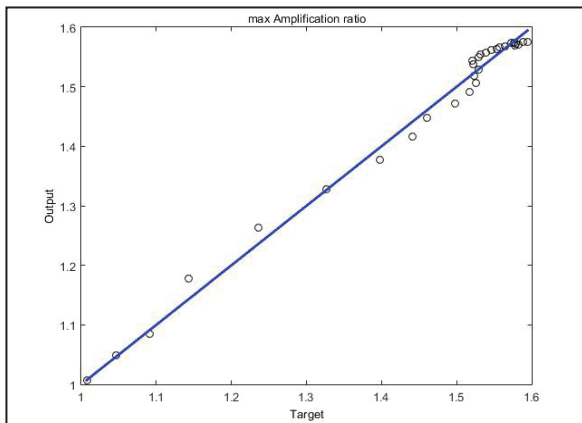
شماره ژن	ضرایب ثابت	رابطه ریاضی به دست آمده از مدل
۱	$G1C0 = -7.952363; G1C1 = -8.652252;$	$\text{Arc tan}(\sin(\sin \frac{G_1 C_0}{\text{Arc tan } G_1 C_1 - d_0}))$
۲	$G2C0 = 7.178711; G2C1 = -7.213714;$	$\text{Arc tan}((G_2 C_1 + G_2 C_0)^3 + (G_2 C_1 + G_2 C_0) - \frac{d_0}{G_2 C_1})$
۳	$G3C0 = 0.379669; G3C1 = -2.095642;$	$\text{Exp}(d_0^2 - (G_3 C_1 - d_0))(\frac{G_3 C_0}{d_0} - G_3 C_0)$



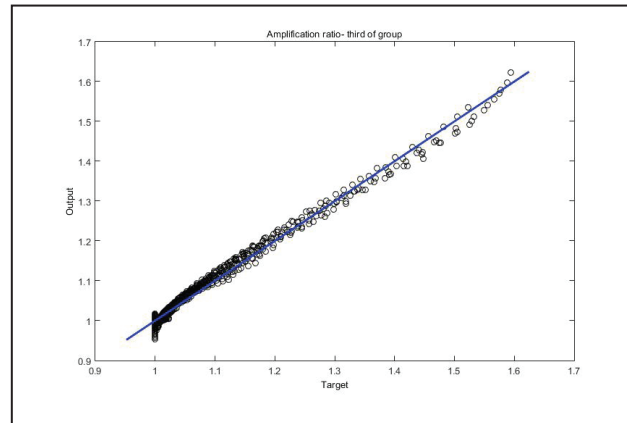
شکل ۱۰- ضریب بزرگنمایی پیش‌بینی شده در برابر ضریب بزرگنمایی واقعی با استفاده از مدل GEP (گروه دوم).



شکل ۹- ضریب بزرگنمایی پیش‌بینی شده در برابر ضریب بزرگنمایی واقعی با استفاده از مدل GEP (گروه اول).



شکل ۱۲- بیشینه ضریب بزرگنمایی پیش‌بینی شده در برابر بیشینه ضریب بزرگنمایی واقعی با استفاده از مدل GEP.



شکل ۱۱- ضریب بزرگنمایی پیش‌بینی شده در برابر ضریب بزرگنمایی واقعی با استفاده از مدل GEP (گروه سوم).

نامیده می‌شود. از قانون یادگیری پس انتشار خطا برای آموزش شبکه‌های عصبی چندلایه پیشخور استفاده می‌کنند که عموماً شبکه‌های پرسپترون چندلایه MLP هم نامیده می‌شوند. قانون پس انتشار خطا از دو مسیر اصلی تشکیل می‌شود. مسیر اول به مسیر رفت موسوم است که در آن ورودی ارائه شده به لایه‌های ورودی از طریق شبکه، لایه به لایه، به لایه خروجی انتشار می‌یابد. در این ارتباط خطای میان خروجی مورد نظر و خروجی شبکه محاسبه شده است. در این مسیر متغیرهای شبکه، ثابت و بدون تغییر در نظر گرفته می‌شوند. در این الگوریتم تابع هدف برای آموزش شبکه طراحی شده، معمولاً به صورت جمع میانگین مربعات خطا تعریف می‌شود.

مقدار خطا پس از محاسبه، در مسیر برگشت از لایه خروجی و به وسیله لایه‌های شبکه در کل شبکه توزیع می‌شود. در این مسیر وزن‌های شبکه MLP به گونه‌ای تغییر می‌کند و تنظیم می‌شود تا مجموع مربعات خطای شبکه کمینه شود.

برای آموزش شبکه پرسپترون چندلایه (MLP)، روش‌های متفاوتی وجود دارد که با بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش از روش لوبز-مارکواریت استفاده شده است (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963).

شاخص‌های ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی: برای ارزیابی کارایی مدل‌های شبکه عصبی مورد استفاده نیاز به شاخص‌هایی است که بتوان کارکردها و همچنین مدل‌ها را در مقایسه با مجموعه داده‌های تحلیل قضاوت کرد. از این رو از شاخص‌های زیر برای ارزیابی مدل‌ها و مقایسه کارایی آنها نسبت به یکدیگر استفاده شده است:

ضریب همبستگی (R): درجه ارتباط میان دو متغیر به وسیله این متغیر نشان داده می‌شود. ضریب همبستگی دو متغیر X و Y به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود. در این رابطه \bar{X} و \bar{Y} به ترتیب میانگین متغیرهای X و Y هستند:

$$R = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (3)$$

میانگین مربعات خطا (MSE): نشان‌دهنده مقدار متوسط خطا در مجموعه مورد نظر است. این شاخص با رابطه ۴ بیان می‌شود:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i)^2 \quad (4)$$

جذر متوسط مربعات خطا (RMSE): این شاخص نیز بیانگر متوسط مقدار خطا و تفاوت مقدار به دست آمده از تحلیل‌ها و مدل‌ها است. رابطه ۵ این شاخص را نشان می‌دهد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i)^2} \quad (5)$$

نرون کوچک‌ترین واحد پردازشگر اطلاعات است، که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. یک نرون از ۳ بخش اصلی تشکیل شده است (شکل ۱۳) (Arjun and Kumar, 2011):

- مجموعه سیناپس که ارتباط میان ورودی (x_j) و نرون را به وسیله وزن‌های W_{kj} برقرار می‌کند.
- مجموعه جمع‌کننده (u_k) که سیگنال‌های ورودی وزن‌دار را جمع می‌کند.
- یک تابع محرک ($\phi(\cdot)$) که برای محدود کردن دامنه خروجی به کار گرفته می‌شود.

در این میان جمله ثابت بایاس b_k برای کاهش یا افزایش خروجی نرون به کار می‌رود. روابط ۱ و ۲ ساختار شبکه عصبی را به صورت ریاضی بیان می‌کنند:

$$u_k = \sum_{j=1}^n w_{kj} x_j \quad (1)$$

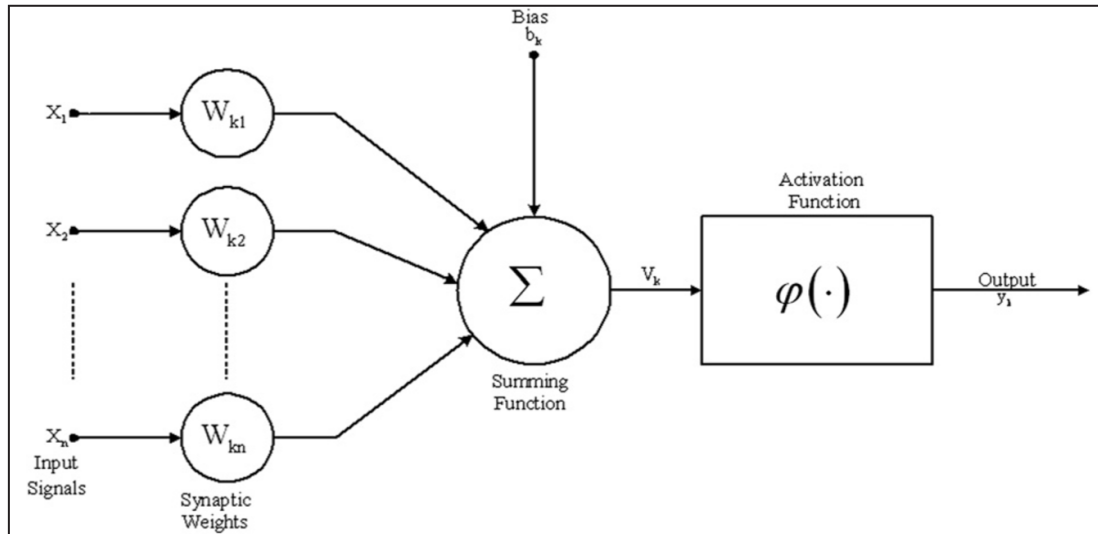
$$y_k = \phi(u_k + b_k) \quad (2)$$

همان‌طور که در شکل ۱۴ مشخص است؛ x_1, x_2, \dots, x_n سیگنال‌های ورودی، $W_{k1}, W_{k2}, \dots, W_{kn}$ وزن‌های نرون k ام، b_k بایاس و u_k جمع‌کننده هستند. این حاصل جمع، ورودی خالص برای تابع محرک $\phi(\cdot)$ خواهد بود و y_k سیگنال خروجی است. تابع محرک هر نرون برای تعیین خروجی ناشی از جمع ورودی‌های وزن‌دار آن نرون است. از توابع محرک رایج می‌توان توابع محرک Linear، tan-sigmoid و log-sigmoid را نام برد. عموماً برای همه نرون‌های یک لایه، تابع تحریک یکسان انتخاب می‌شود اگر چه چنین شرطی لزومی ندارد. در بیشتر موارد یک تابع تحریک غیرخطی همچون تابع تحریک سیگموئید به کار گرفته می‌شود. در این پژوهش نیز از تابع تحریک tan-sigmoid استفاده شده است.

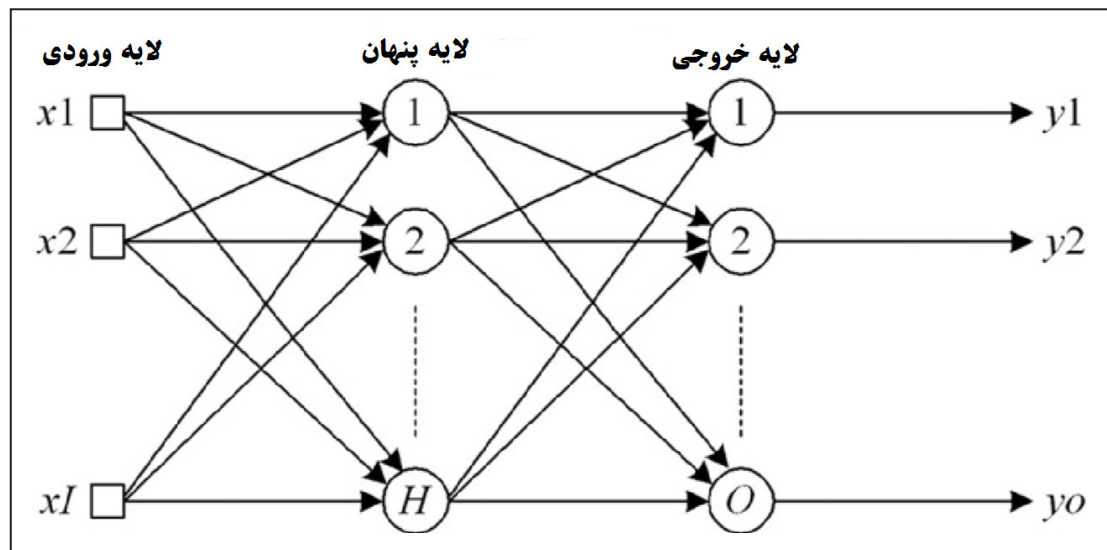
در این مطالعه از شبکه عصبی چندلایه پیشخور (MLP) برای پیش‌بینی ضرایب بزرگنمایی استفاده شده است. شکل ۱۴ ساختار شبکه MLP با یک لایه پنهان، وضعیت نرون‌ها در لایه‌ها و چگونگی ارتباط میان لایه‌ها را نشان می‌دهد.

طبق شکل ۱۴ بسته به نوع و محل جایگیری، می‌توان لایه‌ها را به لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی تقسیم‌بندی کرد. لایه‌های ورودی، اطلاعات را دریافت می‌کنند و در اختیار سامانه قرار می‌دهند. لایه‌های خروجی مقادیر به دست آمده را به بیرون از سامانه می‌فرستند. لایه‌های پنهان لایه‌هایی هستند که ورودی و خروجی آنها تنها درون سامانه است. J تعداد متغیرهای ورودی، H تعداد نرون‌های لایه پنهان و K تعداد متغیرهای خروجی هستند.

یکی از مهم‌ترین الگوریتم‌های یادگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی، که در این پژوهش نیز از آن استفاده شده است، قانون یادگیری پس انتشار خطا



شکل ۱۳- مدل یک نرون.



شکل ۱۴- مدل شبکه چندلایه پرسپترون با یک لایه پنهان.

در شبکه عصبی یاد شده ۳۰۳۰ دسته داده به کار گرفته شده که از ۷۰ درصد داده‌ها برای train، از ۱۵ درصد برای validation و از ۱۵ درصد باقیمانده برای test استفاده شده است.

نتایج شبکه عصبی: برای هر یک از مراحل آموزش، آزمایش و آزمون، ضریب همبستگی میان بزرگنمایی شبکه و بزرگنمایی حاصل از تحلیل، به دست می‌آید که در شکل‌های ۱۶- b، ۱۷- b، ۱۸- b، ۱۹- b به نمایش درآمده است. همچنین شکل‌های ۱۶- d، ۱۷- d، ۱۸- d و ۱۹- d نمودار ستونی خطا برای هر یک از مراحل یادگیری (validation، train و test) را نشان می‌دهند. در شکل‌های ۱۶- a، ۱۷- a، ۱۸- a و ۱۹- a نیز نمودارهای ضریب بزرگنمایی پیش‌بینی شده توسط شبکه و ضریب بزرگنمایی واقعی به ازای هر داده نشان داده شده است. در شکل‌های ۱۶- c، ۱۷- c، ۱۸- c و ۱۹- c نیز مقدار خطا به ازای هر داده برای داده‌های validation، train و test ارائه شده است. این نتایج نشان از تقریب مناسب این شبکه برای این مطالعه دارد و تقریب مناسب (بالای ۹۹ درصد) این شبکه را برای این مطالعه نشان می‌دهد.

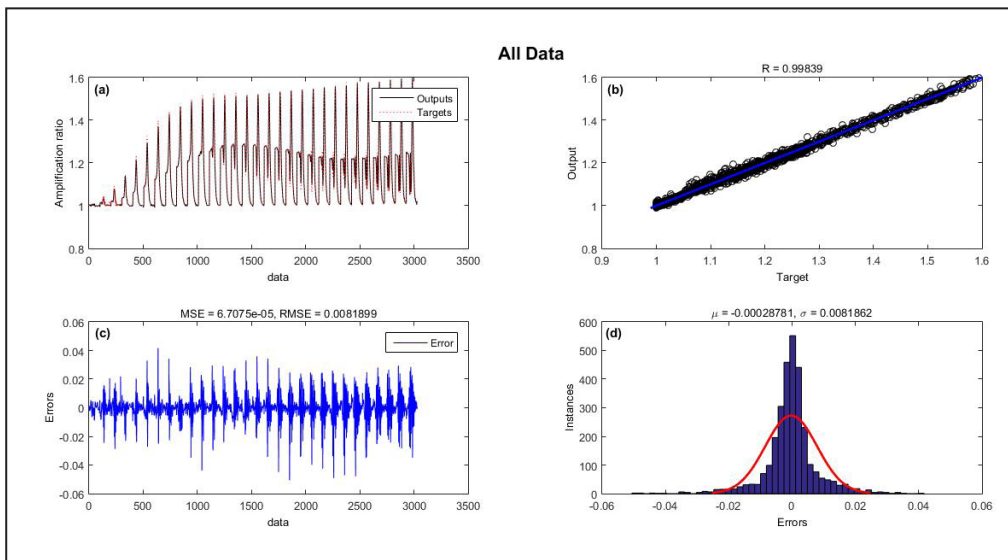
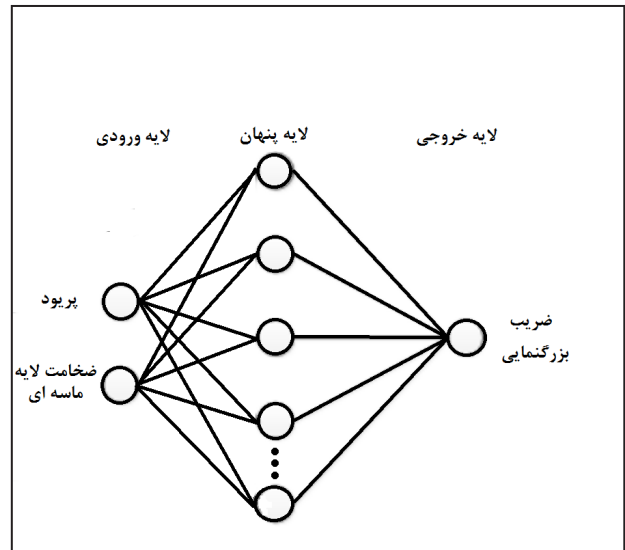
انحراف معیار (σ): این شاخص نشان‌دهنده درجه پراکندگی قدر مطلق خطاست که به صورت رابطه ۶ بیان می‌شود:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2} \quad (6)$$

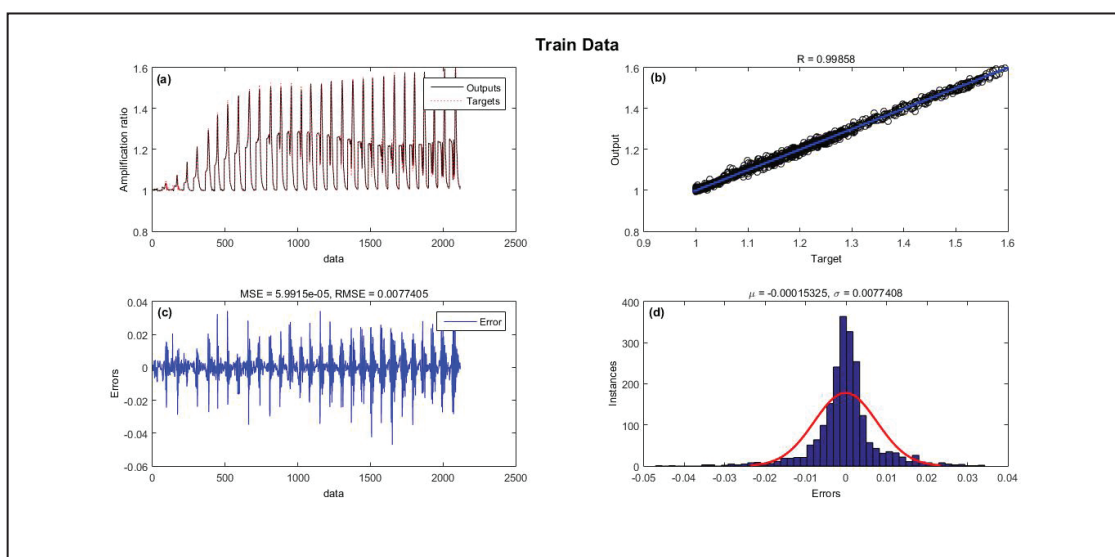
در رابطه‌های ۴، ۵ و ۶، N تعداد داده‌ها، e_i مقدار خطای داده i ام و $\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i$ میانگین خطاست.

پردازش داده‌های شبکه عصبی: یک شبکه عصبی مطلوب ارتباط درست و منطقی میان ورودی‌ها و خروجی‌ها برقرار می‌کند. در این مطالعه از شبکه عصبی به منظور مدل‌سازی ضرایب بزرگنمایی به دست آمده از تحلیل دینامیکی زمین استفاده شده است. به بیان دیگر شبکه عصبی، اطلاعات ورودی را که دوره و ستبرای خاک هستند؛ دریافت و با پاسخ‌های موجود که مقادیر بازتاب خاک هستند با یک منطق ریاضی، مرتبط می‌کند. در شکل ۱۵ فرم ساختار شبکه عصبی استفاده شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. در این شبکه از ۶۰ نرون در لایه پنهان استفاده شده است.

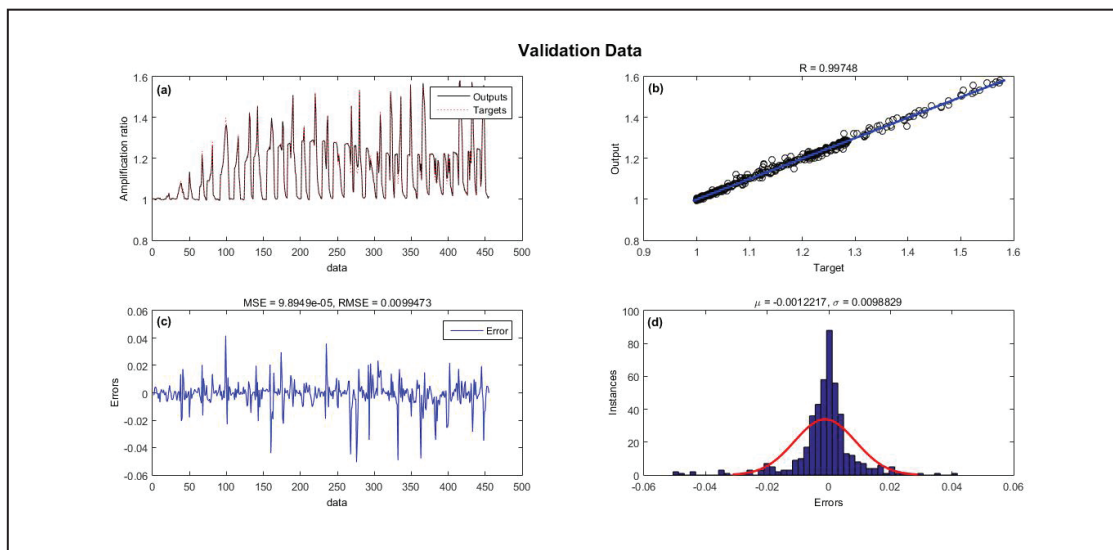
شکل ۱۵- ساختار شبکه عصبی با دو ورودی.



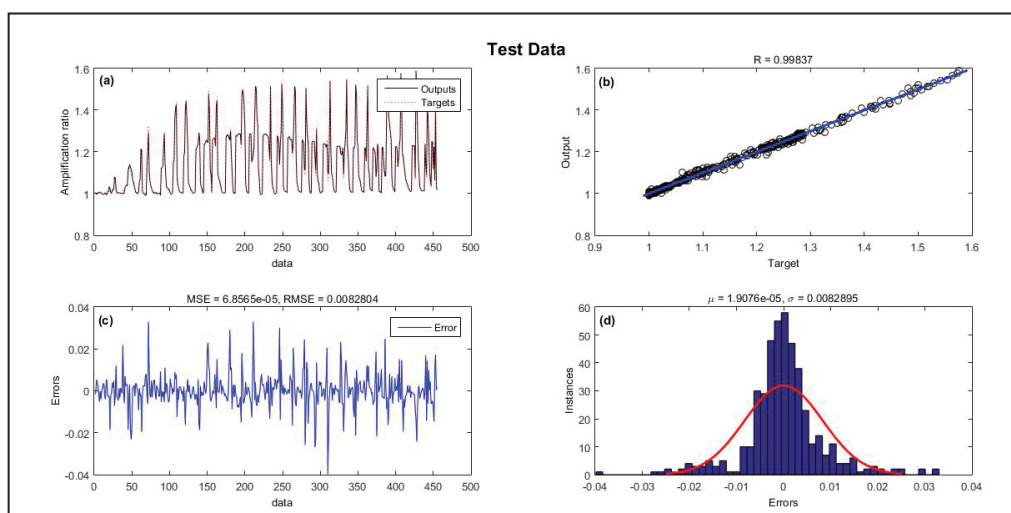
شکل ۱۶- نمودارهای نتایج شبکه عصبی برای کل داده‌ها: (a) مقایسه میان منحنی ضریب بزرگنمایی حاصل از شبکه و ضریب بزرگنمایی واقعی؛ (b) همبستگی میان ضریب بزرگنمایی شبکه و ضریب بزرگنمایی واقعی؛ (c) مقادیر خطا به ازای هر داده؛ (d) نمودار ستونی خطا.



شکل ۱۷- نمودارهای نتایج شبکه عصبی برای داده‌های train: (a) مقایسه میان منحنی ضریب بزرگنمایی حاصل از شبکه و ضریب بزرگنمایی واقعی؛ (b) ضریب همبستگی میان ضریب بزرگنمایی شبکه و ضریب بزرگنمایی واقعی؛ (c) مقادیر خطا به ازای هر داده؛ (d) نمودار ستونی خطا.



شکل ۱۸- نمودارهای نتایج شبکه عصبی برای داده‌های validation: (a) مقایسه میان منحنی ضریب بزرگنمایی حاصل از شبکه و ضریب بزرگنمایی واقعی؛ (b) ضریب همبستگی میان ضریب بزرگنمایی شبکه و ضریب بزرگنمایی واقعی؛ (c) مقادیر خطا به ازای هر داده؛ (d) نمودار ستونی خطا.



شکل ۱۹- نمودارهای نتایج شبکه عصبی برای داده‌های test: (a) مقایسه میان منحنی ضریب بزرگنمایی حاصل از شبکه و ضریب بزرگنمایی واقعی؛ (b) ضریب همبستگی میان ضریب بزرگنمایی شبکه و ضریب بزرگنمایی واقعی؛ (c) مقادیر خطا به ازای هر داده؛ (d) نمودار ستونی خطا.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

متخصص ژنوتکنیک را انجام دهد و راهنمای مناسبی برای افزایش دقت و سرعت باشد؛ به‌ویژه برای نقاطی که ارتباط میان داده‌ها بسیار پیچیده است. با توجه به ضرایب همبستگی و جذر میانگین مربعات، خطای داده‌های به دست آمده تطابق مناسبی در به‌کارگیری هر دو روش برنامه‌ریزی بیان ژن و شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهند. چنان‌که دیده شد؛ این تطبیق در مدل شبکه عصبی مصنوعی بیشتر به چشم می‌خورد؛ اما از سویی در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن روابط ریاضی ارائه شد که از مزایای این روش به شمار می‌رود.

نتایج به دست آمده از این پژوهش در ارزیابی لرزه‌ای خاک‌های ماسه‌ای شهر ارومیه استفاده شد. در این پژوهش برای پیش‌بینی ضرایب بزرگنمایی امواج لرزه‌ای خاک‌های ماسه‌ای شهر ارومیه مدل کامپیوتری تهیه و از برنامه‌ریزی بیان ژن و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. برنامه‌ریزی بیان ژن به کمک نرم‌افزار GeneXproTools صورت گرفت و ساختار درختی مدل بهینه آن ارائه شد. استفاده از شبکه عصبی در پیش‌بینی رفتار خاک در نقاط مختلف یک منطقه امری کاملاً اقتصادی و با قابلیت اعتماد بالاست. در این مطالعات نشان داده شد که شبکه عصبی می‌تواند به خوبی کار

References

- Akbar, S. and Bommer, J. J., 2010- Empirical equations for the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region, and the Middle East. *Seismological Research Letters*, 81(2), pp.195-206.
- Ambraseys, N. N., Douglas, J., Sarma, S. K. and Smit, P. M., 2005- Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration. *Bulletin of earthquake engineering*, 3(1), pp.1-53.
- Ambraseys, N. N. and Jackson, J. A., 1998- Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 133(2), pp.390-406.
- Arjun, C. R. and Kumar, A., 2011- Neural network estimation of duration of strong ground motion using Japanese earthquake records. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31(7), pp.866-872.
- Bonilla, M. G., Mark, R. K. and Lienkaemper, J. J., 1984- Statistical relations among earthquake magnitude, surface rupture length, and surface fault displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 74(6), pp.2379-2411.
- Boore, D. M. and Atkinson, G. M., 2008- Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s. *Earthquake Spectra*, 24(1), pp.99-138.
- Borcherdt, R., Glassmoyer, G., Der Kiureghian, A. and Cranswick, E., 1989- Effect of site conditions on ground motions in Leninakan, Armenia S.S. R., R. Borcherdt ed., Results and data from seismologic and geologic studies following earthquakes of December 7, 1988, near Spitak, Armenia S.S. R., U.S. Geological Survey Open-File Report, 89-163A, 86-108.
- Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y., 2003- Updated near-source ground-motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(1), pp.314-331.
- Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y., 2008- NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s. *Earthquake Spectra*, 24(1), pp.139-171.
- Demuth, H., Mark, B. and Martin, H., 1998- Neural network toolbox user's guide. The MathWorks. Inc., Natick, USA (1998).
- Drennov, A. F., Dzhurik, V. I., Serebrennikov, S. P., Bryzhak, E. V. and Drennova, N. N., 2013- Acceleration response spectra for the earthquakes of the southwestern flank of the Baikal Rift Zone. *Russian Geology and Geophysics (Geologiya i Geofizika)* 54 (2), 223–230 (292–301).
- Eker, A. M., Akgun, H. and Kockar, M. K., 2012- Local site characterization and seismic zonation study by utilizing active and passive surface wave methods: A case study for the northern side of Ankara, Turkey. *Engineer. Geol.* 151, 64–81.
- Erdik, M. and Durukal, E., 2004- Strong ground motion, in: Ansal, A. (Ed.), Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering. Kluwer Academic Publishers, Chapter 3, 67–100.
- Ferreira, C., 2001a- Gene expression programming in problem solving, In: 6th Online World Conference on Soft computing in Industrial Applications (Invited Tutorial).
- Ferreira, C., 2001b- Gene Expression Programming: a New Adaptive Algorithm for Solving Problems, *Complex Systems*, 13, 87-129.
- Ferreira, C., 2006- Gene Expression Programming: Mathematical Modeling by an Artificial Intelligence, 2nd Edition, Springer-Verlag, Germany.
- Hashash, Y. M. A., Groholski, D. R., Phillips, C. A., Park, D. and Musgrove, M., 2011- "DEEPSOIL 5.0." User Manual and Tutorial, Univ. of Illinois at Urbana Champaign, Champaign, Illinois.
- Hashash, Y., 2011- site amplification factors for deep deposits and their application in seismic hazard analysis for Central U.S..
- Koçkar, M. K. and Akgun, M., 2012- Evaluation of the site effects of the Ankara basin, Turkey. *J. Appl. Geophys.* 83, 120–134, 2012.
- Levenberg, K., 1944- A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Quarterly of applied mathematics*, 2(2), pp.164-168.
- Lunina, O. V., Andreev, A. V. and Gladkov, A. A., 2014- Geologic hazards associated with seismogenic faulting in southern Siberia and Mongolia: forms and location patterns. *Russian Geology and Geophysics (Geologiya i Geofizika)* 55 (8), 1028–1042 (1294–1313).
- Marquardt, D. W., 1963- An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics*, 11(2), pp.431-441.
- Nowroozi, A. A., 1985- Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(5), pp.1327-1338.
- Pitilakis, G., 2004- Site Effects, Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, Ed. A. Ansal, Springer Netherlands, 139–197.
- Pitilakis, K., Gazepis, C. and Anastasiadis, A., 2004- Design response spectra and soil classification for seismic code provisions. In: Proceedings of 13th world conference on earthquake engineering. Vancouver, Canada, Paper no. 2904.
- Rodriguez-Marek, A., Bray, J. D., Abrahamson, N. A., 2001- An empirical geotechnical seismic site response procedure. *Earthquake spectra*;17;65-87.
- Slemmons, D. B., 1977- State-of-the-Art for Assessing Earthquake Hazards in the United States. Report 6. Faults and Earthquake Magnitude (No. WES-MP-S-73-1-6). MACKAY SCHOOL OF MINES RENO NV.
- Wells, D. L. and Coppersmith, K. J., 1994- New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the seismological Society of America*, 84(4), pp.974-1002.

Modeling the amplification ratio of sandy soils using two methods of neural network and gene

N. Alidadi¹ and A. Mahdavian^{2*}

¹M.Sc. Student, Faculty of Civil- Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Faculty of Civil- Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2016 February 20

Accepted: 2016 June 22

Abstract

When seismic waves pass through alluvial layers, the seismic wave amplitude increases significantly in some periods, which is known as site amplification. In this case, it can be analyzed with an analytical model of the surface response spectrum Estimates of the input response spectrum. This behavior is essential in assessing the seismic performance of the structures and vital arteries. In this paper, we investigate this effect on different layers of sand with different thicknesses for Urmia city, a metropolitan area in the North West of Iran and an earthquake prone region. 120 geotechnical boreholes were drilled in sandy layers of different thicknesses in the central and northern parts of the city. The analysis simulated artificial acceleration based on seismic hazard analysis results. By observing the spectral accelerations for different periods at the earth's surface the spectral acceleration magnitudes of the seams were shown for different periods. Using a neural network and genetic algorithm, these coefficients were modelled. Using the evolutionary algorithm of gene expression programming, the mathematical relation was expressed in terms of sand layer thickness and different periods. However, the results obtained from the artificial neural network using the correlation coefficient and root mean square yielded more accurate results than the gene expression programming. In conclusion, the results show that by increasing the thickness of the sand layers, the amplification ratio also increases considerably for some periods. Using the modeling results, we can estimate the amplification of the sandy soils of Urmia city with different thicknesses for variables up to 4 seconds.

Keywords: Equivalent linear analysis, Site effects, Amplification ratio, Artificial accelerogram, Neural network, Gene expression programming For Persian Version see pages 87 to 98

*Corresponding author: A. Mahdavian; E-mail: A_Mahdavian@sbu.ac.ir