

تخمین نفوذپذیری معادل در امتداد محور تونل امیرکبیر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

علی عالی انوری^۱؛ همایون کتیبه^۲؛ حمید محمود آبادی^۳

۱-دانشجوی دکتری مهندسی معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر ali_aalianvari@yahoo.com

۲-استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳-کارشناس ارشد مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

جریان آب به تونل های در حال ساخت، یکی از مهم ترین مسائلی است که می تواند آثار مخرب فراوانی بر روند عملیات حفاری داشته باشد، بنابراین لازم است محل و مقدار جریان آب به داخل تونل، پیش بینی شود. پیش بینی دقیق مقدار نفوذ آب به درون تونل، به لحاظ عدم امکان شناسایی و تعیین دقیق کلیه عوامل موثر بر جریان آب، کار آسانی نیست. از جمله این عوامل می توان به نفوذپذیری، تعداد و میزان بازشدگی درزه ها، RQD و تخلخل توده سنگهای در امتداد تونل، ارتفاع ایستایی آب از محور تونل، و شعاع تونل اشاره کرد. نفوذپذیری معادل توده سنگ در امتداد محور تونل مهمترین عاملی است که بر مقدار جریان آب به سمت تونل اثر می گذارد، از آنجا که شرایط ژئومکانیکی توده سنگ غیر قابل پیش بینی بوده و معمولاً دارای دامنه ای از نوسانات است لذا تراوایی توده سنگ نیز در بخش های مختلف یک سازند می تواند متفاوت باشد.

در این مقاله سعی شده است با کمک شبکه های عصبی مصنوعی، نفوذپذیری معادل در امتداد محور تونل انتقال آب سد امیرکبیر، تخمین زده شود. بدین منظور با استفاده از اطلاعات حاصل از حفر ۱۲ گمانه و انجام حدود ۱۰۰ تست فشار آب (لوژان)، مقدار نفوذپذیری توده سنگ در امتداد محور تونل با شبکه عصبی RBF (شبکه های با توابع پایه شعاعی) تخمین زده شود. مقایسه نتایج به دست آمده از شبکه عصبی RBF با نتایج حاصل از معادلات تحلیلی حاکم بر نفوذ آبهای زیرزمینی به تونل، موید دقت قابل قبول نتایج حاصل از شبکه های RBF است. نتایج حاصل از تحلیل داده ها توسط شبکه های طراحی شده نشان می دهند که دامنه تغییرات نفوذپذیری در امتداد محور تونل از 10^{-7} تا 10^{-5} تغییر می کند که با توجه به نقشه های زمین شناسی موجود، اغلب بخش های واحدهای مورد نظر به جز زون های خردشده و گسله، مشکل عمده ای از نظر میزان آب ورودی به تونل نخواهند داشت.

کلمات کلیدی: شبکه عصبی، نفوذپذیری، نشست آب به تونل، توده سنگهای درزه دار

Estimation Of Equivalent Permeability In Amirkabir Tunnel Alignment With Neural Network

A.A.Anvari, H.Katibeh, H.Mahmoudabadi

Abstract

Groundwater flow into tunnels has always been a major technical problem in tunnel constructions, so it is very important to estimation of groundwater inflow into tunnel. There are a lot of parameters that relating to groundwater flow into tunnel such as permeability, RQD, joint frequency, joint aperture, porosity, head of water above tunnel and radius of tunnel. Permeability is very variable in tunnel alignment because of variation in geological conditions. Therefore, estimation of equivalent permeability is very necessary.

In this research with use of artificial neural network, equivalent permeability of Amirkabir tunnel is estimated. A number of boreholes was drilled, cored and hydraulically tested in the investigation stage. Records at the boreholes have been considered as the main source of facts for seepage calculations.

The general variation of analytical and RBF neural network results along tunnel path line is alike, Average of permeability into tunnel is calculated around 1.3×10^{-7} to 1×10^{-5} m/Sec /according to analytical and RBF neural network results respectively.

Regarding results and general geologic considerations, seepage is concentrated at fault zones and crashed zones, and other geological conditions have not a major problems.

Keywords: neural network, permeability, seepage,

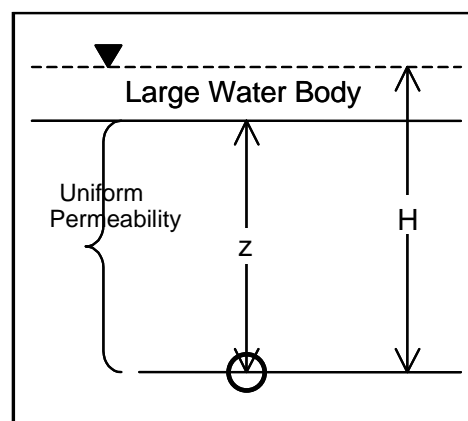
۱- مقدمه

یکی از مهمترین مسائل و مشکلات پیش رو در عملیات تونل‌سازی در مقاطع سنگی، جریان آب بدرون محیط تونل است که از طریق ناپیوستگی‌های اولیه و ایجادشده در دیواره‌ی تونل صورت می‌پذیرد. جریان آب و هجوم آن به محیط تونل حین حفاری، آثار مخربی را بر روند عملیات حفاری داراست و می‌تواند فعالیت تونل‌سازی را کاملاً تحت تاثیر قرار دهد. این مسأله بعضاً به توقف عملیات نیز منجر می‌شود. از جمله مهمترین مشکلاتی که به علت نشت آب به درون محیط تونل گریبانگیر عملیات می‌شود، می‌توان به مواردی همچون کاهش پایداری توده‌سنگ اطراف تونل، اعمال فشار مازاد بر سیستم نگهدارنده دائم و موقت، تأثیرات تخریبی بر وضعیت ژئومکانیکی سنگ و متعاقباً ایجاد خطرات جانی و مالی اشاره کرد.

اما به علت عدم امکان شناسایی و تعیین دقیق کلیه عوامل تاثیرگذار بر جریان آب به درون تونل علی‌الخصوص حین اجرای عملیات حفاری، پیش‌بینی مقدار نفوذ آب به درون تونل‌های حفرشده در محیط سنگ، کار آسانی نیست، روش‌های تحلیلی که با تکیه بر معادلات حاکم بر جریان آب به سمت تونل‌ها استوار هستند، با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر نفوذ پذیری توده سنگ، ارتفاع سطح ایستایی، شعاع تونل و .. به تخمین میزان نفوذ آب به تونل‌ها می‌پردازند، تعدادی از معادلات تحلیلی مورد استفاده در محاسبه میزان نشت آب به تونل‌ها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- معادلات تحلیلی حاکم بر میزان نشت آب به تونل

ردیف	روش	فرمول
۱	Goodman	$Q = 2\pi K \frac{h}{\ln\left(\frac{2z}{r}\right)}$
2	Karlsruod	$Q = 2\pi K \frac{h}{\ln\left(\frac{2h}{r} - 1\right)}$
3	Lei & Rat	$Q = 2\pi K \frac{h}{\ln\left(\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 - 1}\right)}$
4	El Tani-1	$Q = 2\pi K \frac{1 - 3\left(\frac{r}{2h}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{r}{2h}\right)^2\right] \ln\left(\frac{2h}{r} - \left(\frac{r}{2h}\right)^2\right)}$
5	El Tani-2	$Q = 2\pi K \frac{\lambda^2 - 1}{\lambda^2 + 1} \frac{h}{\ln \lambda} \quad \& \quad \lambda = \frac{h}{r} - \sqrt{\frac{h^2}{r^2} - 1}$



در معادلات جدول ۱ پارامترهای مختلف عبارتند از:

H: فاصله مرکز تونل تا سطح ایستایی

Z: فاصله مرکز تونل تا سنگ روباره

T: شعاع تونل

K: ضریب نفوذپذیری معادل در امتداد طول تونل

Q: میزان نفوذ آب در واحد طول تونل

شکل ۱- معرفی پارامترهای به کار رفته در معادلات جدول ۱

با در نظر گرفتن معادلات تحلیلی ارائه شده واضح است که نفوذپذیری مهم‌ترین عاملی است که بر جریان‌های آب به سمت تونل‌های سنگی اثر می‌گذارد در واقع تراوایی توده سنگ‌های اطراف تونل است که کاملاً وابسته به شرایط ژئومکانیکی سنگ است و از آنجا که شرایط ژئومکانیکی توده سنگ غیرقابل پیش‌بینی بوده و معمولاً دارای دامنه‌ای از نوسانات است تراوایی توده سنگ نیز در بخش‌های مختلف یک سازند متفاوت است

دقیق‌ترین راه برای تعیین تراوایی توده سنگ آزمایش پمپاژ است. اما از آنجا که آزمایش پمپاژ در طول تونل با هزینه‌های زیادی همراه است، متداول‌ترین روش برای آزمایش نفوذپذیری آزمایش لوژن یا پکر می‌باشد. بدیهی است که تعیین تعداد آزمایش‌های لازم برای به دست آوردن یک توزیع آماری مناسب، از تراوایی توده سنگ درونگیر تونل، بستگی به ماهیت و پیچیدگی شرایط زمین‌شناسی دارد. در شرایط زمین‌شناسی که احتمال بروز مشکلات اساسی وجود دارد یا در سازندهایی که بر اساس تجارب قبلی در آنها جریان‌های شدید آب دیده می‌شود تعداد آزمایش بیشتری مورد نیاز است.

در مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته توسط گروه زمین‌شناسی موسسه مهندسی مشاور ساحل، کل مسیر تونل امیرکبیر به ۱۴ واحد زمین‌شناسی تقسیم شده است که به طور کلی در برگیرنده مجموعه‌های رسوبی - آتشفشانی مختلفی از سازند کرج است. سنگ‌شناسی آنها به طور کلی شامل تناوب‌هایی از توف، ماسه سنگ، کنگلومراهای ریز دانه و بخش‌های سیلت سنگ و گدازه و آگلومرای است. با توجه به شرایط زمین‌شناسی مسیر تونل ۱۲ گمانه با فواصل مختلف برای انجام آزمایش‌های لوژن حفر شده است.

در روش تحلیلی نتایج تراوایی معادل توده سنگ در قالب هیستوگرام‌هایی که نوسانات تراوایی توده‌سنگ را نسبت به طول تونل یا گمانه نشان می‌دهد، نمایش داده شوند. در این هیستوگرام‌ها درصدهایی از طول تونل یا گمانه که دارای مقادیر متفاوت نفوذپذیری هستند در رده‌های مختلف تقسیم بندی می‌شوند و در کلاس‌های مختلف بیان می‌شوند. اگر کل تونل در یک سازند زمین‌شناسی یا در سازندهایی با ماهیت مشابه قرار داشته باشند، تمام آزمایشات انجام شده را می‌توان در کل مسیر تونل روی یک هیستوگرام رسم کرد. در این حالت فرض می‌شود تغییرات مشاهده شده در نتایج آزمایش‌ها نشان دهنده توزیع آماری تراوایی توده سنگ در طول مسیر است، اما اگر پیش‌بینی می‌شود مسیر تونل در بخش‌های متفاوت از سازندهای مختلف زمین‌شناسی عبور می‌کند لازم است برای هر بخش از تونل که در یک سازند خاص قرار دارد به طور جداگانه هیستوگرام رسم شود.

بدیهی است که تغییر شرایط درزه داری توده سنگ و تاثیر گسل‌های کوچک تصادفی در هر سازند به طور خودکار وارد هیستوگرام می‌شود. همچنین اگر در مطالعات صحرایی ساختار مشخصی دیده شود لازم است آزمایش‌های انجام شده در گمانه‌های حفر شده در آن ساختار به طور مجزا بررسی شوند و به هر ناحیه ساختاری یک هیستوگرام مجزا اختصاص داده شود.

در این مقاله به دلیل محدودیت‌های ناشی از عدم وجود داده‌های کافی و نقص در داده‌های اندازه‌گیری شده، سعی در برآورد ضریب نفوذپذیری معادل بوسیله شبکه عصبی تخمین‌گر گردید. لذا جهت بسط عدد لوژان به کلیه نقاط و سپس تخمین نفوذپذیری در امتداد محور تونل از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد.

در فرایند تعریف شبکه های عصبی، یک شبکه تخمینگر تعریف شد که با دریافت مختصات نقاط برداشت به عنوان ورودی و اعداد لوژان مرتبط با آنها، به عنوان خروجی، به بسط و تقریب عدد لوژان در کل ناحیه مورد مطالعه پردازد. با آموزش صحیح این شبکه می توان عدد لوژان سایر مناطق را با استفاده از تعمیم شبکه عصبی بر روی آن نقاط به دست آورد. در این پژوهش سعی شد با ایجاد انواع شبکه های عصبی و تغییر پارامترهای هر کدام از آنها با استفاده از آنالیز حساسیت بهترین و مناسبترین شبکه ایجاد شود.

روش انجام تحقیق

با توجه به انجام آزمایش لوژان در امتداد محور تونل، می توان این آزمایش را در یک فضای دو بعدی تصور کرد که در آن محور X در امتداد محور تونل و نشان دهنده مکان گمانه آزمایش لوژان در امتداد محور است (این مختصات با توجه به مختصات محلی که بدین منظور در نظر گرفته شد تعیین شد) و مختصات قائم (محور Z) این سیستم نیز در واقع ارتفاع نقطه برداشت شده از سطح آزاد دریاها در نظر گرفته شد.

با توجه به اینکه عدد لوژان بدست آمده برای طول مشخصی از گمانه محاسبه میشود لذا برای اینکه بتوان عدد لوژان را به یک نقطه منتسب کرد از فرمول زیر استفاده شد:

$$h = \frac{u-l}{2}$$

u : عمق پکر بالایی در گمانه نسبت به دهانه گمانه

l : عمق پکر پایینی نسبت به دهانه گمانه

حال با استفاده از ارتفاع بدست آمده مختصات قائم نقطه ای که عدد لوژان را به آن نسبت داده شد بصورت زیر محاسبه می شود:

$$Z = h - \text{ارتفاع دهانه گمانه}$$

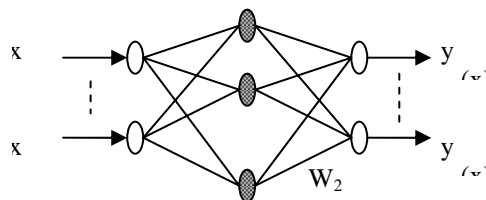
قابل ذکر است که X ، موقعیت گمانه در امتداد محور تونل می باشد که بر طبق سیستم مختصات محلی محاسبه می شود.

آماده سازی داده ها

به منظور آماده سازی داده ها برای استفاده در شبکه های عصبی داده ها در بازه های $[0 \ 1]$ و $[-1 \ 1]$ معادل سازی شده اند. در این مقاله دو روش برای آماده سازی داده ها در نظر گرفته شد، در روش اول هر عدد در هر مجموعه به بزرگترین عدد موجود در آن مجموعه تقسیم شد که این عمل سبب ایجاد داده ها در بازه 0 تا 1 شد. در روش دوم با استفاده از دستور دوقطبی ساز در نرم افزار MATLAB داده ها بصورت دوقطبی درآمد که نشان دهنده فاصله بین -1 تا 1 می باشد.

شبکه عصبی RBF

ساختار شبکه عصبی پایه ای شعاعی در شکل (۲) نشان داده شده است. واحدهای لایه ورودی به صورت کامل به واحدهای لایه نهان متصل شده است (fully connected) در این ساختار، گره های نهان، واحدهای RBF نامیده می شوند. این اجزا به صورت کامل به اجزا خروجی متصل شده اند.



شکل ۲- ساختار پایه ای شبکه RBF

تابع تحریک واحدهای RBF به صورت زیر تعریف می شوند $[10]$:

$$R_i(X) = R_i(-d_i^2(X)) \quad , \quad i = 1, 2, \dots, s$$

$$d_i(X) = \frac{\|X - C_i\|}{\sigma_i}$$

که $d_i(x)$ تابع فاصله i امین واحد RBF نامیده می‌شود، $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ بردار n بعدی ورودی است. C_i یک بردار n بعدی است که مرکز i امین واحد RBF نامیده می‌شود، σ_i پهنای i امین واحد RBF و s تعداد واحدهای RBF است. تابع تحریک واحدهای RBF به صورت تابع گوسی انتخاب می‌شود:

$$R_i(X) = \exp[-d_i^2(X)]$$

واحدهای خروجی خطی هستند، بنابراین پاسخ Z امین واحد خروجی برای ورودی X به صورت زیر به دست می‌آید:

$$y_j(X) = b(j) + \sum_{i=1}^s R_i(X)W_2(j, i)$$

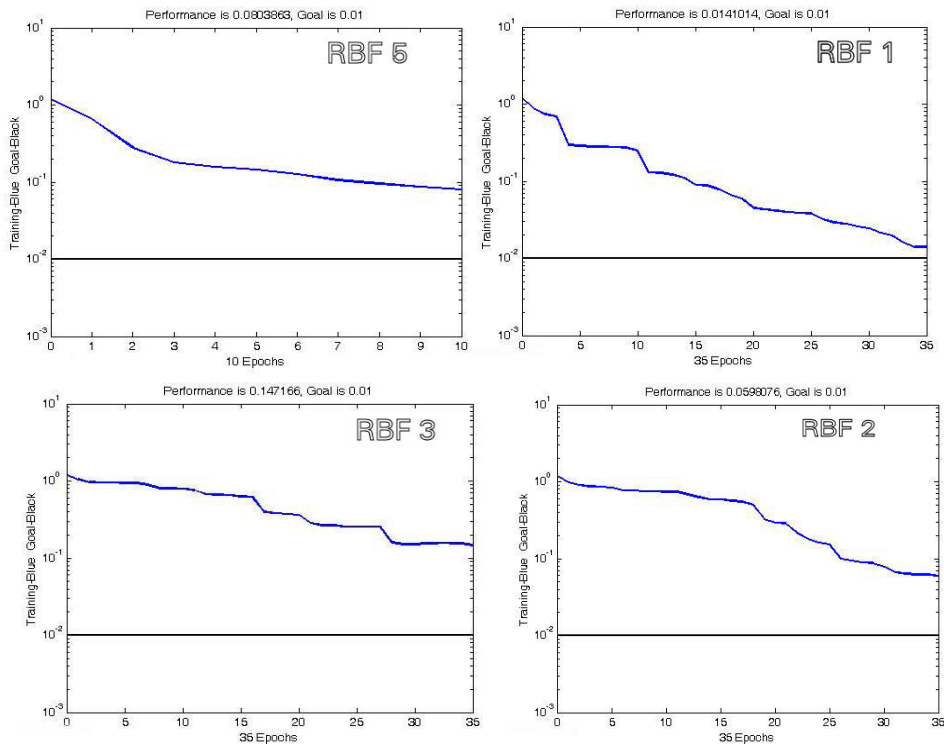
که $W_2(j, i)$ ضریب وزنی i امین واحد RBF به Z امین گره خروجی و $b(j)$ بایاس برای خروجی Z ام است.

تقریب عدد لوژان با شبکه عصبی

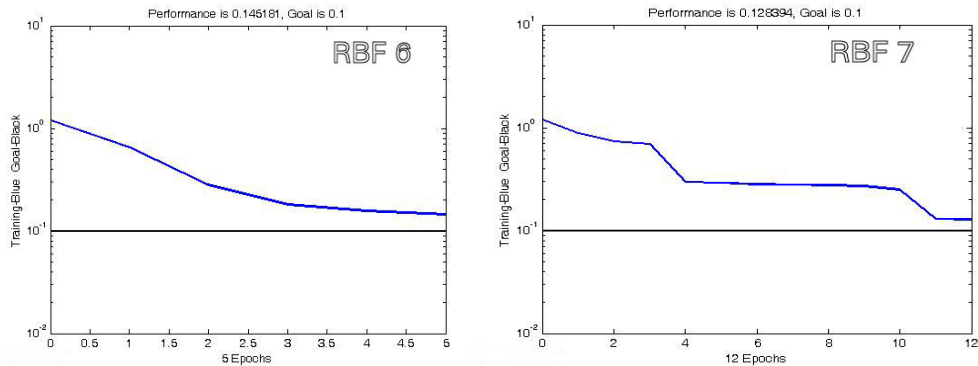
جهت آموزش و آزمایش شبکه عصبی ایجاد شده ۷۵٪ داده‌ها به عنوان داده‌های آموزشی و ۲۵٪ داده‌ها به عنوان داده‌های آزمایشی به صورت تصادفی انتخاب شدند. با توجه به استفاده از دو روش متفاوت ذکر شده برای آماده‌سازی داده‌ها، شبکه‌های عصبی متفاوتی برای هر کدام از مجموعه داده‌های آماده شده تعریف شد. با استفاده از آنالیز حساسیت به بررسی عوامل تاثیر گذار در تخمین‌هایی که توسط شبکه‌های عصبی ارائه شده، پرداخته شد. در این روش با تغییر یک پارامتر و ثابت گرفتن بقیه پارامترها، پارامتری که بیشترین تاثیر را دارد شناسایی و مناسب‌ترین حالت برای هر دسته داده انتخاب شد. با بررسی‌های انجام گرفته پارامترهایی مثل تعداد نرون‌های لایه میانی و نرخ جستجو، حساس تشخیص داده شدند. جداول ۵ و ۶ انواع شبکه‌های ایجاد شده را برای هر دو سری داده نشان می‌دهند همچنین شکل‌های ۳ تا ۶ منحنی اپوکهای تکرار شبکه‌ها و دقت آنها را در آموزش دو نوع سری داده نشان می‌دهند.

جدول ۳- آماده‌سازی به روش تقسیم بزرگترین مقدار

شماره شبکه	دقت شبکه	تعداد نرونهای لایه میانی	نرخ جستجو	خطای شبکه	MSE
RBF _۱	۰,۰۱	۳۸	۰,۱	۰,۰۱۴	5.2524
RBF _۲	۰,۰۱	۳۷	۰,۳	۰,۰۵۹	0.4806
RBF _۳	۰,۰۱	۳۷	۰,۸	۰,۱۴۷	0.3073
RBF _۴	۰,۰۱	۴۰	۰,۰۸	۰,۰۱۱۷	2.345
RBF _۵	۰,۰۱	۱۰	۰,۰۱	۰,۰۸	1.5241
RBF _۶	۰,۱	۵	۰,۰۲	۰,۱۴۵	1.5035
RBF _۷	۰,۱	۱۲	۰,۱	۰,۱۲۸	0.4674
RBF _۸	۰,۱	۳۵	۰,۸	۰,۱۴۷	0.3073



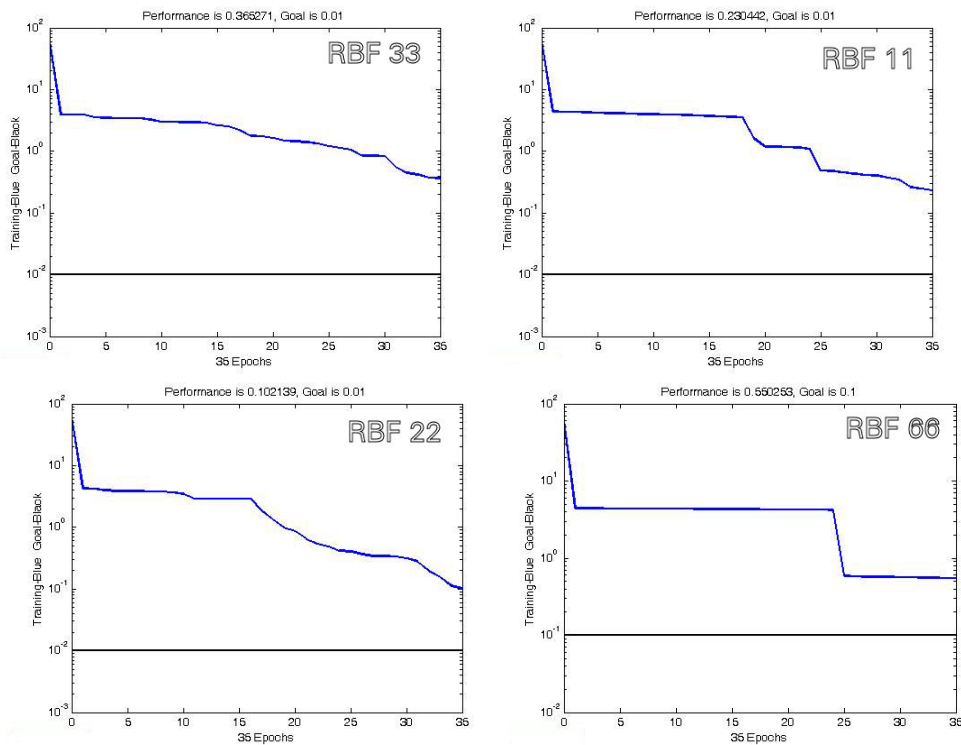
شکل ۳- منحنی تعداد تکرار و خطای شبکه برای شبکه هایی با خطای تخمین ۰,۰۱ برای داده های تقسیم به بزرگترین مقدار (شبکه های ۱,۲,۳,۵)



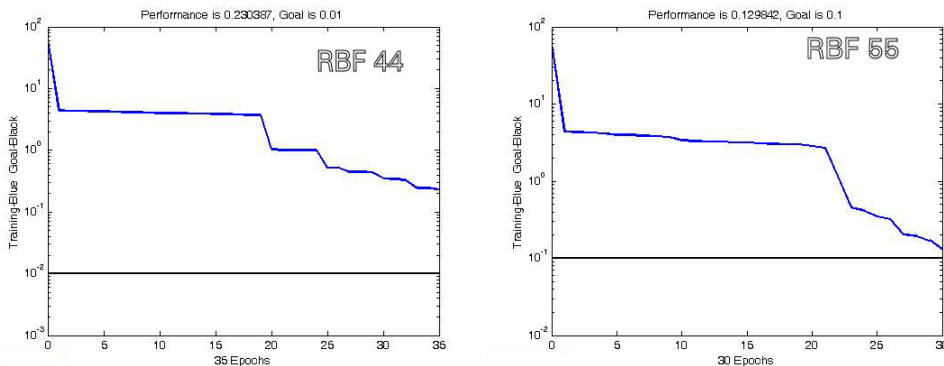
شکل ۴- منحنی تعداد تکرار و خطای شبکه برای شبکه هایی با خطای تخمین ۰,۱ برای داده های تقسیم به بزرگترین مقدار (شبکه های ۶,۷)

جدول ۴- آماده سازی به روش دوقطبی

نام شبکه	دقت شبکه	تعداد نرونهاي لايه مياني	نرخ جستجو	خطای شبکه	MSE
RBF11	۰,۰۱	۳۸	۰,۱	۰,۲۳	2.4269
۲۲ RBF	۰,۰۱	۳۷	۰,۳	۰,۱۰۲	7.6930
۳۳ RBF	۰,۰۱	۳۷	۰,۸	۰,۳۶۵	3.2170
RBF۴۴	۰,۰۱	۴۰	۰,۰۸	۰,۲۳	1.4514
RBF۵۵	۰,۱	۳۰	۰,۲	۰,۱۲۹	5.9176
RBF۶۶	۰,۱	۳۷	۰,۰۲	۰,۵۵	0.1449
RBF۷۷	۰,۱	۲۸	۰,۲	۰,۳۴۸	0.1449
RBF۸۸	۰,۱	۵۰	۰,۸	۰,۳۶۵	3.2170



شکل ۵- منحنی تعداد تکرار و خطای شبکه برای شبکه هایی با خطای تخمین ۰.۱ برای داده های تقسیم به بزرگترین مقدار (شبکه های ۱۱، ۲۲، ۳۳، ۶۶)



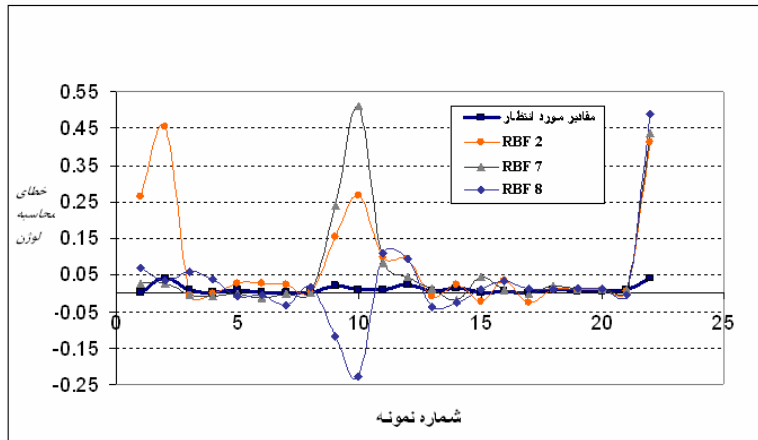
شکل ۶- منحنی تعداد تکرار و خطای شبکه برای شبکه هایی با خطای تخمین ۰.۱ برای داده های تقسیم به بزرگترین مقدار (شبکه های ۴۴، ۵۵)

با توجه به جداول ۲ و ۳ و همچنین نمودارهای مربوط به اپوکهای تکرار می توان چنین گفت که در این شبکه ها تعداد لایه میانی، تعداد تکرار و نرخ جستجو مهمترین پارامترهایی هستند که در عملکرد شبکه عصبی تاثیر دارند. و پارامتر میزان دقت شبکه عملاً نقشی در کارایی شبکه ندارد.

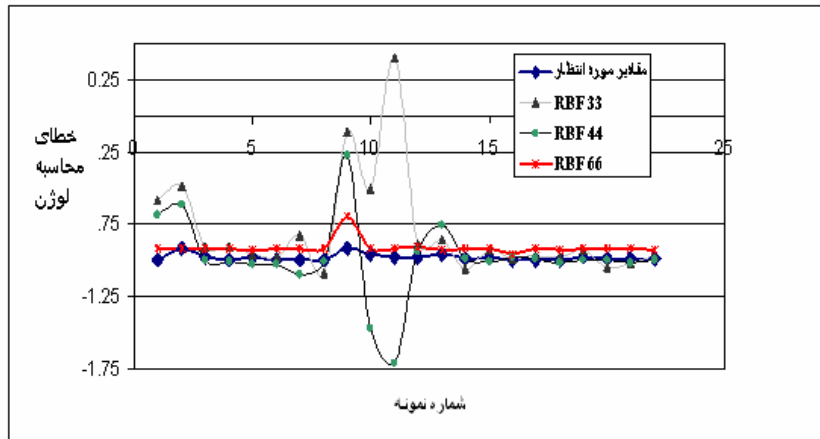
با بررسی مقادیر میانگین مربعات خطا (MSE) بهترین حالتها برای این مساله مشخص شد. در شکلهای شماره ۵ و ۶ در هر سری داده، مقایسه ای بین جوابهای سه شبکه عصبی که کمترین میانگین مربع خطا را داشتند با مقادیر هدف انجام شد همانطور که در این شکلها ملاحظه می شود جوابهایی که شبکه های گروه دوقطبی می دهند به مقادیر اصلی نزدیکترند.

با مقایسه بین شکلهای ۶ و ۷ به راحتی دیده می شود که آماده سازی داده ها به روش دوقطبی موثرتر از آماده سازی داده ها به روش تقسیم به بزرگترین مقدار می باشد. همچنین در این نمودارها که شبکه هایی با کمترین مقدار میانگین مربعات خطا رسم شدند ملاحظه شد که در روش اول شبکه RBF 2 و در روش دوقطبی شبکه RBF ۶۶ بهترین و نزدیکترین جواب را بدست میدهد.

در مجموع هم از نظر دقت شبکه تخمینگر برای داده های آموزشی و هم از نظر دقت تخمین داده های آزمایشی، شبکه ای که برای داده های دو قطبی تنظیم شده است بهترین جواب را می دهد جدول ۴ خصوصیات این شبکه را نشان می دهد.



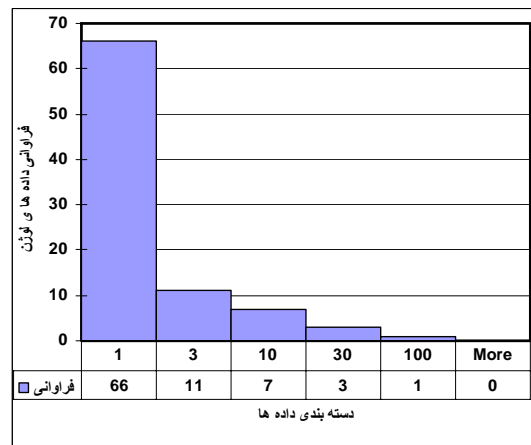
شکل ۶- خطای محاسبه عدد لوژن به تعداد نمونه ها در روش دو قطبی



شکل ۷- خطای محاسبه عدد لوژن به تعداد نمونه ها در روش تقسیم به بزرگترین مقدار

درونیابی مقادیر لوژان

با توجه به نتایج قابل قبول شبکه عصبی RBF ۶۶ در تخمین مقادیر داده های آزمایشی، از این شبکه جهت درون یابی اعداد لوژن در نقاط مختلف در امتداد محور تونل استفاده شد. لذا شبکه RBF به نوعی به عنوان یک تخمینگر، سبب بسط داده های لوژان در تمامی مقطع تونل شده و می توان با استفاده از آن اعداد لوژان هر قسمت از مقطع را به راحتی تقریب زد. نتایج حاصل از تحلیل داده ها توسط شبکه های طراحی شده نشان می دهند که دامنه تغییرات نفوذپذیری در امتداد محور تونل از ۷-۱۰*۱/۳ تا ۵-۱۰*۱ تغییر می کند که با توجه به نقشه های زمین شناسی موجود، اغلب بخش های واحدهای مورد نظر به جز زون های خرد شده و گسله، مشکل عمده ای از نظر میزان آب ورودی به تونل نخواهند داشت. نتایج از برداشت های صحرایی و محاسبات تحلیلی به منظور محاسبه نفوذپذیری در هیستوگرام شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- نتایج محاسبات لوژن در امتداد تونل امیرکبیر

نتیجه گیری

نتایج حاصل از محاسبات شبکه عصبی نشان می دهند که با آموزش صحیح شبکه ها و داده های مناسب، نتایج به دست آمده بسیار نزدیک به واقعیت بوده و کاربرد صحیح این شبکه ها توصیه می شود. مقایسه نتایج به دست آمده از شبکه عصبی RBF با نتایج حاصل از معادلات تحلیلی حاکم بر نفوذ آبهای زیرزمینی به تونل، موید دقت قابل قبول نتایج حاصل از شبکه های RBF است. نتایج حاصل از تحلیل داده ها توسط شبکه های طراحی شده نشان می دهند که دامنه تغییرات نفوذپذیری در امتداد محور تونل از 10^{-7} تا 10^{-5} تغییر می کند که با توجه به نقشه های زمین شناسی موجود، اغلب بخش های واحدهای مورد نظر به جز زون های خرد شده و گسله، مشکل عمده ای از نظر میزان آب ورودی به تونل نخواهند داشت. با توجه به محاسبات انجام شده و شرایط زمین شناسی حاکم بر منطقه، در ۳ کیلومتر ابتدایی سطح آب زیرزمینی پایین تر از محور تونل است که به لحاظ نشت آب خطر نخواهد بود. در سایر قسمت ها نیز به دلیل شرایط زمین شناسی خاص منطقه و عدم وجود توسعه کارستی در منطقه به نظر می رسد احتمال زهکشی آب های زیرزمینی به تونل خطر چندانی را ایجاد نخواهد کرد.

مراجع

- Bandis, S.C., Lumsden, A.C. and Barton, N.R., 1983. Experimental studies of scale effects on the shear behavior of rock joints. Int. J. of Rock Mechanics & Min. Sci., Abstracts, Vol. 18, 1-21.
- Barton, N. 1997 Joint aperture and roughness in the prediction of flow and groutability of rock masses. Int. J. of Rock Mechanics & Min. Sci., Vol. 34.
- El Tani, Mohamed., 2003. Circular tunnel in a semi-infinite aquifer. Tunneling and Underground Space Technology, 18, 49-55.
- El Tani, M., 1999. Water inflow into tunnels. Proceedings of the World Tunnel Congress ITA-AITES 1999, Oslo, pp. 61-70, Balkema.
- Goodman, R.E., Moya, D.G., Van Schalkwyk, A., Javandel, I., 1965. Ground water inflows during tunnel driving. Bull. Ass. Eng. Geologists 2, 35-56.
- Karlsrud, K., 2001. Water control when tunnelling under urban areas in the Oslo region. NFF publication No. 12, 4, 27-33, NFF.
- Lei, S., 1999. An analytical solution for steady flow into a tunnel. Ground Water 37, 23-26.
- Priest, S., 1993. Discontinuity analysis for rock engineering", Published by Chapman & Hall, first edition.
- Zhang, L. and Franklin, J.A. 1993. Prediction of Water Flow into Rock Tunnels: an Analytical Solution Assuming a Hydraulic Conductivity Gradient, Int. J. of Rock Mechanics & Min. Sci., Abstract, Vol. 30, 37-46.

S. Haykin, "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", Mcmillan College Publishing Company, Canada, 1994.

I.K. Kapageridis, "Input space configuration effects in neural network-based grade estimation",
Computers & Geosciences, val. 31,2005, pp. 704-717