



پیش بینی بروز روانگرایی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

علی فرهادی^۱، امیر هوتی^{۱*}

استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت معلم تهران

*دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت معلم تهران

Farhadi@tmc.ac.ir

خلاصه

بررسی و مطالعه رخداد پدیده روانگرایی بخصوص در مناطق لرزه خیز از جمله ایران در سالهای اخیر مورد توجه مهندسين ژئوتکنیک قرار گرفته است. پیش بینی روانگرایی در خاک ها با توجه به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک نظیر دانه بندی، مقاومت برشی و ... و هم چنین ویژگیهای لرزه خیزی نظیر بزرگی، شتاب و مدت زمان زلزله به عنوان پارامترهای در دسترس مطرح است. در این مقاله، پارامترهای مستقل تنش کل و موثر، عدد SPT اصلاح شده و درصد ریز دانه، به عنوان پارامترهای مقاومتی خاک؛ بزرگی و شتاب زلزله، به عنوان پارامترهای زلزله و موثر در پتانسیل روانگرایی انتخاب شدند. پارامترها طوری انتخاب شدند که اولاً مستقل باشند و ثانیاً در مجموع همپوشانی خوبی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی بر اساس کلیه عوامل موثر بر آن داشته باشند. برای یافتن ارتباطی منطقی میان داده های صحرائی ثبت شده در گذشته توسط محققین مختلف، از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ابزاری کارآمد در پیش بینی پتانسیل روانگرایی استفاده گردیده است. نتایج بدست آمده در این تحقیق، نشان دهنده اعتبار روابط همبستگی SPT و CPT و همچنین توانایی شبکه عصبی مصنوعی در تخمین پتانسیل روانگرایی می باشد. همچنین میزان خطای آموزش شبکه تا حد زیادی نسبت به موارد مشابه در گذشته کاهش یافته است.

واژه های کلیدی: روانگرایی، شبکه عصبی مصنوعی، Feed Forward Backpropagation، SPT، CPT

مقدمه:

یکی از علل اصلی خرابیها در خلال زلزله گسیخته شدن زمین می باشد. گسیختگی زمین ممکن است به واسطه وجود ترکها و شکافها، حرکات غیر طبیعی و یا نامساوی و یا از دست دادن مقاومت آن بوقوع پیوندد. پدیده کاهش و حتی از بین رفتن کامل مقاومت برشی خاک در زمین های ماسه ای غیر متراکم و اشباع به علت افزایش فشار آب حفره ای، روانگرایی^۲ خاک نامیده می شود. در این حالت روان شدن زمین بصورت سیلان و جوشش ماسه ظاهر می شود. چنین پدیده ای در اغلب زلزله ها مشاهده گردیده است. هنگامی که خاک به این حالت در می آید سازه های بنا شده در روی آن ناپایدار می گردند. در زلزله نیگاتا^۳ (ژاپن ۱۹۶۴) بعضی از ساختمانها تا ۳۰ درجه نسبت به افق در اثر وقوع این پدیده منحرف شدند [۱]. موارد متعددی از پدیده روانگرایی در زلزله رودبار - منجیل در خرداد ۱۳۶۹ بوقوع پیوست که توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [۲].

روشهای مختلف تعیین پتانسیل روانگرایی:

روش های عمده در تعیین پتانسیل روانگرایی به شرح زیر می باشند:

- ۱- روشهای مبتنی بر پایه تحلیل دینامیکی طیفی زلزله و مقایسه تنش برشی وارده بر المان خاک بر اثر زلزله با تنش برشی مولد سیلان (مقاومت برشی آن المان) در آزمایشات تناوبی (سه محوری سیکلی، برش ساده سیکلی، میز ارتعاش، سانترفیوژ). این روشها نسبتاً دقیق می باشند و از پشتوانه تئوری محکم و قابل اعتمادی برخوردارند.
- ۲- روشهای مبتنی بر انجام آزمایشات صحرائی نظیر آزمایش انفجار استاندارد.
- ۳- روشهای آماری با استفاده از داده های ثبت شده در محل هایی که قبلاً زلزله رخ داده و در معرض وقوع پدیده روانگرایی قرار داشته اند. هر یک از روشهای فوق دارای معایب و مزایایی هستند که متناسب با اهمیت کاربرد مورد توجه قرار می گیرند. مشکلات عمده دسته اول تهیه نمونه های دست نخورده ای از ماسه سست و نیمه متراکم اشباع و هزینه بالای انجام آزمایشات دینامیکی است. در روش دوم محدودیتهای منطقه ای مشکل عمده انجام آزمایشات هستند. دسته سوم که مبتنی بر روش های نوین آماری و بر اساس مشاهدات قبلی استوار است محدودیتهای دو دسته قبل را

¹ Corresponding AuthorE-Mail : A.hooti@tmu.ac.ir, Amir Hooti, Tarbiyat Moallem University of Tehran
Phone : 021 - 888 30 891 ; Mobile: 0915 314 1409² Liquefaction³ Niigata



پوشش داده است. از آن جمله می توان به روش های پیشنهادی توسط بازیار^۴، ایشی هارا^۵، سید و همکاران^۶ و توکیماتسو^۷، گو^۸ [۵ و ۶] اشاره کرد. در این بین، روش شبکه عصبی مصنوعی ابزاری موفق و قابل اعتماد در پردازش اطلاعات حتی با وجود پارامترهای مختلف مؤثر و پیچیدگی روابط بین آنها می باشد.

پارامترهای مؤثر بر پتانسیل روانگرایی:

عوامل زیر در ایجاد پدیده روانگرایی مؤثرند:

- ۱- نحوه توزیع اندازه ذرات: ماسه های ریزدانه و یکنواخت در مقایسه با ماسه های درشت دانه تر، تحت شرایط یکسان، آمادگی و قابلیت بیشتری جهت روان شدن دارند.
- ۲- میزان دانسیته نسبی اولیه توده ماسه: با افزایش دانسیته نسبی اولیه مصالح، مقادیر نشست ها و فشار آب حفره ای هر دو به میزان قابل ملاحظه ای در بارگذاری های ارتعاشی تقلیل می یابند. بنابراین احتمال وقوع پدیده روانگرایی با افزایش دانسیته نسبی و تراکم ماسه کاهش پیدا خواهد کرد.
- ۳- خصوصیات و ماهیت بارهای ارتعاشی: نشست های ایجاد شده در ماسه تحت اثر ارتعاشات افقی به مراتب بیشتر از ارتعاشات قائم می باشد. همچنین طول مدت زلزله یا به عبارتی مدت زمانی که ماسه در حالت مایع باقی می ماند رابطه مستقیمی با میزان خسارت های وارده به سازه ها ناشی از پدیده روانگرایی دارد.
- ۴- موقعیت زهکشها و ابعاد توده ماسه: در خلال بارگذاری دینامیکی توده ماسه ای با ابعاد وسیع ممکن است مانند یک لایه غیر زهکش عمل کند بنابراین احتمال وقوع روانگرایی افزایش می یابد.
- ۵- ماهیت و مقدار بارهای وارده: اعمال تنش های همگن بر توده ماسه موجب ایجاد تنش های مؤثر اولیه در خاک خواهد شد که احتمال وقوع روانگرایی را کاهش می دهد.
- ۶- روش و نوع شکل گرفتن توده ماسه (اثر فابریک): خصوصیات روان شدگی ماسه های اشباع تحت بارهای سیکیلی به مقدار قابل ملاحظه ای وابسته به روش تهیه نمونه و بافت و ساختمان ماسه دارد.
- ۷- مدت شکل گیری توده ماسه: ماسه دست نخورده در مقابل ماسه بازسازی شده از همان نوع، تا ۷۵ درصد افزایش مقاومت در برابر روان گری از خود نشان می دهد.
- ۸- سابقه تغییر شکل های نسبی قبلی: تغییر شکل هایی که ماسه در اثر زلزله های گذشته متحمل شده است، باعث افزایش تا حدود ۱/۵ برابر تنشهایی که مولد روان گری می باشند خواهد شد.
- ۹- حبابهای هوای محبوس بین ذرات: وجود حباب های هوای محبوس بین ذرات ماسه باعث کاهش احتمال وقوع روانگرایی خواهد شد.

انتخاب پارامتر های مستقل مؤثر بر پتانسیل روانگرایی:

در روشهای تحلیلی تئوریک، پتانسیل روانگرایی بر اساس مقایسه بین تنش برشی وارده بر المان خاک بر اثر زلزله و تنش برشی قابل تحمل توسط خاک تعیین می شوند. بطوریکه مهندسین محاسب در هر عمقی که تنش برشی حاصل از زلزله با اعمال ضریب اطمینان مناسب بیش از تنش برشی قابل تحمل توسط خاک شود؛ وقوع روانگرایی را در آن عمق محتمل می دانند. در این مقاله، برای طراحی شبکه عصبی سعی گردیده است که پارامترهایی انتخاب شوند که اولاً مستقل اندازه گیری شده باشند و ثانیاً بتوانند همپوشانی مناسبی در ارزیابی پتانسیل روانگرایی بر اساس پارامترهای مؤثر که در بالا توضیح داده شده است داشته باشند. بر این اساس پارامترهای مستقل مؤثر بر پتانسیل روانگرایی به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

- ۱- پارامترهای مربوط به زلزله: شتاب (حداکثر تغییر مکان افقی در نزدیکی سطح زمین و ثبت شده توسط شتاب نگاشت) و بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر که بیانگر انرژی زلزله می باشد.
- ۲- پارامترهای مربوط به خاک: فشار کل و مؤثر خاک از پارامترهای مؤثر در پدیده روانگرایی می باشد که تفاوت این دو نشانگر فشار آب منفذی یا به عبارتی شرایط سطح آب زیر زمینی است. پارامتر مؤثر دیگر، مقاومت برشی خاک می باشد که در خاک های ماسه ای بر اساس میزان درصد تراکم نسبی و یا زاویه اصطکاک داخلی تعیین می شود. در آزمایشات صحرایی مقادیر SPT و CPT نمایانگر مقاومت برشی خاک ماسه ای می باشند که مقادیر SPT اصلاح شده خاک به عنوان پارامتر مقاومتی خاک مد نظر قرار گرفته است. از دیگر پارامترهای مؤثر، درصد ریزدانه (رد شده از الک #۲۰۰) در خاک ماسه ای می باشد که به دلیل ایجاد چسبندگی در آن، پتانسیل روانگرایی خاک کاهش می یابد.

⁴ Baziar, M.H.

⁵ Ishihara, K.

⁶ Seed, H.B.

⁷ Tokimatsu, K.

⁸ Goh, A.T.C.

**جمع آوری داده ها و آماده سازی آنها:**

در این مقاله، از میان اطلاعات نسبتاً زیادی که در خصوص پدیدهٔ روانگرایی گزارش شده اند، مواردی که پارامترهای مستقل موثر و تنوع کافی از هر یک از آنها را مد نظر قرار داده اند به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

- ۱- اطلاعات مربوط به شهر آستانه پس از زلزله ۱۳۶۹ منجیل [۲].
- ۲- اطلاعات ارائه شده توسط گو [۵].
- ۳- اطلاعات ارائه شده توسط کاین^۹ و همکاران [۸].
- ۴- اطلاعات ارائه شده توسط میشل^{۱۰} و همکاران [۹].
- ۵- اطلاعات ارائه شده توسط شیباتا^{۱۱} و تپاراکسا^{۱۲} [۱۴].
- ۶- اطلاعات ارائه شده توسط چارلی^{۱۳} [۴].
- ۷- اطلاعات جمع آوری شده توسط توکیماتسو و یوشیمی^{۱۴} [۱۵].

اطلاعات مذکور بایستی همگون شده و در صورت لزوم اصلاح شوند. پارامترهای بزرگی و شتاب زلزله، تنش کل و مؤثر خاک و درصد ریزدانه بدون تغییر منظور گردیده است. لازم است مقادیر SPT با ضرایب تصحیح فشار روبار و انرژی اعمال شده در محاسبات منظور گردد. در این مقاله، مقادیر اصلاح شدهٔ آزمایشات SPT مربوط به اطلاعات شهر آستانه و توکیماتسو و یوشیمی از مقالهٔ حائری و کریمی [۲] که با فرض انتقال ۶۰٪ انرژی چکش همگون شده بودند، منظور گردیده است.

مقادیر CPT گزارش شده توسط کاین، چارلی، میشل، شیباتا و تپاراکسا با استفاده از روابط همبستگی اشمارتمن^{۱۵} [۱۰]، که در ذیل آمده است به مقادیر معادل SPT تبدیل و منظور شده اند:

$$q_c \cong (4 \text{ تا } 5) N \quad \text{برای ماسهٔ تمیز}$$

$$q_c \cong (3/5 \text{ تا } 4/5) N \quad \text{برای ماسهٔ لای دار}$$

که در آن q_c مقاومت نوک مخروط CPT و N عدد SPT می باشد. تعیین حد بالا یا پایین مقادیر فوق با قضاوت مهندسی انجام پذیرفته است.

شبکه های عصبی مصنوعی:

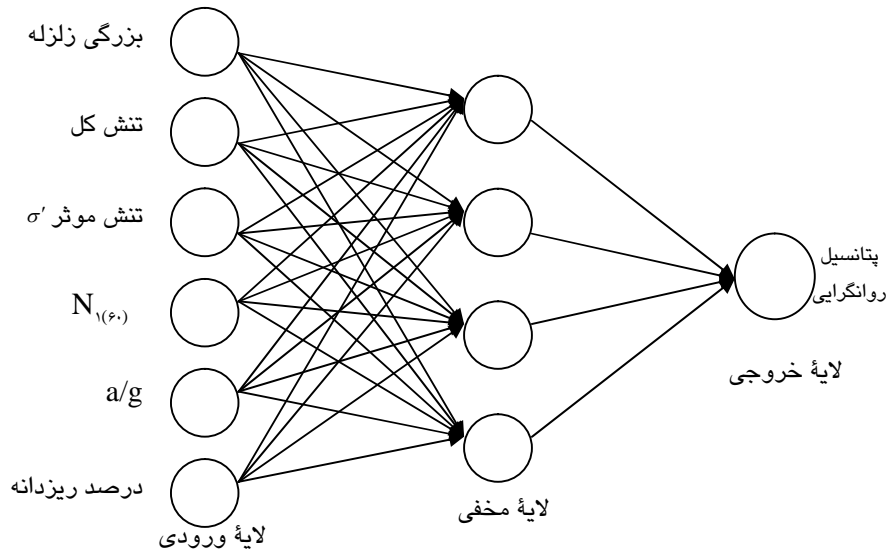
آنچه از کارایی مغز انسان در زمان حال به نظر می رسد نتیجه میلیونها سال تکامل است. مغز انسان به عنوان کاملترین و کارآمدترین الگو برای تشخیص وقایع پیرامون او می باشد. عنصر اصلی مغز انسان نرون است. عملکرد هر نرون^{۱۶} علاوه بر ارتباط بین نرون ها ذخیره سازی اطلاعات نیز می باشد. شبکه های عصبی مصنوعی^{۱۷} در واقع شبکه ای کوچک از نرون های مصنوعی است که در جهت حل مسائل پیچیده آموزش داده می شود. این شبکه ها مثل هر سیستم دیگری می توانند در یک محدوده خاص آموزش یافته و هوشمند گردند. شبکه های عصبی مصنوعی در مقابل نرون های بیولوژیکی از سرعت بسیار بالایی (در حدود یک میلیون برابر) برخوردارند. علت سرعت بالای این نرون های مصنوعی ساختار موازی آنها است. بنابراین همه نرون ها معمولاً به طور همزمان کار می کنند.

در ساختار شبکه عصبی پارامترهایی وجود دارد که تنظیم این پارامترها نهایتاً باعث می شود شبکه، الگوی ورودی را یاد گرفته و رفتار مناسبی از خود ارائه دهد. به این عمل آموزش سیستم می گویند.

معماری شبکه عصبی:

شبکهٔ عصبی مورد استفاده در این مقاله به کمک نرم افزار Matlab (Ver. 6.5) براساس روش FeedForward- Back propagation آموزش دیده که در شکل ۱ نشان داده شده است.

⁹ Kayen
¹⁰ Mitchell, J.K.
¹¹ Shibata, T.
¹² Teparaksa, W.
¹³ Chalie
¹⁴ Yoshimi
¹⁵ Schmertmann, J.H.
¹⁶ Neuron
¹⁷ Artificial Neural Network



شکل ۱- الگوی شبکه عصبی NN1

پایگاه داده های این مقاله شامل ۱۱۰ داده گزارش شده توسط محققین فوق الذکر می باشد. داده ها به صورت کاملاً تصادفی در دو دسته آموزشی (جدول ۳) و آزمایشی (جدول ۴) قرار گرفتند. آموزش با ۷۱ داده مندرج در جدول ۳ آغاز گردید. پس از سعی و خطاهای بسیار، شبکه ای که دارای کمترین خطای آموزش و آزمایش بود؛ به عنوان شبکه مورد نظر انتخاب و وزن های محاسبه شده ذخیره گردیدند. همانطور که در جدول ۲ دیده می شود پارامترهای "تعداد لایه های مخفی"، "تعداد نرون ها در لایه مخفی" و "تابع انتقال" به عنوان پارامترهای متغیر در مرحله سعی و خطا برای یافتن شبکه بهینه مد نظر قرار گرفتند. در نهایت پس از آزمایش شبکه توسط داده های جدول ۴، شبکه NN1 با ۱ لایه مخفی و ۴ نرون در لایه مخفی، خطای داخلی $2/489 \times 10^{-4}$ و تابع انتقال $\tanh(x)$ در هر دو لایه (انتقال از لایه ورودی به لایه میانی و انتقال از لایه میانی به لایه خروجی) به عنوان بهترین مدل انتخاب شده است. تابع آموزشی مورد استفاده، الگوریتم لونیبرگ و مارکوت^{۱۸} (train LM) به علت سرعت بالای همگرایی در همه انواع شبکه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین جهت کنترل خطای آموزش بیش از حد^{۱۹}؛ داده های آزمایشی همزمان با آموزش مورد بررسی قرار می گرفتند. بطوریکه در هر مرحله سعی و خطا که علیرغم کاهش خطای داخلی شبکه، منحنی خطای آموزش سیری صعودی در جهت افزایش خطا داشت؛ آموزش متوقف می شد. این گونه کنترل خطا به کنترل خطای گام به گام^{۲۰} موسوم است و صرفاً جهت جلوگیری از افزایش خطای ناشی از آموزش بیش از حد شبکه می باشد و با مفهوم خطای پیش بینی شبکه عصبی کاملاً متفاوت است.

مطابق جدول ۴ در چند مورد خاص جواب های نامعقولی مشاهده می شوند که احتمالاً مربوط به نادیده گرفتن اثر سربرار، خطای اندازه گیری های محلی و یا تقریبی بودن روابط همبستگی می باشد. در دیگر موارد جواب های قابل قبولی بدست آمده است.

جدول ۱- پارامترهای شبکه NN1

مدل NN1	پارامترها
۱	تعداد لایه های مخفی
۴	تعداد نرون ها در لایه مخفی
کاملاً تصادفی توسط برنامه انتخاب شدند	وزن های اولیه
در هر دو لایه میانی و خروجی $Y=\tanh(x)$	تابع انتقال
Train LM	تابع آموزش
$2/489 \times 10^{-4}$	خطای متوسط شبکه

¹⁸ Levenberg-Marquardt algorithm

¹⁹ Over training

²⁰ Epoch



ادامه جدول ۱

وزن های شبکه NN۱ پس از آموزش				
وزن ها از لایه ورودی به لایه مخفی				وزن ها از لایه مخفی به لایه خروجی
-۶/۵۰۷	-۱۲/۶۱۸	-۰/۷۳۷۹۲	-۰/۸۹۵۹۹	-۲۳/۳۲۸
۰/۹۸۹۶۵	۰/۳۲۰۷۷	-۰/۰۲۸۰۱	-۰/۰۳۵۹۸	-۴۳/۸۷۹
-۱/۲۴۱۴	-۰/۲۰۷۰۸	۰/۰۷۱۸۰۹	۰/۰۸۸۲۹	-۱۰۵/۵۴
۱/۳۵۹۲	۰/۱۲۸۶۳	۰/۰۷۷۸۶۴	۰/۰۷۲۹۹۵	۱۰۳/۹۱
۰/۷۷۸۸۸	-۹/۰۰۹۸	۶/۹۹۳۵	۹/۷۲۹۵	
-۵/۶۴۵۳	-۰/۲۱۶۳۵	۰/۰۴۴۱۶۳	۰/۰۱۲۵۳۸	

بیاس ^{۲۱} لایه اول	-۷/۳۵۰۵	۸۸/۵۵۱	-۰/۴۵۶۲۳	-۰/۰۱۳۷۷۹
بیاس لایه دوم			۲۲/۱۸۱	

جدول ۲ - مقایسه چند مدل مختلف از شبکه های عصبی آموزش داده شده

مدل NN								پارامترها
۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۳	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	تعداد لایه های مخفی
۱۳ و ۱۱ و ۷	۵	۷ و ۵	۳	۵ و ۳	۲	۵ و ۳	۴	تعداد نرون ها در لایه مخفی
$\frac{1}{1+e^{-x}}$	$\frac{1}{1+e^{-x}}$	$\frac{1}{1+e^{-x}}$	$\frac{1}{1+e^{-x}}$	tgh(x)	tgh(x)	tgh(x)	tgh(x)	تابع انتقال
۱/۱۶۳	۰/۸۷۵	۱۸/۴۴	۵/۱۰۲	۶۸/۱۸	۷۲/۱۴	۲/۱۹۶	۰/۲۴۸	خطای متوسط شبکه $\times 10^{-3}$

جدول ۳ - داده ها جهت آموزش شبکه

نام زمین لرزه	تاریخ	بزرگی زلزله	σ	σ'	N1(60)	a/g	درصد ریز دانه	پدیده مشاهده شده
Imperial Valley	1979	6.6	72.5	51	7.28	0.6	25	1
Miyagiken-Okai	20/2/1978	6.7	80.4	41.2	17.81	0.12	12	0
Miyagiken-Okai	20/2/1978	6.7	111.8	77.5	17.81	0.14	3	0
Miyagiken-Okai	20/2/1978	6.7	61.8	34.3	7.93	0.12	5	1
Miyagiken-Okai	20/2/1978	6.7	80.4	47.1	20.54	0.12	0	0
Miyagiken-Okai	20/2/1978	6.7	59.8	56.9	18.98	0.14	5	0
Miyagiken-Okai	20/2/1978	7.4	61.8	34.3	10.53	0.32	5	1
Miyagiken-Okai	20/2/1978	7.4	74.6	49.1	7.41	0.2	10	1
Miyagiken-Okai	20/2/1978	7.4	80.4	54.9	7.02	0.24	10	1
Miyagiken-Okai	20/2/1978	7.4	109.9	80.4	33.41	0.28	0	0
Miyagiken-Okai	20/2/1978	7.4	74.6	59.8	10.14	0.24	10	1
Miyagiken-Okai	20/2/1978	7.4	124.6	91.2	23.01	0.24	12	0
Miyagiken-Okai	20/2/1978	7.4	61.8	38.3	38.48	0.32	4	0
Miyagiken-Okai	20/2/1978	7.4	80.4	47.1	20.54	0.24	0	1
Miyagiken-Okai	20/2/1978	7.4	80.4	41.2	15.99	0.24	12	1
Miyagiken-Okai	20/2/1978	7.4	111.8	77.5	14.82	0.24	10	0
Nigata	1964	7.5	130.5	71.6	18.46	0.16	2	0
Nigata	1964	7.5	80.4	38.3	5.46	0.16	10	1
Mino - Owari	1891	7.9	130.5	81.4	14.43	0.32	5	1
Manjil - Astaneh	1990	7.5	108	72	8.32	0.15	2	1

²¹ Bias



Manjil - Astaneh	1990	7.5	90	63	10.14	0.15	5	1
Manjil - Astaneh	1990	7.5	117	76.5	15.99	0.15	20	0
Manjil - Astaneh	1990	7.5	117	76.5	12.61	0.15	5	0
Manjil - Astaneh	1990	7.5	99	67.5	7.28	0.15	1	1
Astaneh	1990	7.5	117	76.5	5.72	0.15	50	0
Astaneh	1990	7.5	90	63	7.54	0.15	1	1
Astaneh	1990	7.5	99	67.5	15.21	0.15	2	1
Astaneh	1990	7.5	99	67.5	11.05	0.15	5	1
Kanto	1923	7.9	141.3	102	1.3	0.2	14	1
Kanto	1923	7.9	71.6	69.7	3.51	0.2	22	1
Tokachi - Oki	1968	7.9	74.6	45.1	9.49	0.2	20	1
Tokachi - Oki	1968	7.9	111.8	72.6	43.03	0.23	5	0
Tohnankai	1944	8	50	45.1	3.77	0.2	30	1
Tohnankai	1944	8	89.3	59.8	13.52	0.2	10	1
Alasktohnaa	1964	8.3	56.9	53	12.74	0.16	10	1
Chibakenchubu	1980	6.1	247.2	105.9	4.42	0.1	27	0
Chibakenchubu	1980	6.1	105.9	56.9	8.58	0.1	13	0
Guatemala	1976	7.5	72.6	28.4	12.74	0.14	0.3	1
San Fernando	1971	6.4	167.6	166.1	12.74	0.5	62	1
San Fernando	1971	6.4	200.5	182.6	13.72	0.5	50	1
San Fernando	1971	6.4	260.3	212.5	23.54	0.5	18	0
San Fernando	1971	6.4	272.3	218.5	38.64	0.5	52	0
San Fernando	1971	6.4	290.3	227.5	43.14	0.5	68	0
San Fernando	1971	6.4	125.7	119.7	6.28	0.5	64	1
San Fernando	1971	6.4	164	138.9	1.38	0.5	71	1
San Fernando	1971	6.4	194.5	154.2	3.54	0.5	49	0
San Fernando	1971	6.4	209.5	161.7	19.62	0.5	38	0
San Fernando	1971	6.4	227.4	170.7	17.46	0.5	49	0
San Fernando	1971	6.4	251.4	182.7	10.78	0.5	56	0
San Fernando	1971	6.4	290.3	202.1	18.64	0.5	51	0
San Fernando	1971	6.4	89.8	86.8	1.38	0.5	74	1
San Fernando	1971	6.4	287.3	190.2	31.38	0.5	64	0
San Fernando	1971	6.4	122.7	119.7	3.92	0.5	61	1
San Fernando	1971	6.4	143.6	130.2	3.92	0.5	43	1
San Fernando	1971	6.4	191.5	154.2	41.2	0.5	25	0
San Fernando	1971	6.4	221.4	152.7	27.46	0.5	52	0
San Fernando	1971	6.4	272.3	188.2	17.66	0.5	56	0
San Fernando	1971	6.4	269.3	190.2	13.72	0.5	47	0
San Fernando	1971	6.4	98.8	95.8	3.92	0.5	52	1
San Fernando	1971	6.4	113.7	103.3	1.38	0.5	65	1
San Fernando	1971	6.4	128.7	110.8	5.88	0.5	83	1
San Fernando	1971	6.4	200.5	146.7	1.38	0.5	52	0
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	115	83.6	1.5	0.24	21	1
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	120.6	81.8	2.4	0.24	3	1
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	108.9	66.2	3	0.16	57	1
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	128.8	87.1	9.4	0.29	7	1
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	154.5	100.6	20	0.29	12	1
Sangnenay Earthquak	1988	5.9	50.8	43.1	8.52	0.25	15	0
Sangnenay Earthquak	1988	5.9	70.4	53.1	9.82	0.25	15	0
Sangnenay Earthquak	1988	5.9	90	63	5.52	0.25	15	1
Sangnenay Earthquak	1988	5.9	109.6	72.8	11.42	0.25	15	0



جدول ۴ - داده های آزمایش شده

نام زمین لرزه	تاریخ	بزرگی زلزله	σ	σ'	N1(60)	a/g	درصد ریز دانه	پدیده مشاهده شده	نتیجه شبکه	خطای مطلق
Imperial Valley	1979	6.6	72.5	51	56.16	0.6	11	0	0.00158	0.0015831
Miyagiken-Okai	20/2/1978	6.7	118.7	66.7	15.99	0.1	0	0	0	0
Miyagiken-Okai	20/2/1978	6.7	61.8	41.2	25.61	0.12	7	0	0	0
Miyagiken-Okai	20/2/1978	6.7	93.2	68.7	14.17	0.14	20	0	0.12632	0.12632
Miyagiken-Okai	6/12/1978	7.4	136.4	77.5	25.22	0.24	17	0	0	0
Miyagiken-Okai	6/12/1978	7.4	130.5	86.3	29.38	0.24	5	0	0.08243	0.082429
Miyagiken-Okai	6/12/1978	7.4	108.9	70.6	12.48	0.24	4	1	0.9998	0.0002
Miyagiken-Okai	6/12/1978	7.4	59.8	56.9	18.98	0.28	5	1	1	0
Miyagiken-Okai	6/12/1978	7.4	97.1	66.7	31.98	0.24	0	0	0	0
Miyagiken-Okai	6/12/1978	7.4	111.8	66.7	24.05	0.2	10	0	0	0
Miyagiken-Okai	6/12/1978	7.4	103	83.4	12.87	0.24	5	1	1	0
Fukui	1948	7.3	128.5	63.8	32.76	0.4	0	0	0	0
Nigata	1964	7.5	184.4	105.9	24.83	0.16	2	0	0	0
Nigata	1964	7.5	111.8	65.7	43.55	0.16	0	0	0	0
Mino - Owari	1891	7.9	122.6	93.2	13.39	0.2	10	1	1	0
Manjil - Astaneh	1990	7.5	81	58.5	10.48	0.15	4	1	1	0
Manjil - Astaneh	1990	7.5	81	58.8	11.83	0.15	5	1	1	0
Manjil - Astaneh	1990	7.5	81	58.5	11.83	0.15	4	1	1	0
Manjil - Astaneh	1990	7.5	108	72	9.49	0.15	6	1	0.99998	2E-05
Manjil - Astaneh	1990	7.5	72	54	6.76	0.15	10	1	1	0
Astaneh	1369	7.5	99	67.5	3.64	0.15	60	0	0.90759	0.90759
Astaneh	1369	7.5	90	63	8.84	0.15	1	1	1	0
Kanto	1923	7.9	149.1	100.1	2.6	0.2	33	0	-1	1
Tokachi - Oki	1968	7.9	74.6	41.2	11.83	0.23	5	1	1	0
Tohnankai	1944	8	64.7	35.3	2.08	0.2	27	1	1	0
San Fernando	1971	6.4	179.6	131.7	14.12	0.5	61	0	0.01395	0.013951
San Fernando	1971	6.4	209.5	146.7	21.58	0.5	46	0	-0.00191	0.0019144
San Fernando	1971	6.4	218.5	155.7	3.92	0.5	55	0	0.0022	0.0021967
San Fernando	1971	6.4	239.4	166.2	9.8	0.5	38	0	0.00119	0.001192
San Fernando	1971	6.4	257.4	175.2	19.62	0.5	54	0	0.00193	0.0019317
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	131.9	117.1	11	0.24	6	0	0	0
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	45.6	36.4	2.6	0.14	20-25	1	0.99999	1E-05
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	44.1	39.5	3	0.14	20-26	1	1	0
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	60.4	51.8	5	0.14	20-27	0	0.98919	0.98919
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	108.9	66.2	3.4	0.16	57	1	1	0
Loma Prieta Earthquak	1981	7.1	108.9	66.2	3.8	0.16	57	1	0.99865	0.00135
Sangnenay Earthquak	1988	5.9	129.3	82.6	13.02	0.25	15	0	-0.16675	0.16675
Sangnenay Earthquak	1988	5.9	148.9	92.4	15.54	0.25	15	0	0.30201	0.30201
Sangnenay Earthquak	1988	5.9	168.5	102.2	15.54	0.25	15	0	0.12266	0.12266

خلاصه و نتیجه گیری:

در این مقاله قابلیت شبکه های عصبی در پیش بینی پتانسیل روانگرایی مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای بزرگی و شتاب زلزله، تنش کل و موثر، عدد SPT اصلاح شده و درصد ریزدانه خاک به عنوان پارامترهای موثر بر روانگرایی در نظر گرفته شده اند و شبکه عصبی ارائه شده در این مقاله رابطه ای منطقی میان این پارامترها و پتانسیل روانگرایی منطقه برقرار ساخت. پتانسیل روانگرایی با کمیت های صفر و یک مشخص گردیده اند بطوریکه صفر نشان دهنده عدم وقوع روانگرایی و یک بیانگر وقوع روانگرایی است. به منظور آزمایش شبکه طراحی شده آن دسته از اطلاعاتی که قبلاً در آموزش شبکه مورد استفاده قرار نگرفته بودند، به شبکه ارائه شده و توانایی شبکه عصبی در پیش بینی پتانسیل روانگرایی مورد تایید قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گردید:



- ۱- خطای آموزش نسبت به موارد مشابه در سالهای گذشته تا حد زیادی کاهش یافته است. بطوریکه از مقدار $۴/۳۶۳ \times ۱۰^{-۳}$ در مقاله حائری و کریمی به $۲/۴۸۹ \times ۱۰^{-۴}$ تنزل پیدا کرده است.
- ۲- به نظر می رسد وجود برخی جواب های نامعقول (خطای بیش بینی در زلزله های Astane و Loma Prieta، Kanto) بر اثر وجود خطاهای اندازه گیری در مناطق مختلف یا نادیده گرفتن اثر سربار باشد.
- ۳- به استثنای سه مورد فوق، ماکزیمم خطای مطلق ۰/۳ است.
- ۴- تابع انتقال در عملکرد شبکه عصبی تا حد زیادی تاثیر گذار است.
- ۵- افزایش لایه های مخفی تاثیر چندان مطلوبی در کاهش خطا ندارد بلکه باعث افزایش زمان محاسبه نیز می شود.
- ۶- خطای متوسط شبکه نسبت به تعداد نرونها در لایه میانی حساسیت زیادی دارد.

سپاسگذاری:

محققین بر خود لازم می دانند که از همکاری های بی دریغ اعضاء محترم مرکز پژوهشهای شورای اسلامی شهر مشهد تشکر و قدردانی کنند.

منابع:

- ۱- سید مجد الدین میر حسینی؛ دینامیک خاک، انتشارات موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
- ۲- حائری - سید محسن، کریمی - مسعود (۱۳۷۹)؛ "استفاده از روش شبکه عصبی در ارزیابی بروز استعداد روانگرایی". سومین کنفرانس بین المللی مهندسی زلزله، تهران ۱۳۷۹
- 3- Baziar, M. H., and Nilipour, N.(2003). "Evaluation of Liquefaction Potential Using Neural-Networks and CPT Result", Journal of Soil Dynamic and Earth. Engrg. 23(2003) 631-636
- 4- Chalie, W.A. Doehring, D. O., Brislawn. J. P., Scott. C.E., and Butler, L.W. (1994). "Liquefaction evaluation with the CSU piezovane."proc., 13th Int. conf. on Soil Mech and Found. Engrg., Vol. 1, 197-200.
- 5- Goh, A.T.C. (1995)."Seismic Liquefaction Potential Assessed by Neural Networks." Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 120(9), 1467-1480.
- 6- Goh, A.T.C. (1996)."Neural Network Modeling of CPT Seismic Liquefaction Data" Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 122(1), 70-73.
- 7- Ishihara, K. (1985), "Stability of natural deposits during earthquakes." Proc., 11th Int. Conf. on Soil Mech. And Found Engrg., A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, Vol. 321-376.
- 8- Kayen, R.E., Mitchell, J.K. Seed. R.B., Lodge, A., Nishio. S., and Coutinho, R. (1992). "Evaluation SPT, CPT, and Wavebased methods for liquefaction potential assessments using Loman prieta data." Proc., 4th Japan U.S. Workshop on Earthquake Resistant Des. of Lifetime Facilities and Countermeasures for soil Liquefaction. NCEER-92-0019, Nat. Ctr. For Earthquake Engrg., Buffalo, N.Y., 177-192.
- 9- Mitchell, J. K. et al. (1994). "In situ test results from four Loma Prieta Earthquake liquefaction sites; SPT., CPT. DMT. And shear wave velocity." Rep. No. UCBIIEERC-94/04. Earthquake Engrg. Res. Ctr., Univ. of California, Berkeley. California.
- 10- Schmertmann, J. H.,(1978). "Guidelines For CPT Performance and Design" Report No. FHWA-TS-78-209, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- 11- Seed, H.B., and De Alba (1996). "Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands." Proc. INSITU' 86, ASCE Spec. Conf. on Use of In Situ Testing in Geotech. Engrg., Spec. Publ. No. 6, ASCE, New York, N.Y.
- 12- Seed, H. B., and Idriss, I. M. (1971). "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(SM9), Table 1, P.1262.
- 13- Tokimatsu, K., Kojima, H., Kuwayama, S., Alie. A., and Midirikawa. S. (1994). "Liquefaction - Induced damageto buildings in 1990 Luzon Erthquake." J. Geotechnical Engrg., ASCE, 120(2), 290-307.
- 14- Shibata, T. and Teparaksa, W. (1988). "Evaluation of Liquefaction Potential of Soils Using Cone Penetration Tests." Soils and Foundation, Tokyo, Japan, 28(2), 49-60
- 15- Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y.(1983). "Emprical Correlation of Soil Liquefaction based on SPT N-Value and Fines Content." Soils and Foundation, 23(4), 56-74.