

# ارزیابی استعداد بروز روانگرایی با استفاده از روش شبکه عصبی

مسعود کریمی  
دانشجوی دکتری

سید محسن حائری  
دانشیار

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

## چکیده

یافتن روشی قابل اعتماد جهت پیش بینی پتانسیل روانگرایی در خاک‌های ماسه‌ای اشباع تحت اثر زلزله موضوع اصلی مقاله می باشد. شن پارامتر بزرگی و شتاب زلزله، تنش کل و مؤثر، عدد SPT اصلاح شده و درصد ریزدانه خاک به عنوان پارامترهای مؤثر بر پتانسیل روانگرایی مدنظر قرار گرفته و اطلاعاتی که شامل وضعیت این پارامترها و میزان روانگرایی مشاهده شده در مناطق مختلف جهان بوده، گردآوری شده است. شبکه های عصبی مصنوعی به منظور پردازش اطلاعات و یافتن رابطه بین پارامترهای مؤثر و میزان پتانسیل روانگرایی به کار رفته است. ویژگی خاص این تحقیق در آن است که پتانسیل روانگرایی به صورت یک کمیت پیوسته در نظر گرفته شده و نتایج نشان می دهد که شبکه عصبی به کار رفته تا حد بسیار خوبی قادر به پیش بینی این پتانسیل به صورت یک کمیت پیوسته می باشد. همچنین در این تحقیق برای اولین بار اطلاعات مربوط به شهر آستانه (زلزله ۱۳۶۹ منجیل) با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی مورد پردازش قرار گرفته و بر این اساس معیار وقوع یا عدم وقوع پدیده در سطح مورد ارزیابی واقع شده است.

## *Evaluation of Liquefaction Potential Using Artificial Neural Network*

S. M. Haeri  
Associate Professor

M. Karimi  
Ph.D. Student

Civil Engineering Department,  
Sharif University of Technology

### Abstract

*Finding a reliable method for prediction of liquefaction potential in saturated sandy soils is the main subject of this paper. The earthquake magnitude, horizontal peak acceleration, total and effective stresses, modified SPT value and fines content of the soil under consideration, are assumed as six parameters which have effect on liquefaction potential.*

*The informations containing such parameters from places where liquefaction damages have been observed from different parts of the world have been gathered. In order to find relationship between liquefaction potential and the effective parameters, artificial neural network has been used. In this research, liquefaction potential has been considered as a continuous parameter. The results of this study show that artificial neural network is capable of predicting liquefaction potential as a continuous parameter. Also in this research, the data from Astaneh, Iran (liquefaction site during Manjil Earthquake, 1990) has been processed by artificial neural network to predict the ground surface damage associated with the liquefaction.*

## مقدمه

پس از زلزله سال ۱۹۶۴ نیکاتادر ژاپن و آلاسکا در امریکا که روانگرایی لایه آبرفتی باعث ایجاد خسارت فراوانی گشت، این پدیده مورد توجه محققین قرار گرفت و تلاش‌های زیادی در جهت شناخت پدیده و عوامل مؤثر بر آن صورت پذیرفت. در بسیاری از زلزله‌های به وقوع پیوسته در جهان، روانگرایی باعث بروز خرابی‌های قابل توجهی در ساختمان‌ها و تأسیسات شده است. در ایران برای اولین بار به این پدیده در زلزله ۱۳۶۹ منجیل توجه شد. این پدیده در شهر آستانه و روستاهای اطراف خرابی‌هایی را به بار آورد [۱ و ۲]. از آن زمان تاکنون تحقیقات گسترده و پیوسته‌ای در زمینه این پدیده توسط حائری و همکاران انجام شده است [۳، ۴ و ۵]. جهتگیری تحقیقات انجام شده تاکنون به این سمت بوده است که بتوان وقوع پدیده روانگرایی در یک منطقه خاص بر اثر وقوع زلزله را پیش‌بینی کرد. اگر چه این پدیده از زوایای مختلفی بررسی شده است، لیکن روش‌های پیش‌بینی وقوع روانگرایی را می‌توان به دو دسته عمده تقسیم کرد. دسته اول روش‌های مبتنی بر تحلیل دینامیکی طیف زلزله و محاسبه تنش برشی وارده به المان خاک و مقایسه این تنش با مقاومت برشی آن المان در آزمایشات تناوبی می‌باشد. این روش‌ها اگر چه نسبتاً دقیق بوده و از اصول تئوری قابل اعتمادی برخوردار می‌باشند ولی در عمل کاربرد آنها به چند دلیل محدود می‌باشد. از جمله این دلایل می‌توان به مشکل بودن تهیه نمونه دست نخورده از خاک‌های ماسه‌ای سست و نیمه متراکم اشباع و هزینه نسبتاً بالای انجام آزمایشات دینامیکی اشاره کرد. دسته دیگر روش‌ها بر پایه مشاهدات و تجربیات قبلی استوار می‌باشند. در این روش‌ها تنش وارده به المان خاک در حین زلزله به جای استفاده از روش‌های تحلیلی با استفاده از فرضیات ساده‌کننده تنها از یک رابطه محاسبه می‌شود. مقاومت برشی المان خاک نیز براساس انجام آزمایشات ساده محلی و با استفاده از مشاهدات قبلی انجام شده در محل‌هایی که قبلاً زلزله رخ داده و خاک در معرض وقوع پدیده روانگرایی قرار گرفته است، تخمین زده می‌شود. در نهایت مقایسه بین تنش برشی وارده و مقاومت برشی المان، نشان‌دهنده وقوع یا عدم وقوع پدیده می‌باشد. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های پیشنهادی توسط سید و همکاران (۱۹۸۳) و تاتسوکا و همکاران (۱۹۸۲) و ایشاهارا (۱۹۷۹) اشاره کرد. درحقیقت در

این روش‌ها سعی شده است تا رابطه‌ای بین پتانسیل روانگرایی و عوامل مؤثر بر آن از جمله پارامترهای زلزله و یا پارامترهای مقاومتی خاک برقرار شود. محققین دیگر نیز بدون آنکه روش جامعی جهت تعیین وضعیت روانگرایی پیشنهاد دهند، سعی نموده‌اند تا رابطه‌ای بین عوامل مؤثر بر روانگرایی را بیابند. از جمله کریستیان و سوئیگر (۱۹۸۵) و لیاثو و همکاران (۱۹۸۸) رابطه‌ای بین عدد نفوذ استاندارد SPT و احتمال وقوع روانگرایی براساس روش‌های آماری ارائه داده‌اند. استارک و همکاران (۱۹۹۵) نیز چنین رابطه‌ای را بین CPT و پتانسیل روانگرایی ارائه نموده‌اند. در تمام تحقیقات فوق‌الذکر آنچه که به عنوان اطلاعات پایه به کار رفته است، اطلاعات حاصل از حفاری گمانه‌ها در مناطقی است که دچار روانگرایی شده‌اند. اگر چه این روش‌ها به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرند، با این حال می‌توان از روش‌های دیگری نیز بهره برد تا بتوان بر ضعف‌های احتمالی این روش‌ها فائق آمد. در این راه می‌توان از شبکه‌های عصبی مصنوعی بهره گرفت.

شبکه‌های عصبی مصنوعی در حقیقت ابزاری می‌باشد که عملیات پردازش اطلاعات را حتی با وجود پارامترهای مختلف مؤثر و پیچیدگی روابط موجود به خوبی انجام می‌دهد. در مرجع [۱۲] با استفاده از یک سری اطلاعات در دسترس، سعی شده است تا با استفاده از شبکه‌های عصبی رابطه‌ای بین پتانسیل روانگرایی و عوامل مؤثر بر آن مانند بزرگی و شتاب زلزله، تنش کل و مؤثر المان خاک، عدد SPT، درصد ریزدانه و اندازه متوسط دانه‌های خاک برقرار نماید. نتایج این تحقیق نشان داده است که شبکه‌های عصبی، ابزاری مناسب جهت این تحقیق بوده است. پتانسیل روانگرایی در تحقیق مذکور در مرجع [۱۲] به صورت صفر (عدم وقوع) و یا یک (وقوع) تعریف شده است. در تحقیق حاضر سعی شده است با استفاده از اطلاعات بکار رفته در مرجع مذکور پتانسیل روانگرایی به صورت یک کمیت پیوسته (از صفر تا یک) تعریف شود و کارایی شبکه عصبی در پیش‌بینی این پتانسیل به صورت کمیت پیوسته (و نه تنها به صورت وقوع یا عدم وقوع) بررسی گردد. علاوه بر آن، از یک سری اطلاعات به دست آمده از شهر آستانه (مربوط به زلزله ۱۳۶۹ منجیل) نیز جهت این مطالعات استفاده شده است.

## پارامترهای مؤثر بر پتانسیل روانگرایی

پارامترهای مؤثر در پتانسیل روانگرایی را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم بندی کرد.

۱ - پارامترهای مربوط به زلزله: تقریباً در همه تحقیقات دو پارامتر شتاب و بزرگی زلزله مدنظر قرار گرفته‌اند. بزرگی زلزله در مقیاس ریشتر بوده و منظور از شتاب زلزله، حداکثر شتاب افقی در نزدیکی سطح زمین (شتاب ثبت شده توسط شتابنگاشت‌ها) می‌باشد. حداکثر شتاب افقی در حقیقت نشان دهنده نیرو یا تنش برشی وارد بر المان و بزرگی زلزله نیز نمایشگر مدت تداوم این شتاب و یا به عبارتی انرژی زلزله می‌باشد. در آزمایشات دینامیکی بزرگی زلزله به صورت تعداد سیکل بارگذاری دینامیکی جایگزین می‌شود.

۲ - پارامترهای مربوط به خاک: پارامترهای مربوط به تنش خاک یعنی تنش کل و تنش مؤثر از پارامترهای مؤثر در پدیده می‌باشند که تفاوت این دو می‌تواند نشانگر سطح آب زیرزمینی باشد. پارامتر مؤثر دیگر، پارامتر مقاومتی خاک است. در خاک ماسه‌ای مقاومت برشی خاک توسط درصد تراکم نسبی و یا زاویه اصطکاک داخلی بیان می‌شود. اعداد به دست آمده از آزمایشات صحرایی SPT و یا CPT نیز می‌تواند نمایانگر مقاومت برشی خاک ماسه‌ای باشد. در اکثر تحقیقات انجام شده تعداد ضربات SPT به عنوان پارامتر مقاومتی خاک مدنظر قرار گرفته است. در این تحقیق نیز به علت وجود اطلاعات بیشتر از آزمایشات SPT از این پارامتر استفاده می‌شود.

علاوه بر پارامتر مقاومتی، دانه بندی خاک های ماسه‌ای نیز نقش مؤثری در پتانسیل روانگرایی دارد. اصولاً روانگرایی بر اثر افزایش سریع فشار آب حفره‌ای در خاک ماسه‌ای اشباع رخ می‌دهد. اگر خاک ماسه‌ای حاوی مقادیر نسبتاً زیادی ریزدانه (رد شده از الک ۲۰۰) باشد، به دلیل وجود کشش‌های سطحی بین آب و دانه‌های خاک و چسبندگی مواد ریزدانه پتانسیل روانگرایی خاک کاهش می‌یابد. در تحقیقات انجام گرفته دو پارامتر درصد مواد ریزدانه و اندازه متوسط دانه‌ها ( $D_{50}$ ) به عنوان نماینده دانه بندی خاک‌ها به کار رفته‌اند. با این حال بررسی‌ها نشان داده است که درصد ریزدانه می‌تواند رابطه بهتری با پتانسیل روانگرایی از خود نشان دهد [۱۳]. از طرف دیگر این دو پارامتر از هم

مستقل نبوده و تا حد زیادی به هم وابسته می‌باشند. از این رو درصد ریزدانه‌ها به عنوان ششمین پارامتر مؤثر در پتانسیل روانگرایی در این تحقیق برگزیده شد.

## آماده سازی اطلاعات

اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق می‌بایست دارای شرایط زیر باشد:

- ۱ - شامل پارامترهای مؤثر در پدیده روانگرایی و پتانسیل روانگرایی مشاهده شده در محل باشد.
- ۲ - دارای تنوع کافی در مورد هر یک از پارامترها باشد.
- ۳ - پتانسیل روانگرایی به صورت کمی پیوسته و یا نیمه پیوسته ثبت شده باشد.

گرچه در سال‌های اخیر اطلاعات نسبتاً زیادی فراهم آمده است، ولی در اکثر آنها، پتانسیل روانگرایی به صورت بروز و یا عدم بروز ثبت شده و قابل کاربرد در این تحقیق نبودند. با این حال دو دسته اطلاعات که حاوی شرایط لازم بودند انتخاب گردیدند. این دو دسته اطلاعات عبارت بودند از:

- ۱ - اطلاعات مربوط به شهر آستانه پس از زلزله ۱۳۶۹ منجیل (حائری و همکاران ۱۳۷۲ و ۱۳۷۶)
- ۲ - اطلاعات منتشر شده توسط تاکیماتسو و یوشیمی (۱۹۸۳)

اطلاعات شهر آستانه، شامل حفاری ۱۶ گمانه اکتشافی به عمق متوسط ۱۵ متر و انجام آزمایش SPT و دانه بندی بر روی نمونه‌های تهیه شده بود. بزرگی زلزله ۷/۵ ریشتر بوده شتاب افقی در آستانه ۰/۱۵g در نظر گرفته شده است و وضعیت روانگرایی در محل هر یک از گمانه‌ها به صورت کیفی گزارش شده است [۴ و ۵]. اطلاعات جمع‌آوری شده توسط تاکیماتسو و یوشیمی شامل نتایج حفاری گمانه‌های نسبتاً زیادی در نقاط مختلف جهان پس از وقوع زلزله می‌باشند. هر سری از اطلاعات حاوی پارامترهای مورد نیاز مربوط به زلزله و همچنین پارامترهای خاک در محل گمانه بوده و پتانسیل روانگرایی نیز به صورتی که توضیح داده خواهد شد، در مورد هر گمانه تعریف شده است.

قبل از استفاده مستقیم لازم بود تا هر دو دسته اطلاعات همگون شده و در صورت لزوم اصلاح شوند. پارامترهای بزرگی و شتاب زلزله، تنش کل و مؤثر خاک و درصد ریزدانه از هر دو سری اطلاعات بدون تغییر استخراج شده و منظور گردید. در مورد مقادیر

SPT لازم بود تا ضرایب تصحیح فشار روبار و انرژی عمل شده و در حقیقت  $N_1(60)$  (مقدار عدد SPT در فشار مؤثر روبار  $1 \text{ kg/cm}^2$  و با فرض آنکه  $60\%$  انرژی چکشی منتقل شده است) در محاسبات منظور گردد.

آزمایشات SPT مربوط به اطلاعات شهر آستانه با استفاده از سیستم کابل و قرقره جهت صعود چکش با دو دور چرخش قرقره انجام شده و اعداد SPT مربوط به اطلاعات جمع آوری شده توسط تاکیماتسو و یوشیمی براساس روش سقوط آزاد وزنه در ژاپن تصحیح شده اند. تاکیماتسو و یوشیمی رابطه زیر را برای ضریب اصلاح فشار سر بار پیشنهاد کرده و به کار برده اند.

$$C_{N1} = \frac{1.7}{0.7 + \sigma'_0} \quad \sigma'_0 = (\text{kg/cm}^2) \text{ تنش مؤثر}$$

باتوجه به نزدیکی بسیار زیاد روابط پیشنهادی برای  $C_{N1}$  [۱۴]، رابطه فوق به منظور اصلاح اعداد SPT نسبت به تنش مؤثر روبار انتخاب شد و از آنجا که در روش استفاده از کابل و قرقره با دو دور چرخش قرقره  $(60\%)$  و در روش سقوط آزاد وزنه در ژاپن  $(78\%)$  انرژی چکش منتقل می گردد [۱۵]، ضرایب تصحیح انرژی زیر برای هر دسته اطلاعات در نظر گرفته شد.

$$C_{ER} = \frac{60}{60} = 1 \quad \text{برای اطلاعات شهر آستانه:}$$

برای اطلاعات جمع آوری شده توسط تاکیماتسو و یوشیمی:

$$C_{ER} = \frac{78}{60} \approx 1.3$$

آخرین پارامتری که می بایست مورد تصحیح قرار می گرفت پتانسیل روانگرائی بود. پتانسیل روانگرائی اطلاعات دسته دوم (تاکیماتسو و یوشیمی) در چهار درجه به صورت زیر تقسیم بندی شده است.

۱ - روانگرائی شدید: مناطقی که علاوه بر جوشش ماسه، نشست زمین بیش از  $2\%$  ضخامت لایه روانگرا و یا بیش از  $20$  سانتیمتر برای ساختمان های سنگین گزارش شده است.

۲ - روانگرائی متوسط: مناطقی که علاوه بر جوشش ماسه، نشست زمین کمتر از  $2\%$  ضخامت لایه روانگرا و یا کمتر از  $20$  سانتیمتر برای ساختمان های سنگین گزارش شده است.

۳ - مناطق حاشیه ای: مناطقی که در مرز ناحیه روانگرا

شده و غیر روانگرا واقع شده اند.

۴ - مناطق غیر روانگرا: مناطقی که در آنها جوشش ماسه یا نشست زمین گزارش نشده است.

به منظور کمی نمودن مقادیر پتانسیل روانگرائی برای هر کدام از حالات چهارگانه فوق یک بازه در نظر گرفته شد و در هر بازه مقدار میانگین به عنوان نماینده بازه منظور شد (جدول ۱).

مقادیر ارائه شده در جدول (۱) متناسب با بازه انتخابی برای پتانسیل روانگرائی (صفر تا یک) انتخاب شده و بدیهی است که تفسیر نتایج نیز باتوجه به تعاریف جدول (۱) امکان پذیر می باشد. همچنین باید توجه داشت که پتانسیل روانگرائی مورد بحث، مربوط به شرایط سطح زمین می باشد و در حقیقت مبین پتانسیل ظهور و یا عدم ظهور آثار روانگرائی در سطح است. بدین ترتیب پتانسیل روانگرائی اطلاعات شهر آستانه نیز مطابق جدول (۱) تعریف شده و نتایج نهائی در جدول های (۲) و (۳) آمده است. ستون های دوم تا هفتم این جداول حاوی پارامترهای مؤثر بر پتانسیل روانگرائی و ستون هشتم پتانسیل روانگرائی نسبت داده شده به هر کدام از گمانه هاست. ذکر این نکته ضروری است که پارامترهای هر گمانه مانند تنش کل و یا تنش مؤثر به صورت میانگین برای لایه قابل روانگرائی تعریف شده اند.

### شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده

شبکه عصبی مورد استفاده در این تحقیق یک شبکه عصبی مستقیم سه لایه ای می باشد. اصولاً شبکه های عصبی ابزاری کارا جهت پردازش اطلاعات در زمینه های مختلف می باشند. به طور مثال در این تحقیق از شبکه عصبی انتظار می رود تا رابطه بین پارامترهای مؤثر بر پتانسیل روانگرائی و این پتانسیل را بیابد. بدین منظور اطلاعات در دسترس به دو بخش تقسیم شده اند. اطلاعات مندرج در جدول (۲) به منظور ارائه به شبکه عصبی و به عبارتی آموزش آن به کار می روند و سپس اطلاعات مندرج در جدول (۳) جهت برآورد کارآئی شبکه و یا به عبارت دیگر آزمایش شبکه عصبی به کار رفته اند.

### آموزش شبکه عصبی

جهت آموزش شبکه عصبی روش (Back Propagation) مورد استفاده قرار گرفته و علاوه بر آن جهت تسریع در همگرائی وزن ها از جمله ممنتیم نیز با ضریب  $(0.5)$

استفاده شده است (جهت کسب اطلاعات بیشتر به مرجع [۱۶] مراجعه شود). کلیه وزن‌های اولیه شبکه عصبی معادل ۰/۰۵ در نظر گرفته شدند. ضریب همگرایی مورد استفاده برای تعیین وزن‌های منتهی به لایه خروجی (۰/۰۰۵) و برای وزن‌های منتهی به لایه میانی (۰/۰۰۱) در نظر گرفته شده است. به طور معمول در شبکه‌های عصبی مستقیم چند لایه‌ای از توابع انتقال زیر استفاده می‌شود:

$$y = \operatorname{tgh}(x) \quad y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

به منظور تعیین تابع بهینه، عملیات آموزش شبکه عصبی با سه ترکیب مختلف از توابع انتقال در نرون‌های لایه میانی و خروجی انجام و نتیجه در جدول (۴) منعکس شده است. مقدار خطای متوسط شبکه عصبی از رابطه زیر محاسبه شده است.

$$E = \frac{1}{n} \sum_i (P_{Ni} - P_{oi})^2$$

$P_{Ni}$  = پتانسیل روانگرایی پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی (ستون نهم جدول ۲)  
 $P_{oi}$  = پتانسیل روانگرایی مشاهده شده (ستون هشتم جدول ۲)

$n$  = تعداد اطلاعات به کار رفته جهت آموزش شبکه عصبی (۴۰ عدد)

همانطور که در جدول (۴) دیده می‌شود در حالتی که تابع انتقال در نرون‌های لایه میانی  $y = \operatorname{tgh}(x)$  و در نرون‌های لایه خروجی  $y = 10\operatorname{tgh}(x)$  می‌باشد، شبکه کمترین خطای متوسط را خواهد داشت.

همچنین به منظور تعیین تعداد بهینه نرون‌ها در لایه میانی نیز خطای متوسط شبکه عصبی برای تعداد مختلفی نرون در لایه پنهان تعیین و در جدول (۵) منعکس شده است. اگر چه خطای متوسط شبکه برای حالات مختلف چندان متغیر نیست، ولی همانطور که دیده می‌شود شبکه عصبی M4-A با داشتن چهار نرون در لایه میانی پس از (۴۰۳) دور آموزش دارای خطای متوسطی معادل  $(10^{-2} \times 4/363)$  است که کمترین مقدار خطا می‌باشد. در شکل (۱) نمودار تغییرات خطای متوسط شبکه عصبی M4-A بر حسب تعداد دور آموزش آمده است. جهت به کارگیری الگوریتم آموزش شبکه عصبی از یک برنامه کامپیوتری به زبان (QBacis)

استفاده شده است. ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در شکل (۲) دیده می‌شود. لازم به ذکر است که زمان صرف شده برای آموزش شبکه عصبی M4-A با یک پردازشگر 486-DX2 معادله ۲۵ دقیقه بوده است.

## ارائه نتایج

پس از اتمام فرآیند آموزش شبکه عصبی M4-A و تعیین وزن‌های مناسب این شبکه، اطلاعات مندرج در جدول (۲) به شبکه عصبی ارائه شده و پتانسیل روانگرایی پیش‌بینی شده توسط شبکه (ستون نهم جدول فوق) حاصل شده است. این مقادیر قابل مقایسه با پتانسیل روانگرایی مشاهده شده (ستون هشتم جدول فوق) می‌باشند. به منظور مقایسه بهتر نتایج حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی برای وضعیت‌های چهارگانه روانگرایی در اشکال (۲ تا ۶) آمده است. همانطور که دیده می‌شود جز در چند مورد، شبکه عصبی به خوبی پتانسیل روانگرایی را پیش‌بینی نموده است. از آنجا که این سری اطلاعات قبلاً برای آموزش شبکه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، انتظار می‌رفت که نتایج خوبی از خود نشان دهند. از این رو اطلاعات جدول (۲) که قبلاً به شبکه عصبی ارائه نشده‌اند به منظور آزمایش آن به کار می‌روند. نتایج حاصل از پیش‌بینی شبکه عصبی M4-A در مورد اطلاعات جدول (۲) در ستون نهم همان جدول و همچنین در اشکال (۷ تا ۱۰) دیده می‌شود. در اینجا نیز شبکه عصبی جز چند مورد خاص در بقیه موارد وضعیت روانگرایی را به خوبی پیش‌بینی نموده است. بیشترین خطای پیش‌بینی در هر دو قسمت آموزش و آزمایش شبکه مربوط به وضعیت‌های روانگرایی شدید و یا متوسط می‌باشد و پیش‌بینی وضعیت مناطق غیر روانگرا و یا حاشیه‌ای با خطای بسیار کمی (تنها یک مورد) توأم است. در بعضی موارد پتانسیل روانگرایی به صورت عددی کوچکتر از صفر نتیجه شده است که علت آن بزرگی عدد SPT و یا فشار روبار می‌باشد.

## خلاصه و نتیجه گیری

در این تحقیق قابلیت شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی پتانسیل روانگرایی به صورت یک کمیت پیوسته مورد بررسی قرار گرفت. بزرگی و شتاب زلزله، تنش کل و مؤثر، عدد SPT اصلاح شده و درصد ریزدانه خاک به عنوان پارامترهای مؤثر بر پتانسیل روانگرایی در نظر

استفاده در نرون های لایه میانی  $tgh(x)$  و در نرون های لایه خروجی  $10tgh(x)$  است.

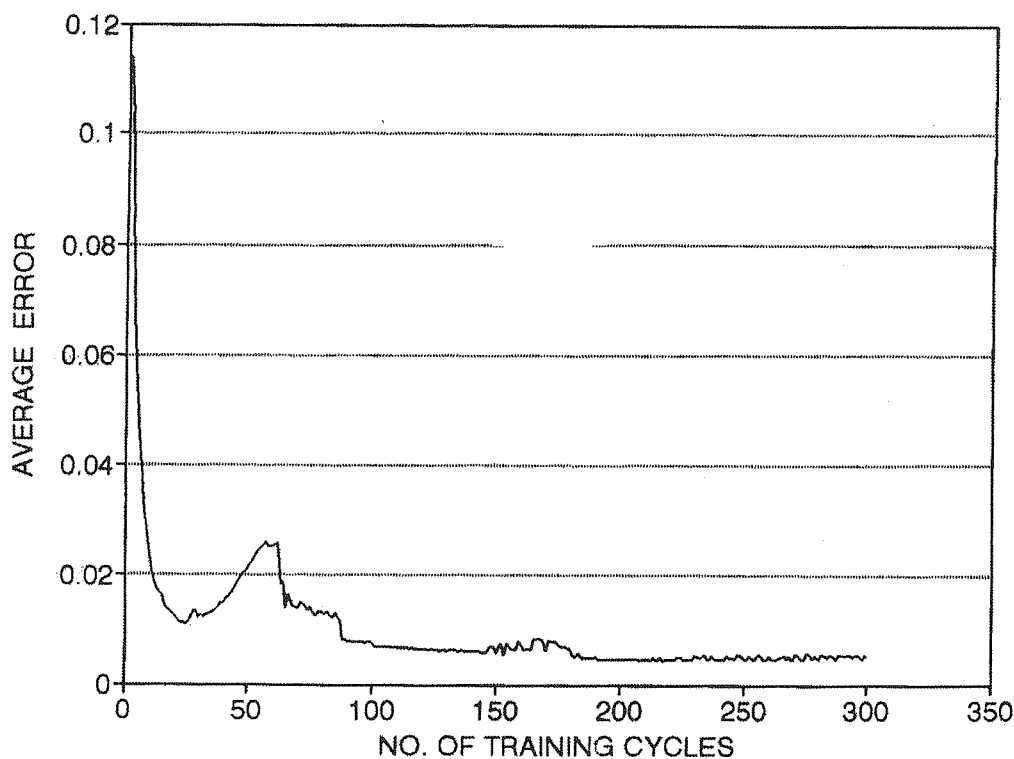
۴- از آنجا که در هر مسئله ای نقش قضاوت مهندسی را نمی توان نادیده انگاشت، ارائه پتانسیل روانگرایی به صورت یک کمیت پیوسته (و نه تنها به صورت ظهور یا عدم ظهور) به انجام یک قضاوت مهندسی صحیح کمک می کند.

جدول (۱) مقادیر پتانسیل روانگرایی نسبت داده شده به حالات چهارگانه روانگرایی

مقدار میانگین بازه	بازه مورد نظر	وضعیت روانگرایی
۰/۹	۰/۸-۱/۰	روانگرایی شدید
۰/۷	۰/۶-۰/۸	روانگرایی متوسط
۰/۵	۰/۴-۰/۶	مناطق حاشیه ای
۰/۲	۰-۰/۴	مناطق غیرروانگرا

گرفته شده و پتانسیل روانگرایی نیز به صورت چهار حالت روانگرایی شدید، متوسط، مناطق حاشیه ای و غیر روانگرا در نظر گرفته شد و برای هر وضعیت، کمیتی بین (صفر تا یک) در نظر گرفته شد. اطلاعات جمع آوری شده از سراسر جهان به دو دسته تقسیم گردید، ۴۰ عدد از مطالعات موجود برای آموزش شبکه عصبی به کار رفت و ۲۵ عدد دیگر به منظور آزمایش این شبکه مورد استفاده قرار گرفت و به طور خلاصه نتایج زیر حاصل گردید.

- ۱- نوع تابع انتقال در عملکرد شبکه عصبی تا حد زیادی تأثیر گذار است.
- ۲- خطای متوسط شبکه عصبی نسبت به تعداد نرون ها در لایه میانی حساسیت زیادی ندارد.
- ۳- شبکه عصبی M4-A، تا حد بسیار خوبی قادر به پیش بینی پتانسیل روانگرایی خاک ها به صورت کمیتی پیوسته می باشد. این شبکه عصبی دارای ۶ نرون در لایه ورودی، ۴ نرون در لایه میانی و یک نرون در لایه خروجی می باشد. تابع انتقال مورد



شکل (۱) نمودار تغییرات خطای متوسط آموزش شبکه عصبی M4 - A بر حسب تعداد سیکل.

جدول (۲) پتانسیل روانگرایی پیش بینی شده توسط شبکه عصبی M4-A اطلاعات مورد استفاده جهت آموزش شبکه عصبی.

	M	$\sigma_0$	$\sigma_0$	$N_{I(60)}$	a/g	F %	PL (O)	PL (N)
CHIBAKENCHUBU -1980								
1.00	6.10	105.90	56.90	8.58	0.10	13.00	0.20	0.17
IMPERIAL VALLEY -1979								
2.00	6.60	72.50	51.00	7.28	0.60	25.00	0.90	0.84
MIYAGIKEN-OKI-1978								
3.00	6.70	118.70	66.70	15.99	0.10	0.00	0.20	0.25
4.00	6.70	80.40	41.20	17.81	0.12	12.00	0.20	0.20
5.00	6.70	111.80	77.50	17.81	0.14	3.00	0.20	0.18
FUKUI-1948								
6.00	7.30	74.60	47.10	14.95	0.40	0.00	0.90	0.92
MIYAGIKEN-OKI-1978								
7.00	7.40	61.80	34.30	10.53	0.32	5.00	0.90	0.99
8.00	7.40	74.60	49.10	7.41	0.20	10.00	0.90	0.81
9.00	7.40	80.40	54.90	7.02	0.24	10.00	0.70	0.84
10.00	7.40	136.40	77.50	25.22	0.24	17.00	0.20	0.12
11.00	7.40	130.50	86.30	29.38	0.24	5.00	0.20	0.16
12.00	7.40	108.90	70.60	12.48	0.24	4.00	0.70	0.67
13.00	7.40	59.80	56.90	18.98	0.28	5.00	0.70	0.64
14.00	7.40	109.90	80.40	33.41	0.28	0.00	0.20	0.21
15.00	7.40	74.60	59.80	10.14	0.24	10.00	0.70	0.74
16.00	7.40	124.60	91.20	23.01	0.24	12.00	0.20	0.21
17.00	7.40	97.10	66.70	31.98	0.24	0.00	0.20	0.26
18.00	7.40	111.80	66.70	24.05	0.20	10.00	0.20	0.26
NIIGATA -1964								
19.00	7.50	84.40	46.10	11.31	0.16	0.00	0.90	0.82
20.00	7.50	128.50	79.50	26.39	0.16	2.00	0.20	0.25
21.00	7.50	130.50	71.60	18.46	0.16	2.00	0.50	0.45
22.00	7.50	80.40	38.30	5.46	0.16	10.00	0.90	0.88
23.00	7.50	184.40	105.90	24.83	0.16	2.00	0.20	0.15
MANJIL - 1990 <span style="float: right;">آستانه (۱۳۶۹)</span>								
24.00	7.50	81.00	58.50	10.48	0.15	4.00	0.70	0.74
25.00	7.50	108.00	72.00	8.32	0.15	2.00	0.70	0.74
26.00	7.50	90.00	63.00	10.14	0.15	5.00	0.70	0.71
27.00	7.50	117.00	76.50	15.99	0.15	20.00	0.20	0.27
28.00	7.50	81.00	58.80	11.83	0.15	5.00	0.70	0.69
29.00	7.50	81.00	58.50	11.83	0.15	4.00	0.70	0.71
30.00	7.50	108.00	72.00	9.49	0.15	6.00	0.70	0.66
31.00	7.50	72.00	54.00	6.76	0.15	10.00	0.70	0.80
32.00	7.50	117.00	76.50	12.61	0.15	5.00	0.50	0.56
33.00	7.50	99.00	67.50	7.28	0.15	1.00	0.90	0.82
MINO- OWARI -1891								
34.00	7.90	130.50	81.40	14.43	0.32	5.00	0.90	0.77
KANTO-1923								
35.00	7.90	141.30	102.00	1.30	0.20	14.00	0.70	0.79
36.00	7.90	71.60	69.70	3.51	0.20	22.00	0.70	0.83
TOCKACHI OKI- 1968								
37.00	7.90	74.60	45.10	9.49	0.20	20.00	0.90	0.76
TOHNANKAI-1944								
38.00	8.00	64.70	35.30	2.08	0.20	27.00	0.90	0.94
39.00	8.00	50.00	45.10	3.77	0.20	30.00	0.90	0.84
ALASKTOHNAA-1964								
40.00	8.30	56.90	53.00	12.74	0.16	10.00	0.90	0.90

PL (O) = پتانسیل روانگرایی مشاهده شده =

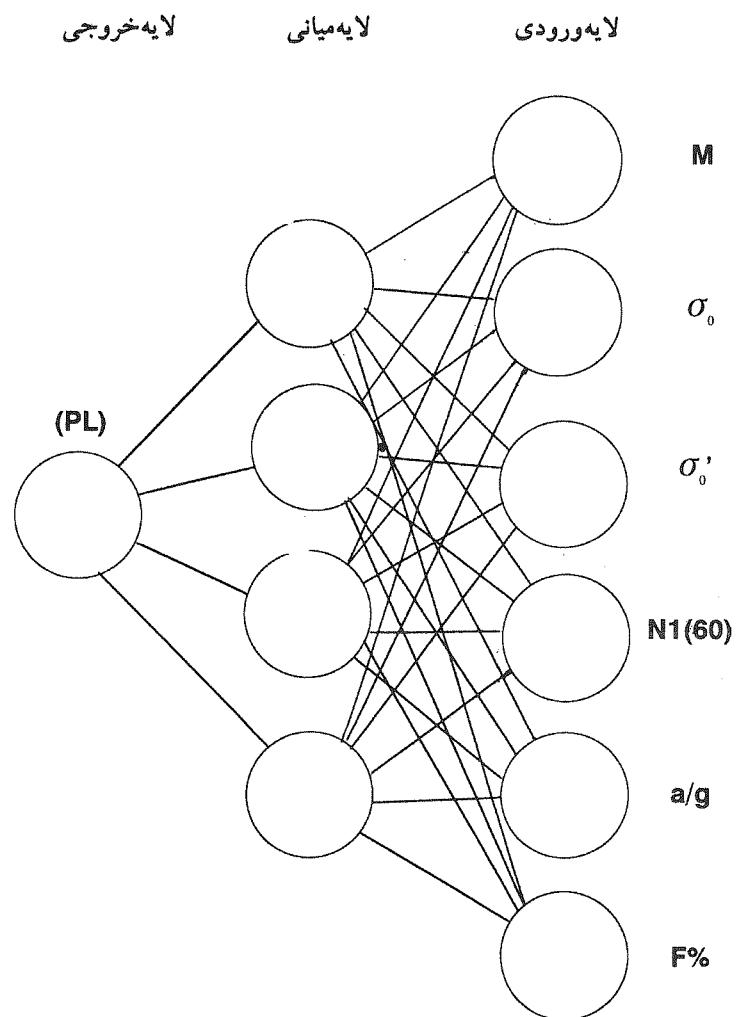
PL (N) = پتانسیل روانگرایی پیش بینی شده توسط شبکه عصبی =

جدول (۳) نتایج حاصل از آزمایش شبکه عصبی M4-A .

	M	$\sigma_0$	$\sigma_0$	$N_{I(60)}$	a/g	F %	PL (O)	PL (N)
CHIBAKENCHUBU(1980)								
1.00	6.10	247.20	105.90	4.42	0.10	27.00	0.20	-0.31
IMPRIAL VALLEY(1979)								
2.00	6.60	72.50	51.00	56.16	0.60	11.00	0.20	-29
MIYAGIKEN- OKI( 20/2/1978)								
3.00	6.70	61.80	34.30	7.93	0.12	5.00	0.70	0.66
4.00	6.70	80.40	47.10	20.54	0.12	0.00	0.20	0.26
5.00	6.70	59.80	56.90	18.98	0.14	5.00	0.20	0.27
6.00	6.70	61.80	41.20	25.61	0.12	7.00	0.20	0.08
7.00	6.70	93.20	68.70	14.17	0.14	20.00	0.20	0.12
FUKUI (1948)								
8.00	7.30	141.30	70.60	45.11	0.35	2.00	0.20	-0.03
9.00	7.30	128.50	63.80	32.76	0.40	0.00	0.50	0.33
MIYAGIKEN-OKI ( 12/6/1978 )								
10.00	7.40	61.80	38.30	38.48	0.32	4.00	0.20	0.26
11.00	7.40	80.40	47.10	20.54	0.24	0.00	0.70	0.62
12.00	7.40	80.40	41.20	15.99	0.24	12.00	0.70	0.60
13.00	7.40	111.80	77.50	14.82	0.24	10.00	0.50	0.50
14.00	7.40	103.00	83.40	12.87	0.24	5.00	0.70	0.62
GUATEMALA (1976)								
15.00	7.50	72.60	28.40	12.74	0.14	3.00	0.90	0.79
NIIGATA( 1964)								
16.00	7.50	111.80	65.70	43.55	0.16	0.00	0.20	-0.03
آستانه (۱۳۶۹)								
17.00	7.50	117.00	76.50	5.72	0.15	50.00	0.20	0.12
18.00	7.50	90.00	63.00	7.54	0.15	1.00	0.70	0.84
19.00	7.50	99.00	67.50	3.64	0.15	60.00	0.20	0.09
20.00	7.50	90.00	63.00	8.84	0.15	1.00	0.70	0.80
21.00	7.50	99.00	67.50	15.21	0.15	2.00	0.70	0.58
22.00	7.50	99.00	67.50	11.05	0.15	5.00	0.70	0.66
MINO-OWARI (1891)								
23.00	7.90	122.60	93.20	13.39	0.20	10.00	0.70	0.59
KANTO (1923)								
24.00	7.90	149.10	100.10	2.60	0.20	33.00	0.50	0.48
TOHACHI-OKI (1968)								
25.00	7.90	111.80	72.60	43.03	0.23	5.00	0.20	0.13
26.00	7.90	74.60	41.20	11.83	0.23	5.00	0.90	0.95
TOHNANKAI (1944)								
27.00	8.00	89.30	59.80	13.52	0.20	10.00	0.90	0.76

پتانسیل روانگرایی پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی  $PL(N) =$  پتانسیل روانگرایی مشاهده شده  $PL(O) =$





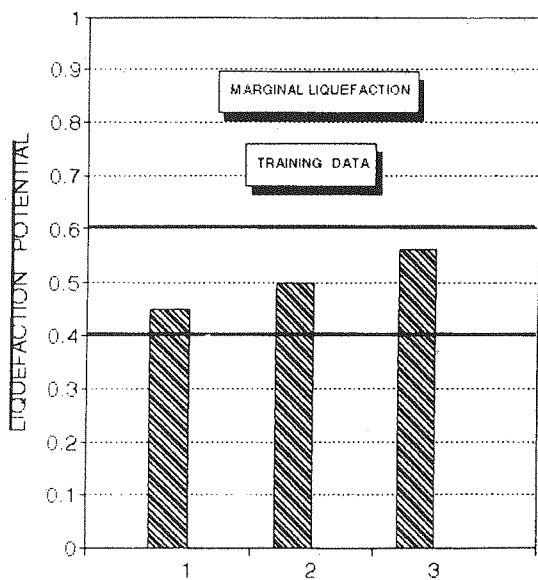
شکل (۲) شبکه عصبی M4 - A.

جدول (۲) تأثیر نوع تابع انتقال بر میزان خطای متوسط آموزش شبکه عصبی .

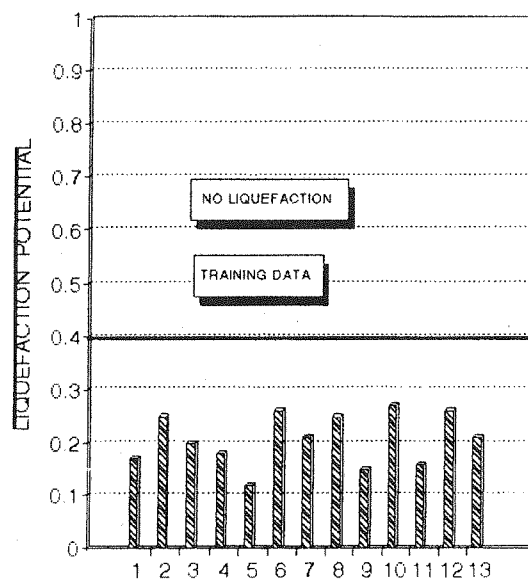
مقدار خطای متوسط	تابع انتقال نرونهای لایه خروجی	تابع انتقال نرونهای لایه پنهان	شبکه عصبی
$6.48 \times 10^{-3}$	$y = 10 \operatorname{tgh}(x)$	$y = \operatorname{tgh}(x)$	M6-A
$9.568 \times 10^{-3}$	$y = \operatorname{tgh}(x)$	$y = \operatorname{tgh}(x)$	M6-B
$1.07 \times 10^{-2}$	$y = \frac{10}{1 + e^{-x}}$	$y = \frac{10}{1 + e^{-x}}$	M6-C

جدول (۵) تأثیر تعداد نرونها در لایه پنهان بر روی خطای متوسط آموزش شبکه عصبی.

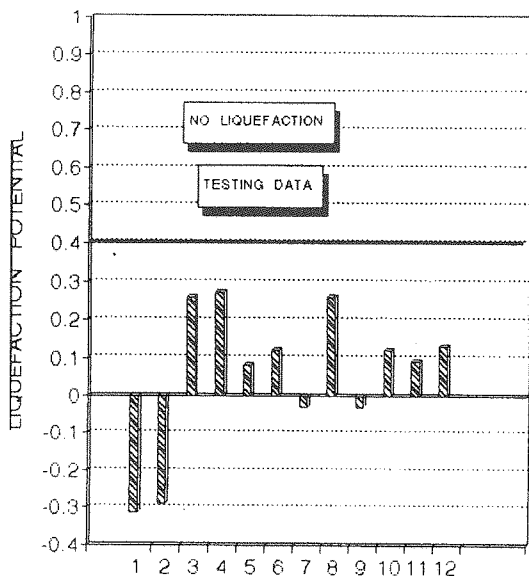
شبکه عصبی	تعداد نرون ها در لایه پنهان	تعداد سیکل های آموزش	خطای متوسط آموزش شبکه عصبی
M2-A	2	144	$7.159 \times 10^{-3}$
M3-A	3	670	$5.980 \times 10^{-3}$
M4-A	4	403	$4.363 \times 10^{-2}$
M5-A	5	435	$4.385 \times 10^{-2}$
M6-A	6	451	$6.480 \times 10^{-2}$
M7-A	7	395	$6.389 \times 10^{-2}$
M8-A	8	578	$4.679 \times 10^{-2}$
M10-A	10	126	$4.944 \times 10^{-2}$
M12-A	12	310	$5.194 \times 10^{-2}$
M14-A	14	585	$6.335 \times 10^{-2}$



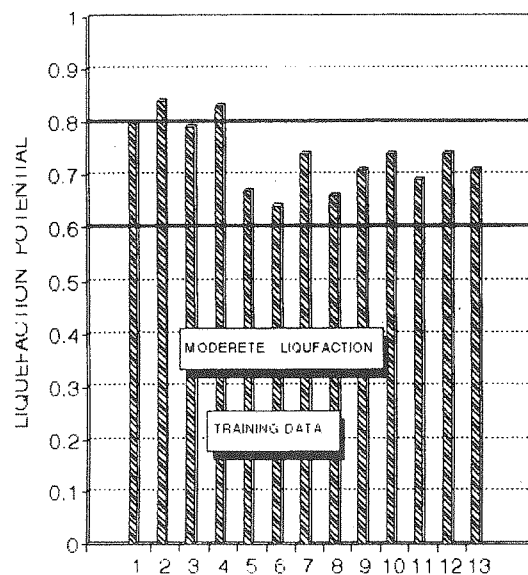
شکل (۲) توزیع پتانسیل روانگرایی - اطلاعات مورد استفاده جهت آموزش شبکه عصبی M4 - A - مناطق حاشیه ای.



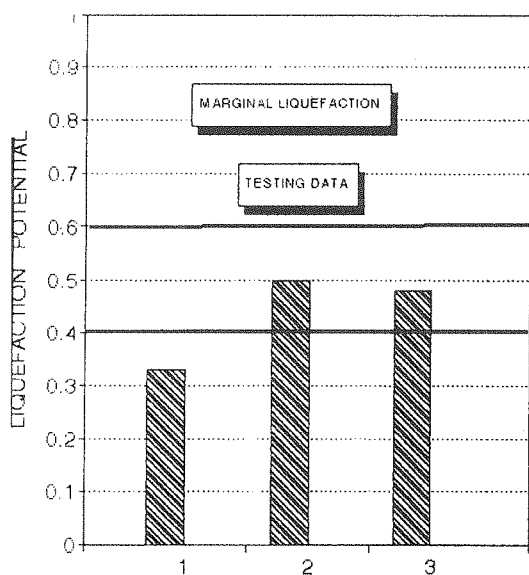
شکل (۳) توزیع پتانسیل روانگرایی - اطلاعات مورد استفاده جهت آموزش شبکه عصبی M4 - A - مناطق غیر روانگرا.



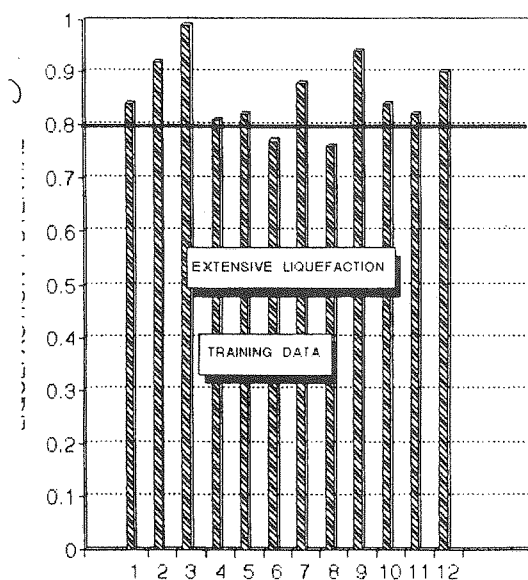
شکل (۷) توزیع پتانسیل روانگرایی - اطلاعات مورد استفاده جهت آزمایش شبکه عصبی M4 - A - مناطق غیر روانگرا.



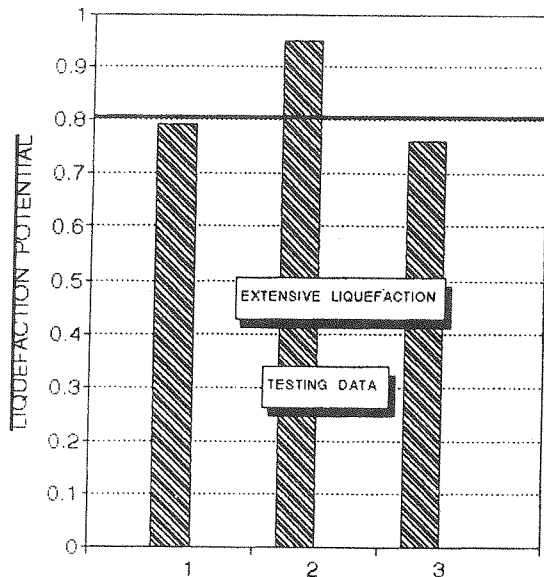
شکل (۵) توزیع پتانسیل روانگرایی - اطلاعات مورد استفاده جهت آموزش شبکه عصبی M4 - A - مناطق روانگرایی متوسط.



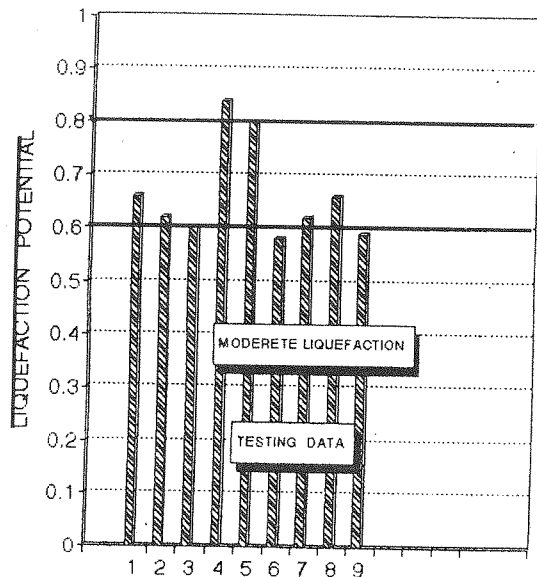
شکل (۸) توزیع پتانسیل روانگرایی - اطلاعات مورد استفاده جهت آزمایش شبکه عصبی M4 - A - مناطق حاشیه‌ای.



شکل (۶) توزیع پتانسیل روانگرایی - اطلاعات مورد استفاده جهت آموزش شبکه عصبی M4 - A - مناطق روانگرایی شدید.



شکل (۱۰) توزیع پتانسیل روانگرایی - اطلاعات مورد استفاده جهت آزمایش شبکه عصبی M4 - A - مناطق روانگرایی شدید.



شکل (۹) توزیع پتانسیل روانگرایی - اطلاعات مورد استفاده جهت آزمایش شبکه عصبی M4 - A - مناطق روانگرایی متوسط.

## مراجع

- [۱] حائری - سید محسن (۱۳۶۹)، «برخی ملاحظات ژئوتکنیکی زلزله ۳ خرداد ماه ۱۳۶۹» کنفرانس آزاد زلزله ۲۱ خرداد ماه منجیل - دانشگاه تهران.
- [2] Ishihara k., Haeri S.M., Moinfar A., Towhata I. & Tshnjino S. (1992), "Geotechnical Aspects of the June 20, 1990, Manjil Earthquake, In Iran", Soils & Foundations, Vol. 32, No. 3, 61-78.
- [3] Haeri S.M. (1991), "Liquefaction Associated with 20 June 1990 Manjil Earthquake, Iran" Proc. of SDEE 91 Conference, Karlsruhe, Germany, pp. 325-339.
- [۴] حائری - سید محسن، ذوالفقاری - محمدرضا، (۱۳۷۲)، «بررسی روانگرایی ناشی از زلزله ۲۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ منجیل، طرح بسیج توان فنی کشور برای مقابله با زلزله - گروه تحقیقات ارزیابی مخاطرات ناشی از زلزله و ناپایداری های زمین. گزارش شماره ۳.
- [۵] حائری - سید محسن، یثربی - سید شهاب الدین، (۱۳۷۶) «معیاری نو جهت ارزیابی بروز آثار روانگرایی در سطح زمین»، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران - جلد دوم صفحات ۲۷ تا ۴۴.
- [6] Seed, H. B., Idriss, I. M and Arango, I., (1983), "Evaluating of Liquefaction Potential Using Field Performance Data". ASCE, J. of Geot. Eng. Div., Vol. 109, No.3, pp 458-482.
- [7] Tatsuoka, S., etal, (1980), "Standard Penetration Test and Soil Liquefaction Potential Evaluation," Soils and Foundations, Vol 20, no, 4, pp 95-111.
- [8] Ishihara, K. (1979) "Simple Method of Analysis for Liquefaction of Sand Deposits During Earth-
- quakes", Soils and Foundations, Vol 19, No. 3, pp 1-17.
- [9] Christian J. T and Swiger W.F (1985), "Statistics of Liquefaction and SPT Results" J. Geot. Eng. Div., ASCE, 111 (11), 1135-1150.
- [10] Liao S.S.C, Veneziano D., and Whithman R.V. (1988), "Regression Models for Evaluating Liquefaction Probability". J. Geot. Eng. Div., ASCE 114 (4), 389-411.
- [11] Stark T. D. and Olson S.M. (1995), "Liquefaction Resistance Using CPT and Case History". ASCE, J. of Geot. Eng. Div., Vol 121. No. 12.
- [12] Goh, a.T.C (1994) "Seismic Liquefaction Potential Assessed by Neural Network" ASCE, J. of Geot. Eng., Vol. 120 No. 9, 1467-1480.
- [13] Tokimatsu K. and Yoshimi Y. (1983), "Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-value and Fines Content." Soils and Foundations, 23 (4) , 56-74.
- [۱۴] کریمی - مسعود (۱۳۷۶) «ارزیابی پتانسیل روانگرایی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی». پایان نامه کارشناسی ارشد، زیر نظر دکتر سید محسن حائری، مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
- [15] Seed, H. B and Harder L.F and Chang R.M. (1985), "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation", Jr. of Geot. Eng. Div., ASCE, Vol. 111, No. 12, pp. 1425-1445.
- [16] Kung S.Y, (1993), "Digital Neural Networks", PTR Prentice Hall .