

تحلیل پایداری و پیش‌بینی نشست تونل خط یک مترو تبریز

کامران گشتاسبی
ایران و دانشگاه تربیت مدرس
goshtasb@modares.ac.ir

کاوه آهنگری
ایران و دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات
Ahangari@srbiau.ac.ir

حسین اینانلو عربی شاد*
ایران و دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
Inanloo.Hossein@yahoo.com

ایمان ذوالفقاریان
ایران و دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهدی شهر
Iman-met-1362@yahoo.com

خلاصه مقاله

یکی از مسائل مهم در تونل‌های مترو شهری، تحلیل پایداری تونل و تعیین ضریب اطمینان مناسب و ایمن و همچنین پیش‌بینی میزان نشست می‌باشد که منجر به تأمین پایداری در حین اجرا و پس از آن در زمان بهره‌برداری از سازه مورد نظر خواهد گردید. در تحقیق حاضر، تحلیل پایداری و بررسی میزان نشست تونل خط یک مترو تبریز، توسط روش عددی و شبکه عصبی مصنوعی صورت پذیرفته است. با توجه به دو روش حفاری مورد استفاده در تونل خط یک مترو تبریز (استفاده از دستگاه TBM و همچنین حفر تونل به روش NATM) در این بررسی، قسمتی از تونل که با روش NATM حفاری می‌شود با روش عددی مورد بررسی قرار گرفته و مقدار نشست سطح زمین و همچنین میزان همگرایی تونل در دیواره تونل نیز با کمک همین نرم‌افزار پیش‌بینی شده است. سپس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های موجود، میزان نشست، پیش‌بینی و با مقدار به‌دست آمده از روش عددی مقایسه شده است. نتایج نشان‌دهنده اختلاف کم و قابل قبول، بین مقدار پیش‌بینی شده توسط روش عددی و شبکه عصبی هستند. پیش‌بینی مورد نظر، کمک شایانی در طراحی مناسب تونل، قبل از مرحله حفاری نموده است.

ABSTRACT

Stability analysis and prediction of settlement are important factors in metro tunnels. These factors retain the stability of tunnels during and after construction. In this research study, stability analysis and settlement predictions of Tabriz metro tunnel were carried out using numerical method. The tunnel is partly excavated by TBM and partly by NATM. In this study, the part of the tunnel which was excavated with NATM was analyzed using two dimensional FLAC code. With this respect the predicted settlement and tunnel convergence from the numerical analysis was compared with actual measurements at site. The results showed that the difference between the measure and numerical analysis values were negligible and hence acceptable. These predictions greatly influenced suitable tunnel design before excavation sequence.

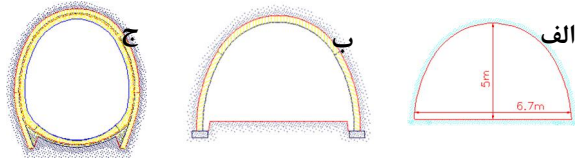
کلمات کلیدی: تونل مترو؛ شبکه عصبی؛ نشست؛ مدلسازی عددی؛ FLAC؛ شبکه عصبی

مقدمه

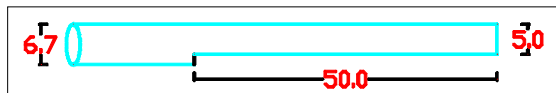
نزدیکی تونل هستند، می‌باشد. بر این اساس، بررسی نشست در تونل‌های سطحی می‌تواند باعث کاهش خسارات و پیش‌گیری از خطرهای احتمالی شود. برای کنترل نشست باید مراحل پیش‌بینی، پیش‌گیری و محافظت به‌ترتیب صورت پذیرند. روش‌های کنترل و جلوگیری از نشست، بستگی به روش‌های پیش‌بینی نشست دارند که این امر، اهمیت پیش‌بینی نشست را نشان می‌دهد. توانایی در پیش‌بینی تأثیرات

احداث تونل‌های سطحی در نواحی متراکم و پرازدحام شهری با موانع و مشکلاتی روبه‌رو می‌شود که یکی از آن‌ها مسئله نشست است. این امر، نیازمند کنترل عملیات حفر برای کاهش ریسک و تأثیر احتمالی آن بر ساختارهایی که در سطح زمین و در

می شود مشخص شده است. لازم به ذکر است که مقطع ابتدایی تونل در حدود ۵۰ متر جلوتر از مقطع کامل شده تونل می باشد که در شکل ۳ مشخص شده است. شرایط زمین شناسی یکنواخت؛ شامل شن و ماسه همراه با قله سنگ و سیلت به رنگ قهوه ای با تراکم بسیار زیاد می باشد. حداقل روباره تونل ۸ متر و حداکثر آن ۱۲ متر می باشد [۵].



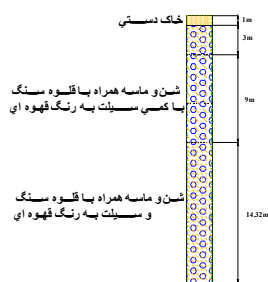
شکل ۲- الف نگهداری موقت قسمت (پله) فوقانی ب حفر قسمت (پله) فوقانی ج حفر قسمت (پله) تحتانی و ایجاد نگهداری دائم در تونل



شکل ۳ فاصله مقطع ابتدایی تونل از مقطع کامل شده تونل

مدل سازی تونل خط ۱ متروی تبریز با استفاده از نرم افزار FLAC 2D

بر اساس بررسی های صحرایی و نتایج حفاری ها، زمین محدوده پروژه از لایه های شن و ماسه همراه با قله سنگ و سیلت به رنگ قهوه ای با تراکم بسیار زیاد تشکیل شده است. ضخامت خاک دستی در گمانه ها از ۰ تا ۲ متر متغیر است. شکل ۴ و جدول ۱ مقطع زمین شناسی و خصوصیات ژئومکانیکی استفاده شده در این تحقیق را نشان می دهند [۴].



شکل ۴ مقطع زمین شناسی [۴]

مقدار	پارامتر
۰/۰۲	چسبندگی (kg/cm^2)
۳۸/۵	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
۲۵۰	مدول الاستیسیته (kg/cm^2)
۱/۸	چگالی (kg/m^3)
۰/۳	ضریب پواسون

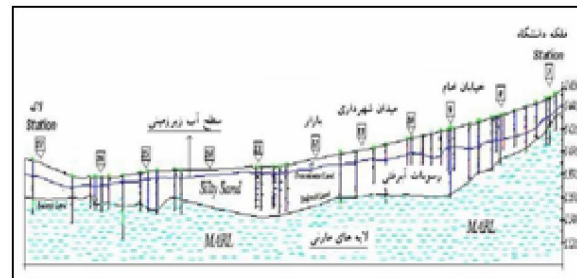
جدول ۱ خصوصیات ژئومکانیکی مقطع مورد مطالعه [۴]

برای مدل سازی تونل در مرحله اول، قسمت فوقانی آن مدل می شود. به این ترتیب که پس از ایجاد شبکه مدل، قسمت فوقانی تونل حفر و نگهداری موقت آن اعمال

استخراج و همچنین نشست ناشی از آن، یکی از مهم ترین مراحل در احداث تونل های سطحی از جمله خطوط متروی شهری می باشد. در این تونل ها که در عمق کمتر از ۲۰ متری سطح زمین، در محیط های آبرفتی با مقاومت و چسبندگی کم حفر می شوند، رهایی تنش در اطراف تونل، سریع تر صورت می پذیرد. جابجایی زمین می تواند به اندازه کافی وسیع باشد تا سبب گسیختگی ساختارها و سازه های نزدیک آن شود. مخصوصاً در مناطق شهری، آزادی عمل و انتخاب در مسیر و عمق تونل تا اندازه ای محدود می باشد [۱]. روش های مختلفی برای پیش بینی نشست وجود دارند که از آن جمله می توان به روش های تجربی و نیمه تجربی اشاره نمود. روش های تجربی ساده و براساس یک یا دو متغیر مؤثر بر نشست با وجود سایر پارامترهای شناخته شده مؤثر بر نشست می باشد، همچنین این روش ها برای خصوصیات زمین شناسی و ژئوتکنیکی منصفه ای خاص کاربرد دارند [۱-۲]. با توجه به تعدد پارامترهای مؤثر بر نشست، روش های جدیدی نظیر روش های عددی، شبکه های عصبی مصنوعی برای پیش بینی نشست پیشنهاد می شود. شبکه های عصبی مصنوعی علاوه بر دقت لازم در پیش بینی از سرعت بالا و سهولت کاربرد نیز برخوردار هستند. با توجه به پیچیدگی محیط پیرامون تونل ها از نظر ژئوتکنیکی و قرارگیری سازه های سطحی از جمله ساختمان ها، شبکه های آب و فاضلاب، خطوط برق، لوله های مدفون شده گاز و... در نزدیکی تونل های مترو، استفاده ترکیبی از روش های عددی و شبکه های عصبی مصنوعی، علاوه بر پیش بینی میزان نشست و تحلیل پایداری تونل در اصلاح روابط تجربی نیز کمک مؤثری می کند [۲-۳].

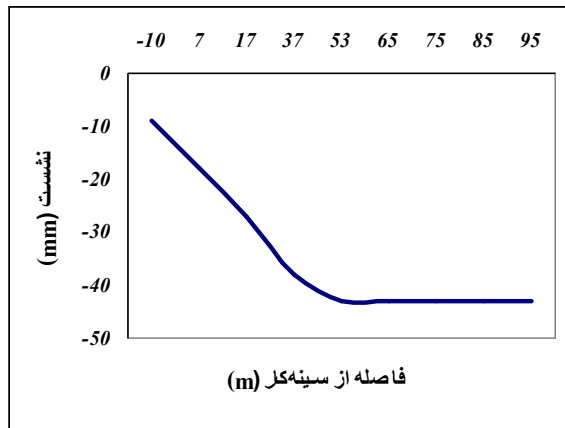
معرفی خط یک مترو تبریز

مسیر خط ۱ مترو تبریز از نظر زمین شناسی، شامل رسوبات قرمز رنگ دارای طبقات گچی و نمکی است که رابین (۱۹۳۵) این رسوبات را جزو سازند قرمز فوقانی معرفی کرده است. این سازند غالباً از ماسه سنگ، مارن، سیلتستون و گنگلومرا همراه با طبقات گچی و نمکی تشکیل یافته است. محدوده مورد مطالعه به وسیله رسوبات آبرفتی جوان پوشیده شده است که در زیر رسوبات آبرفتی مذکور، طبقات مارنی و ماسه سنگی تا گنگلومرایبی وجود دارد. شکل ۱ وضعیت زمین شناسی خط ۱ مترو تبریز را نشان می دهد [۴].

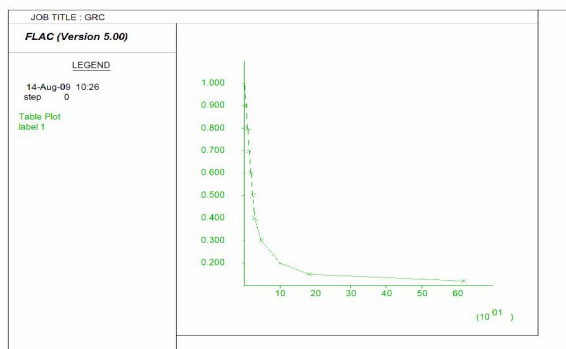


شکل ۱ وضعیت زمین شناسی مسیر تونل متروی تبریز

تونل مترو تبریز با استفاده از روش های TBM و NATM حفاری می شود. بخشی از تونل که توسط TBM حفاری می شود دارای طول حدود ۸ کیلومتر و قطر (هرکدام در سطح مقطع دایره ای) ۶/۸۸ متر است. شیب تونل از ۴/۴۱ تا ۰/۲۹- درصد و عمق کف تونل بین ۱۲ تا ۲۰ متر است که در طول مسیر متغیر می باشد. پوشش در نظر گرفته شده برای قطعات بتنی پیش ساخته به ضخامت ۳۰ سانتی متر است. قطر داخلی تونل، بعد از پوشش گذاری به ۶ متر می رسد. قسمتی دیگر از تونل که به وسیله روش NATM حفاری می شود دارای طولی در حدود ۲۰۷ متر می باشد. تونل این قسمت دارای ارتفاع ۶/۷ متر و نیز عرض ۶/۷ متر می باشد و در دو مرحله حفاری می شود. ابتدا قسمت (پله) بالایی که دارای ارتفاع ۵ متر و عرض پایین ترین قسمت آن ۶/۷ متر است، حفر می شود. سپس نگهداری موقت آن صورت می پذیرد. در مرحله بعدی، قسمت (پله) پایینی حفر و نگهداری دائمی تونل انجام می شود. در شکل ۲ مشخصات تونل و ترتیب حفاری که با روش NATM حفاری



شکل ۵ جابجایی مقطع طولی تونل در مقطع مورد مطالعه



شکل ۶ منحنی GRC به دست آمده از نرم افزار FLAC 2D

با توجه به مقادیر به دست آمده از نرم افزار و مقایسه آن با مقادیر واقعی ملاحظه می شود که بین بعضی از این دو مقادیر اختلاف زیادی وجود دارد. لذا در این بخش از تحلیل به پیش بینی نشست با استفاده از مقادیر واقعی موجود با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته می شود. همچنین با توجه به مقادیر به دست آمده از نرم افزار عددی مقدار ضریب β در رابطه ی یک بین نشست سطحی و حرکت قائم تاج تونل $S_s/S_c = 1 - \beta(Z/D)$ برای تونل خط یک مترو ۰/۳ اصلاح می شود.

پیش بینی نشست با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

اساس ابداع شبکه عصبی شبیه سازی رفتار مغز انسان می باشد. در بین تمام خواص مهم شبکه های عصبی، خاصیت یادگیری شبکه ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. شبکه عصبی به دلیل انعطاف و قابلیت یادگیری بالا به عنوان سیستم های یادگیر دارای توانایی هستند که از گذشته بیاموزند و رفتار خود را در حین یادگیری بهبود ببخشند. لذا می توان از این تکنیک به منظور پیش بینی نشست متناسب با خصوصیات هندسه تونل و ژئومکانیکی زمین پیرامون تونل کمک گرفت. با به کار بردن این تکنیک و با استفاده از موارد اجرایی مشابه، شبکه جهت تعیین الگوی مناسب آموزش یافته و در محل اجرا با توجه به پارامترهای ساختگاه فضا، نشست حداکثر پیش بینی می شود. از مزایای این تکنیک می توان به بررسی پیروی محیط پیرامون تونل با معیار انتخاب شده جهت تحلیل های عددی نام برد [۶-۱۷]. یکی از کاربردی ترین انواع شبکه های عصبی مصنوعی در جهت حل مسائل مهندسی و ژئوتکنیکی، شبکه های MLP می باشند که توسط رمرهات ۱ در سال ۱۹۸۶ برای

می گردد. پس از مدل کردن قسمت فوقانی، قسمت تحتانی مدل می شود. در این مرحله، قسمت تحتانی تونل حفر شده و پس از تکمیل مقطع، نگهداری دائمی تونل نصب می شود. در جدول ۲ نتایج حاصل از میزان جابجایی ها در سطح زمین و دیواره های تونل در نرم افزار با مقدار واقعی اندازه گیری شده مقایسه شده اند. همان طور که از جدول ۲ ملاحظه می شود، اختلاف مقدار نشست به دست آمده از نرم افزار عددی و مقدار واقعی ۴ میلی متر است. این میزان ۱۰٪ مقدار کل (۴۱ میلی متر) می باشد که در حد مجاز است. این امر کمک شایانی در طراحی مناسب تونل، قبل از مرحله حفاری و کنترل نشست می نماید. با توجه به نتایج حاصل از پردازش نرم افزار میزان شعاع تأثیر نشست در سطح زمین ۲۰ متر و میزان مشاهداتی آن ۲۳ متر می باشد. همان طور که از جدول ۲ ملاحظه می شود میزان همگرایی به دست آمده از نرم افزار و مقدار واقعی، اختلاف زیادی دارد که از دلایل عمده این امر نصب دیر هنگام ابزار می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از نرم افزار و نمودار جابجایی مقطع طولی تونل (مربوط به رفتارنگاری نشست مقطع مورد مطالعه)، میزان نشست در مسافتی در حدود ۵۳ متری از سینه کار تونل ثابت شده و به حداکثر خود رسیده است (شکل ۵).

مقدار محاسبه شده (توسط نرم افزار)	مقدار واقعی (توسط ابزار)	
۲۱/۵	۷/۴۶	میزان همگرایی در دیواره سمت راست (mm)
۲۱/۵	۶/۰۲	میزان همگرایی در دیواره سمت چپ (mm)
۱۰۱	۵	میزان همگرایی در سقف (mm)
۳۷	۴۱	میزان نشست (mm)

جدول ۲ مقایسه نتایج به دست آمده از نرم افزار FLAC 2D با مقدار واقعی

همچنین با توجه به فاصله ۵۰ متری دو مقطع (پله) تونل از هم (شکل ۳) می توان این مطلب را بیان کرد که حداکثر نشست در مرحله ابتدایی حفر تونل اتفاق می افتد و نشست به وجود آمده در هنگام حفاری مقطع (پله) تحتانی بسیار ناچیز می باشد که حاکی از نقش مؤثر پایه ایجاد شده در مرحله اول حفاری است. عمق این پایه، پایین تر از کف مقطع کامل شده تونل می باشد که سبب افزایش ضریب ایمنی و کنترل نشست در مرحله بعدی استخراج می شود. شکل ۵ نشان دهنده جابجایی در مقطع طولی تونل در مقطع مورد مطالعه است.

با توجه به منحنی GRC به دست آمده از نرم افزار FLAC 2D و همچنین با توجه به چسبندگی کم مقطع مورد نظر، برای کاهش نشست، لازم است تا میزان گام حفاری کاهش یابد. همچنین با توجه به رهایی سریع تنش در این مقاطع، بهتر است تا نگهداری موقت سریع تر اعمال گردد. مقدار ضریب ایمنی به دست آمده توسط نرم افزار ۲/۳۰ می باشد که حاکی از پایداری تونل پس از تکمیل حفاری و ایجاد نگهداری دائم می باشد. منحنی GRC به دست آمده از نرم افزار FLAC 2D در شکل ۶ ارائه شده است.

شماره ورودی	توصیف پارامتر ورودی
۱	چسبندگی
۲	زاویه اصطکاک
۳	همگرایی تونل
۴	قطر تونل
۵	روپاره
خروجی	نشست

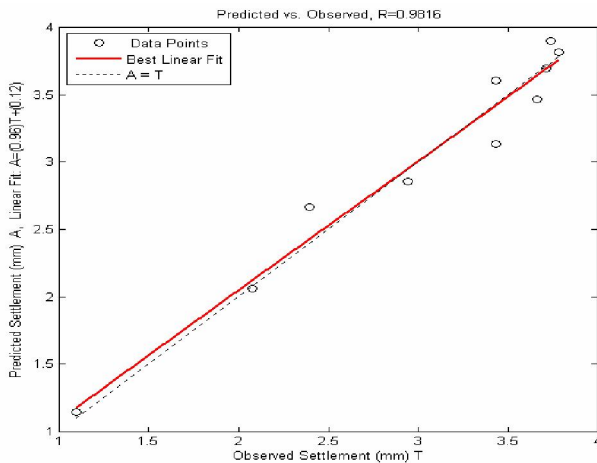
جدول ۳ معرفی پارامترهای ورودی و پارامتر هدف در مدل سازی

با توجه به معلوم بودن تابع هدف و استفاده از یادگیری با ناظر، بهترین قانون جوابگوی این سیستم، پس انتشار خطا محسوب می شود که بر این اساس در این تحقیق، قانون یادگیری شبکه ها به کار گرفته شده است [۷]. مناسب ترین شبکه بهینه به دست آمده در این بخش از تحقیق، شبکه ای با یک لایه مخفی با تعداد ۱۰ نرون می باشد و بهترین تابع انتقال آن تابع انتقال TANSIG می باشد که با سعی و خطا به دست آمده است. جدول ۴ مشخصات شبکه بهینه را توصیف می کند.

تابع انتقال	E_p (%)	E_a	RMSE (%)
T-T-P	۰/۲۰۵۹	۰/۰۰۶۴۶	۰/۲۲۳۳

جدول ۴ مشخصات شبکه بهینه

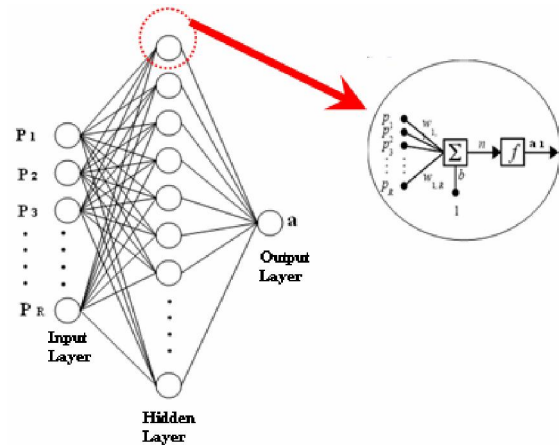
اشکال ۸ و ۹ ارزیابی بین نتایج اندازه گیری و پیش بینی شده توسط شبکه در مجموعه داده های آموزش اعتبارسنجی را نشان می دهند.



شکل ۸ ارزیابی نتایج حاصل از شبکه عصبی و داده های واقعی در مجموعه داده های آموزش

در این تحقیق به منظور نرمالایز کردن داده ها عمق تونل بر قطر تونل تقسیم شده (H/D) و به جای استفاده از چسبندگی و زاویه اصطکاک از رابطه $\sigma_c = (2CC\cos\phi)/(1-\sin\phi)$ که نشان دهنده مقاومت فشاری می باشد، استفاده شده است. در حالت دیگر نیز از چسبندگی و زاویه اصطکاک در ورودی شبکه استفاده شد که نتایج، تفاوت قابل ملاحظه نداشت. این مطلب مؤید تبعیت محیط پیرامون تونل از معیار موهر- کلمب است. در ادامه از مقادیر واقعی نشست لگاریتم گرفته شده و سپس وارد شبکه عصبی شد که این امر منجر به بهبود نتایج شبکه

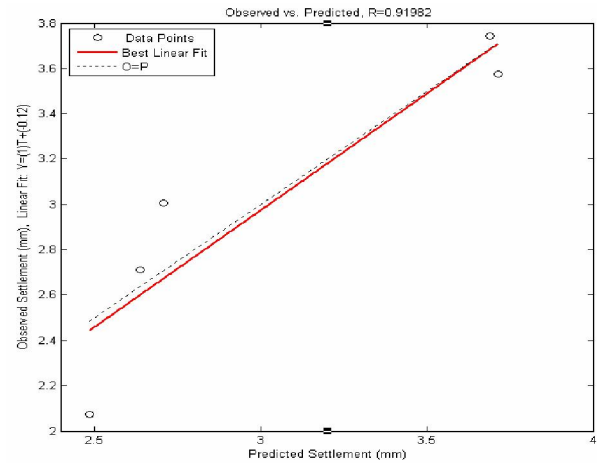
بالا بردن کارایی پرسپترون (بوسیله روزنبلات ۲ در سال ۱۹۵۸ ارائه شد) معرفی شد. یک شبکه عصبی از عناصر پردازش (نرون) تشکیل شده است. شبکه های MLP از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه مخفی و یک لایه خروجی تشکیل شده اند. نرون های سازمان یافته در شبکه های MLP دارای وزن و بایاس می باشند. وزن در شبکه های عصبی مصنوعی معادل شدت سیناپس مجموعه جمع کننده و تابع محرک، هم ارز هسته سلول در شبکه های بیولوژیکی می باشد. تأثیر جمله بایاس b را می توان مانند وزن w در نظر گرفت. با این تصور که میزان تأثیر ورودی ثابت را روی نرون منعکس می سازد. پارامترهای w, b قابل تنظیم هستند و تابع محرک f، توسط طراح انتخاب می شود. بر اساس انتخاب f و نوع یادگیری، پارامترهای w, b تعیین می شوند. این دو فاکتور، طوری تغییر می کنند که رابطه ورودی و خروجی نرون با هدف خاصی مطابقت نماید. اسکالرهای p و a به ترتیب ورودی و خروجی را نشان می دهند. میزان تأثیر p روی a به وسیله مقدار اسکالر w تعیین می شود. ورودی دیگر که مقدار ثابت ۱ است در جمله بایاس b ضرب شده و سپس با wp جمع می شود، این حاصل جمع، ورودی خالص n برای تابع محرک f خواهد بود بدین ترتیب خروجی تعیین می شود. خروجی می تواند محصول نهایی باشد یا اینکه بعنوان ورودی برای نرون دیگر استفاده می شود. شکل ۷ نمونه ای از شبکه MLP با یک لایه مخفی را نشان می دهد [۷-۶]. ورودی های شبکه عصبی جهت پیش بینی نشست در جدول ۳ مشخص شده است.



شکل ۷ نمونه ای از شبکه MLP با یک لایه مخفی

قانون یادگیری در واقع روندی است که توسط آن ماتریس وزن ها و بردار بایاس شبکه عصبی، تنظیم می شوند. هدف قانون یادگیری، آموزش شبکه عصبی، جهت کار مشخصی است. شبکه های عصبی در حین آموزش، پس از هر تکرار الگوریتم یادگیری از محیط، شرایط و هدف کار خود بیشتر مطلع می گردند. از آنجا که مقدار خروجی متناظر با بردار ورودی تعیین شده و مشخص است و در شبکه وارد می شود، بهترین نوع یادگیری، یادگیری با ناظر است. در میان قوانین یادگیری با ناظر، الگوریتم پس انتشار خطا از طریق لایه های شبکه و در خلاف مسیر ارتباطی وزن نرون ها، مقدار خطای حاصل از محاسبه رفت را در مسیر برگشت توزیع کرده و با ایجاد یک روش محاسباتی کارآ، کاربرد ANNS در محاسبات مهندسی را به طور قابل توجهی تقویت و وسیع کرده است.

عصبی گردید. در جدول ۵ مقادیر نشست به دست آمده توسط روش‌های مختلف مقایسه شده‌اند.



شکل ۹ ارزیابی نتایج حاصل از شبکه عصبی و داده‌های واقعی در مجموعه داده‌های اعتبارسنجی

مقدار نشست (mm)			
مقدار واقعی	روش تجربی	روش عددی	شبکه عصبی
۴۱	۱۵/۵	۳۷	۴۱/۷۲

جدول ۵- مقادیر به دست آمده نشست توسط روش‌های مختلف

نتیجه گیری

۱. با توجه به اهمیت نشست و تأثیر آن بر سازه‌های کم‌عمق، در این تحقیق، ضمن تعیین پارامترهای مؤثر بر نشست با توجه به شرایط ژئومکانیکی محیط مورد مطالعه، تحلیل پایداری و پیش‌بینی نشست تونل خط یک مترو تبریز با استفاده از روش تجربی، عددی و شبکه عصبی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر به دست آمد:

۱- مقدار حداکثر نشست به دست آمده از نرم‌افزار FLAC 2D برابر ۳۷ میلی‌متر بود که دارای اختلاف قابل قبولی با مقدار واقعی که ۴۱ mm می‌باشد.

۲- بیشترین میزان نشست و به طبع آن همگرایی در راستای عمود بر مرکز تونل و بالغ بر ۱۰۱ میلی‌متر است. همچنین میزان شعاع تأثیر به دست آمده نرم‌افزار عددی برابر ۲۰ متر بود که دارای اختلاف با مقدار واقعی که ۲۳ متر می‌باشد.

۲- میزان همگرایی به دست آمده از نرم‌افزار و مقدار واقعی، اختلاف زیادی دارند که دلیل عمده آن عدم امکان نصب بلافاصله ابزار می‌باشد.

۳- نتایج به دست آمده از نرم‌افزار FLAC 2D و نمودار جابجایی در مقطع طولی تونل (مربوط به رفتارنگاری نشست مقطع مورد مطالعه) نشان می‌دهند که میزان نشست در مسافتی در حدود ۵۳ متری از سینه‌کار تونل ثابت شده و به حداکثر خود رسیده است. با توجه به فاصله ۵۰ متری دو مقطع (پله) تونل از هم، می‌توان این نتیجه را بیان کرد که حداکثر نشست در مرحله ابتدایی حفر تونل اتفاق می‌افتد. به دلیل استفاده از پایه، قبل از حفاری مرحله بعدی، نشست در مرحله

بعدی ناچیز است که سبب افزایش ضریب ایمنی و کنترل نشست در این مرحله می‌شود.

۴- با توجه به نمودارهای جابجایی در مقطع طولی تونل شروع و پایان نشست، زمان لازم برای تحکیم برای مقاطع دیگر با توجه به خصوصیات ژئومکانیکی، میزان رطوبت متفاوت می‌باشد. میانگین نقطه شروع نشست در فاصله ۵ متری قبل رسیدن به مقطع آغاز شده و در نقطه ۶۰ متری پس از مقطع به حداکثر خود رسیده است.

۵- منحنی GRC به دست آمده از نرم‌افزار FLAC 2D و همچنین چسبندگی کم مقطع مورد نظر، بیانگر زیاد بودن میزان گام حفاری در این مقاطع است. لذا برای کاهش نشست، گام حفاری را باید تا حد امکان کاهش داد و با توجه به رهایی سریع تنش در این مقاطع نگهداری موقت را سریع‌تر انجام داد.

۶- با توجه به نتایج حاصل از شبکه عصبی در این تحقیق می‌توان گفت که شبکه عصبی مصنوعی، ابزار مناسبی برای پیش‌بینی نشست در تونل‌های مترو می‌باشد.

۷- از جمله مزایای شبکه عصبی، ایجاد ارتباط با داده‌های موجود است. نمونه مشاهده شده در این تحقیق بر اساس همگرایی می‌باشد که مقدار اطلاعات برداشت شده با مقادیر واقعی متفاوت است.

۸- پارامترهای عمق تونل (روباره)، چسبندگی، زاویه اصطکاک، همگرایی و مقاومت فشاری بیشترین تأثیر را بر میزان نشست دارند.

۹- در این تحقیق در پیش‌بینی نشست توسط شبکه عصبی به منظور نرم‌الایز کردن داده‌ها عمق تونل بر قطر تونل تقسیم (H/D) گردید که نتایج به دست آمده دارای خطای کمتری نسبت به استفاده عمق تونل به تنهایی است. همچنین به جای استفاده از چسبندگی و زاویه اصطکاک از رابطه $\sigma_c = (2CC \cos \phi) / (1 - \sin \phi)$ که نشان‌دهنده مقاومت فشاری بر اساس معیار شکست موهر-کولمب می‌باشد، استفاده شد. شایان ذکر است که استفاده از چسبندگی و زاویه اصطکاک در ورودی شبکه تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشت و نتایج نیز تغییر محسوسی نداشتند که این امر نشان‌دهنده تبعیت محیط پیرامون تونل خط یک مترو تبریز از معیار موهر-کولمب می‌باشد.

۳. ۱۱- نتایج به دست آمده از شبکه زمانی، که از مقادیر واقعی نشست لگاریتم گرفته و سپس وارد شبکه عصبی می‌شود سبب بهبود نتایج شبکه و کاهش خطا شبکه می‌گردد.

۴. ۱۲- با توجه به نتایج به دست آمده از نرم‌افزار Flac 2D مقدار ضریب β در رابطه پیشنهادی پک برای شرایط ژئوتکنیکی تبریز ۰/۳ اصلاح می‌شود.

مراجع

- 1- Peck, R B., 1997, Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, state of the art report. In: 7th Int. Conf. Rock Mechanics and Engineering, 30(4), 207-22
- 2- Kim, C Y., Bae, GJ., Hong, SW., Park, CH., Moon, H K., Shin, HS., 2001, Neural Network based Prediction of Ground Surface Settlements due to Tunneling: Computers and Geotechnics, 28, 517-547.
- 3- Sagaseta, C., 1998, Surface Settlements due to Deformation of a Tunnel in an Elastic half Plane-discussion: Geotechnique, 48(5), 709-13.

8- Eberhardta, E., Steadb, D., Congganc, JS., 2002, Numerical Analysis of Initiation and Progressive Failure in Natural Rock Slope: Randal Rock slide, Sweden.

9- Barla, G., 2000, Continuous and Discontinuous Modeling in Tunnel Engineering, Italian Ministry for University and Technological Research (M.U.R.S.T) as Part of the Research Program "Tunneling in Difficult Condition".

10- Jing, L., 2003, A Review of Technique Advances and Outstanding Issues in Numerical Modeling for Rock Mechanics and Rock Engineering: International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 40, 283-353.

۴- سازمان قطار شهری تبریز، ۱۳۸۴، گزارش نتایج بررسی های زمین شناسی و ژئوتکنیکی خط شماره یک قطار شهری تبریز، ۱۲۰ ص.

۵- اتحادیه شرکت های قطار شهری، ۱۳۸۶، خبرنامه اتحادیه شرکت های قطار شهری، شماره ۸.

6- Hagan, MT., Bemath, HB., 2005, Bael M. Neural Networks Design: Pws Newyork, 1-50

7- Ovi'dio, J., Santos, JR., Tarcis'io, B., 2008, Artificial Neural Networks Analysis of Sa'õ Paulo Subway tunnel settlement data: Tunneling and Underground Space Technology, 23, 481-491.