

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی معدن و ژئوتکنیک

گروه استخراج
پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

تحلیل پایداری فضاهاى زیرزمینی با استفاده از شبکه های عصبی

مصنوعی

نگارنده:

نیما نیری

اساتید راهنما:

دکتر محمد عطایی

دکتر سید ابراهیم حسینی

استاد مشاور:

دکتر سید رحمان ترابی

بهار ۱۳۸۵

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به:

پدر عزیزم

و مادر مهربانم

معلمان نخستین زندگیم

آنان که خمیدند، تا راست قامت بمانم

آنان که موی سپید کردند، تا روی سپید بمانم.

تقدیر و تشکر:

الهی شکر از یاریت که پاهای لرزان مرا در راه علم توانا ساختی و به امیدت که تا همیشه در وادی علم استوارشان سازی.

اکنون که این پایان نامه به پایان رسیده است، برخود لازم می دانم از تمام کسانی که مرا در انجام این پایان نامه یاری کردند، تشکر نمایم. از آقایان دکتر محمد عطایی و دکتر سید ابراهیم حسینی که اساتید راهنمای اینجانب بودند و همچنین از جناب آقای دکتر سید رحمان ترابی که زحمت مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند، تشکر می نمایم.

جا دارد از آقایان مهندس اعتمادی و مهندس آجدانی در محل سایت تونل آبرسانی چشمه روزیه و آقایان دکتر بهنام فردوسی و مهندس امیر حسین وثوق در شرکت مهندسین مشاور هرازراه و آقایان دکتر ابولقاسم کامکار روحانی و مهندس اندیشه علیمزادی که در جمع آوری داده، با اینجانب همکاری کردند و همچنین مهندس نادر زیاری و تمامی دوستانم در دانشکده معدن و ژئوفیزیک تشکر نمایم.

چکیده:

امروزه با افزایش جمعیت و اشغال سطح زمین توسط تاسیسات روی سطحی و به دلیل کمبود فضا بر روی زمین، فضاهای زیرزمینی اهمیت ویژه ای یافته اند و استفاده از آنها روز به روز افزایش یافته است. پس از طراحی و اجرای این فضاها مهمترین مسأله پایداری آنها می باشد. روشهای تجربی، مشاهده ای و تحلیلی معمولترین روش ها برای تحلیل پایداری فضاهای زیرزمینی می باشند، که هر کدام از این روشها مشکلاتی مثل مبتنی بر تجربه بودن و دارای معادلات پیچیده و زمان بر بودن را دارا هستند. لذا روش های جدیدتری مورد استفاده قرار گرفته شده است که یکی از جدیدترین این روش ها، روش شبکه های عصبی مصنوعی می باشد.

در این مطالعه به منظور تحلیل پایداری تونل ها از شبکه های عصبی مصنوعی استفاده شده است. بدین منظور اطلاعات لازم، از سه سایت تونل آبرسانی چشمه روزیه سمنان، تونل راه آهن خماری و متروی اصفهان برداشت شده است که مقطع هر سه تونل نعل اسبی می باشد. با توجه به این داده ها دو نوع شبکه عصبی طراحی شد که در طراحی شبکه ها از شبکه Back propagation استفاده شده است. در حالت اول شبکه تنها با داده های مربوط به تونل های متروی اصفهان آموزش یافته و در حالت دوم همان شبکه با داده های مربوط به هر سه تونل آموزش یافته است. مطالعات انجام شده نشان می دهد که شبکه اول نسبت به دوم به علت برداشت اطلاعات از یک محل خاص دارای نتایج بهتری می باشد اما قابلیت تعمیم کمتری خواهد داشت. اما شبکه دوم به علت برداشت اطلاعات از محلهای مختلف نتایج ضعیف تری داشته اما قابلیت تعمیم آن به مناطق دیگر بیشتر است.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه..... ۲
- ۲-۱- تاریخچه شبکه های عصبی مصنوعی..... ۳
- ۳-۱- کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در معدن و علوم مربوطه..... ۵
- ۴-۱- مطالعات انجام شده در این زمینه..... ۶
- ۵-۱- هدف از انجام پایان نامه..... ۷
- ۶-۱- ساختار (فصل بندی) پایان نامه..... ۸

فصل دوم: روش های تحلیل پایداری فضاهای زیرزمینی

- ۱-۲- مقدمه..... ۱۰
- ۲-۲- عوامل موثر بر پایداری فضاهای زیرزمینی..... ۱۱
- ۳-۲- روشهای تحلیل پایداری زیرزمینی..... ۱۳
- ۱-۳-۲- روشهای مشاهده ای..... ۱۴
- ۲-۳-۲- روشهای تجربی..... ۱۴
- ۳-۵-۲- روشهای عددی..... ۱۴

فصل سوم: کلیاتی در مورد سایت های مورد مطالعه

۲۲	۱-۳- مقدمه.....
۲۲	۲-۳- پروژه تونل آبرسانی چشمه روزیه سمنان.....
۲۴	۱-۲-۳- ویژگیهای زمین شناسی مهندسی محدوده تونل.....
۲۴	۲-۲-۳- زمین ساخت منطقه.....
۲۵	۳-۲-۳- زمین شناسی مسیر تونل.....
۳۳	۳-۳- متروی اصفهان.....
۳۳	۱-۳-۳- کلیات.....
۳۵	۲-۳-۳- ساختارهای زمین شناسی.....
۳۸	۳-۳-۳- ویژگی های ژئوتکنیکی مصالح.....
۳۹	۴-۳-۳- وضعیت آبهای زیرزمینی.....
۳۹	۱-۴-۳-۳- آبخانه رسوبات رودخانه ای.....
۳۹	۲-۴-۳-۳- آبخانه رسوبات آبرفت دامنه ای.....
۳۹	۳-۴-۳-۳- سطح ایستابی آبهای زیرزمینی و نوسانهای آن.....
۴۳	۴-۳- تونل راه آهن خماری.....
۴۳	۱-۴-۳- مشخصات عمومی طرح.....
۴۴	۲-۴-۳- زمین شناسی عمومی منطقه.....
۴۵	۳-۴-۳- زمین شناسی ساختمانی.....

فصل چهارم: کلیاتی در مورد شبکه های عصبی مصنوعی

- ۴-۱- مقدمه..... ۵۰
- ۴-۲- شبکه های عصبی مصنوعی..... ۵۰
- ۴-۳- کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی..... ۵۲
- ۴-۴- ساختار شبکه های عصبی مصنوعی..... ۵۳
- ۴-۵- دسته بندی شبکه ها براساس روش یادگیری..... ۵۶
- ۴-۵-۱- شبکه های دارای یادگیری با ناظر..... ۵۶
- ۴-۵-۲- شبکه های دارای یادگیری بدون ناظر..... ۵۷
- ۴-۵-۳- یادگیری تشدید (تقویتی)..... ۵۷
- ۴-۶- دسته بندی شبکه ها براساس پیشخور و پسخور بودن..... ۵۸
- ۴-۶-۱- شبکه های پیشخور..... ۵۸
- ۴-۶-۲- شبکه های پسخور یا برگشتی..... ۵۸
- ۴-۷- پارامترهای شبکه..... ۵۹
- ۴-۷-۱- تعداد لایه های میانی..... ۵۹
- ۴-۷-۲- اثر تعداد المان های پردازش در لایه های میانی..... ۶۰
- ۴-۷-۳- مقداردهی اولیه وزنها..... ۶۱
- ۴-۷-۴- انتخاب نوع تابع محرک..... ۶۳
- ۴-۷-۵- نرخ یادگیری و گشتاور..... ۶۴
- ۴-۸- توقف آموزش..... ۶۵
- ۴-۹- یادگیری و تعمیم شبکه ها..... ۶۷

فصل پنجم: تحلیل پایداری فضاهاى زیرزمینی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

۷۰	۱-۵- مقدمه.....
۷۰	۲-۵- مراحل کار.....
۷۰	۱-۲-۵- جمع آوری و آماده سازی داده ها.....
۷۳	۲-۲-۵- تعیین نوع شبکه مورد استفاده و معماری آن.....
۹۰	۳-۲-۵- روش آموزش شبکه عصبی.....
۹۳	۱-۳-۲-۵- روش Levenberg – Marquardt.....
۹۴	۲-۳-۲-۵- خصوصیات (پارامترهای) معماری شبکه.....
۹۶	۴-۲-۵- روشهای ارزیابی شبکه های عصبی مصنوعی.....
۹۹	۳-۵- رقمی کردن خروجی ها و نمودار های آن.....
۱۰۴	۴-۵- تعیین درصد درستی شبکه.....
۱۰۵	۵-۵- شبکه سوم.....

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۰۸	۱-۶- نتیجه گیری.....
۱۰۹	۲-۶- پیشنهادات.....
۱۱۲	فهرست منابع.....
۱۱۸	پیوست الف.....

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲- تقسیم بندی توده سنگ از نظر وضعیت و شرایط ساختمانی.....	۱۶
شکل ۱-۳- موقعیت جغرافیایی تونل انتقال آب چشمه روزیه سمنان در نقشه ایران.....	۲۳
شکل ۲-۳- مسیر خط شمال به جنوب اصفهان و ایستگاههای مربوطه.....	۳۳
شکل ۳-۳- شبکه راه آهن ایران.....	۴۴
شکل ۴-۳- نمایش کنتورهای تجمعی قطب های درزه های برداشت شده از تونل خماری.....	۴۶
شکل ۵-۳- مشخصات ناپیوستگیهای تونل خماری.....	۴۶
شکل ۱-۴- یک شبکه عصبی مصنوعی.....	۵۷
شکل ۲-۴- فرآیند آموزش شبکه عصبی.....	۵۲
شکل ۳-۴- یک نرون با چند ورودی.....	۵۴
شکل ۴-۴- یک شبکه سه لایه.....	۵۶
شکل ۵-۴- یک شبکه پیشخور.....	۵۸
شکل ۶-۴- شبکه پسخور یا برگشتی.....	۵۹
شکل ۷-۴- کمینه محلی و سراسری.....	۶۳
شکل ۸-۴- تاثیر مومنتم بر یادگیری شبکه.....	۶۵
شکل ۹-۴- خطای مرتبط با مجموعه های آموزش و آزمون.....	۶۷
شکل ۱-۵- مراحل کار با شبکه عصبی.....	۷۱
شکل ۲-۵- معماری شبکه عصبی.....	۷۳
شکل ۳-۵- روند اجرای شبکه BP.....	۷۶
شکل ۴-۵- مقایسه بین مقادیر ضرایب رگرسیون برای شبکه اول با یک و دو لایه.....	۷۸

- شکل ۵-۵- مقایسه بین مقادیر خطای آموزش برای شبکه اول با یک و دو لایه..... ۷۸
- شکل ۵-۶- مقایسه بین مقادیر خطای تست برای شبکه اول با یک و دو لایه..... ۷۸
- شکل ۵-۷- مقایسه بین مقادیر Rms آموزشی برای شبکه اول با یک و دو لایه..... ۷۹
- شکل ۵-۸- مقایسه بین مقادیر Rms تست برای شبکه اول با یک و دو لایه..... ۷۹
- شکل ۵-۹- مقادیر خطای آموزش برای نرون های مختلف در حالت سه بعدی برای شبکه اول..... ۸۰
- شکل ۵-۱۰- مقادیر خطای تست برای نرون های مختلف در حالت سه بعدی برای شبکه اول..... ۸۱
- شکل ۵-۱۱- مقادیر Rms تست برای نرون های مختلف در حالت سه بعدی برای شبکه اول..... ۸۱
- شکل ۵-۱۲- مقادیر ضرایب رگرسیون برای نرون های مختلف در شبکه اول..... ۸۱
- شکل ۵-۱۳- مقادیر خطای آموزش برای نرون های مختلف در شبکه اول..... ۸۲
- شکل ۵-۱۴- مقادیر خطای تست برای نرون های مختلف در شبکه اول..... ۸۲
- شکل ۵-۱۵- مقادیر Rms آموزش برای نرون های مختلف در شبکه اول..... ۸۲
- شکل ۵-۱۶- مقادیر Rms تست برای نرون های مختلف در شبکه اول..... ۸۳
- شکل ۵-۱۷- مقادیر ضرایب رگرسیون برای نرون های مختلف در شبکه دوم..... ۸۳
- شکل ۵-۱۸- مقادیر خطای آموزش برای نرون های مختلف در شبکه دوم..... ۸۴
- شکل ۵-۱۹- مقادیر خطای تست برای نرون های مختلف در شبکه دوم..... ۸۴
- شکل ۵-۲۰- مقادیر Rms آموزش برای نرون های مختلف در شبکه دوم..... ۸۴
- شکل ۵-۲۱- مقادیر Rms تست برای نرون های مختلف در شبکه دوم..... ۸۵
- شکل ۵-۲۲- مقادیر Rms تست برای نرون های مختلف در شبکه دوم..... ۹۹
- شکل ۵-۲۳- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های آموزشی شبکه اول بدون
رقمی کردن خروجی ها..... ۱۰۰

- شکل ۵-۲۴- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های تست شبکه اول بدون
رقمی کردن خروجی ها.....۱۰۰
- شکل ۵-۲۵- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های آموزشی شبکه دوم بدون
رقمی کردن خروجی ها.....۱۰۱
- ۵-۲۶- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های تست شبکه دوم بدون رقمی
کردن خروجی ها.....۱۰۱
- شکل ۵-۲۷- چگونگی تعیین محدوده مربوط به هر عدد خروجی.....۱۰۲
- شکل ۵-۲۸- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های آموزشی شبکه اول بعد از
رقمی کردن خروجی ها.....۱۰۲
- شکل ۵-۲۹- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های تست شبکه اول بعد از
رقمی کردن خروجی ها.....۱۰۳
- شکل ۵-۳۰- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های آموزشی شبکه دوم بعد از
رقمی کردن خروجی ها.....۱۰۳
- شکل ۵-۳۱- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های تست شبکه دوم بعد از
رقمی کردن خروجی ها.....۱۰۴
- شکل ۵-۳۲- شبکه سوم.....۱۰۵

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲- روشهای پیشنهادی مناسب برای تحلیل تنش در سنگ در وضعیت های مختلف.....	۱۷
جدول ۱-۳- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۰+۱۴۷ الی ۰+۴۳۴ تونل ورودی.....	۲۶
جدول ۲-۳- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۰+۴۳۴ الی ۰+۵۷۵ تونل ورودی.....	۲۷
جدول ۳-۳- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۰+۵۷۵ الی ۰+۹۴۵ تونل ورودی.....	۲۸
جدول ۴-۳- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۳+۳۴۷ الی ۲+۷۳۰ خروجی تونل.....	۲۹
جدول ۵-۳- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۲+۷۳۰ الی ۲+۶۱۲ خروجی تونل.....	۳۰
جدول ۶-۳- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۲+۶۱۲ الی ۲+۵۳۸ خروجی تونل.....	۳۱
جدول ۷-۳- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۲+۵۳۸ الی ۲+۴۰۵ خروجی تونل.....	۳۲
جدول ۸-۳- داده های مربوط به تونل آبرسانی چشمه روزیه.....	۳۳
جدول ۹-۳- خصوصیات زمین شناسی مهندسی ناپیوستگی ها در محدوده مورد مطالعه.....	۳۶
جدول ۱۰-۳- مشخصات گمانه های حفر شده در قطعه مورد بررسی.....	۳۷
جدول ۱۱-۳- خصوصیات توده سنگ شیلی میزبان.....	۳۸
جدول ۱۲-۳- خصوصیات ماده سنگ شیلی میزبان.....	۳۸
جدول ۱۳-۳- داده های مربوط به تونلهای مترو اصفهان.....	۴۰
جدول ۱۴-۳- داده های مربوط به تونل راه آهن خماری.....	۴۷
جدول ۱-۵- مقادیر به دست آمده برای پارامتر های ارزیابی برای شبکه اول.....	۸۵
جدول ۲-۵- مقادیر به دست آمده برای پارامتر های ارزیابی برای شبکه دوم.....	۸۵
جدول ۳-۵- روش های آموزش شبکه عصبی.....	۹۱
جدول ۴-۵- مقایسه روش های آموزش شبکه برای شبکه اول.....	۹۲

جدول ۵-۵- مقایسه روش های آموزش شبکه برای شبکه دوم..... ۹۳

جدول ۵-۶- پارامترهای به کار رفته در شبکه ها..... ۹۶

جدول ۵-۷- مقادیر درستی شبکه ها..... ۱۰۴

فصل الاول

كليات

۱-۱- مقدمه

امروزه فضاهای زیرزمینی نقش مهمی را در زندگی بشر ایفا می کنند که طراحی، اجرا و پایدار سازی این فضاها از جمله مهم ترین و مشکل ترین مسائل در مهندسی تونل می باشد.

از زمانی که بشر به کندن دالان های زیرزمینی پرداخته، در روشهای ساختمانی به تدریج تغییر و تحولات اساسی صورت گرفته است. بناهای زیرزمینی در ابتدا از سنگریها در دالان های معدن شروع شدند و اکنون نیز که سطح زمین های شهری بیش از پیش تحت اشغال تأسیسات و خدمات مختلف قرار گرفته اند، برای حل مسائل مربوط به رفت و آمد و تأسیسات شهری، استفاده از فضاهای زیرزمینی مانند تونل های حمل و نقل شهری و پارکینگ های زیرزمینی و غیره اجتناب ناپذیر می نماید. در خارج از شهر ها نیز تونل های راه و راه آهن، نیروگاه های زیرزمینی، ورزشگاه های زیرزمینی و غیره از جمله فضاهای زیرزمینی می باشند. از چند دهه پیش به این طرف استفاده های جدیدی از فضاهای زیرزمینی به عمل آمده که در حال توسعه می باشد؛ مانند انبار کردن مواد نفتی، کارخانه های زیرزمینی، تونل های انتقال گرما، نیروگاه های هسته ای و غیره.

در نتیجه این تحولات فنی و اجتماعی، آهنگ اجرای فضاهای زیرزمینی و مخصوصاً تونل ها سریعتر شده است و همچنین از خطراتی که متوجه کارگران بود به طور محسوس کاسته شده است. با این حال نباید فراموش کرد که با وجود بهبود وسایل و مصالح و تکنولوژی، هنوز هم روند اجرای فضاهای زیرزمینی کند و پرخرج می باشد. این مسأله به این دلیل می باشد که تونل ها تماماً در زیرزمین قرار دارند و به هنگام اجرای آنها با وجود تمام پیشرفت هایی که در شناخت شرایط طبیعی و پیش بینی اتفاقات احتمالی به دست آمده است، همواره با عواملی غیرقابل پیش بینی برخورد می گردد و این امر ایجاب می کند که از تجربه های پیشین و نظریه های علمی و فنی هر دو استفاده شود.

با ایجاد این فضاها مهم ترین مسأله پایداری آنها می باشد. از آنجا که فضاهای زیرزمینی به لحاظ ابعاد و شکل، کاربرد و هدف، شرایط زمین شناسی و زمین ساخت و موقت یا دائم بودن آنها در طیف وسیعی از شرایط و عوامل موثر قرار دارند، مبحث بسیار گسترده ای را در حوزه ژئوتکنیک و مکانیک سنگ شامل می شوند که به کرات در جاهای مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفته شده است (بهنیا، ۱۳۷۳).

۱-۲- تاریخچه شبکه های عصبی مصنوعی

پیش زمینه های شبکه های عصبی مصنوعی به اواخر قرون نوزدهم بر می گردد. گامهای اولیه در این زمینه توسط روان شناسان مشهوری به نام ویلیام جیمز^۱ (۱۹۸۰) برداشته شد. در این دوره، کارهای اساسی در فیزیک، روانشناسی و نروفیزیولوژی^۲ توسط علمایی چون هرمان فون هلمهلتز^۳، ارنست ماخ^۴ و ایوان پاولف^۵ صورت پذیرفت. این کارهای اولیه عموماً بر تئوری های کلی یادگیری، بینایی و شرطی تاکید داشته اند و اصلاً به مدلهای مشخص ریاضی عملکرد نرونها اشاره ای نداشته اند.

وارن مک کلوت^۶ و والتر پیتس^۷ (۱۹۴۳) برای اولین بار عملکرد مغز را توسط روابط ریاضی نشان دادند. دونالد هب^۸ این مسیر را ادامه داد و سرانجام فرانک روزنبلات^۹ و همکارانش (۱۹۵۸) شبکه پرسپترون^{۱۰} را معرفی کردند که این شبکه قادر به شناسایی الگوها از یکدیگر بود. برنارد ویدرو^{۱۱} (۱۹۶۰) طرح روزنبلات را توسعه دادند و شبکه آدالاین^{۱۲} با قانون فراگیری جدید را ارائه داد.

-
- 1- William James
 - 2- Neuro-physiology
 - 3- Helmholtz
 - 4- Ernst Mach
 - 5- Ivan Pavlov
 - 6- McCulloch
 - 7- Walter Pitts
 - 8- Donald Hebb
 - 9- Frank Rosenblatt
 - 10- Perceptron
 - 11- Bernard Widrow
 - 12- ADALINE

هر دو شبکه پرسپترون و آدالاین دارای این محدودیت بودند که توانایی طبقه بندی الگوهای را داشتند که به طور خطی از هم متمایز می شدند. ویدرو^۱ و روزنبلانت هر دو از این امر آگاه بودند. آنها توانستند شبکه های چند لایه را مطرح نمایند، لکن نتوانستند الگوریتمهای یادگیری شبکه های تک لایه را بهبود بخشند.

کایانلو^۲ (۱۹۶۱) شبکه ای را عرضه کرد که شامل داده های متغیر با زمان بود. تئوکوهونن^۳ و جیمز اندرسون^۴ (۱۹۷۲) شبکه های جدیدی را عرضه کردند که به عنوان عناصر ذخیره ساز عمل می کرد. در همین دهه استفان گروسبرگ^۵ روی شبکه های عصبی خودسازمانده^۶ کار کرد. فعالیت در زمینه شبکه های عصبی در دهه ۶۰ قرن بیستم در قیاس با دهه ۸۰، به علت عدم بروز ایده های جدید و نبود کامپیوترهای سریع جهت پیاده سازی، کمرنگ بود. جان هاپفیلد^۷ (۱۹۸۲) شبکه های برگشتی (پسخور)^۸ را معرفی کرد و دیوید راملهارت^۹ و جیمز مک کلند^{۱۰} الگوریتم پس انتشار خطا^{۱۱} را ارائه دادند که تولدی دوباره برای شبکه های عصبی به شمار می رود.

در سالهای اخیر شبکه های عصبی در دو جهت تئوری و عملی توسعه بسیاری داشته است و این روند رشد در دوره هایی بسیار سریع و در دوره هایی کند بوده است و همچنان ادامه دارد. در طی این توسعه، ساختارها و روشهای یادگیری جدید ارائه می شود (منهاج، ۱۳۸۱).

استفاده از شبکه عصبی در مسائل مهندسی به طور شدیدی در چند سال گذشته گسترش یافته است. پیاده سازی ویژگیهای شگفت انگیز مغز در یک سیستم مصنوعی (سیستم دینامیکی ساخته دست بشر) همیشه وسوسه انگیز و مطلوب بوده است. محققینی که در طی سالها در این زمینه

1- Widrow

2- Caianello

3- Teo Kohonen

4- James Anderson

5- Stephan Grossberg

6- Self-Organize

7- John Hopfield

8- Feedback

9- David Ramelhart

10- James Mccland

11- Back Propagation

فعالیت کرده اند بسیارند؛ لیکن نتیجه این تلاشها، صرف نظر از داده های ارزشمند، باور هر چه بیشتر این اصل بوده است که مغز بشر دست یافتنی است.

باید اذعان داشت که عالی بودن هدف و کافی نبودن دانش موجود، خود سبب انگیزش پژوهشهای بیشتر و بیشتر در این زمینه بوده و خواهد بود، همچنان که امروزه شاهد بروز چنین فعالیت هایی در قالب شبکه های عصبی مصنوعی هستیم. اغلب آنهایی که با چنین سیستمهایی آشنایی دارند، به اغراق آمیز بودن نام آنها معترفند، اگرچه این اغراق بیانگر مطلوبیت و نیز بعضی از شباهتهای این گونه سیستمها با سیستمهای طبیعی است، ولی می تواند تا حدی بین آنچه که سیستمهای عصبی مصنوعی در اختیار قرار می دهد و آنچه که از نامشان برمی آید تناقض ایجاد نماید. بنابراین هنگام صحبت در مورد شبکه های عصبی، باید حدود انتظارات، برداشت ها، امکانات و شباهت ها را مشخص کرد (منهاج، ۱۳۸۱).

۱-۳- کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در معدن و علوم مربوطه

یکی از کاربردهای شبکه عصبی مصنوعی در علوم معدنی می باشد. شبکه عصبی برای تصمیم گیری درباره توصیف مرزها، کیفیت توده و عمق تشکیل سنگ و برای تخمین میزان ذخیره و زمان واقعی فشار سقف به کار می رود.

در تحقیقات ژئوتکنیکی، شبکه عصبی به عنوان یک مدل ترکیب کننده چندین نوع خاک و مواد دیگر به کار می رود. در زمینه کنترل از راه دور با ماهواره، شبکه عصبی برای تصمیم گیری درباره نواحی مختلف سنگ شناسی به کار می روند. مسائل دیگری هم که با کاراکترهای سنگ و ماده معدنی سر و کار دارند، وجود دارند. شبکه عصبی همچنین می تواند به عنوان وسیله ای برای تصمیم گیری درباره میزان اهمیت فاکتورهای مؤثر بر پایداری فضاهای زیر زمینی به ما کمک کند. یک استفاده جالب از شبکه عصبی استفاده آن برای تصمیم گیری درباره نوع حوادث (زمین لرزه، آتشفشانی معدن و توده انباشته و واکنش های شیمیایی و غیره) با توجه به داده های زلزله شناسی

است. کار مشابهی انجام یافته است که لرزش ناشی از معدن کاری توسط شبکه عصبی تخمین زده می شود.

به طور کلی، شبکه عصبی مصنوعی در زمینه معدن در مسائلی مانند: انتخاب بهینه سرمت های حفاری (Yilmaz, 2002)، ارزیابی مهندسی زمین شناسی (Yuanyou et.al, 1997)، مدل کردن مقاومت بتن (Ren et.al, 2002)، سیستم مهندسی سنگ (RES) (yang et.al, 1998)، پیش بینی نشست زمین بر اثر تونلسازی (kim et.al, 2001)، پیش بینی میزان جابجایی شیب (Deng & Lee, 2000)، مهندسی محیط زیست (Kapageridis, 2002)، پیش بینی نرخ نفوذ (TBM) (یاوری و مهدوری، ۱۳۸۳)، تخمین میزان ذخیره (کاظمی، ۱۳۸۱)، تخمین خصوصیات مخزنی در مهندسی نفت (ظهره بند، ۱۳۸۱)، تخمین تخلخل سنگ از روی نگارهای چاه (صدیق عربانی، ۱۳۸۱) و تخمین نفوذپذیری سنگ مخزن (تدینی و عربانی و بید هندی، ۱۳۸۱) و... کاربرد دارد.

۴-۱- مطالعات انجام شده در زمینه پایداری فضاهاى زیرزمینی

تحلیل پایداری فضاهاى زیرزمینی و تونل ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی موضوعی جدید می باشد که در این زمینه به علت کمبود اطلاعات کار چندانی انجام نشده است. سه نمونه از کاربردهای شبکه عصبی مصنوعی در تحلیل پایداری حفریات زیرزمینی به شرح زیر است:

الف- تحلیل پایداری سیستم نگهداری تونل

این کار در سال ۲۰۰۰ توسط سن - سو^۱ و همکاران انجام شد که داده ها از تونل راه آهنی در غرب تایوان برداشت شده است. در این مطالعه داده های اولیه شامل ۱۰۰۰ داده بود که پس از حذف داده های دارای نویز تعداد ۴۷۰ جفت داده برای تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. در این کار از شبکه پس انتشار برای آموزش استفاده شد و پارامترهای ورودی شبکه شامل ۱۴ پارامتر مکانیک سنگی و اجرایی بودند و پارامتر خروجی هم حالت پایداری سیستم نگهداری بود که شامل سه دسته مناسب،

خطر دهنده و بد می شد. در این کار پایداری سیستم نگهداری تونل با دو روش شبکه عصبی و آماری با هم مقایسه گردید که شبکه عصبی نتیجه بهتری داشت.

ب- تحلیل پایداری دهانه های معادن روش کندن و پر کردن

در سال ۲۰۰۲، ونگ^۱ و همکاران داده هایی از شش معدن در کشور کانادا که به روش کندن و پرکردن استخراج می شدند، جمع آوری کردند که شامل ۲۹۲ داده می شد. در این کار، اطلاعات پارامترهای دهانه ورودی معادن، Q و RMR به عنوان پارامترهای ورودی و حالت پایداری؛ شامل سه حالت پایدار، دارای پتانسیل ناپایداری و ناپایدار، به عنوان پارامتر خروجی بودند. سپس گراف دهانه بحرانی لانگ^۲، توسط شبکه عصبی به چند معدن گسترش داده شده است.

ج- تخمین میزان جابجایی در سقف و دیواره تونل های راه آهن

این تحقیق در سال ۱۳۸۳ توسط احمدی و ابراهیم پور انجام شده است، که در این کار با استفاده از نرم افزار FLAC محیط تونل های راه آهن شبیه سازی شده است و تعداد ۱۸۳ داده تولید (ساخته) شده و با استفاده از آنها شبکه عصبی آموزش داده شده است. پارامترهای ورودی این داده ها شامل مدول الاستیک، نسبت پواسون، مقاومت کششی، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی توده سنگ، مقدار تنش اولیه قائم و نسبت تنش افقی به قائم می باشند و پارامتر خروجی هم میزان جابجایی در سقف و دیواره ها می باشد.

۱-۵- هدف از انجام پایان نامه

هدف از انجام این پایان نامه، تحلیل پایداری فضاهای زیرزمینی از جمله تونلها با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می باشد.

در تحلیل پایداری فضاهای زیرزمینی (تونل) روشهای مختلفی از جمله روشهای تجربی، مشاهده ای و روشهای عددی و به کار برده می شوند، که هیچکدام از این روشها کامل نمی باشد و

1 - Wang

2 - Lang

هر کدام دارای نواقصی هستند. پایه و اساس روشهای تجربی؛ تجربیات کسب شده در یک منطقه یا مناطق خاص می باشد که روابط و فرمولهای مربوط دارای قطعیت ۱۰۰٪ نیستند. در روشهای عددی نیز فرمولها پیچیده و گاهی اوقات غیر قابل حل می باشند. این مسائل باعث شده است تا افرادی که در زمینه تحلیل پایداری فضاها و زیرزمینی تحقیق می کنند، به دنبال روشهای جدیدتر و بهتر برای این کار باشند، که در نتیجه روشهایی مانند روش شبکه عصبی مصنوعی، روش فازی، روش عصبی - فازی، الگوریتم ژنتیک و مورد بررسی قرار گرفتند که در این مطالعه پایداری فضاها و زیرزمینی توسط روش شبکه های عصبی مصنوعی تحلیل می شود، که یکی از این روشهای جدید می باشد و برای دسترسی به نتایج بهتر از آن استفاده می شود.

برای انجام این مطالعه، اطلاعات ۳ تونل شامل تونل آبرسانی چشمه روزیه سمنان، تونل راه آهن خماری و تونل های قطعه جنوبی مترو اصفهان برداشت شده است که برداشتن داده از چندین محل به جای برداشتن داده از یک محل فواید (مانند قابلیت تعمیر بهتر و بالاتر) و مضراتی (مانند ایجاد خطا و نویز در داده ها ناشی از برداشت کننده های متفاوت) دارد که در فصل پنجم بیشتر توضیح داده خواهد شد.

۱-۶- ساختار (فصل بندی) پایان نامه

این پایان نامه به ۶ فصل تقسیم شده است. فصل اول شامل کلیاتی از پایان نامه می باشد. در فصل دوم فضاها و زیرزمینی و پایداری آنها مورد بحث قرار گرفته است. در فصل سوم خصوصیات زمین شناسی و جغرافیایی سایت های مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل چهارم کلیاتی در مورد شبکه های عصبی مصنوعی توضیح داده شده است. در فصل پنجم نتایج تحلیل پایداری تونلها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بیان شده است و در فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادات بیان شده است.

فصل دوم

فضاهای زیرزمینی و پایداری آنها

محور اساسی در طراحی هر فضای زیرزمینی باید بر پایه مورد استفاده قرار دادن خود سنگ به عنوان مصالح اصلی سازه ای باشد. در طی فرآیند حفاری تا جایی که ممکن است، میزان سست شدگی و شکست سنگ اطراف تونل به حداقل برسد تا نیاز به نگهدارنده بتنی یا فولادی کمتر شود. عمدتاً سنگهای سخت در حالت بکر و قبل از قرارگیری در معرض تنشهای فشاری، به مراتب قوی تر از بتن بوده و بسیاری از آنها به لحاظ مقاومت هم ردیف فولاد قرار می گیرند. در نتیجه عوض کردن مصالحی مثل سنگ که ممکن است کاملاً و به اندازه کافی مقاوم باشد، با مصالحی مثل بتن که معلوم نیست بهتر از سنگ باشد، اقتصادی نیست.

وسعت و دامنه استفاده از خود سنگ به عنوان حفاظ و نگهدارنده، بستگی به شرایط زمین شناسی دارد که در ساختگاه و سایت تونل حاکم است و بستگی به این دارد که طراح تا چه میزان نسبت به این شرایط حساس است و تا چه میزان می خواهد آنها را در طرح تاثیر داده و در نظر بگیرد. بنابراین، تفسیر دقیق زمین شناسی منطقه حفاری از شروط ضروری برای طراحی منطقی است.

۲-۲- عوامل موثر بر پایداری فضاهای زیرزمینی

عوامل موثر بر پایداری فضاهای زیرزمینی را می توان به دو دسته کلی تقسیم بندی کرد:

- ۱- پارامترهای طبیعی^۱؛ شامل ساختار توده سنگ، خواص فیزیکی و مکانیکی سنگ، پارامترهای هندسی و مکانیکی درزه ها^۲، زاویه شیب لایه های زمین، عمق کار، شرایط آبهای زیرزمینی و
- ۲- پارامترهای تکنیکی مربوط به معدنکاری؛ شامل شکل مقطع مورد حفاری، مشخصات تکنیکی سیستم های نگهداری موقت و نهایی، تکنولوژی نصب سیستم نگهداری، روشهای کنترل طبقات در مجاورت سینه کار حفاری و حفاظت راهروها در مقابل اثرات زیان آور ناشی از عملیات معدنکاری.

1- Natural parameters

2- Joints

عدم پایداری فضاهای زیرزمینی ناشی از تمرکز بیش از حد تنش در توده سنگ مجاور سینه کار، وارد آمدن فشار بیش از حد به سیستم نگهداری و تغییر در خواص تغییر شکل پذیری و مقاومت سنگ می باشد. وقوع هر یک از این حالتها ممکن است در اثر عواملی از این قبیل باشد:

- ۱- موقعیت یا محل نامناسب فضای زیرزمینی نسبت به امتداد و شیب طبقات سنگی
 - ۲- انتخاب نادرست شکل و عدم تناسب ابعاد مقطع مورد حفاری
 - ۳- رها کردن فضای زیرزمینی بدون نصب سیستم نگهداری در شرایطی که به سیستم نگهداری نیاز باشد.
 - ۴- استفاده از سیستم نگهداری نامناسب
 - ۵- نصب اشتباه سیستم نگهداری
 - ۶- اثر مخرب کارهای معدنی مجاور
 - ۷- اثر پدیده های دینامیکی
 - ۸- تغییرات ناگهانی در شرایط آبهای زیرزمینی و حرارت توده سنگهای اطراف فضای زیرزمینی
- در فضاهای زیرزمینی سنگی عمده‌تاً دو نوع ناپایداری اتفاق می افتد؛ در حالت اول فضای زیرزمینی با تخریب ناگهانی همراه می باشد. در این حالت ناپیوستگیها، سنگهای اطراف فضای زیرزمینی را به قطعات جداگانه تقسیم کرده و قطعات مزبور می توانند حرکت انتقالی یا چرخشی داشته باشند. در حالت دوم، که با همگرایی تدریجی تونل همراه است، برخلاف حالت اول، ناپایداری در اعماق زیاد و در اثر وجود تنشهای اولیه بیش از حد ایجاد می شود. در این حالت تاثیر ناپیوستگیها در توده سنگ عاملی ثانویه به شمار می رود (دهقان بنادکی، ۱۳۷۹).

۲-۳- روشهای تحلیل پایداری زیرزمینی

به طور کلی در روشهای تحلیل پایداری بایستی توجه شود که بهترین روش انتخاب شود تا علاوه بر رعایت جنبه های اقتصادی و فنی، از نظر کاربردی ساده باشد و نتایج آن نیز با رعایت ضریب اطمینان کافی، از درجه اعتبار مناسب برخوردار باشد. کلیه روشهای موجود در تحلیل پایداری حفريات زیرزمینی را می توان در سه رده کلی مشاهده ای، تجربی و عددی تقسیم بندی کرد.

در روشهای مشاهده ای، طراحی نگهداری بر اساس ثبت و تفسیر داده های حاصل از رفتارنگاری در حین اجرای سازه انجام می گیرد. بدین ترتیب که به وسیله رفتارنگاری همزمان با عملیات پیشروی واکنش سنگ در برابر حفر، اندازه گیری شده سپس بعد از تجزیه و تحلیل نتایج آن طرح نگهداری برای وضعیت موجود ارائه می شود. روش همگرایی- محصور شدگی^۱ و NATM^۲ از جمله این روشها به حساب می آیند.

روشهای تجربی بر اساس تجاربی می باشد که در طی پروژه های مختلف و تحت شرایط گوناگون جمع آوری می شود. در این روشها طبقه بندی مهندسی سنگ به عنوان ستون اصلی مطرح است.

در روشهای عددی که امروزه بیشترین کاربرد را یافته است، رفتار یک مدل اعم از فیزیکی یا ریاضی تحت شرایط گوناگون تعیین می شود و نتایج آن به سازه مورد نظر تعمیم داده می شود. زیر بنای آنها، روشهای طراحی تحلیلی به وسیله فرمولهای ریاضی و محاسبات پیچیده می باشد و به همین دلیل استفاده از رایانه در این زمینه به منظور افزایش سرعت و دقت محاسبات بسیار مفید واقع شده است. در ادامه این بخش به شرح مختصری از روشهای مشاهده ای، تجربی و عددی پرداخته می شود.

1- Convergence - Confinement
2- New Austrian Tunneling Method

۲-۳-۱- روشهای مشاهده ای

این روشها بر مبنای اندازه گیریهای آزمایشگاهی و برجا استوار می باشد. طراحی تونلها و فضاهای زیرزمینی با روشهای مشاهده ای شامل تفسیر داده های رفتارسنجی در مدت ساخت و اجرا می باشد. بنابراین یک روش طراحی مشاهده ای، طراحی همراه با پیشرفت کار می باشد. در این روشها تا حدودی از روشهای تجربی کمک گرفته می شود، ولی به طور کلی اساس تحلیل و قضاوت مهندسی در مورد نحوه اجرای سازه و سیستم نگهداری براساس ابزاربندی و رفتارسنجی سازه مورد نظر می باشد.

در این مورد می توان از روشهای تونلسازی جدید اتریشی (NATM) و روش همگرایی - محصور شدگی و روش محاسبه مستقیم کرنش^۱ (DSET) و روشهای مدلسازی فیزیکی نام برد که همه این روشها تاکید بر رفتارسنجی فضای زیرزمینی در طول اجرا دارند (kovari,1983).

۲-۳-۲- روشهای تجربی

طبقه بندی مهندسی سنگ، پایه و اساس روشهای تجربی را تشکیل می دهد و به طور وسیعی در مهندسی سنگ به کار برده می شود. به طور کلی در صورت وجود شرایط معین و با ترکیب کردن یافته های مشاهده شده، به همراه تجربه وقضاوت مهندسی می توان توده سنگ را طبقه بندی کرد و بدین ترتیب ارزیابی کمی از شرایط توده سنگ و میزان نگهداری لازم را فراهم آورد. طبقه بندی مهندسی سنگ ها روش های مختلفی مانند RMR ، Q و GSI و غیره را شامل می شوند که رواج بیشتری در تونلسازی و تحلیل پایداری فضاهای زیر زمینی دارند این روش ها در پیوست توضیح داده شده است.

۲-۳-۳- روشهای عددی

این روشها شیوه های جدیدتری نسبت به روش های تجربی و تحلیلی هستند. مدل های عددی برنامه های کامپیوتری هستند که سعی می کنند تا پاسخ مکانیکی توده سنگ را که در معرض یک سری

1- Direct Strain Evaluation Technique

شرایط اولیه از قبیل تنش‌های برجا و سطوح آب و شرایط حدی و تغییرات ایجاد شده از قبیل حفاری را ارائه نمایند. نتیجه شبیه‌سازی مدل عددی به طور مشخص تعادل و یا سقوط خواهد بود. در حالت تعادل می‌توان تنش‌ها و جابجایی‌های حاصله در هر نقطه از توده سنگی را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه کرد. در حالت ریزش، حالت پیش‌بینی شده برای گسیختگی نمایش داده خواهد شد.

مدل‌های عددی توده سنگ را به نواحی مختلف تقسیم می‌کنند. به هر ناحیه مدل مصالح و خواص ویژه اختصاص می‌یابد. مدل‌های مصالح، روابط تنش-کرنش هستند که چگونگی عملکرد مصالح را شرح می‌دهند. ساده‌ترین مدل یک مدل الاستیک خطی است که خواص الاستیک (مدول یانگ و ضریب پواسون) مصالح را استفاده می‌کند. مدل‌های الاستیک - پلاستیک پارامترهای مقاومتی را برای محدود کردن تنش برشی یک ناحیه مورد استفاده قرار می‌دهند.

نواحی ممکن است به یکدیگر متصل باشند که یک مدل پیوسته نامیده خواهد شد و یا توسط ناپیوستگی‌ها از هم جدا شده باشند که مدل ناپیوسته نامیده می‌شود. مدل‌های ناپیوسته اجازه لغزش و جدایی در سطوح آشکار در داخل مدل را می‌دهند. مدل‌های عددی قابلیت حل دامنه متفاوتی از مسایل را دارا می‌باشند.

روشهای عددی که در مسائل مکانیک سنگ و ژئو تکنیک کاربرد دارند عبارتند از :

۱- روش اجزاء محدود^۱

۲- روش تفاضل محدود^۲

۳- روش اجزاء مرزی^۳

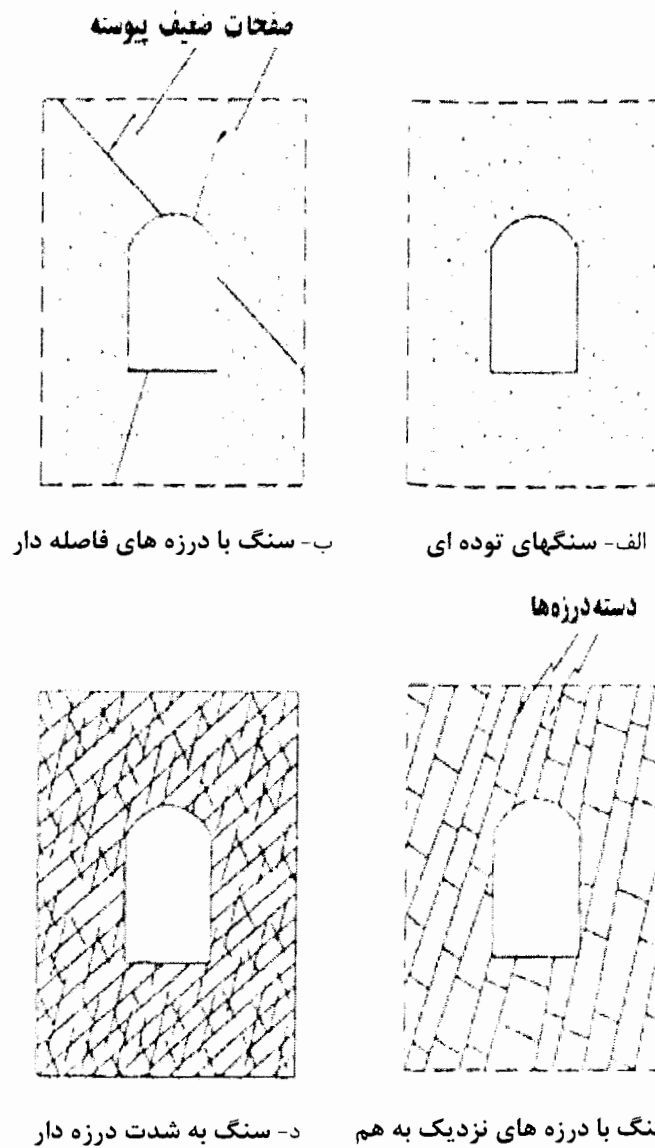
۴- روش اجزاء جداگانه^۱

1- Finite Element Method

2- Finite Difference Method

3- Boundary Element Method

شرط کلی استفاده از روشهای فوق را می توان با توجه به وضعیت ساختمانی توده سنگ که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است و همچنین رفتار ذاتی توده سنگ مشاهده کرد (جدول ۱-۲).



شکل ۱-۲- تقسیم بندی توده سنگ از نظر وضعیت و شرایط ساختمانی (قارونی، ۱۳۸۰)

با توجه به شکل و جدول فوق می توان دیدگاهی در ارتباط با انتخاب روش مورد استفاده برای تحلیل تنش و کرنش و در نهایت تعیین میزان پایداری پیدا کرد.

جدول ۱-۲- روشهای پیشنهادی مناسب برای تحلیل تنش در سنگ در وضعیت های مختلف (Gautschi, 1997)

وضعیت توده سنگ		رفتار توده سنگ
		الاستیک - خمیری
		الاستیک
سنگهای توده ای		اجزاء مرزی تفاضل محدود
سنگ با درزه های فاصله دار		اجزاء مرزی تفاضل محدود اجزاء محدود
سنگ با درزه های نزدیک به هم		اجزاء مجزا اجزاء جداگانه
سنگ به شدت درزه دار		اجزاء محدود تفاضل محدود

الف- روش اجزاء محدود (FEM) ^۱

این روش یکی از عمده ترین روشهای رایج در علوم مهندسی است و در مسائل متنوع شاخه های مختلف علوم مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش محدوده مسئله باید با المانهایی با اشکال متنوع (مثلثی و مستطیلی در حالت دو بعدی و چهار وجهی و شش وجهی در حالت سه بعدی) تقسیم شود که در نقاط گره ای به هم متصل می شوند. تعداد المانهای زیادی برای مدلسازی سازه استفاده می شود تا امکان حل آن با تقریب بهتری فراهم شود. در این روش جابجایی ها در نقاط گره ای مجهول هستند و باید محاسبه شوند. تنشها نیز در یک یا چند نقطه درون المان محاسبه می شوند، خواص ماده در هر المان میتواند با المانهای دیگر متفاوت باشد. عیب اصلی این روش آن است که برای آماده سازی

^۱ - Finite Element Method

اطلاعات یک مساله، کوشش بسیاری لازم است. همچنین زمان زیادی صرف حل مجموعه معادلات شبیه سازی می شود و این مشکل در صورتی که مسئله غیر خطی باشد زیادتر می شود.

علی رغم معایب فوق FEM بطور گستره ای در مهندسی ژئو تکنیک عمومیت یافته که این امر به علت وجود نقاط قوت، عمومیت و انعطاف پذیری این روش بر اساس اعمال انواع بار گذاریها، توالی مراحل اجرا و غیره می باشد.

ب- روش اجزاء مرزی (BEM)^۱

این روش کاربرد زیادی در حل مسائل الاستیک خطی و همگن و در حالت سه بعدی دارد، برای انجام تحلیل در این روش تنها لازم است که سطح توده سنگ به قطعات کوچکتر تقسیم شود. بنابراین برای وضعیتهای دو بعدی المانهای خطی و در حالت سه بعدی المانهای سطحی در مرز مسئله مورد نیاز هستند.

برای موادی با رفتار غیر خطی و پیچیده، مزایای این روش به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. ماتریسهای معادلات حاصل از این روش مانند روش FEM نواری و متقارن نیستند، ولی با اینکه تعداد معادلاتی که باید حل شوند به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد اما زمان محاسبات به همان اندازه کاهش نمی یابد.

ج- روش تفاضل محدود (FDM)^۲

در این روش مشابه با روش المان محدود، ناحیه مورد تحلیل به المانهای تقسیم می شود. این روش یک روش تکرار است و شاید از قدیمی ترین روشهای عددی برای حل معادلات دیفرانسیل باشد. در ابتدا معادلات دیفرانسیل به معادلات جبری تبدیل می شوند و مقادیر عددی موجود را جایگزین کرده و در

1- Boundary Element Method

2- Finite Difference Method

نتیجه مقادیر عددی جدیدی بدست می آیند، که این مقادیر مجدداً جایگزین مقادیر قبلی می شوند و این پروسه تا رسیدن سیستم به یک حالت تعادل ادامه پیدا میکند در این حالت جوابهای معادلات دیفرانسیل (سرعتها، تنشها و کرنشها) به دست می آیند.

در این روش هیچگونه ماتریس سختی بوجود نمی آید، لذا محدودیت کمتری دارد و همچنین حل بدون ماتریس، اجازه تغییر مکانهای بزرگ بدون اقدامات اضافی را می دهد و برای محاسبات دینامیکی بسیار مؤثر است. از این روش به راحتی می توان در آنالیز موادی که رفتار زمانمند دارند استفاده کرد، از معایب این روش این است که برای تحلیل مسائل استاتیکی خطی زمان زیادی را در مقایسه با روشهای دیگر می گیرد.

د- روش المانهای مجزا (DEM)^۱

این روش بر اساس رفتار یک توده سنگ به عنوان یک محیط ناپیوسته شکل گرفته است. وقتی بارگذاری اعمال می شود، تغییراتی در نیروهای تماسی رخ می دهد. در سطوح ابتدایی این روش از ایزوتوپهای کروی صلب با دیسک هایی به عنوان المان استفاده می کنند.

در این روش معادلات دینامیکی برای هر المان به صورت تکرار حل می شوند تا قوانین تماس در شرایط مرزی ارضاء شوند. در سطوح جدید این روش، المانها می توانند به اشکال مختلف در نظر گرفته شوند. المانها بر اساس معیار شکست مفروضی در طی فرآیند محاسبات می توانند بدون هیچ گونه ملاحظه ای به دو نیم تقسیم شده و به همین دلیل این روش، فوق العاده قوی می باشد. البته مشکلاتی هم وجود دارند که عبارتند از :

- ۱- اول اینکه علاوه بر پارامترهای اضافی خاصی که تمایل به میرایی سیستم دارند، پارامترهای لازم برای توصیف ماده نیز باید به دقت انتخاب شوند.

۲- دوم اینکه زمان لازم برای محاسبات حتی برای حل یک مسئله ساده نیز خیلی زیاد است.

نرم افزارهای موجود برای تحلیل عددی تنش که با روشهای ذکر شده عمل می کنند عبارتند از:

نرم افزارهای *MAP3D, EXAMINE3D* که بر مبنای روش عناصر مرزی سه بعدی تحلیل تنش می کنند. نرم افزار *PHASES* که بر مبنای روشهای ترکیبی بنا شده است؛ در این نرم افزار برای مدل سازی رفتار غیر خطی و ناهمگن توده های سنگی در نزدیکی مرز تونل از روش عناصر مرزی استفاده شده است، اما برای تحلیل وضعیت تنشهای برجا در فواصل دور از محور تونل بر اساس محاسبات عناصر محدود عمل می کند. نرم افزار *FLAC2D* نرم افزار دو بعدی است که بر مبنای روش تفاوت های محدود و بر اساس محاسبات لاگرانژین که برای مدلسازی تغییر شکلهای عظیم کارایی خوبی دارد بنا شده است.

نرم افزار *FLAC3D* نوع گسترش یافته ای از *FLAC2D* است و مبنای آن نیز همان تفاوتهای محدود است که بصورت سه بعدی تحلیل می کند (قارونی، ۱۳۸۰؛ Stoer, Bulirsch, 1993; Gautschi, 1997).

فصل سوم

گلیپاتی در مورد سایت های مورد مطالعه

۳-۱- مقدمه

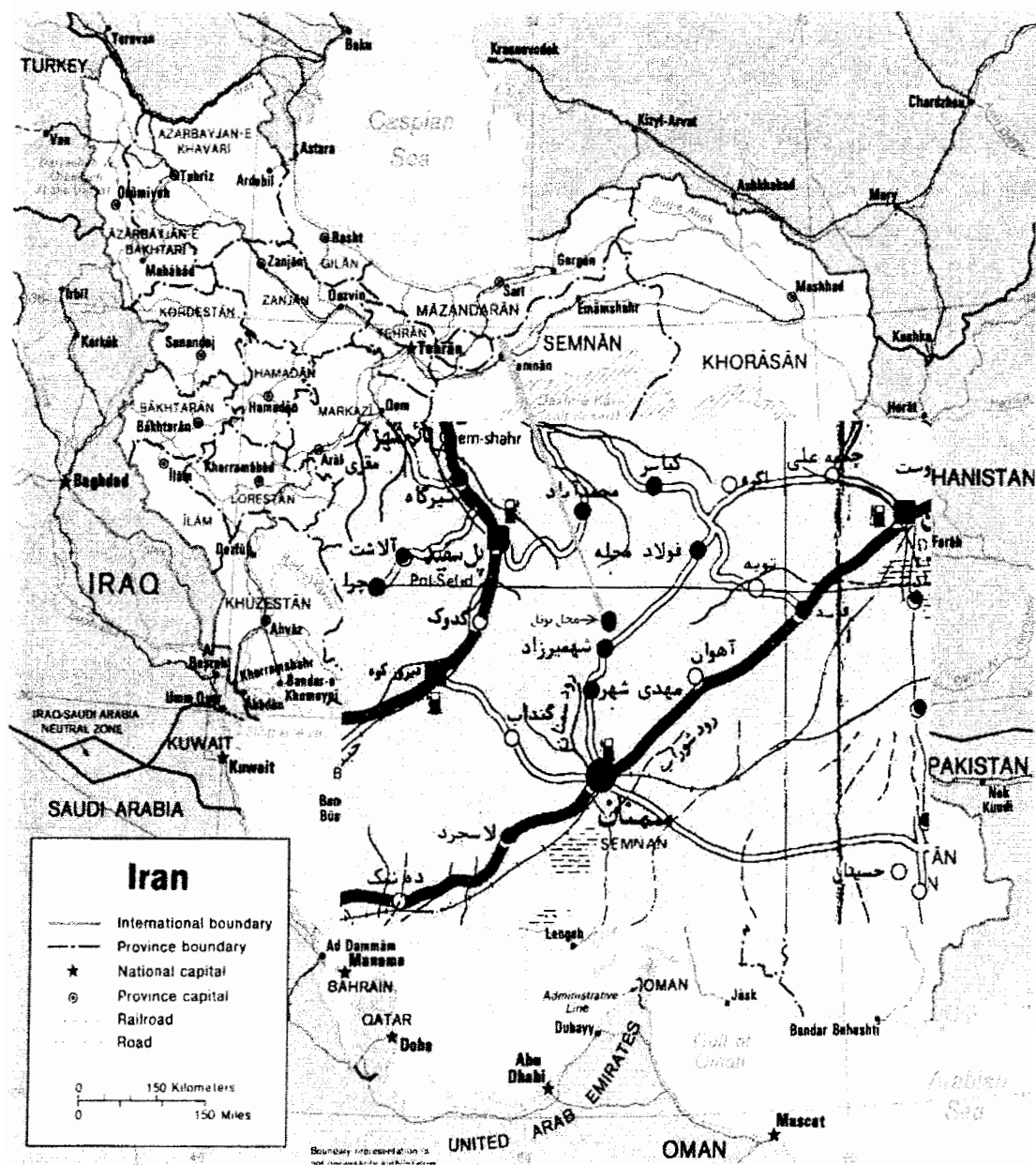
کار با شبکه عصبی احتیاج به جمع آوری تعداد زیادی داده دارد. داده ها باید دارای نظم باشند و حداقل خطا و نویز را داشته باشند. این داده ها همچنین باید پارامترهای در نظر گرفته شده برای طراحی شبکه را دارا باشند. داده های غلط سبب آموزش نادرست شبکه می شوند و باعث می شوند که آموزش شبکه از هدف تعریف شده دور شود.

برای انجام این پایان نامه اطلاعات لازم از محل سه سایت تونل آبرسانی سمنان (چشمه روزیه)، متروی اصفهان و تونل راه آهن خماری جمع آوری شده اند. در این فصل مشخصات و خصوصیات زمین شناسی، جغرافیایی و هر یک از این سایتهای شرح داده خواهد شد.

۳-۲- پروژه تونل آبرسانی چشمه روزیه سمنان

طرح آبرسانی سمنان به منظور تامین بخشی از نیازهای آبی شهر سمنان در حال اجرا می باشد. آب مورد نیاز طرح با احداث آبگیر و سازه های جانبی در مجاورت چشمه روزیه واقع در ۴۶ کیلومتری شمال شهر سمنان و در نزدیکی روستای چاشم، تامین خواهد شد (شکل ۳-۱). این آب با دبی ۶۵۰ لیتر در ثانیه از طریق ۱۶ کیلومتر لوله فولادی با قطر ۸۰۰ میلیمتر، از پای چشمه توسط ۳ واحد تلمبه خانه، ۴ واحد مخزن مکش به حجم ۲۰۰۰ متر مکعب و یک مخزن ذخیره ۷۰۰۰ متر مکعبی تا ورودی تونل انتقال آب، در پای گردنه بشم و به ارتفاع ۵۴۰ متر پمپاژ می شود. از این محل آب به صورت ثقلی از طریق لوله های G.R.P به قطر ۱۰۰۰ میلیمتر که بر روی سکویی بتنی نصب شده اند و از داخل تونلی به قطر نهایی ۳/۲ متر و طول حدود ۳۲۰۰ متر از گردنه بشم عبور می کند. از خروجی تونل این آب از طریق ۲۷ کیلومتر لوله های فولادی و چدن داکتیل و به کمک ۴ مخزن فشار شکن ۵۰۰ متر مکعبی تا مخازن ذخیره شهر سمنان، به طور ثقلی انتقال می یابد.

سازمان آب منطقه ای تهران کارفرمای این پروژه محسوب می شود و شرکت مهندسين مشاور مهتاب قدس به عنوان مشاور و ناظر این پروژه فعالیت دارد. شرکت ساختمانی ساب در حال انجام فعالیت های ساخت و ساز در پروژه است و پیمانکار اصلی شناخته می شود.



شکل ۱-۳- موقعیت جغرافیایی تونل انتقال آب چشمه روزه سمنان در نقشه ایران (مهندسين مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۴)

۳-۲-۱- ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی محدوده تونل

از دیدگاه زمین‌شناسی، این تونل در زون البرز واقع شده و با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه، تونل فقط کوه بشم را قطع می‌کند و دارای روند تقریباً شرقی - غربی است. منطقه در مجموع به صورت یک محدوده گسلی و رورانده است.

در طول مسیر تونل از قسمت ورودی به سمت خروجی تونل به ترتیب سازند های زیر قرار دارند:

- آبرفت‌های عصر حاضر (Qt): از دهانه ورودی تونل به طول تقریباً ۱۴۷ متر

- سازند توفی - مارنی ائوسن (Em): از کیلومتر ۱۴۷+۰ تا حدود کیلومتر ۹۳۰+۰

سازند باروت: رخنمون در قسمت‌های میانی تونل در سه واحد در کیلومتر های (۹۳۰+۰ الی ۹۵۰+۱) و

(۹۵۰+۱ الی ۱۵۰+۲) و واحد سوم در کیلومتر (۱۵۰+۲ الی ۳۵۰+۲)

- سازند زاگون (PCbt): از حدود کیلومتر ۲۳۵۰+۲ الی ۲۷۵۰+۲

- سازند لالون (Cl): از حدود کیلومتر ۲۷۵۰+۲ تا انتهای تونل (مهندسین مشاور مه‌اب قدس،

۱۳۸۴؛ شرکت ساختمانی ساب، ۱۳۸۴).

۳-۲-۲- زمین ساخت منطقه

از محدوده مورد اجرای تونل، چندین گسله با پتانسیل لرزه زایی بالا عبور می‌کند که از آن جمله گسل بشم با طولی حدود ۹۰ تا ۱۳۰ کیلومتر و با پتانسیل لرزش با بزرگی بیشتر از ۷ درجه (در مقیاس امواج سطحی) که تونل آبرسانی را در حدود کیلومتر ۹۳۰+۰ قطع می‌کند. گسله شاهرود که با طول تقریبی ۱۷۰ کیلومتر تقریباً از ۲ کیلومتری تونل عبور می‌کند و دارای پتانسیل لرزش بیشتر از گسل بشم می‌باشد.

گسله های شناخته شده اساسی منطقه تا شعاع ۱۵۰ کیلومتر بر اساس داده های گردآوری شده

تا کنون عبارتند از: گسله آستانه، گسله بشم، گسله اوران، گسل سمنان، گسل عطاری، گسل

دیکتاش، گسل انزاب، راندگی آبیک شاهرود، گسل اوریم، گسله کوچک (گسله های کوچک چندی، در ناحیه شناخته شده اند که با گسل های یاد شده در پیوند می باشند یا آنها را می برند).

۳-۲-۳- زمین شناسی مسیر تونل

براساس مطالعات و برداشت های زمین شناسی در حین حفاری تونل، مسیر ورودی تونل مربوط به دوره اتوسن به سه زون شامل؛ کیلومتر ۰+۱۴۷ الی ۰+۴۳۴؛ ۰+۴۳۴ الی ۰+۵۷۵ و ۰+۵۷۵ الی ۰+۹۴۵ و مسیر خروجی تونل از لحاظ زمین شناسی به ۴ محدوده شامل: ۳+۳۴۷ الی ۲+۷۳۰؛ ۲+۷۳۰ الی ۲+۶۱۲؛ ۲+۶۱۲ الی ۲+۵۳۸ متعلق به سازند لالون و محدوده ۲+۵۳۸ الی ۲+۴۰۵ متعلق به سازند زاگون، تقسیم شده است. وضعیت زمین شناسی و پارامترهای دخیل در طبقه بندی مهندسی و تعیین پارامترهای ژئومکانیکی توده سنگ برای هر یک از این زونها در جدولهای (۱-۳) تا (۷-۳) درج شده است. همچنین داده های مربوط به تونل آبرسانی چشمه روزیه در جدول (۳-۸) آورده شده است. در این جدول حالت پایداری تونل با اعداد ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است که به ترتیب نشان دهنده حالت های پایدار، دارای پتانسیل ناپایداری و ناپایدار هستند (مهندسين مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۴؛ شرکت ساختمانی ساب، ۱۳۸۴).

جدول ۳-۱- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۱۴۷+۰ الی ۴۳۴+۰ ورودی تونل (اقتباس از مهندسین مشاور مه‌اب

قدس، ۱۳۸۴)

پارامتر	شرح
لیتولوژی و زمین شناسی توده سنگ	توده سنگ از جنس مارن - سیلت آهکی خاکستری روشن متعلق به دوره ائوسن می باشد.
ساختارهای تکتونیکی	در محدوده ورودی تونل سنگ ها با لایه بندی ضخیم و جهت یافتگی کلی (شیب و جهت شیب) ۱۴۵/۵۲، ساختار تکتونیکی قابل ملاحظه ای به جز یکی دو مورد ناپیوستگی عمده و بدون خرد شدگی که معبر موضعی جریان آب به داخل تونل هستند دیده نشده است.
وضعیت آبهای زیرزمینی	در ورودی تونل جریان آب به یک سری ناپیوستگیهای منفرد محدود بوده که با گذشت زمان کوتاهی، کمتر یا گاهی کاملاً خشک شده و از طرفی زلالی آب موجود نشان از عدم آب شستگی مواد از سطوح ناپیوستگی ها دارد.
وضعیت ناپیوستگی ها	هوازدگی سطوح ناپیوستگیها در این زون خیلی کم و ناچیز بوده و بازشدگی غالباً در حد ۲ میلیمتر و به ندرت به ۵ میلیمتر می رسد و عمدتاً درزه های با میزان بازشدگی بالا با کلسیت ثانویه به خوبی پر شده اند.

جدول ۳-۲- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۰+۴۳۴ الی ۰+۵۷۵ ورودی تونل (اقتباس از مهندسین مشاور مه‌اب

قدس، ۱۳۸۴)

پارامتر	شرح
لیتولوژی و زمین شناسی توده سنگ	جنس سنگ در بر گیرنده تونل ورودی از کیلومتر ۰+۴۳۴ الی ۰+۵۷۵ عمدتاً برش آتشفشانی سیاه دارای میان لایه های توفی سبز خاکستری (با ضخامت حداکثر ۶۰ سانتیمتر) و لایه های احتمالاً آهکی رس دار با حداکثر ۳۰ سانتیمتر ضخامت؛ متعلق به دوره ائوسن می باشد. جهت یافتگی لایه ها در برش آتشفشانی اندکی متغیر و گاهی دارای چین خوردگی است که جهت یافتگی غالب تقریباً ۱۵۵/۵۰ می باشد.
ساختارهای تکتونیکی	علاوه بر گسله های موجود چندین چین خوردگی در محدوده ابتدای برخورد به برشهای آتشفشانی به شرح ذیل وجود دارد: الف- از کیلومتر ۰+۴۳۶ الی ۰+۴۳۷/۵ یک تاقدیس در دیواره جناح راست ب- از کیلومتر ۰+۴۳۳ الی ۰+۴۳۶ یک تاقدیس در دیواره جناح چپ ج- از کیلومتر ۰+۴۳۹ الی ۰+۴۴۱ یک ناودیس در سینه کار د- از کیلومتر ۰+۴۵۲ الی ۰+۴۵۴ یک ناودیس در سینه کار. بر روی سطح ناپیوستگیها (اکثراً سطوح لایه بندی (اثرات خش احتمالاً ناشی از حرکت و لغزش لایه ها در حین چین خوردگی دیده می شود. زون های بلوکی و درزه دار از جمله زون واقع در کیلومتر ۰+۴۳۶/۸۰ با جریان اولیه تا متوسط تا نسبتاً زیاد آب و خرد شدگی کم همراه با زنگ زدگی و هوازدگی سطوح شکستگی ها و آثاری از جابجایی روی سطوح ناپیوستگی ها، نام برد.
وضعیت آبهای زیرزمینی	جریان آب عمدتاً در زون های با خرد شدگی نسبی (عمده جریان از نقاط منفرد و در بقیه موارد به صورت ریزش شدید قطرات) و ناپیوستگی های عمده و نسبتاً باز وجود دارد. از جمله زون های آب دار با فشار و جریان اولیه متوسط؛ از محدوده بلوکی و درزدار واقع در کیلومتر ۰+۴۳۷ می توان نام برد. لازم به ذکر است که تغییرات دبی آب نسبت به زمان در این زون ها نسبتاً کم بوده و از طرفی نشانی از آب شستگی ذرات وجود ندارد.
وضعیت ناپیوستگیها	فاصله داری دسته درزه ها در این زون بین ۶ و حداکثر ۶۰ (فاصله داری غالب) سانتیمتر است. ماده پرکننده درزه ها اکثراً کلسیت ثانویه می باشد که عمدتاً باعث جوش خوردگی کامل ناپیوستگی ها شده است و بازشدگی درزه های بدون پرشدگی غالباً ۱ الی ۳ میلیمتر است. پروفیل درزه اکثراً مسطح تا کمی موج و سطح ناپیوستگی ها صاف تا نسبتاً زبر و هوازدگی ناچیز می باشد.

جدول ۳-۳- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۵۷۵+۰ الی ۹۴۵+۰ ورودی تونل (اقتباس از مهندسین مشاور مه‌اب

قدس، ۱۳۸۴)

پارامتر	شرح
لیتولوژی و زمین شناسی توده سنگ	جنس غالب در این زون که متعلق به دوره اتوسن از دوران سوم زمین شناسی می باشد، از آهک توفی تا سیلتی و ماسه ای تیره تشکیل شده است. در این زون که میان لایه های آهک قهوه ای با ضخامت حداکثر ۳۰ سانتیمتر و توف نازک لایه سبز رنگ (با حداقل ۳، حداکثر ۱۰ و ندرتاً تا ۲۰ سانتیمتر) به طور موضعی دیده می شود. به علاوه لازم به ذکر است که گاهی فسیل های دو کفه ای به طور موضعی دیده شده است.
ساختارهای تکتونیکی	ناپیوستگیهای عمده مشاهده شده بیشتر از نوع گسله های کوچک با جابجایی اندک و فاقد خردشدگی می باشد. از جمله زون های قابل ملاحظه، زون بلوکی و درزه دار با ناپیوستگیهای عمده زنگ زده و آبدار واقع در کیلومتر ۷۲۲+۰ الی ۷۲۶+۰ می باشد. با توجه به تحلیل آماری انجام شده با استفاده از نرم افزار DIPS، جهت یافتگی کلی گسله های موجود ۲۹۰/۸۵ می باشد.
وضعیت آبهای زیرزمینی	به جز گسله ها (به تعداد محدود) و ناپیوستگیهای عمده و گسترده که محل عبور جریان آب هستند، آب داری اغلب مسیر تونل در حد کم از خشک تا ریزش قطرات آب متغیر می باشد.
وضعیت ناپیوستگیها	فاصله داری دسته درزه های برداشت شده بین حداقل ۵ و حداکثر ۷۰ سانتیمتر می باشد. پروفیل درزه ها اکثراً صفحه ای و ندرتاً کمی موج و سطح دیواره ناپیوستگیها زبر تا نسبتاً زبر با نشانه هایی از خش های لغزشی با هوازدگی جزئی می باشد. ماده پرکننده درزه ها بیشتر از جنس کلسیت ثانویه بوده که درزه ها را به خوبی پرکرده و ندرتاً ذرات خردشده و ریز سنگ می باشد. بازشدگی درزه ها اکثراً ۱ الی ۲ و ندرتاً تا ۳ میلیمتر بوده و در موارد نادر تا ۴ میلیمتر هم می رسد. این درزه های باز شده مسیر نفوذ آب هستند.

جدول ۳-۴- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۳۴۷+۳ الی ۷۳۰+۲ خروجی تونل (اقتباس از مهندسین مشاور مه‌اب

قدس، ۱۳۸۴)

پارامتر	شرح
لیتولوژی و زمین شناسی توده سنگ	این محدوده متعلق به سازند لالون است که از لایه های نسبتاً ضخیم ماسه سنگ ارکوزی قرمز رنگ که در انتهای زون (از کیلومتر ۸۵۰+۲ تا انتهای زون) تناوبی از لایه های ماسه سنگ قرمز و سبز رنگ، با میان لایه های نازک شیلی قرمز رنگ و گاهی سبز رنگ تشکیل شده است. لازم به ذکر است که در محل کنتاکت بالایی این سازند با سازند میلا و انتهای تونل این سازند از ۵۰ متر شیل رنگی و واحد ماسه سنگ سیلیسی به نام تاپ کوارتزیت لالون با مقاومت بالا دیده می شود.
ساختارهای تکتونیکی	در تشکیلات ماسه سنگی خروجی تونل که لایه ها دارای جهت یافتگی غالب ۷۵/۱۳۵ می باشد، زون های خردشده منفرد ناشی از تنش های تکتونیکی در مسیر تونل وجود دارد که این زونهای خرد شده محل تجمع موضعی و ورود آب به داخل تونل می باشد. از طرفی تعدادی گسل کوچک با جابجایی و خردشدگی نسبتاً کم وجود دارد و مهمترین ساختار زمین شناسی در محدوده موردنظر گسل ریزشی واقع در کیلومتر ۵۶+۳ باضخامت تقریبی ۲ تا ۳ متر با خردشدگی و جریان شدید آب می باشد و جهت یافتگی آن (۷۵/۱۴۵) است. جهت یافتگی گسله های کوچک و فرعی (۷۵/۲۲۰ و ۶۰/۰۷۵) می باشد.
وضعیت آبهای زیرزمینی	در ابتدای تونل خروجی آب در محدوده زونهای برشی منفرد وجود دارد که این آب در ابتدا از سقف و دیواره های تونل جریان داشته و با گذشت زمان و پایین آمدن سطح آب، جریان از کف و گوشه های تونل ادامه دارد. با پیشروی تونل و نزدیک شدن به محدوده گسلی ۵۶+۳ بر میزان آب افزوده شده و آب در دیواره ها و سقف گاهی با جریان متوسط موضعی و گاهی به صورت ریزش شدید قطرات جریان دارد. با گذشت زمان و زهکش شدن و افت سطح آب، جریان آن به دیواره ها و کف تونل محدود و عمدتاً از ناپیوستگیهای عمده و گسترده جریان داشته و جز در نواحی با خردشدگی زیاد و گسله آب شستگی مواد پرکننده ناپیوستگیها دیده نمی شود.
وضعیت ناپیوستگیها	هوازدگی ناپیوستگیها متغیر می باشد و در نواحی با خردشدگی کمتر هوازدگی ناپیوستگیها کم و سطح ناپیوستگیها از اندودی نازک از مواد نرم پوشیده شده و گاهی قطعات ریزی از سنگ اصلی در ناپیوستگیها دیده می شود و بازشدگی عمدتاً کمتر از ۲ میلی متر می باشد و در نواحی خرد شده، هوازدگی سطح ناپیوستگیها بیشتر و مواد نرم رسی سطح اغلب ناپیوستگیها را پوشانده و بازشدگی حدوداً ۲-۳ میلیمتر می باشد. پرکننده ناپیوستگی ها از جنس مواد نرم سیلتی و رسی های غیرنرم و ذراتی از خود سنگ می باشد.

جدول ۳-۵- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۷۳۰+۲ الی ۶۱۲+۲ خروجی تونل (اقتباس از مهندسین مشاور مهاب

قدس، ۱۳۸۴)

پارامتر	شرح
لیتولوژی و زمین شناسی توده سنگ	این محدوده از تونل شامل تناوب ماسه سنگ و شیل قرمز است. جنس غالب در این محدوده شیل قرمز می باشد. لایه بندی دارای جهت یافتگی غالب ۱۴۰/۸۰ می باشد.
ساختارهای تکتونیکی	عمده ساختارهای تکتونیکی چند گسل فرعی و اصلی با پتانسیل ریزش های موضعی ناشی از خردشدگی و جریان آب در آنها است. اکثر این زونهای خرد شده و گسلی محل مناسبی جهت نفوذ آب به داخل تونل هستند. جهت یافتگی کلی این ساختارها تقریباً عمود بر محور تونل می باشد. علاوه بر این چند ناپیوستگی عمده با جابجایی و بدون خردشدگی و برش به موازات محور تونل دیده می شود.
وضعیت آبهای زیرزمینی	وجود و میزان آب تابعی از ساختار سنگ بوده، لذا از ریزش قطرات آب در محدوده های با خردشدگی کمتر تا ریزش شدید قطرات آب و جریان موضعی آب در قسمتهای گسلی و ناپیوستگی های عمده تغییر می کند و از طرفی با گذشت زمان از میزان آب کاسته می شود.
وضعیت ناپیوستگیها	فاصله داری دسته درزه ها در این ناحیه از تونل بین ۵ و حداکثر ۵۰ سانتیمتر است. ماده پرکننده درزه ها عمدتاً سیلت و رس توام با لیمونیت و ندرتاً توسط کلسیت ثانویه است. بازشدگی درز ها به ندرت به بیش از ۱ الی ۲ میلیمتر می رسد. پروفیل درزه ها صفحه ای تا نسبتاً مواج است. سطوح درزه ها نسبتاً زبر و کمی هوازده می باشد.

جدول ۳-۶- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۶۱۲+۲ الی ۵۳۸+۲ خروجی تونل (اقتباس از مهندسین مشاور مه‌اب

قدس، ۱۳۸۴)

پارامتر	شرح
لیتولوژی و زمین شناسی توده سنگ	جنس توده سنگ در این محدوده ماسه سنگ قرمز و ندرتاً میان لایه های شیل قرمز است. جهت یافتگی غالب در این زون ۱۴۵/۸۲ درجه می باشد.
ساختارهای تکتونیکی	در این زون، ریزشهای کوچک و موضعی ناشی از عملکرد چند گسل فرعی به چشم می خورد، از جمله این زونها یک گسله فرعی یا جابجایی حدود ۵۰ سانتیمتر و گسله دیگر از نوع نرمال دارای برش گسلی با ضخامت حدوداً ۱۲۰ سانتیمتر در دیواره ها و تاج تونل بوده که ریزشی نبوده و آب را از آن به صورت جریان موضعی داریم.
وضعیت آبهای زیرزمینی	نفوذ آب به صورت قطره ای از تمام مقطع تونل و همچنین جریان موضعی را عمدتاً از گسله ها و درزه های غالب داریم.
وضعیت ناپیوستگیها	این محدوده از تونل دارای دسته درزه هایی است که فاصله داری آنها حداقل ۵ و حداکثر ۳۰ سانتیمتر می باشد. پروفیل درزه ها صفحه ای، ندرتاً مواج و نسبتاً زبر است. ماده پرکننده آنها از جنس شیل قرمز و ندرتاً شیل شیری رنگ و کلسیت ثانویه (به طور موضعی) است.

جدول ۳-۷- وضعیت زمین شناسی کیلومتر ۲+۵۳۸ الی ۲+۴۰۵ خروجی تونل (اقتباس از مهندسین مشاور مهتاب

قدس، ۱۳۸۴)

شرح	پارامتر
لیتولوژی و زمین شناسی توده سنگ	توده سنگ عمدتاً شامل شیل قرمز و ندرتاً سبز همراه با شیل ماسه ای قرمز و میان لایه های نازک شیل سبز و طوسی (به طور موضعی) می باشد. جهت یافتگی لایه ها در این زون تقریباً ۱۴۵/۸۲ می باشد.
ساختارهای تکتونیکی	زون ریزشی در محدوده کیلومتر ۲+۵۳۸ الی ۲+۵۳۲ (کنتاکت زون ماسه سنگی و شیلی) که توده سنگ مجاور آن دارای ناپیوستگیهای عمده و ساختار بلوکی می باشد. همچنین در این محدوده از تونل گسله های فرعی بدون خرد شدگی و برش گسلی وجود دارد که میزان جابجایی در اثر عملکرد آنها حداکثر ۲ متر می باشد.
وضعیت آبهای زیرزمینی	در این محدوده تا کیلومتر ۲+۵۱۲، سطح تونل اکثراً خیس بوده و آب به صورت جریان با دبی نسبتاً زیاد (در زون ریزشی گسله) و ندرتاً به صورت موضعی جریان دارد. در ادامه، جریان آب به صورت قطره ای (تمام مقطع تونل) و ندرتاً جریانی بوده که عمدتاً از درزه های غالب و گسله ها می باشد. این روند تا کیلومتر ۲+۴۳۴ ادامه داشته و بعد از این کیلومتر مقطع تونل خیس و نفوذ آب به صورت قطره ای (موضعی) است.
وضعیت ناپیوستگیها	فاصله داری دسته درزه های تونل از ۵ الی ۳۰ سانتیمتر و ندرتاً تا ۴۰ سانتیمتر تغییر می کند. بازشدگی ناپیوستگیها ۱ الی ۲ و حداکثر ۳ میلیمتر می باشد. پروفیل درزه ها اکثراً صفحه ای و ندرتاً کمی مواج بوده و نسبتاً زبر با اندکی هوازگی است. ماده پرکننده درزه ها اکثراً شیل قرمز و ندرتاً کلسیت ثانویه می باشد.

جدول ۳-۸- داده های مربوط به تونل آبرسانی چشمه روزیه (مهندسین مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۴)

Number	RMR	Q	Area (m ²)	Stability Condition
1	53	4.1	12	1
2	52	2.7	12	1
3	61	6.3	12	1
4	58	4	12	1
5	56	1.4	12	1
6	41	0.33	12	2
7	48	1.33	12	1
8	55	1.8	12	1
9	38	0.08	12	3
10	46	2.6	12	1
11	30	0.16	12	3

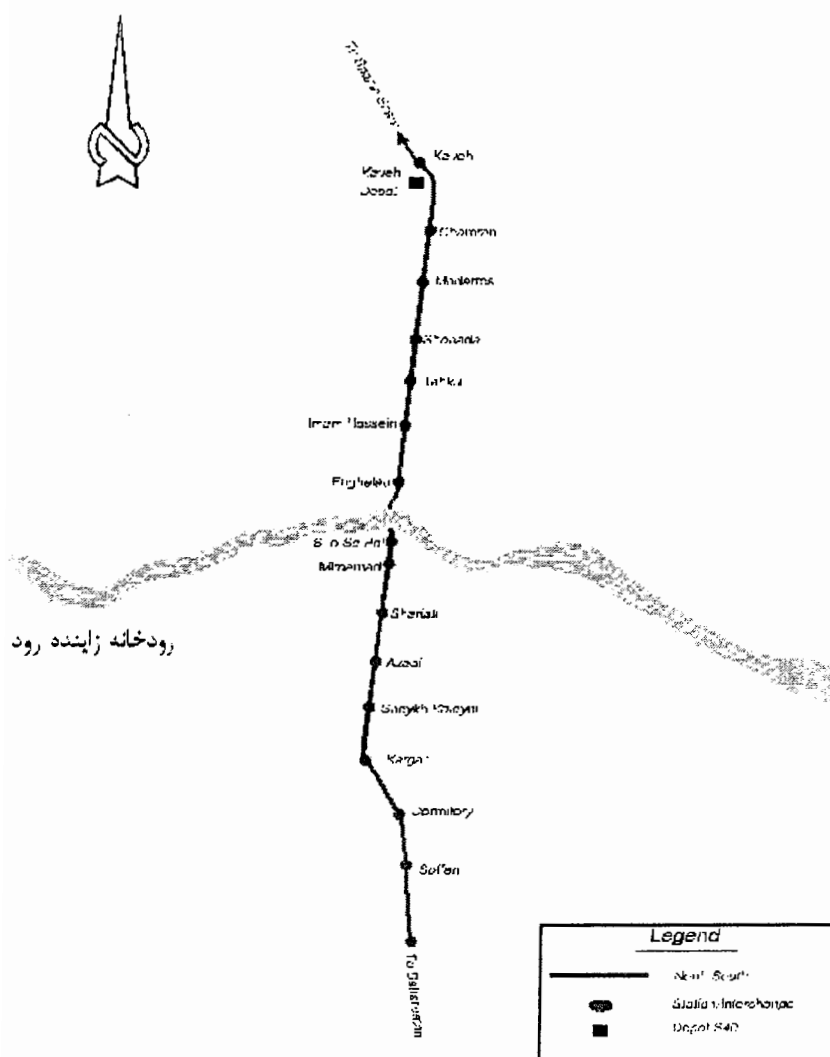
۳-۳- متروی اصفهان

۳-۳-۱- کلیات

در اواخر دهه شصت، بنا به ضرورت احداث راه آهن شهری (مترو) در شهر اصفهان، که روز به روز با تراکم جمعیت و وسایل نقلیه بیشتری مواجه بود و تردد در خیابان های مرکزی شهر کم کم مشکل و مشکل تر می شد، مطالعات امکانیابی در دستور کار سازمان ترافیک اصفهان قرار گرفت. با تاسیس شرکت مترو منطقه اصفهان در سال ۱۳۷۰ این مطالعات وارد مرحله عملی شد و در ابتدا مطالعات مقدماتی زمین شناسی مهندسی در محدوده موردنظر به اجرا درآمد.

در انجام مطالعات مقدماتی زمین شناسی مهندسی داده های مورد نیاز از نتایج مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیکی انجام شده از منطقه و محدوده شهر گردآوری شد و با پردازش و تلفیق آنها نمودار سه بعدی زمین شناسی مهندسی شهر اصفهان تهیه شد. همچنین بر پایه نمودار مزبور، برش

های طولی زمین شناسی مهندسی مسیرهای جنوبی - شمالی و غربی - شرقی با مقیاس مناسب ترسیم شد. بر اساس مطالعات صورت گرفته، در مجموع، سیستم قطار شهری اصفهان شامل پنج خط می‌باشد. در مرحله اول خط شمالی - جنوبی احداث خواهد شد. این خط از ترمینال مسافری کاوه شروع شده و به ترمینال مسافری صفه ختم می‌شود. طول کل مسیر ۱۲/۵ کیلومتر است که حدود ۱۲ کیلومتر آن زیرزمینی بوده و در طول آن ۱۵ ایستگاه احداث خواهد شد. شکل (۲-۳) مسیر خط شمالی - جنوبی و ایستگاه‌های آن را نشان می‌دهد (مهندسین مشاور هراز راه، ۱۳۸۴).



شکل ۲-۳- مسیر خط شمال به جنوب اصفهان و ایستگاه‌های مربوطه (مهندسین مشاور هراز راه، ۱۳۸۴)

۳-۳-۲- ساختارهای زمین شناسی

ساختارهای زمین شناسی شامل لایه بندی، چین خوردگی، درزه و گسل می‌باشد، که در این بخش به شرح آنها پرداخته می‌شود.

الف- لایه بندی

لایه بندی که مشخصه سازندهای رسوبی می‌باشد، در رسوبات آبرفتی چندان مشخص نیست، در حالیکه در سنگ بستر به خوبی قابل تشخیص می‌باشد.

امتداد لایه بندی سنگ بستر تقریباً شرقی - غربی بوده و جهت شیب لایه‌ها به سمت شمال می‌باشد. میزان شیب لایه‌ها در حوالی محل رمپ حدود ۵۷ درجه (۵۷N/۱۰۰) است.

بر پایه مطالعات انجام شده، ضخامت لایه بندی سنگ بستر در حوالی محل پروژه، ۶ تا ۲۰ سانتیمتر می‌باشد. بازشدگی دهانه سطوح لایه بندی توده سنگ بستر اغلب در حد خیلی باریک (کمتر از ۲ میلیمتر) تا کپ^۱ می‌باشد. سطوح لایه بندی اغلب فاقد پرکننده بوده و تنها دارای زنگ زدگی می‌باشد.

ب- چین خوردگی

رسوبات آبرفتی محدوده طرح فاقد چین خوردگی بوده اما لایه‌های سنگ بستر چین خورده می‌باشند. بطوری که منطقه مورد بررسی در یال ناودیس با محور شرقی - غربی که در نزدیکی رودخانه زاینده رود قرار دارد، واقع شده است. شیب و جهت شیب لایه بندی در این یال ۵۰ و ۱۰ بوده و با نزدیک شدن به محور ناودیس مقدار شیب کاهش می‌یابد. البته، چین خوردگی عمومی سنگ بستر منطقه با چین‌های ریز و موضعی (بویژه در لایه‌های شیلی) همراه بوده و تغییر موضعی جهت و شیب لایه‌ها را موجب شده است.

ج- درزه‌ها

براساس بررسی‌های صورت گرفته توسط مهندسين در محل، سه دسته درزه اصلی به همراه تعدادی درزه فرعی، در توده سنگ بستر در مسیر شناسایی شده است که مشخصات دسته درزه‌های اصلی در جدول (۹-۳) ارائه شده است.

برپایه برداشت‌های سطحی انجام شده در رخنمون‌های قابل مشاهده در منطقه، شیب درزه‌ها بین ۷۵ تا ۸۵ درجه تغییر می‌کند. فاصله داری درزه‌ها در شیل‌ها در حد خیلی پائین (کمتر از ۶ سانتیمتر) می‌باشد. سطح درزه‌ها اغلب فاقد پرکننده و یا صرفاً دارای زنگ زدگی بوده و به صورت صاف تا کمی زبر می‌باشد.

جدول ۹-۳- خصوصیات زمین شناسی مهندسی ناپیوستگی‌ها در محدوده مورد مطالعه (مهندسين مشاور هراز راه، ۱۳۸۴)

ناپیوستگی	شیب	جهت شیب	گسترش (m)	فاصله داری (m)	بازشدگی (mm)	زبری	هوازدگی	پرکننده	رطوبت
J1	۸۳	۰۹۰	۲/۵	۰/۳۵	۲	کمی صاف	بیشتر از نصف سنگ نامتراکم	۸۰٪ لوم ۲۰٪ خالی	خشک
J2	۷۵	۲۳۶	۱/۲	۰/۱۵	۱/۵	کمی صاف	بیشتر از نصف سنگ نامتراکم	۵۰٪ لوم ۵۰٪ خالی	خشک
J3	۷۵	۲۸۶	۰/۷	۰/۴	۲	صاف تا کمی زبر	بیشتر از نصف سنگ نامتراکم	۱۰٪ لوم ۹۰٪ خالی	خشک

د- گسل‌ها

با توجه به پوشیده بودن سطح زمین، هیچ گسلی در محدوده مورد نظر قابل تشخیص نمی‌باشد.

ه- خفر گمانه‌ها

از متر ۱۶/۵ تا ۴۰ متر، ۹ گمانه اکتشافی حفر شده که مشخصات برخی از گمانه‌های حفر شده در جدول (۳-۱۰) آورده شده است.

جدول ۳-۱۰- مشخصات گمانه‌های حفر شده در قطعه مورد بررسی (مهندسین مشاور هراز راه، ۱۳۸۴)

شماره گمانه	موقعیت (km)	ضخامت خیابان سازی و آبرفت (m)	ضخامت سنگ بستر (m)	عمق گمانه (m)	لیتولوژی سنگ بستر	عمق آب زیرزمینی (m)	توضیحات
۶۰۱۰۸	۸+۷۳۷/۹۸	۸	۱۰	۱۹	Jssh*	۷/۵۸ (اسفند ۸۱)	عمق آب در آذر ۸۰ متر ۱۱/۹۸
۷۰۲۱۶	۸+۲۴۹	۱۶/۲	۷/۸	۲۵	shI	۸/۵	اندازه گیری از برش ساختاری
۶۰۱۱۰	۸+۲۳۳	۲۱/۵	۳/۵	۲۵	shI	۸	از روی برش ساختاری
۷۰۶۹۴	۸+۱۵۸	۳۳	۷	۴۰	Shd	۸/۸۵ (دی ۸۱)	-
۷۰۶۹۱	-	۱۰/۷	۲۹/۳	۴۰	shI (۹/۵ متر) Shd (۱۹/۸ متر)	۸/۹ (دی ۸۱)	فاصله تا گمانه ۷۰۶۹۲، ۵۳/۵ متر
۷۰۶۹۲	-	۱۴/۵	۲۵/۵	۴۰	shI (۱۵/۵ متر) Shd (۱۰ متر)	۸/۸۴ (دی ۸۱)	فاصله تا گمانه ۷۰۲۱۶، ۴۴/۳ متر
۷۰۶۹۳	-	۳۵/۲	۴/۸	۴۰	shI (۲/۸ متر) Shd (۲ متر)	۸/۶۵ (دی ۸۱)	فاصله تا گمانه ۷۰۶۹۴، ۳۴/۵ متر

* Jssh = شیل‌های سازند شمشک ؛ ShI = شیل‌های خاکستری روشن با گرایش به سبز یا کرم که بسیار نازک لایه بوده و در سطح زمین دچار هوازدگی شدیدی شده‌اند؛ شیل‌های تیره رنگ تا سیاه که مانند شیل‌های روشن بسیار نازک لایه می‌باشد و در برخی مناطق نشانه‌هایی از تشکیل نازک لایه یا عدس واره زغالسنگی نیز در آنها دیده شده است (Shd) (مهندسین مشاور هراز راه، ۱۳۸۴).

۳-۳-۳- ویژگی‌های ژئوتکنیکی مصالح

مصالح موجود در محدوده مورد بررسی شامل خاک دستی، رسوبات آبرفتی دامن‌های و سنگ بستر شیلی می‌باشد. براساس مطالعات انجام شده، ویژگی‌های ژئوتکنیکی این مصالح به شرح جداول (۱۱-۳) تا (۱۲-۳) می‌باشد (مهندسین مشاور هراز راه، ۱۳۸۴).

جدول ۱۱-۳- خصوصیات توده سنگ شیلی میزبان (مهندسین مشاور هراز راه، ۱۳۸۴)

ویژگی‌های توده سنگ									نوع سنگ
D'	GSI	پارامترهای مقاومت برشی (Mohr-Coulomb)			پارامترهای مقاومت برشی (Hoek- Brown)				
		φ' (deg)	C' (MPa)	σ_{3max} (MPa)	σ_{3max} (MPa)	α	S	m_b	
۰	۳۲	۴۳	۰/۱	۰/۲۹۵۷	۰/۳۰۱	۰/۵۲۲	۰/۰۰۰۴	۰/۶۲۵	شیل در پی
۰/۷	۳۲	۳۲/۱	۰/۰۵۷	۰/۲۷۹۱	۰/۰۸۷	۰/۵۲۲	۰/۰۰۰۰۴	۰/۱۶۳	شیل در دیواره

جدول ۱۲-۳- خصوصیات ماده سنگ شیلی میزبان (مهندسین مشاور هراز راه، ۱۳۸۴)

ویژگی‌های ماده سنگ					نوع سنگ
σ_{ci} (MPa)	α	S	m_i	γ_t (KN/m) ³	
۱۷/۵	۰/۵	۱	۷/۶	۲۴	شیل

۳-۳-۴- وضعیت آب‌های زیرزمینی

۳-۳-۴-۱- آبخانه رسوبات رودخانه ای

مهمترین آبخانه های سطحی در محدوده شهر اصفهان آبخانه موجود در رسوبات درشت دانه زاینده رود است که در اغلب نقاط به صورت آزاد می باشد. ضخامت این آبخانه در مناطق مختلف متفاوت است و از حداقل حدود ۱۵ متر تا حداکثر حدود ۳۰ متر تغییر می یابد (Sofretu, 1993).

منبع تغذیه این آبخانه به طور عمده رودخانه زاینده رود می باشد و جهت عمومی جریان آب‌های زیرزمینی در آن از جنوب به شمال می باشد. انتقال پذیری این آبخانه بالا و در نتیجه شیب جریان در آن ملایم می باشد.

۳-۳-۴-۲- آبخانه رسوبات آبرفت دامنه ای

این آب خانه که تنها در بخش های جنوبی شهر گسترش دارد، بر روی سازند شیل و ماسه سنگی ژوراسیک شکل گرفته است. ضخامت این آبخانه کم و حداکثر حدود ۵ متر می باشد. منبع تغذیه این آبخانه بیشتر آب‌های نفوذی از آبیاری غرقابی فضا‌های سبز و جهت عمومی جریان در آن از جنوب به شمال می باشد (Sofretu, 1993). این آبخانه با انتقال پذیری پایین و شیب جریان آب مشخص می شود.

۳-۳-۴-۳- سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و نوسانهای آن

عمق سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی نسبت به سطح زمین از حدود ۲ متر در حاشیه زاینده رود تا حدود ۱۰ متر در بخش‌های شمالی متغیر می باشد. عمق سطح ایستابی در آبخانه رسوبات آبرفت دامنه ای هم از حدود ۳ متر در بخش جنوبی تا حدود ۹ متر در محل برخورد دو آبخانه تغییر می یابد (Taheri, 1997).

نوسان سالیانه سطح ایستابی که تابع نوسانهای سطح آب رودخانه و همچنین میزان برداشت از منابع آب موجود در سطح شهر است و از حداقل یک متر در حاشیه رودخانه تا حداکثر ۳ متر در بخش‌های شمالی شهر گزارش شده است.

داده‌های مربوط به تونل‌های مترو اصفهان در جدول (۳-۱۳) آورده شده است (مهندسین مشاور هراز راه، ۱۳۸۴).

جدول ۳-۱۳ - داده‌های مربوط به تونل‌های مترو اصفهان (مهندسین مشاور هراز راه، ۱۳۸۴)

Number	RMR	Q	Area (m ²)	Stability Condition
1	37.5	0.48	40	1
2	37.5	0.48	40	1
3	27.5	0.21	40	2
4	22.5	0.09	40	3
5	22.5	0.09	40	3
6	27.5	0.21	40	2
7	42.5	0.84	40	1
8	22.5	0.09	40	3
9	32.5	0.27	40	2
10	27.5	0.21	40	2
11	27.5	0.09	40	3
12	22.5	0.09	40	3
13	27.5	0.21	40	2
14	27.5	0.09	40	3
15	27.5	0.21	40	2
16	27.5	0.15	40	2
17	32.5	0.27	40	2
18	37.5	0.48	40	1
19	37.5	0.48	40	1
20	37.5	0.48	40	1
21	32.5	0.27	40	2
22	27.5	0.15	40	2
23	27.5	0.15	40	2
24	27.5	0.15	40	2
25	27.5	0.15	40	2
26	27.5	0.09	40	3
27	27.5	0.09	40	3
28	22.5	0.15	40	2
29	22.5	0.09	40	3

30	22.5	0.09	40	2
31	27.5	0.15	40	2
32	27.5	0.15	40	2
33	27.5	0.15	40	2
34	32.5	0.27	40	2
35	32.5	0.27	40	2
36	27.5	0.15	40	2
37	35	0.36	40	2
38	43	0.89	40	1
39	32.5	0.27	40	2
40	32.5	0.27	40	2
41	47.5	1.47	40	1
42	47.5	1.47	40	1
43	37.5	0.48	40	1
44	42.5	0.84	40	1
45	32.5	0.27	40	2
46	45.5	1.18	40	1
47	45.5	1.18	40	1
48	45.5	1.18	40	1
49	55	3.39	40	1
50	43	0.89	40	1
51	55	3.39	40	1
52	55	3.39	40	1
53	47.5	1.47	40	1
54	55	3.39	40	1
55	42.5	0.84	40	1
56	37.5	0.48	40	1
57	37.5	0.48	40	1
58	32.5	0.27	40	2
59	37.5	0.48	40	1
60	43	0.89	40	1
61	45.5	1.18	40	1
62	45.5	1.18	40	1
63	45.5	1.18	40	1
64	45.5	1.18	40	1
65	45.5	1.18	40	1
66	45.5	1.18	40	1
67	45.5	1.18	40	1
68	45.5	1.18	40	1
69	37.5	0.48	40	1
70	42.5	0.84	40	1

71	47.5	1.47	40	1
72	22.5	0.09	40	2
73	22.5	0.09	40	2
74	22.5	0.15	40	2
75	22.5	0.15	40	2
76	32.5	0.27	40	2
77	27.5	0.15	40	2
78	22.5	0.09	40	3
79	22.5	0.17	40	2
80	27.5	0.15	40	2
81	22.5	0.17	40	2
82	22.5	0.17	40	2
83	17.5	0.05	40	3
84	17.5	0.05	40	3
85	27.5	0.15	40	2
86	18.5	0.05	40	3
87	22.5	0.21	40	2
88	32.5	0.27	40	2
89	32.5	0.27	40	2
90	27.5	0.15	40	2
91	22.5	0.09	40	3
92	22.5	0.21	40	2
93	27.5	0.15	40	2
94	27.5	0.15	40	2
95	27.5	0.15	40	2
96	28.5	0.17	40	2
97	28.5	0.17	40	2
98	27.5	0.15	40	2
99	22.5	0.17	40	2
100	22.5	0.09	40	3
101	17.5	0.05	40	3
102	37.5	0.048	40	3
103	27.5	0.27	40	1
104	37.5	0.48	40	1
105	27.5	0.27	40	1
106	27.5	0.15	40	2
107	22.5	0.21	40	2
108	22.5	0.09	40	3
109	17.5	0.05	40	3
110	27.5	0.15	40	2
111	32.5	0.27	40	2

112	27.5	0.15	40	2
113	17.5	0.05	40	3
114	22.5	0.09	40	3
115	30	0.21	40	2
116	42.5	0.84	40	1

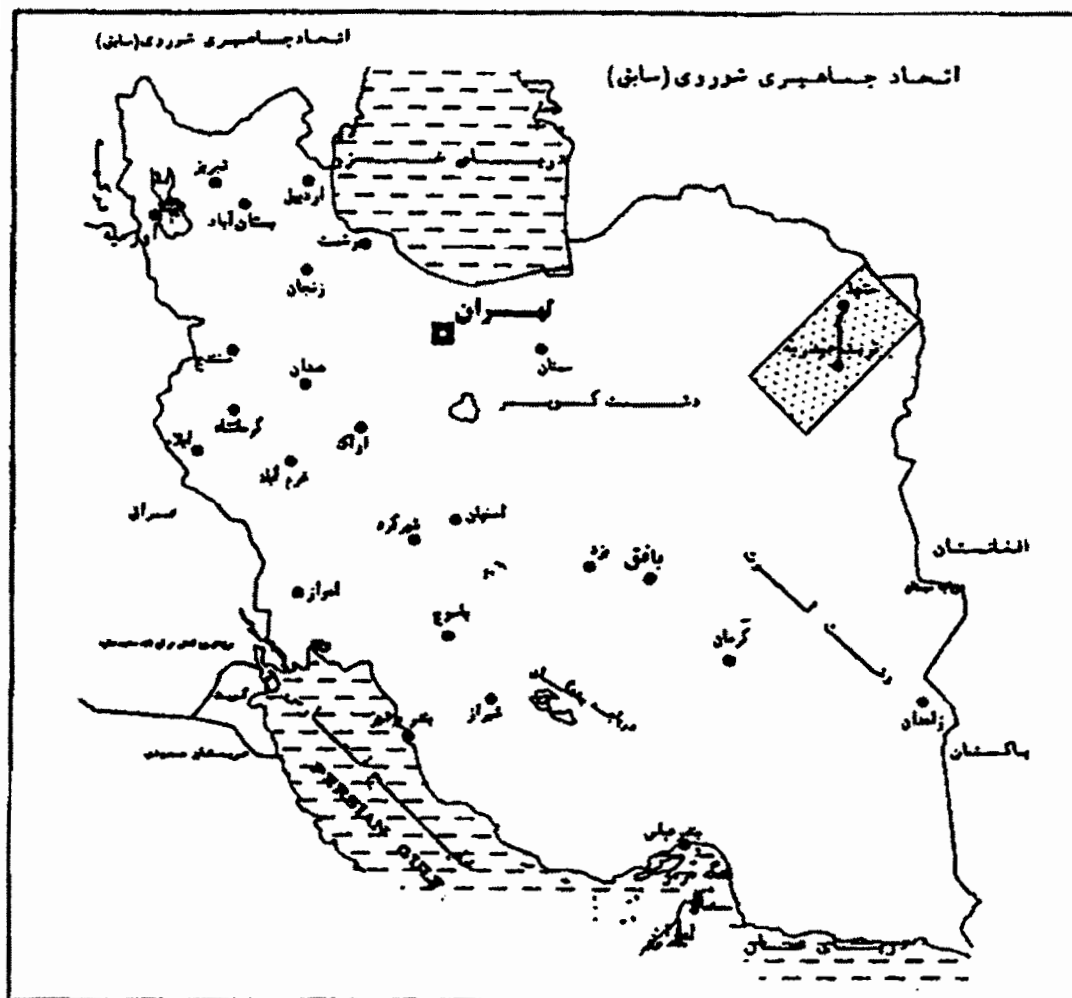
۳-۴- تونل راه آهن خماری

۳-۴-۱- مشخصات عمومی طرح

راه آهن بین المللی مشهد - بافق به منظور ارتباط دادن آسیای مرکزی و شمال شرق به مرکز و جنوب کشور و در یک باند در حال احداث می باشد. طول کل این مسیر ۹۸۵ کیلومتر می باشد، که ۷۸۵ کیلومتر آن اصلی و ۲۰۰ کیلومتر آن فرعی است. همچنین ۵۳۳ کیلومتر آن در استان خراسان و ۴۵۲ کیلومتر آن در استان یزد قرار دارد. این طرح در ۱۵ قطعه جداگانه در حال احداث می باشد. قطعه ۳ این مسیر در محدوده کیلومتر ۶۰+۰۰۰ تا ۷۵+۰۰۰ مسیر فوق و به طول ۱۵ کیلومتر قرار دارد. این قطعه از کیلومتر ۶۰+۰۰۰ بعد از جاده روستای حشمت آباد شروع شده و در دامنه جنوبی جلگه رخ منتهی به کوهستان خماری، با قطع عوارض و دره های متعدد ادامه می یابد. پس از عبور از شرق شهر رباط سنگ که در مجاورت جاده موجود مشهد - تربت حیدریه قرار گرفته، در کیلومتر ۶۶+۰۵۰ به صورت گالری وارد کوهستان خماری می شود (فطورچی، ۱۳۸۲).

جهت عبور از کوهستان خماری که در این قطعه واقع است، تونل شماره ۱ راه آهن مشهد - بافق به نام تونل خماری احداث شده است. این تونل در ۳۰ کیلومتری شهرستان تربت حیدریه و ۱۱۵ کیلومتری مشهد قرار دارد. طول تقریبی تونل بدون احتساب گالری هایی که از قبل و بعد از تونل احداث خواهد شد، ۲۴۰۰ متر و با احتساب گالری ها ۲۵۵۰ متر بوده و در محدوده بین کیلومترهای ۶۶+۰۵۰ تا ۶۸+۶۰۷ مسیر راه آهن مشهد - بافق قرار دارد که موقعیت جغرافیایی آن در شکل (۳-۳) نشان داده شده است. این تونل به شکل نعل اسبی حفر می شود که ارتفاع و عرض آن به

ترتیب ۸/۷۰ و ۷ متر و سطح مقطع آن حدود ۶۰ متر مربع می باشد. شیب تونل ۰/۷٪ به سمت دهانه جنوبی و ضخامت روباره تونل در قسمتهای مختلف آن متفاوت می باشد، که بیشترین ضخامت آن ۱۵۰ متر و کمترین مقدار آن ۲۵ متر است. حفاری تونل در قسمت خروجی توسط دستگاه‌های حفاری دستی و سیستم بارگیری و حمل و نقل توسط لودر و کامیون انجام می شود (فطوری، ۱۳۸۲).



شکل ۳-۳- شبکه راه آهن ایران (فطوری، ۱۳۸۲)

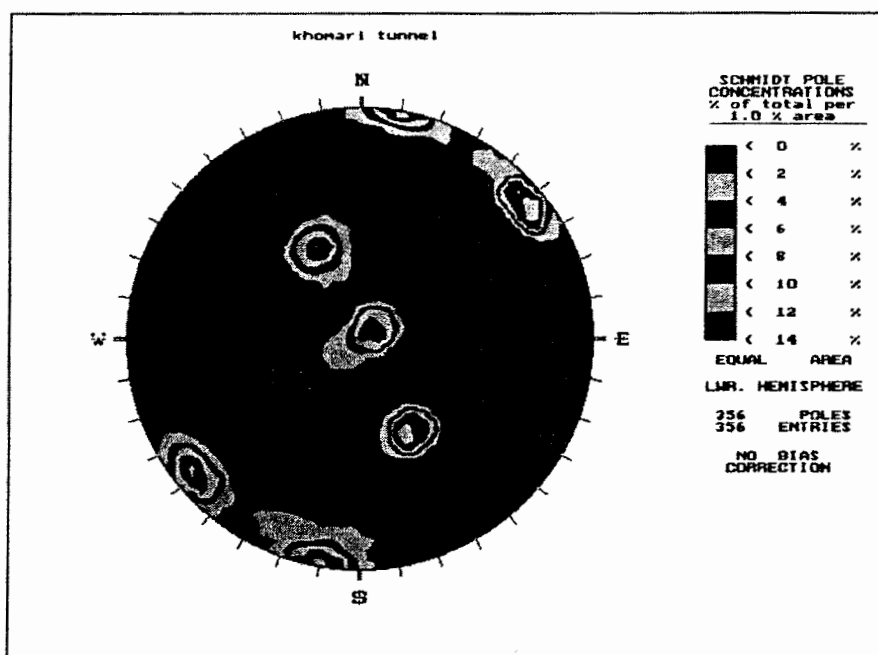
۳-۴-۲- زمین شناسی عمومی منطقه

محدوده تونل خماری شامل تشکیلات رسوبی است. سطح زمین بالای مسیر تونل و همچنین سنگهای در برگیرنده آن در بخش شمالی تونل، شامل تناوبی از شیل و مارن فرسایش یافته و سیلت

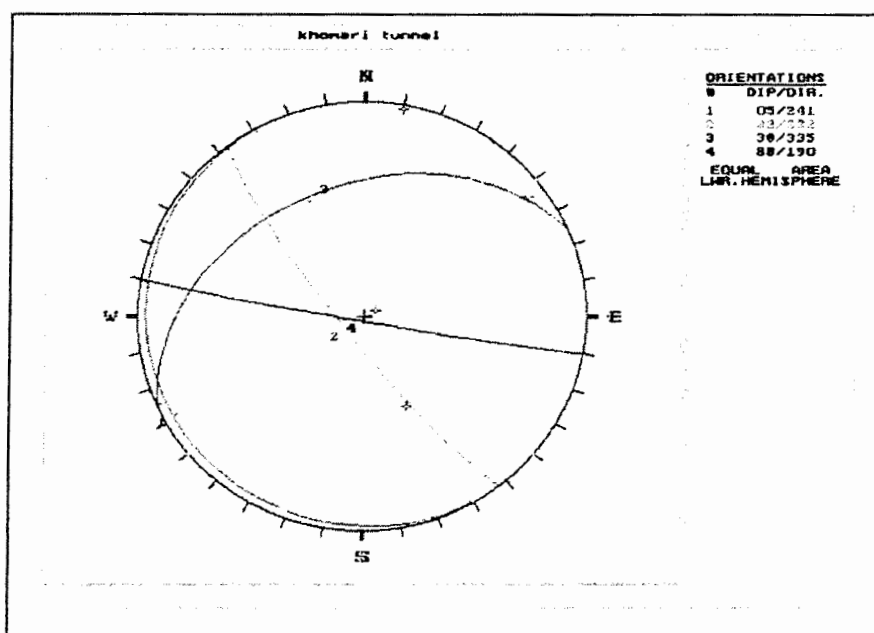
استون با ماسه سنگ شیلی میان لایه ای است که پوشیده از مواد تجزیه شده رسی و مواد آبرفتی می باشد. همچنین تناوب سنگ‌های شیلی و شیل رسی با کمی آهک و ژئیس و ماسه سنگ‌های رسی میان لایه ای در این قسمت وجود دارد که این توده سنگ‌ها اکثراً دارای کیفیت ضعیف هستند. قسمت‌های میانی تونل شامل تناوبی از ماسه سنگ، کنگلومرای مقاوم و سنگ‌های شیلی است که دارای کیفیت ضعیف تا خوب هستند. بخش جنوبی نیز شامل تناوبی از سنگ‌های شیلی با ماسه سنگ‌های سبز رنگ بین لایه ای و ماسه سنگ‌های کنگلومرایی و همچنین سنگ‌های شیلی نیمه مقاوم است که دارای کیفیت ضعیف تا خوب هستند. شیب عمومی توپوگرافی منطقه در مسیر تونل اکثراً بیش از ۸۰ درجه است. همچنین در بخش‌های شمالی و میانی تونل آب‌های سطحی ناشی از بارش و برف‌های منطقه به اعماق زمین راه یافته اند. همچنین شیب لایه بندی زیاد و نزدیک به قائم است (فطورچی، ۱۳۸۲).

۳-۴-۳- زمین شناسی ساختمانی

با توجه به نقشه زمین شناسی تونل، در مسیر آن ۴ گسله وجود دارد که این گسلها در بخش‌های میانی و شمالی تونل قرار دارند. اکثر درزه های موجود در تونل با مواد پرکننده مانند کلسیت پر شده اند و بازشدگی قابل ملاحظه ای دارند. به منظور شناخت ناپیوستگیهای توده سنگ اطراف تونل خماری، برداشت ناپیوستگیها به روش خط برداشت در داخل و بیرون تونل انجام شده و ۳۶۵ داده به دست آمده، به وسیله نرم افزار DIPS تحلیل شده است که نمایش کنترهای تجمعی (خطوط هم تراز) قطبهای ناپیوستگی های برداشت شده در شکل (۳-۴) دیده می شود. باتوجه به این شکل معلوم است که ۴ سیستم ناپیوستگی در تونل خماری موجود است که با توجه به بررسی های دقیق تر، ۳ دسته درزه به همراه یک سیستم لایه بندی تشخیص داده شده که مشخصات آنها در شکل (۳-۵) آمده است (فطورچی، ۱۳۸۲).



شکل ۳-۴- نمایش کنتورهای تجمعی قطب‌های درزه‌های برداشت شده از تونل خماری (فطورچی، ۱۳۸۲)



شکل ۳-۵- مشخصات ناپیوستگی‌های تونل خماری (فطورچی، ۱۳۸۲)

داده‌های مربوط به تونل راه آهن خماری در جدول (۳-۱۴) آورده شده است.

جدول ۳-۱۴ - داده های مربوط به تونل راه آهن خماری (فطورچی، ۱۳۸۲)

Number	RMR	Q	Area (m ²)	Stability Condition
1	14	0.049	60	3
2	14	0.049	60	3
3	11	0.049	60	3
4	14	0.024	60	3
5	14	0.049	60	3
6	11	0.024	60	3
7	14	0.049	60	3
8	14	0.049	60	3
9	14	0.049	60	3
10	11	0.024	60	3
11	14	0.049	60	3
12	17	0.049	60	3
13	35	0.33	60	3
14	32	0.33	60	3
15	32	0.33	60	3
16	32	0.66	60	3
17	39	0.44	60	3
18	42	1.65	60	3
19	46	1.2	60	3
20	47	1.98	60	3
21	44	2.145	60	3
22	44	1.98	60	3
23	44	3.96	60	3
24	47	3.96	60	1
25	45	4.29	60	3
26	45	6.16	60	1
27	45	7.48	60	1
28	45	7.48	60	1
29	57	7.66	60	1
30	66	7.66	60	1
31	66	7.48	60	1
32	69	7.04	60	1
33	74	1.98	60	1
34	71	3.96	60	1

35	66	3.96	60	1
36	69	7.04	60	1
37	69	4.62	60	1
38	55	4.62	60	1
39	55	4.62	60	1
40	60	4.62	60	1
41	58	4.62	60	1
42	58	4.62	60	1
43	58	4.62	60	1
44	58	4.62	60	1
45	58	4.62	60	1

فصل چهارم

کلیاتی در مورد شبکه های عصبی مصنوعی

۴-۱- مقدمه

در سالیان اخیر شاهد حرکت مستمر، از تحقیقات صرفاً تئوری به تحقیقات کاربردی به خصوص در زمینه پردازش اطلاعات، برای مسائلی که برای آنها راه حلی نیست و یا به راحتی قابل حل نیستند بوده ایم. با عنایت به این امر، علاقه فزاینده ای در توسعه تئوریک سیستمهای دینامیکی هوشمند مدل آزاد^۱ که مبتنی بر داده های تجربی هستند، ایجاد شده است. شبکه های عصبی مصنوعی جز این دسته از سیستمهای دینامیکی هستند که با پردازش روی داده های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای داده ها را به ساختار شبکه منتقل می کنند. به همین خاطر به این سیستمها هوشمند گویند، چرا که براساس محاسبات روی داده های عددی یا مثالها، قوانین کلی را فرا می گیرند.

دیرزمانی است که بشر در پی یافتن روشی جهت شبیه سازی عملکرد مغز انسان در قالب یک سیستم مصنوعی می باشد. این امر سبب انجام پژوهش های بسیاری در این زمینه شده است، که شبکه های عصبی مصنوعی^۲، ماحصل آن می باشد (منهاج، ۱۳۸۱).

۴-۲- شبکه های عصبی مصنوعی

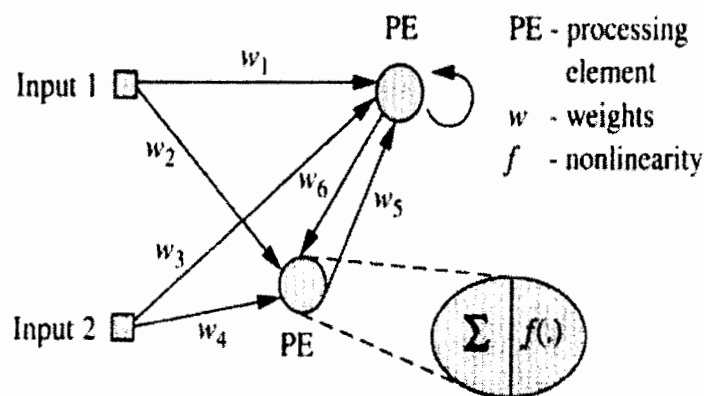
شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) گسترده، قابل انطباق و عموماً یک ماشین یادگیری غیر خطی است که از چندین المان پردازش (PE)^۳ متفاوت به نام نرون تشکیل شده است. هر (PE) اتصالاتی را از (PE) های دیگر و یا از خودشان دریافت می کنند. اتصالات داخلی توپولوژی شبکه را نشان می دهند.

1- Model Free

2- Artificial Neural Network

3- processing Element

جریان سیگنال در اتصالات توسط یک پارامتر تعدیل پذیر که وزن (W_{ij}) نامیده می شوند مقیاس بندی می شود. المان های پردازش این قسمت‌ها را با هم جمع می کنند و یک خروجی را تولید می کنند، که یک تابع غیر خطی از مجموع ها است. خروجی نرون یا خروجی سیستم می شود و یا به المان های مشابه و یا دیگر المان ها فرستاده می شود. شکل (۴-۱) مثالی از شبکه عصبی را نشان می دهد.



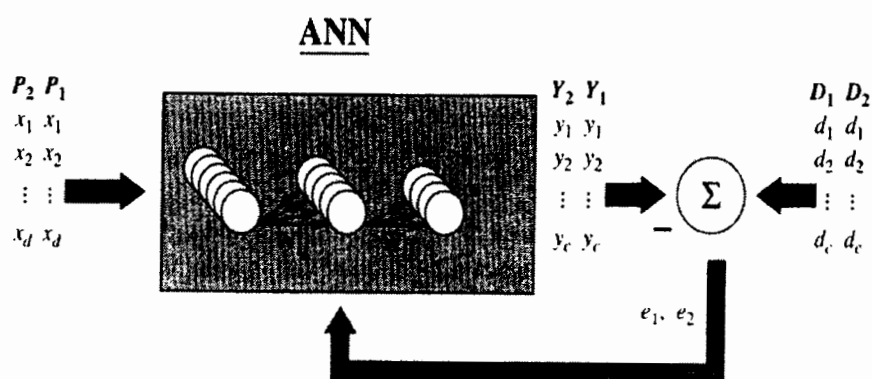
شکل ۴-۱- یک شبکه عصبی مصنوعی (Principe et.al,1999)

شبکه های عصبی توابع محرک از المان های پردازش خود می سازند. توپولوژی شبکه عصبی، تعداد و شکل توابع محرک را تعیین می کند. یکی از مزایای شبکه های عصبی مصنوعی این است که آنها به اندازه کافی در ایجاد تابع محرک دلخواه قوی اند، تا شبکه عصبی به قابلیت طبقه بندی بهینه برسد.

توابع محرک توسط وزنهای شبکه کنترل می شوند. وزنهای شبکه بدون هیچ فرضی درباره توزیع آماری داده ها به طور مستقیم از داده های آموزش تعدیل می شوند. بنابراین یکی از نتایج طراحی شبکه های عصبی یکسان کردن برنامه سیستماتیک (یک الگوریتم آموزش) برای تنظیم کردن وزنهای دقیق تر کردن طبقه بندی است. دقت کار با توجه به میزان خطا تعیین می شود.

برای آموزش شبکه عصبی ترتیبی وجود دارد که در شکل (۴-۲) مشاهده می شود. ابتدا داده ها به شبکه داده می شوند و خروجی با توجه به داده ها محاسبه می شود. خطایی از مقایسه خروجی شبکه و

مقدار واقعی به دست می‌آید و این مقدار خطا برای تنظیم وزن‌ها استفاده می‌شود. این پروسه با استفاده از همه داده‌های آموزش تکرار می‌شود تا اینکه شبکه به مقدار همگرایی لازم برسد. بنابراین، در شبکه عصبی، طراح شبکه عصبی نمی‌تواند خیلی از پارامترهای سیستم را تعیین کند. این پارامترها به طور اتوماتیک از داده‌های ورودی و جوابهای مطلوب به وسیله الگوریتم آموزشی به دست می‌آید.



شکل ۴-۲- فرآیند آموزش شبکه عصبی (Principe et.al,1999)

دو نتیجه اصلی در طراحی شبکه عصبی طبقه بندی شکل و تعداد توابع محرک و مکان آنها در الگوی شبکه به طوری که خطا مینیمم شود، می‌باشد (Principe et.al,1999).

۴-۳- کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی

در حال حاضر شبکه‌های عصبی به طور وسیع در زمینه‌های مختلف کاربرد دارند. بخشی از این کاربردها عبارتند از: کنترل کیفیت، مخابرات، کشف جرم، بازشناسی صدا و دست خط، مسائلی مالی، بیمه، امور حمل و نقل، ساخت وسایل صنعتی و پزشکی، مسایل امنیتی، مدیریت، صنایع شیمیایی، معادن و غیره.

به طور خلاصه می‌توان جمع بندی زیر را از کاربرد شبکه‌های عصبی بیان کرد:

(۱) طبقه بندی، شناسایی و تشخیص الگو

(۲) پردازش سیگنال

۳) پیش بینی سری های زمانی

۴) مدل سازی و کنترل

۵) بهینه سازی

۶) سیستم های خبره و فازی

۷) مسائل مالی، بیمه، امنیتی، بازار بورس و وسایل سرگرم کننده

۸) ساخت وسایل صنعتی، پزشکی و امور حمل و نقل

آنچه که شبکه های عصبی را در آینده محبوب تر خواهد کرد، سرعت بالای کامپیوترها و الگوریتم های یادگیری سریعتر می باشد که استفاده از شبکه های عصبی را در مسائل صنعتی با محاسبات زیاد یاری می نماید (منهاج، ۱۳۸۱).

۴-۴- ساختار شبکه های عصبی مصنوعی

تمام شبکه‌های عصبی حداقل در سه مولفه اصلی مشترک هستند.

۱-نرون یا گره (PE)

۲-وزنهای ارتباطی (W_{ij})

۳-لایه‌های مجزایی که شامل نرون‌ها هستند و توسط وزن‌ها به هم مرتبط می‌شوند.

نرون‌ها به عنوان واحدهای محاسباتی پایه، اساس عملکرد شبکه‌ها را تشکیل می‌دهند. شکل (۴-۳)

نرونی را با چند ورودی نشان می‌دهد. حاصل ضرب بردار ورودی (P) و ماتریس وزنی (W) و جمع آن با جمله بایاس^۱ (b) تشکیل ورودی خالص^۲ (n) را برای تابع محرک (f) می‌دهد. خروجی تابع محرک، میزان فعالیت نرون را مشخص می‌کند.

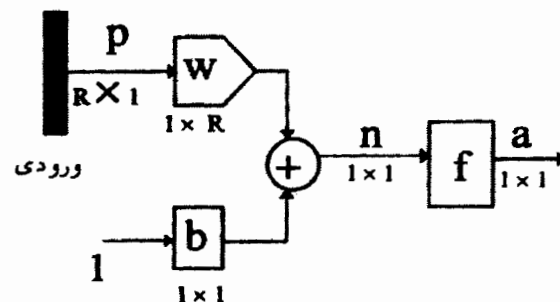
1- bias

2- Net input

$$n = \sum_{i=1}^R P_i W_{1i} + b = W.P + b, \quad act_1 = f_1(n)$$

$$P=(P_1, P_2, \dots, P_R)^T, W=(W_{11}, W_{12}, \dots, W_{1R}) \quad \text{رابطه (۲-۱)}$$

(P_i) مولفه‌های بردار ورودی و (W_{1i}) مولفه‌های ماتریس وزن و (act_1) میزان فعالیت اولین نرون را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که اندیس اول در نمایش ماتریسی وزن به شماره خود نرون و اندیس دوم به مبدا سیگنال ورودی اشاره می‌کند. در این حالت چون تنها یک نرون داریم، ماتریس وزن W ، یک بردار سطری می‌باشد. بنابراین، ستونهای ماتریس وزن بیانگر تعداد ورودیها به یک نرون و سطرهاى آن بیانگر تعداد نرونها می‌باشد. در واقع ستونها و سطرها به ترتیب ابتدا و انتهای یک خط ارتباطی را مشخص می‌کنند (طهماسبی، ۱۳۸۳).



شکل ۴-۳- یک نرون با چند ورودی (منهاج، ۱۳۸۱)

در مورد عملکرد شبکه، جمع وزنی ورودی ها به هنگام عبور از تابع محرک با آستانه تابع مقایسه می شود، چنانچه این جمع وزنی از مقدار آستانه فراتر رود، نرون فعال می شود و چنانچه این مقدار کمتر از آستانه باشد، نرون غیر فعال باقی می ماند.

شبکه ها می توانند تک لایه و یا چند لایه باشند. شکل (۴-۴) یک شبکه چند لایه را نشان می دهد. این شبکه دارای سه لایه است:

۱- لایه ورودی: در این لایه، ورودیها به دنیای خارج متصل شده اند. این لایه اساساً یک لایه کشنده^۱ می باشد که از آن سه ورودی به گونه ای ساده به لایه بعدی شبکه متصل شده اند. در این لایه هیچ پردازشی صورت نمی گیرد.

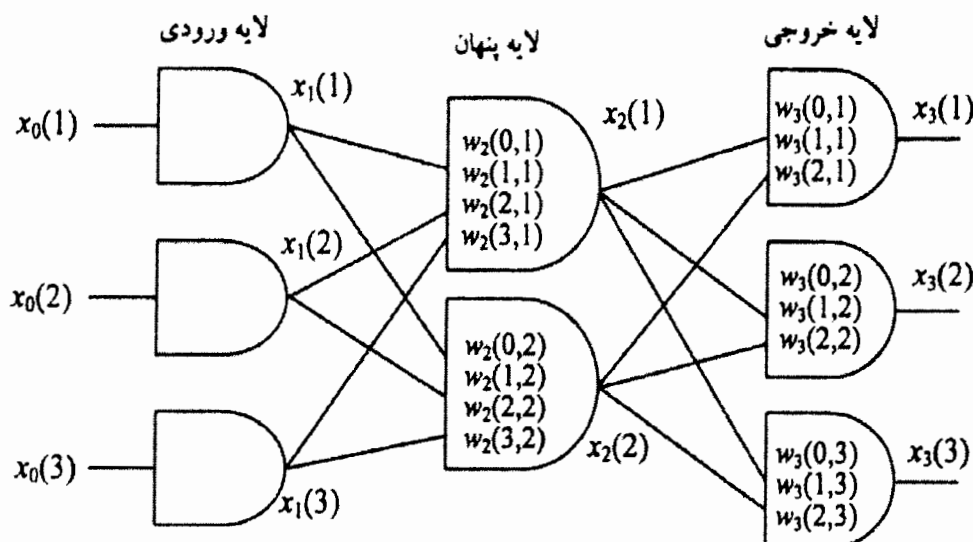
۲- لایه پنهان^۲: این لایه را به این دلیل پنهان نامند زیرا از بیرون این لایه، خروجیها و ورودیهای دو عصب موجود در این لایه را نمی توان مشاهده کرد. این نخستین لایه ای است که در آن پردازش انجام می شود.

۳- لایه خروجی: در این لایه، خروجیها به دنیای خارج متصل می شوند. این لایه شامل سه عنصر پردازنده می باشد.

نکته دیگری که باید در مورد این شکل به آن اشاره کرد، این است که این شبکه یک شبکه کاملاً متصل است، بدین معنی که خروجی تمامی عصبهای موجود در یک لایه به یک ورودی از هر کدام از عصبهای لایه بعدی متصل شده اند (این اتصال از خروجیهای عصبی لایه ورودی شروع می شود و به ورودیهای عصب های لایه خروجی ختم می شود). لازم به ذکر است که لایه های مختلف می توانند توابع محرک متفاوت داشته باشند (غضنفری و ارکات، ۱۳۸۳).

1- Fan-out

2- Hidden Layer



شکل ۴-۴- یک شبکه سه لایه (غضنفری و ارکات، ۱۳۸۳)

۴-۵- دسته بندی شبکه ها براساس روش یادگیری

از آنجا که ارتباط بین ورودی و خروجی کاملاً مشخص نیستند، به پروسه یادگیری نیاز است. نوع دیگری از تقسیم بندی شبکه ها براساس نحوه یادگیری می باشد. بر این اساس شبکه ها به سه دسته تقسیم می شوند.

۴-۵-۱- شبکه های دارای یادگیری با ناظر^۱

در یادگیری با ناظر فرض بر این است که در هر مرحله از تکرار الگوریتم یادگیری جواب مطلوب سیستم یادگیرنده از قبل آماده است و به عبارتی الگوریتم یادگیری به جواب واقعی و مطلوب دسترسی دارد. در این روش یادگیری، الگوهای خروجی مطلوب با خروجی محاسبه شده توسط شبکه با عنوان خروجی واقعی^۲، مقایسه می شود و اختلاف بین آنها می بایست با تغییر پارامترهای شبکه (وزن و بایاس) جبران

1- Supervised Learning

2- Actual Output

شود. نحوه تغییر پارامترهای شبکه توسط نوع الگوریتم آموزشی^۱، تعیین می شود.

۴-۵-۲- شبکه های دارای یادگیری بدون ناظر^۲

در یادگیری بدون ناظر جواب مطلوب برای سیستم یادگیرنده موجود نیست. به عبارتی به خطای یادگیری جهت بهبود رفتار سیستم یادگیرنده دسترسی نداریم. چگونگی ارتباط بین نرون ها اعم از ارتباط داخلی بین نرون های یک لایه با نرونهای لایه های مختلف و نحوه یادگیری، نوع شبکه را مشخص می کند. به یادگیری بدون ناظر خود یادگیری^۳ هم می گویند.

باید توجه داشت که در این حالت فرد طراح یا معلم است که هدف و مقصد نهایی، یعنی چیزی را که باید به آن رسید مشخص می کند و به عبارتی یادگیری بدون معلم مفهوم نادرستی است که عموماً به جای یادگیری بدون ناظر مورد استفاده قرار می گیرد.

۴-۵-۳- یادگیری تشدید (تقویتی)^۴

یک اشکال یادگیری با ناظر این است که شبکه عصبی ممکن است بدون معلم نتواند مواضع جدیدی را که توسط مجموعه داده های جدید تجربی پوشانده نشده است یاد بگیرد. یادگیری از نوع تشدید این محدودیت را برطرف می کند. این نوع یادگیری به صورت On-line می گیرد، در حالی که یادگیری با ناظر را به دو صورت On-line و Off-line می توان انجام داد. در حالت Off-line می توان از یک سیستم محاسبات با در اختیار داشتن داده های یادگیری استفاده کرد و طراحی شبکه عصبی را به انجام رساند. پس از مرحله یادگیری و طراحی، شبکه عصبی به عنوان یک سیستم استاتیکی عمل می کند. اما در یادگیری On-line، شبکه عصبی همراه با خود سیستم یادگیر در حال انجام کار است و از این رو مثل یک سیستم دینامیکی عمل می کند.

1- Learning Algorithm

2- Unsupervised Learning

3- Self-Learning

4- Reinforcement Learning

بنابراین این الگوریتم نوعی از یادگیری با ناظر است که در آن به جای فراهم کردن جواب واقعی، به شبکه عددی که نشانگر میزان عملکرد شبکه است ارائه می‌شود. این بدین معنی است که اگر شبکه عصبی پارامترهایش را به گونه‌ای تغییر دهد که منجر به یک حالت مساعد شود، آنگاه تمایل سیستم یادگیر جهت تولید آن عمل خاص تقویت یا تشدید می‌شود، در غیر این صورت تمایل شبکه عصبی جهت تولید آن عمل خاص تضعیف می‌شود (منهاج، ۱۳۸۱).

۴-۶- دسته بندی شبکه ها براساس پیشخور و پسخور بودن

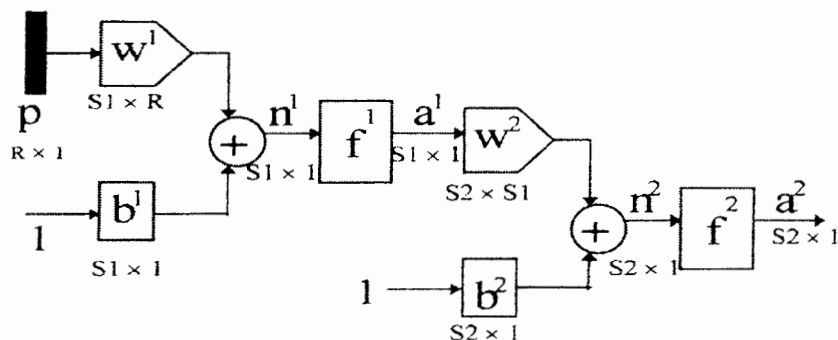
یکی دیگر از روش های دسته بندی شبکه ها، بر طبق جهت جریان اطلاعات در آنها می باشد، که بر این اساس دو نوع شبکه وجود دارد.

۴-۶-۱- شبکه های پیشخور

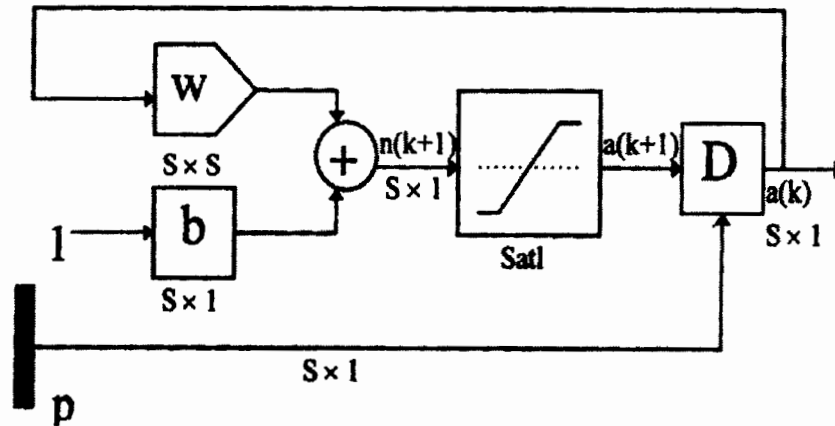
در این شبکه ها، نرون ها، ورودی خود را تنها از لایه قبلی دریافت می کنند و خروجی خود را تنها به لایه بعدی منتقل می کنند. شکل (۴-۵) یک شبکه پیشخور را نشان می دهد (منهاج، ۱۳۸۱).

۴-۶-۲- شبکه های پسخور یا برگشتی

در شبکه های پسخور (شکل ۴-۶)، حداقل یک سیگنال برگشتی از یک نرون به همان نرون یا نرون های همان لایه و یا لایه قبل استفاده می شود (منهاج، ۱۳۸۱).



شکل ۴-۵- یک شبکه پیشخور (منهاج، ۱۳۸۱)



شکل ۴-۶- شبکه پسخور یا برگشتی (منهاج، ۱۳۸۱)

۴-۷- پارامترهای شبکه

پارامترهای زیر اثر مستقیم در نحوه عملکرد شبکه دارد که کاربر می‌تواند این پارامترها را کنترل کند.

۱- تعداد لایه‌های شبکه

۲- تعداد نرون‌ها (المان‌های پردازش) در لایه پنهان

۳- مقدار دهی اولیه وزن^۱

۴- تابع محرک

۵- نرخ یادگیری و گشتاور^۲.

۴-۷-۱- تعداد لایه‌های شبکه

یک شبکه چند لایه می‌تواند با به کارگیری تعداد کافی از لایه‌ها در شبکه و تعداد مناسب گره در هر لایه طبقه بندی‌های پیچیده را انجام دهد. یک راهنمای مناسب برای تعیین تعداد حداکثر لایه‌ها به

1- Weight initialization
2- Momentum

صورت قضیه ای در سال ۱۹۵۷ توسط یک ریاضیدان روسی به نام کولموگوروف^۱ مطرح شده است. قضیه بقای کولموگوروف به صورت زیر خلاصه می شود:

هر تابع پیوسته n متغیره را می توان تنها توسط حاصل جمع های خطی و توابع غیرخطی پیوسته اکیداً صعودی، از یک متغیر محاسبه کرد.

براساس این قضیه یک شبکه سه لایه با $n(2n+1)$ گره با استفاده از توابع غیرخطی پیوسته اکیداً صعودی، می تواند هر تابع پیوسته ای از n متغیر را محاسبه نماید. بنابراین از یک شبکه سه لایه می توان برای ایجاد هر تابع پیوسته موردنیاز یک طبقه بندی استفاده کرد.

به هر حال آنچه محققان این زمینه می گویند این است که به کارگیری دو لایه پنهان الزاماً بهترین گزینه نمی باشد و به کارگیری تعداد لایه های بیشتر می تواند منجر به استفاده از تعداد کمتری نرون در کل شبکه شود. از لحاظ تئوری ثابت شده است که یک شبکه سه لایه با تابع محرک سیگموئیدی تقریب زننده های جامع هستند، بدین معنی که این شبکه ها را برای تقریب زدن هر تابعی آموزش داد. میزان دقت تقریب به کار رفته به تعداد نرون های موجود در لایه پنهان بستگی دارد (غضنفری و ارکات، ۱۳۸۳).

۴-۷-۲- اثر تعداد نرون ها در لایه های میانی

یکی از مسائل اصلی ناشی از محاسبات در شبکه های عصبی تعیین تعداد المان های پردازش در لایه های میانی است. در اینجا دو حالت وجود دارد؛ شبکه دارای تعداد زیادی المان پردازش برای انجام کار باشد و یا تعداد کمی المان پردازش داشته باشد.

فهمیدن هر حالت بسیار مهم است، زیرا تعیین تعداد درست المان های پردازش با توجه به اطلاعات موجود کار مشکلی است. مساله مهم دیگر وقتی است که شبکه تعداد المان پردازش کافی در لایه مخفی برای حل درست مساله نداشته باشد. این قضیه وقتی مشاهده می شود که بخواهیم مساله تابع XOR را

1- Kolomogorov Existence Theorem

با یک پرسپترون یک لایه حل کنیم، در اینجا شبکه نمی‌داند که مساله قابل حل است یا نه و تلاش می‌کند تا مساله را به بهترین وضع حل کند و بسیاری از نمونه‌ها را درست طبقه‌بندی می‌کند، ولی معمولاً در مورد همه نمونه‌ها نمی‌تواند این کار را انجام دهد.

به طور کلی، الگوریتم یادگیری برای طبقه‌بندی درست نمونه‌ها ابتدا شکل و محل درست تابع تفکیک کننده^۱ را پیدا می‌کند و سپس تلاش می‌کند که طبقه‌بندی را با تعداد نمونه‌های کمتر انجام دهد. دلیل این عمل این است که، مجموع خطاهای آموزش به طور اتوماتیک محل تابع تفکیک کننده را نشان می‌دهد.

محققین تلاش‌های بسیاری را برای یافتن روشی برای انتخاب بهینه تعداد نرون‌های لایه میانی انجام دادند و روش‌هایی مانند روش واسطه‌هندسی را در شبکه‌هایی که تعداد نرون‌های خروجی در آنها کمتر از ورودی می‌باشد، پیشنهاد کردند و یا پیشنهاد دادند که برای شبکه‌ای با یک لایه پنهان، تعداد $(n+1)$ نرون در این لایه نیاز است، که (n) تعداد نرون‌های ورودی می‌باشد.

با بررسی همه روش‌های پیشنهادی این نتیجه حاصل می‌شود که هیچ یک از این روش‌ها در همه موارد عمومیت ندارد و بهترین روش برای تعیین تعداد بهینه لایه‌های پردازش در لایه پنهان روش آزمون و خطا می‌باشد (Principe et.al, 1999).

۴-۷-۳- مقدار دهی اولیه وزنها

کاهش خطای شبکه چندین قید (قانون) را وارد پروسه یادگیری می‌کند، که چگونگی انتخاب وزنها، اولیه و انتخاب تعداد لایه‌های میانی از این قوانین می‌باشند. چگونگی انتخاب تعداد لایه‌های میانی قبلاً توضیح داده شد و در اینجا چگونگی انتخاب وزنها، اولیه شبکه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

وزنهای اولیه بر راندمان شبکه اثر می‌گذارند و وزنهایی دور از وزنهای نهایی زمان آموزش را افزایش می‌دهند و همچنین سرعت یادگیری نرون‌های مختلف را که ما تمایل به یکسان بودن آنها داریم، تغییر می‌دهد.

وقتی که وزن‌های اولیه دور از مقدار بهینه انتخاب شوند، پیدا کردن مقدار مینیمم سخت‌تر و غیر واقعی‌تر است. همچنین، مشخص نیست که وزنهای بهینه در کجای الگو قرار می‌گیرند. بسیاری از افراد پیشنهاد کردند که راه حل خطی برای وزنهای اولیه به کار رود، اما این قضیه همیشه درست عمل نمی‌کند. در بسیاری از حالتها، راه حل خطی برای وزنهای اولیه، باعث می‌شود که دقیقاً به نقاطی برسیم که نقاط کمینه محلی^۱ می‌باشند، همچنین اگر وزنهای اولیه خیلی بزرگ انتخاب شوند، توابع محرک سیگموئیدی سریعاً اشباع^۲ خواهند شد و احتمال گرفتار شدن شبکه در مینیمم محلی افزایش می‌یابد (شکل ۴-۷).

برای از بین بردن مسائلی که از یادگیری درست جلوگیری می‌کنند (مانند تبهگن کردن راه حل در مساله XOR که وزنها صفر می‌شوند)، راه معمول، شروع کردن وزن‌های شبکه به صورت تصادفی است. یک نرون در حالت خطی سریعتر از نرون در حالت اشباع آموزش می‌بیند و برای آموزش بهتر هدف یادگیری نرون‌ها در نرخ‌های برابر است. اگر در حل مساله مقدار واریانس برای مقادیر تصادفی قرار دهیم، هر نرون نزدیکتر به مقدار خطی خود خواهد بود و آموزش شبکه در نرخ‌های برابر انجام می‌شود. یک قانون برای محاسبه تقریبی مقدار واریانس برای وزن‌های اولیه به صورت زیر است:

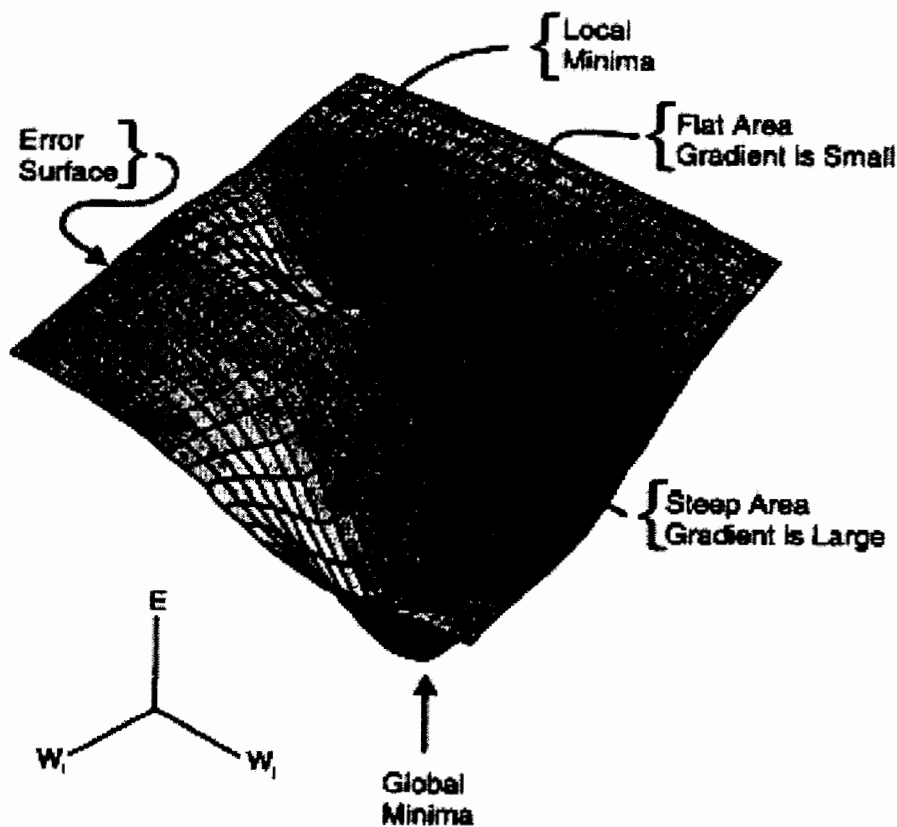
$$(-2.4/I, 2.4/I)$$

رابطه (۴-۱)

که در اینجا I برابر با تعداد ورودیهای هر نرون می‌باشد (Principe et.al, 1999).

1- Local minimum

2- Saturate



شکل ۴-۷- کمینه محلی و سراسری (Pandya & Macy;2000)

۴-۷-۴- انتخاب نوع تابع محرک

در شبکه پس انتشار خطا، هر تابع مشتق‌پذیر و پیوسته‌ای که به طور یکنواخت افزایش یابد، می‌تواند به عنوان تابع محرک استفاده شود. معمول ترین این توابع، سیگموئیدی، تانژانت هیپربولیک و خطی می‌باشند. انتخاب نوع تابع محرک به هدف مساله بستگی دارد. چنانچه شبکه یک مساله دسته‌بندی را حل می‌کند، بهتر است از تابع سیگموئیدی یا تانژانت هیپربولیک در لایه خروجی استفاده شود. اگر هدف از حل مساله، تخمین تابع می‌باشد بهتر است از تابع محرک غیر خطی مانند سیگموئیدی برای نرونهای لایه پنهان و از تابع خطی برای لایه خروجی استفاده شود. خطی بودن تابع لایه خروجی اجازه می‌دهد تا شبکه مقادیر خارج از یک گستره محدود را هم تولید کند (طهماسبی، ۱۳۸۳).

۴-۷-۵- نرخ یادگیری و گشتاور

این دو کمیت میزان تغییر وزن‌ها را کنترل می‌کند. انتخاب نرخ یادگیری بسیار مهم است و اندازه گام‌ها را در راستای حصول به حداقل خطا تنظیم می‌کند. زمانیکه تابع خطا نسبتاً تخت باشد، استفاده از نرخ آموزشی بزرگتر سودمند است. استفاده از نرخ آموزشی کوچک باعث طولانی‌تر شدن زمان همگرایی می‌شود. در روشهای آموزشی سریعتر که با اعمال تغییراتی در الگوریتم پس انتشار خطا حاصل شده است، نرخ یادگیری ثابت نیست و در خلال آموزش تغییر می‌کند.

گشتاور برای بهتر کردن اجرای الگوریتم استفاده می‌شود، که همگرایی را سریعتر و پایدار می‌کند. در یادگیری گشتاور، معادله به هنگام کردن وزن‌ها به صورت زیر است:

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) + \eta \delta_i(n) x_j(n) + (\alpha(w_{ij}(n) - w_{ij}(n-1))) \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

که در این رابطه:

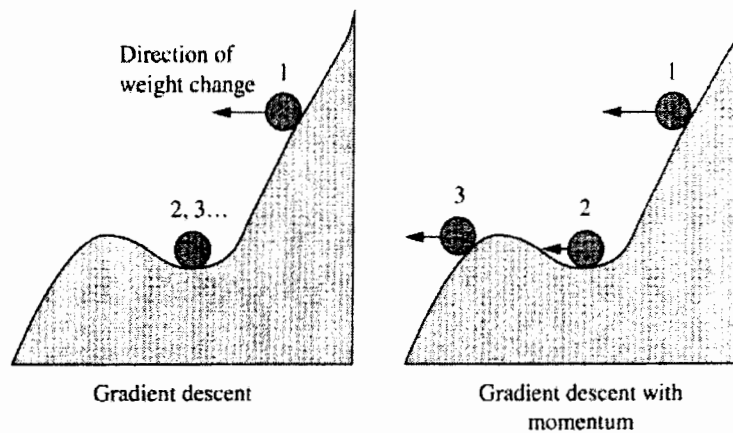
η : نرخ یادگیری

α : گشتاور

به طور نرمال α عددی بین ۰/۵ و ۰/۹ می‌باشد. باید توجه کنیم که مقادیر وزن‌ها تغییر می‌کنند و می‌توانیم بفهمیم که در آخرین تکرار وزن‌ها چقدر تغییر کرده‌اند.

در جایی که شبکه در یک گودی (کمینه محلی) گیر می‌افتد، مومنتم به رهایی از کمینه محلی کمک می‌کند و آن را از گودی به سمت ملایم‌تر می‌برد. شکل (۴-۸) یادگیری مومنتم را به صورت خلاصه نشان می‌دهد. در این شکل یک توپ دیده می‌شود (موقعیت بردار وزن)، که به سمت پایین تپه حرکت می‌کند. اگر توپ به قسمت صاف کوچکی برسد، به حرکت خود از این قسمت مینیمم محلی ادامه می‌دهد، که دلیل این امر وجود مومنتم است. یک توپ بدون نیروی مومنتم، در این گودال

می ماند و نمی تواند از آن خارج شود. مومنتم روشی برای سریع تر کردن آموزش است و پیشنهاد می شود که مومنتم به عنوان پیش فرض شبکه های غیر خطی قرار گیرد (Principe et.al, 1999).



شکل ۴-۸- تاثیر مومنتم بر یادگیری شبکه (Principe et.al, 1999)

یک نرخ یادگیری کوچک می تواند با یک گشتاور بزرگتر جهت تسریع همگرایی استفاده شود و یک نرخ یادگیری بزرگتر معمولاً با یک گشتاور کوچکتر جهت اطمینان از پایداری شبکه می تواند همراه شود. مقادیر گشتاور و نرخ یادگیری اغلب توسط آزمون و خطا، انتخاب می شوند (طهماسبی، ۱۳۸۳).

۴-۸- توقف آموزش

در خلال آموزش میزان خطای بین خروجی مطلوب و خروجی واقعی اندازه گیری می شود. هدف فاز آموزش، کاستن مقدار خطا از طریق تعدیل اوزان می باشد. لذا در خلال آموزش خطا باید کاهش یابد و آموزش زمانی متوقف خواهد شد که این مقدار کاهش مقدار ناچیزی باشد.

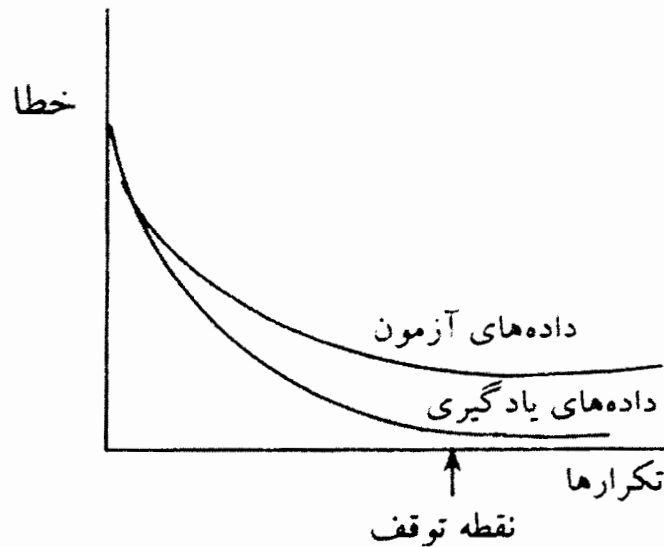
واضح است که، مطلوب آن است که خطا حتی الامکان کاهش یابد، اما به هرحال تجربه نشان می دهد که یک شبکه نمی تواند به همان خوبی که بر روی مجموعه آموزش عمل می کند، بر روی مجموعه

آزمون کار کند. این پدیده را آموزش مبالغه ای گویند و گفته می شود که شبکه بر روی داده های آموزش فوق العاده منطبق شده است.

حال این سوال پیش می آید که چگونه با اجتناب از آموزش مبالغه ای زمان توقف آموزش را تشخیص دهیم؟

راهکار پاسخ به این سوال این است که مجموعه داده ها را به جای دو مجموعه به سه مجموعه تقسیم نماییم. به این مجموعه ها مجموعه یادگیری، مجموعه آزمون و مجموعه تعیین اعتبار گفته می شود. آموزش با به کارگیری مجموعه آموزش انجام می شود و از خطا برای تعدیل اوزان استفاده می شود. در خلال آموزش شبکه، داده های مجموعه آزمون نیز به شبکه نشان داده می شوند و مقدار خطا ثبت می شود. وقتی که مجموعه آزمون به شبکه نشان داده می شود اوزان تعدیل نمی شوند و تعدیل اوزان تنها پس از ارائه مجموعه آموزش و به وسیله پس انتشار انجام می شود.

در طول فرآیند آموزش میزان خطای بین خروجی نرم افزار و خروجی واقعی باید کاهش یابد. خطای ناشی از نشان دادن داده های آزمون نیز باید پایین بیاید ولی همانگونه که در شکل (۴-۹) نشان داده شده است، مقدار خطای ناشی از ارائه مجموعه آزمون بزرگتر از میزان خطایی است که از نشان دادن مجموعه آموزش به وجود می آید. در نقطه ای از آموزش، مقدار خطای مجموعه آزمون از کاهش یافتن باز می ماند و حتی ممکن است شروع به بالا رفتن کند. این همان نقطه ای است که از آن به بعد آموزش مبالغه ای شروع می شود و شبکه شروع به انطباق بیش از حد با مجموعه آموزش می نماید. در صورتیکه در نقطه ای که از آنجا خطای مجموعه آزمون شروع به بالا رفتن می کند، آموزش متوقف شود، می توان از آموزش مبالغه ای اجتناب کرد.



شکل ۴-۹- خطای مرتبط با مجموعه‌های آموزش و آزمون (غضنفری و ارکات، ۱۳۸۳)

پس از آنکه آموزش شبکه متوقف شد، مجموعه تعیین اعتبار به شبکه نشان داده می‌شود که شامل داده‌هایی است که تا به حال به شبکه ارائه نشده‌اند (غضنفری و ارکات، ۱۳۸۳).

۴-۹- یادگیری^۱ و تعمیم^۲ شبکه‌ها

شبکه‌های عصبی، الگوها را طبقه‌بندی می‌کند، اما هر طبقه‌بندی الگو، شبکه عصبی نیست. یکی از مهمترین ویژگی‌های شبکه‌های عصبی توانایی آنها در یادگیری و تعمیم است.

راه حل ارائه شده توسط حافظه الکترونیکی برای مساله طبقه‌بندی اعداد مستلزم زمان بسیار زیادی به منظور وارد کردن تمامی ترکیبات محتمل برای ورودی می‌باشد. بهتر آن است که ماشین را توسط ارائه تعداد کمتری از مثالها که باعث ایجاد جواب درست می‌شوند، برنامه نویسی نماییم. این رویه به معنای آموزش یا یادگیری می‌باشد؛ یعنی سیستم یاد می‌گیرد که الگوهای معینی را شناسایی کند و پاسخ خروجی درستی به آنها بدهد.

1- Learning

2- Generalization

فرآیند یادگیری را می‌توان در مورد حافظه الکترونیکی به کار گرفت، بدین ترتیب که نخست تمامی مقادیر حافظه برابر صفر قرار داده می‌شود و سپس یک فاز آموزش وجود خواهد داشت که در آن مثالهایی از الگوهای ورودی به حافظه نشان داده می‌شود و یک عدد ۱ در موقعیتهایی از حافظه که توسط این الگوها نشان داده شده اند قرار می‌گیرد. عدد ۱ توسط روشن شدن لامپی که متناظر با کلاس الگوی ورودی است، نشان داده می‌شود. پس از اتمام فاز آموزش فاز عملیاتی قرار دارد که در آن الگوها مجدداً نشان داده می‌شود؛ در صورتی که این الگوها با الگوهای که در فاز آموزش به سیستم ارائه شده بودند یکسان باشند، خروجی صحیح خواهد بود (غضنفری و ارکات، ۱۳۸۳).

فصل پنجم

تحلیل پایداری فضاها و زیرمینی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی

۵-۱- مقدمه

در این فصل با توجه به نوع داده ها و هدف مسأله و پس از بررسی های فراوان سه شبکه با سه شکل متفاوت آموزش داده شد، تا برای پیش بینی پایداری تونل استفاده شوند، که نحوه کار در ادامه شرح داده می شود.

۵-۲- مراحل کار

کار با شبکه عصبی شامل مراحل زیر است:

۱- جمع آوری و آماده سازی داده ها

۲- تعیین نوع شبکه مورد استفاده و معماری آن

۳- نحوه آموزش شبکه عصبی

۴- روش ارزیابی شبکه عصبی

فلوچارتی از مراحل کار در شکل (۵-۱) دیده می شود.

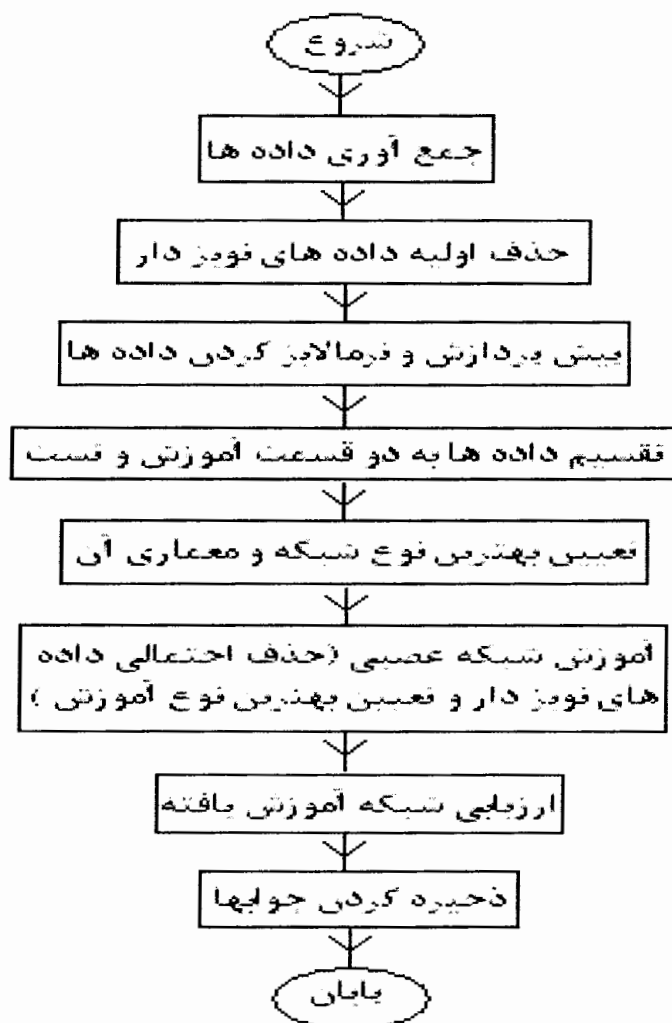
۵-۲-۱- جمع آوری و آماده سازی داده ها

با توجه به هدف این پایان نامه که تحلیل پایداری فضاهای زیرزمینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می باشد، به عنوان مطالعه موردی، پایداری تونل که نوعی از فضاهای زیرزمینی می باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. برای جمع آوری داده دو روش قابل اجرا بود:

۱- ساختن و تولید داده ها با استفاده از نرم افزارهای تحلیل پایداری فضاهای زیرزمینی (احمدی و

ابراهیم پور، ۱۳۸۳)

نرم افزارهای تحلیل عددی پایداری فضاهای زیرزمینی مانند Plaxis, Flac و.... نوعی از آنها هستند.



شکل ۵-۱- مراحل کار با شبکه عصبی

در این حالت داده های مرتب و منظمی به دست می آید که آموزش شبکه عصبی با توجه به آنها بسیار آسان تر از داده های واقعی است. بدیهی است که این داده ها با داده های واقعی تفاوت داشته و صد در صد درست نمی باشند.

نکته مهم در اینجا آن است که اگر شبکه عصبی با توجه به داده های ساخته شده توسط نرم افزارها آموزش یابد، حالت بهینه و ایده آل، اعداد به دست آمده از نرم افزارها خواهد بود و مطمئناً با داده های واقعی فرق خواهند داشت و اگر شبکه عصبی با توجه به داده های واقعی آموزش یابد،

حالت بهینه و ایده آل، حالت واقعی می باشد که داده ها به صورت واقعی از محل سایتها برداشت شده اند و این مساله قطعاً درست تر است.

۲- برداشت داده ها از محل سایت تونل

روش دیگر برداشت داده های واقعی از محل سایت تونل است. در این پایان نامه همانگونه که گفته شد، داده ها از محل ۳ سایت تونل که شامل تونل آبرسانی چشمه روزیه سمنان، تونلهای مترو اصفهان و تونل راه آهن خماری بودند، جمع آوری شدند، که در جداول (۸-۳)، (۱۳-۳) و (۱۴-۳) دیده می شوند. برای برداشت داده از محل سایتها دو روش وجود دارد که عبارتند از:

الف- برداشت داده فقط از محل یک تونل

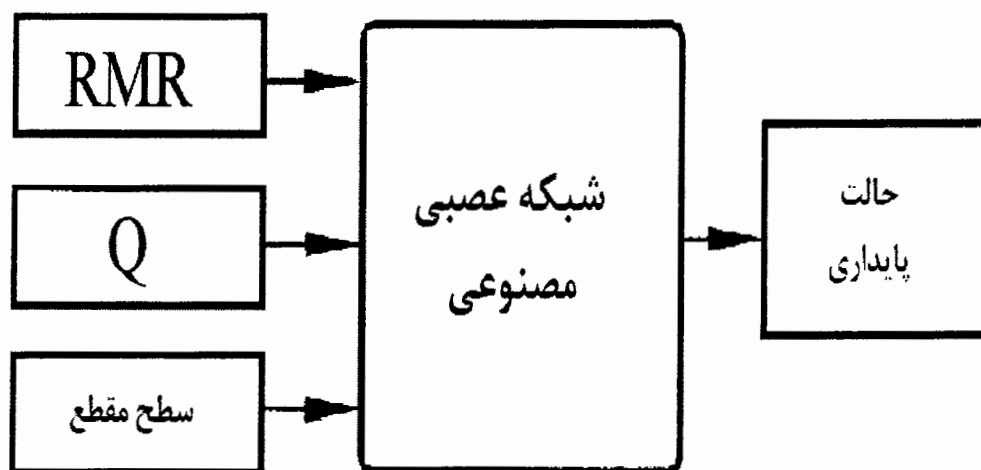
در این حالت شبکه برای همان یک منطقه آموزش می یابد و داده ها از دقت بالاتری برخوردار است، زیرا داده ها توسط یک نفر و یک مجموعه خاص برداشت شده است.

ب- برداشت داده ها از چند سایت تونل (Wang et.al, 2002)

در این حالت داده ها از چند سایت تونل برداشته می شوند و شبکه عصبی آموزش یافته برای مناطقی که داده ها از آنجا برداشت شده است، آموزش می یابد و شبکه دارای قابلیت تعمیم بالاتری است. مشکلی که در اینجا وجود دارد، این است که به دلیل تفاوت در برداشت کننده های داده ها، میزان خطا و تعداد نویزها بیشتر خواهد شد.

داده های به دست آمده از محل سه سایت مورد مطالعه در این پایان نامه ابتدا شامل حدود ۲۴۰ داده بودند که پس از حذف داده های دارای ناهمگونی فاحش، تعداد داده ها به ۲۱۲ عدد رسید. در ادامه باز هم به دلیل وجود داده های غلط و نویزدار در آموزش شبکه مشکل ایجاد شد، که در طی آموزش شبکه و پس از امتحان کردن روشهای متفاوت و تعداد تکرارهای مختلف، تعدادی دیگر از داده های دارای خطا حذف شدند و تعداد داده ها به ۱۷۲ عدد رسید.

داده های برداشت شده شامل پارامترهای RMR, Q و سطح مقطع به عنوان پارامترهای ورودی شبکه و حالت پایداری تونل به عنوان پارامتر خروجی شبکه هستند (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۲- معماری شبکه عصبی

هر سه تونل که داده ها از آنها برداشت شده است، دارای مقطع نعل اسبی می باشند و کار انجام شده در این پایان نامه برای تونلهای با مقطع نعل اسبی می باشد.

در این مطالعه شبکه عصبی، یکبار فقط برای داده های مربوط به تونل های مترو اصفهان و بار دیگر برای داده های مربوط به سه تونل مورد مطالعه آموزش داده شد، که در بخش های بعد، این شبکه ها توضیح داده خواهند شد. لازم به ذکر است که تا پایان، برای سهولت کار شبکه مربوط به داده های متروی اصفهان را با عنوان شبکه اول و شبکه مربوط به داده های مربوط به سه محل را با عنوان شبکه دوم نام می بریم. شبکه ای نیز با شکلی متفاوت در انتهای کار شرح داده شده است که با عنوان شبکه سوم نامیده می شود.

۵-۲-۲- تعیین نوع شبکه مورد استفاده و معماری آن

پس از مرحله جمع آوری داده ها و آماده سازی آنها باید نوع شبکه عصبی مورد استفاده را تعیین کرد. در مرحله تعیین نوع شبکه عصبی، شبکه های عصبی مختلفی وجود دارند که باید با بررسی آنها، بهترین شبکه را انتخاب کرد.

چند نوع از شبکه های عصبی معمول عبارتند از (غضنفری و ارکات، ۱۳۸۳؛ منهاج، ۱۳۸۱؛ البرزی، ۱۳۸۰؛ حسینی، ۱۳۸۳):

۱- شبکه پس انتشار خطا یا BP^۱: نوعی شبکه عصبی است که برای پیش بینی و تقریب توابع استفاده می شود و از نوع با ناظر می باشد.

۲- شبکه کوهنن^۲: که شبکه ای با یادگیری بدون ناظر و رقابتی می باشد.

۳- شبکه ادالین ADALINE^۳: شبکه ای با قابلیت تفکیک خطی و دارای تابع تبدیل آستانه دو مقدار بدون شیب می باشد.

۴- شبکه LVQ: که هیبریدی از یادگیری با ناظر و بدون ناظر است و از نوع یادگیری رقابتی استفاده می کند.

۵- شبکه هاپفیلد^۴: نوعی از شبکه های حافظه انجمنی^۵ و پسخور است و بیشتر برای مسائل شناسایی الگو استفاده می شود.

۶- شبکه هامینگ: بسیار مشابه شبکه هاپفیلد است. این شبکه اساساً جهت حل مسائل تشخیص الگوهای باینری طراحی شده است. شبکه هامینگ از دو ساختار پیشخور و پسخور تشکیل می شود. هدف اصلی در شبکه هامینگ این است که تشخیص دهد که کدام الگوی مرجع بیشترین نزدیکی را به الگوهای ورودی دارد، و سپس آن را در خروجی شبکه ظاهر کند.

۷- شبکه تابع شعاع مدار (RBF)^۶: این شبکه با توجه به کاربردهای متنوعی که برای آن توسعه یافته است، به یکی از پرکاربردترین گونه های شبکه های عصبی تبدیل شده است و به همین جهت مهمترین رقیب برای پرسپترون چند لایه به حساب می آید. این شبکه برای تقریب توابع استفاده می شود و در طبقه بندی الگوها ضعیف عمل می کند.

^۱- Back Propagation

^۲- Kohonen

^۳- Adaptive Linear Element

^۴- John Hopfield

^۵- Autoassociative

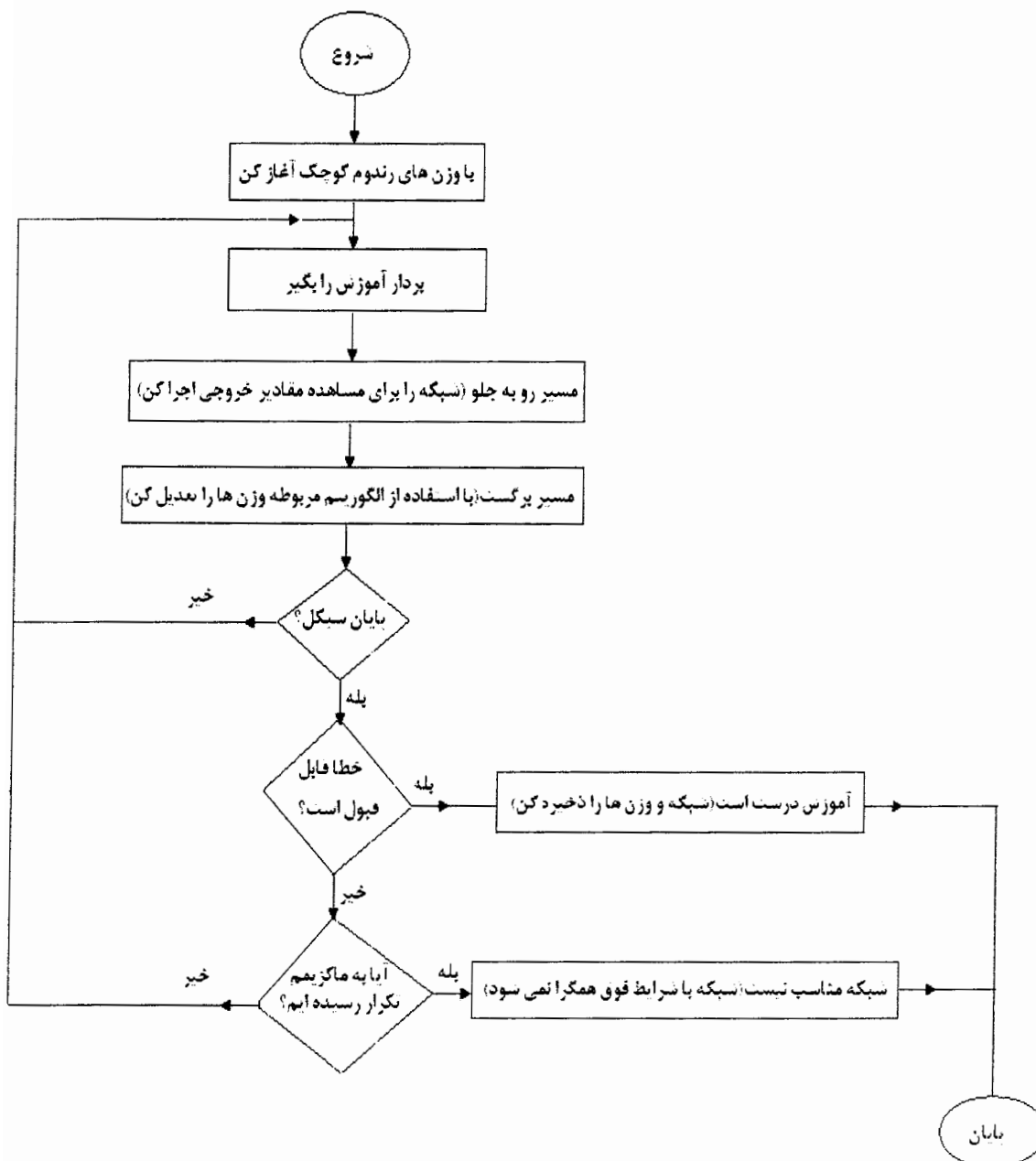
^۶- Radial bias function

شبکه های عصبی محدود به موارد ذکر شده نیستند، الگوریتم های دیگری نیز برای شبکه های عصبی وجود دارد که بعضاً کاربرد های زیادی ندارند و با توجه به اینکه شبکه های عصبی مصنوعی در حال پیشرفت می باشند، روز به روز الگوریتم ها و روشهای جدیدی برای آموزش شبکه های عصبی مصنوعی به وجود می آید.

در این تحقیق به منظور پیش بینی حالت پایداری تونل با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، شبکه عصبی BP بهترین گزینه به نظر می رسد، که پس از امتحانهای مختلف این شبکه برای انجام کار در نظر گرفته شد. البته در ابتدا شبکه کوهنن و ترکیبی از آن با شبکه BP هم مدنظر بود، اما به دلیل اینکه شبکه BP به تنهایی به جواب درست رسید، فقط از شبکه BP استفاده شد. دلایل استفاده از شبکه BP بدین شرح می باشد:

- ۱- هدف کار در این پایان نامه پیش بینی می باشد و شبکه BP در این زمینه قوی عمل می کند.
 - ۲- یادگیری این شبکه با ناظر است و با توجه به داده های این مطالعه که شامل ورودی و خروجی بودند، این شبکه مناسب می باشد.
 - ۳- ساختمان این شبکه و کار با آن نسبت به بسیاری از شبکه های دیگر، ساده تر می باشد.
- در شکل (۳-۵) روند اجرای شبکه BP به صورت فلوچارتی نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در این پایان نامه برای آموزش شبکه عصبی از نرم افزار Matlab 7 استفاده شده است.
- پس از انتخاب شبکه، مرحله بعد معماری شبکه و طراحی پارامترهای موثر بر آن می باشد. این پارامترها شامل تعداد نرون ها در لایه های ورودی و خروجی، تعداد لایه های پنهان، تعداد نرون ها در لایه های پنهان، توابع محرک لایه ها، انتخاب خطای مناسب برای داده ها، پیش پردازش داده ها، انتخاب روش نرمالایز کردن، تقسیم بندی درست داده ها به سریهای آموزش و تست و نوع روش آموزش و یادگیری می باشد، که در ادامه شرح داده خواهد شد.

پارامترهای موثر بر شبکه باید به درستی انتخاب شوند، زیرا اگر این کار صورت نگیرد، شبکه عملکرد درستی نخواهد داشت و مواردی مثل انتخاب نادرست داده های آموزش و تست، طراحی نادرست شبکه و الگوریتم آن، بر عملکرد شبکه تاثیر خواهند داشت.



شکل ۵-۳- روند اجرای شبکه BP (Pandya & Macy;1996)

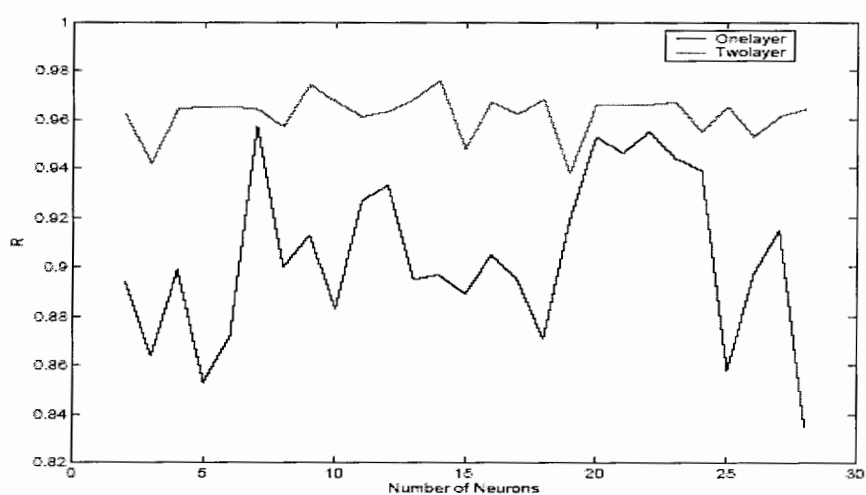
الف- تعداد گره در لایه ورودی و خروجی

همانگونه که قبلاً بیان شد، تعداد گره ها در لایه ورودی ۳ عدد و تعداد گره در لایه خروجی ۱ عدد می باشند. ورودی ها شامل پارامترهای RMR ، Q و اندازه سطح مقطع تونلها هستند و خروجی هم شامل حالت پایداری تونل (پایدار، ناپایدار و دارای پتانسیل ناپایداری) می باشند.

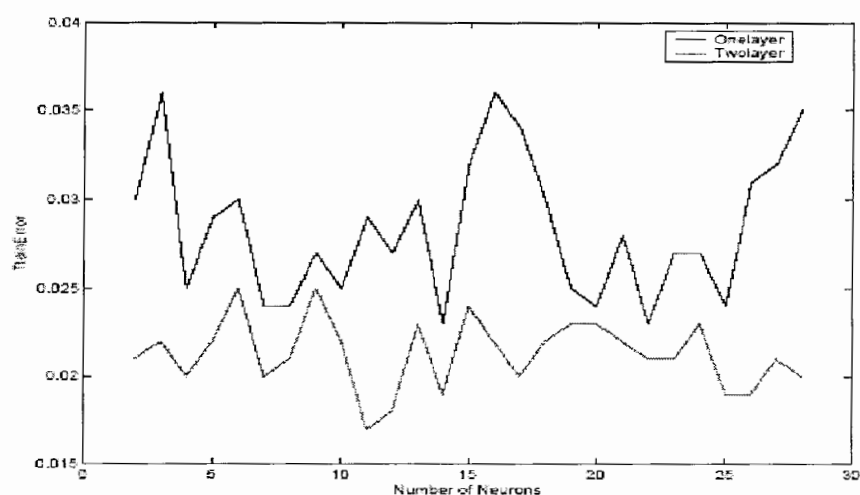
ب- تعداد لایه های پنهان

در شبکه BP در اکثر موارد با توجه به اینکه شبکه به جواب می رسد و همچنین برای صرفه جویی در زمان از شبکه با یک لایه پنهان استفاده می شود، اما در این پایان نامه در هر دو شبکه با توجه به اینکه داده ها پراکنده اند و همچنین با توجه به اینکه تعداد داده ها زیاد نمی باشند و از لحاظ زمانی هم مشکلی وجود ندارد، شبکه با دو لایه پنهان نیز آزمایش شد. همچنین در شبکه دوم چون داده ها از سه محل برداشت شده است، با توجه به امکان وجود خطای برداشت کننده ها، شبکه با دو لایه پنهان بهتر به نظر می رسید.

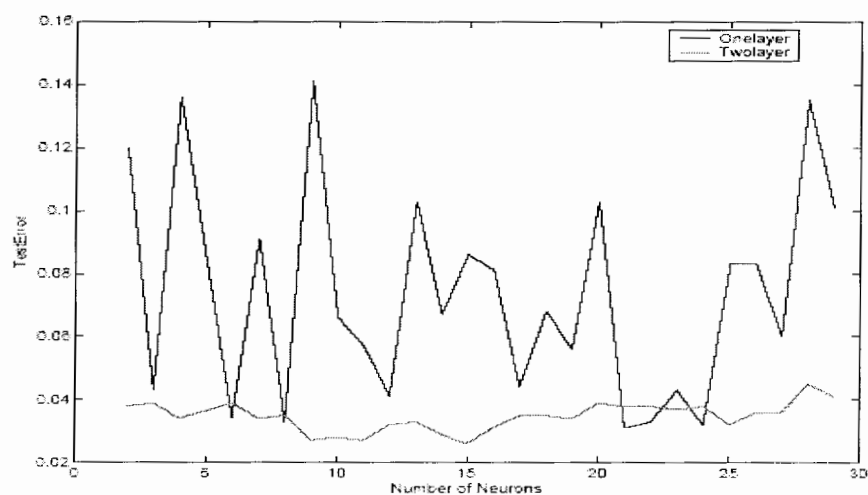
در شکل های (۴-۵) تا (۸-۵) مقادیر ضرایب رگرسیون، خطای آموزش، خطای تست، RMS آموزش و RMS تست، برای شبکه با یک و دو لایه پنهان، برای شبکه مربوط به داده های مترو اصفهان مشاهده می شود. همانطور که دیده می شود در مورد هر پنج پارامتر، شبکه با دو لایه پنهان جواب بهتری می دهد. بنابراین در این پایان نامه از شبکه BP با دو لایه پنهان استفاده شده است. با تعمیم دادن این قضیه در تعداد نرون های دیگر نیز به این نتیجه خواهیم رسید که شبکه با دو لایه پنهان نتیجه بهتری خواهد داشت. لازم به ذکر است که هر یک از پارامترهای مقادیر خطا، RMS و ضریب رگرسیون در بخش (۴-۲-۵) توضیح داده شده است.



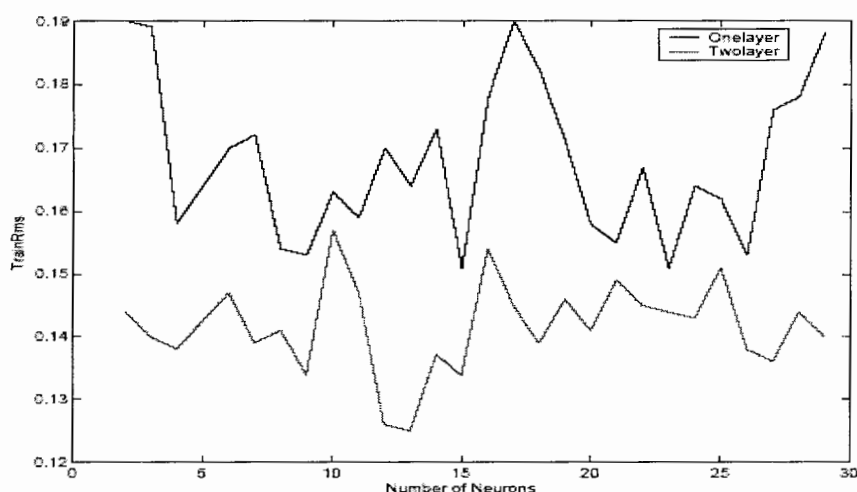
شکل ۴-۵- مقایسه بین مقادیر ضرایب رگرسیون داده های تست برای شبکه اول با یک و دو لایه پنهان



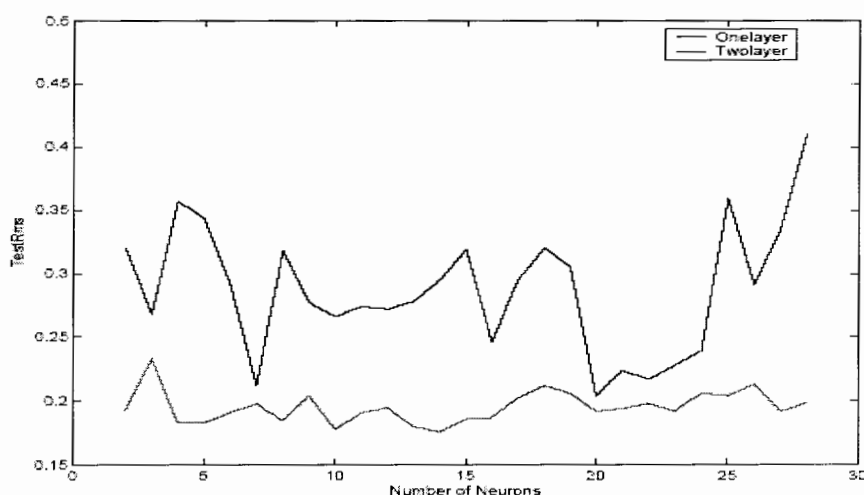
شکل ۵-۵- مقایسه بین مقادیر خطای آموزش برای شبکه اول با یک و دو لایه پنهان



شکل ۶-۵- مقایسه بین مقادیر خطای تست برای شبکه اول با یک و دو لایه پنهان



شکل ۵-۷- مقایسه بین مقادیر RMS آموزشی برای شبکه اول با یک و دو لایه پنهان



شکل ۵-۸- مقایسه بین مقادیر RMS تست برای شبکه اول با یک و دو لایه پنهان

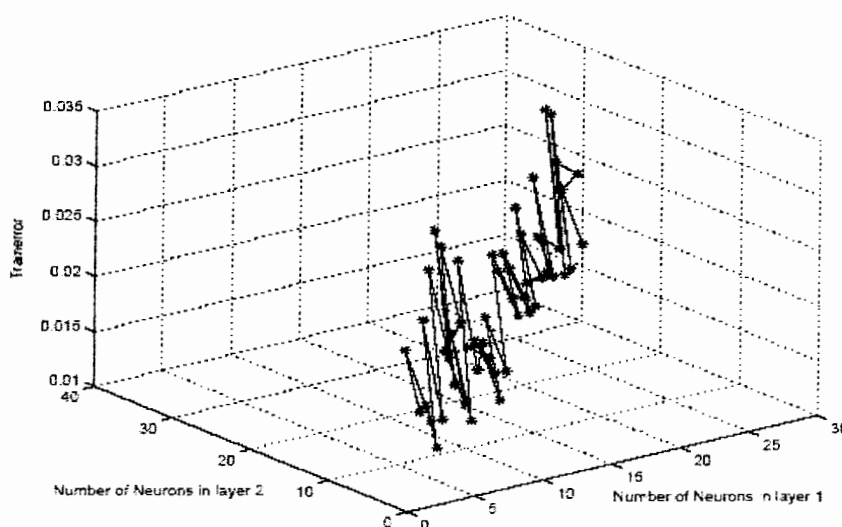
ج- تعداد نرونها در لایه پنهان

پس از تعیین تعداد لایه پنهان شبکه ها، باید تعداد نرونها در هر لایه پنهان را، برای هر شبکه تعیین کرد. برای این کار تعداد نرونهای مختلف در لایه های پنهان اول و دوم، برای هر کدام از شبکه ها امتحان شد و مقادیر ضرایب رگرسیون، خطای آموزش، خطای تست، RMS آموزش و RMS تست به ازای نرون های مختلف به دست آمد (شکل های ۵-۱۲ تا ۵-۱۶).

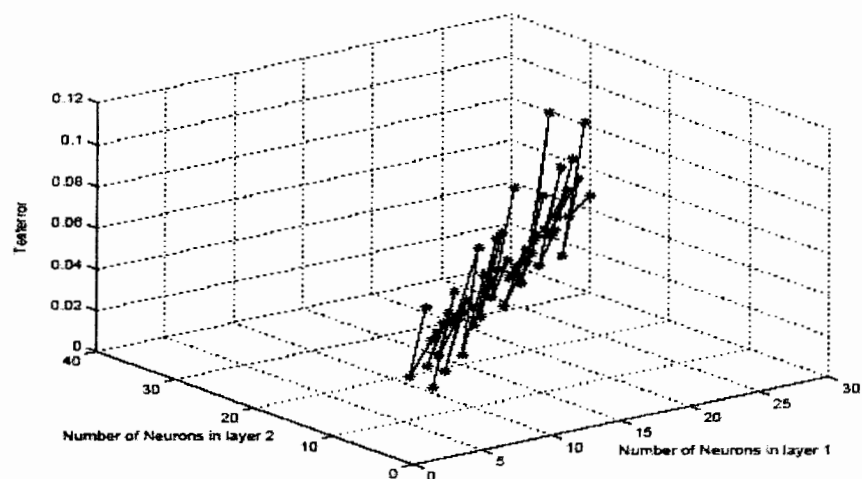
همانطور که در این شکلها دیده می شود، برای شبکه اول تعداد حدود ۱۵ نرون در هر کدام از لایه های پنهان، بهترین حالت می باشد.

مساله ای که در اینجا لازم به ذکر است این می باشد که برای تعیین تعداد نرون در لایه های پنهان بیان دقیق و با قطعیت تعداد لایه ها درست نیست، زیرا در آموزش شبکه مسائل مختلفی مانند وزن ها و بایاس های اولیه که به صورت تصادفی انتخاب می شوند باعث می شود که به صورت کاملاً دقیق نتوان تعداد نرون ها را تعیین کرد و اگر مراحل شبکه را دوباره از نقطه شروع (صفر) آغاز کنیم ممکن است دقیقاً همان مقادیر قبلی برای تعداد نرون ها در لایه پنهان به دست نیاید، اما در صورت درست بودن آموزش این مقادیر با اختلاف کم در حدود همان مقادیر قبلی به دست خواهد آمد.

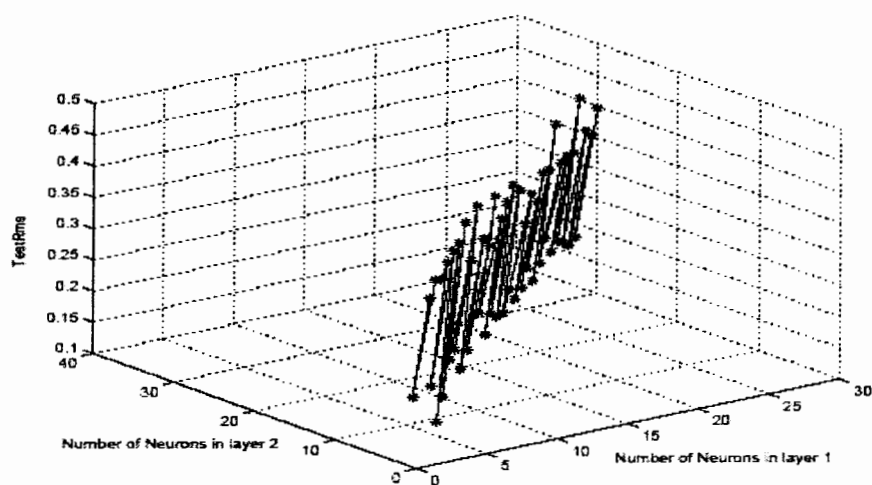
به دلیل وجود ۲ لایه مخفی، در ابتدا از شکل های ۳ بعدی استفاده شد، اما همانطور که در شکل های (۵-۹) تا (۵-۱۱) که برای سه مورد به عنوان نمونه رسم شد، دیده می شود، در شکل های ۳ بعدی مطالب به طور واضح دیده نمی شوند و بعضاً مطالب قابل تشخیص نیستند و حالت ۲ بعدی مطالب را بهتر بیان می کند. بنابراین در این فصل تمام اشکال به صورت ۲ بعدی رسم می شوند تا مطالب بهتر بیان شود.



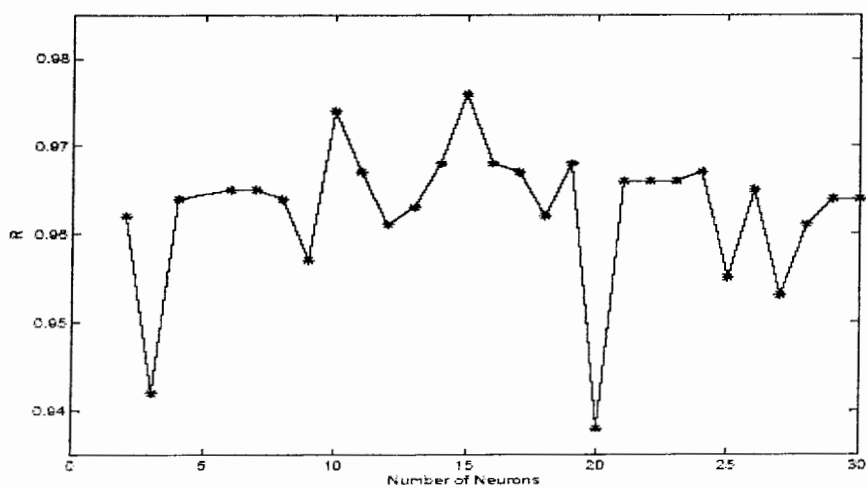
شکل ۵-۹- مقادیر خطای آموزش برای نرون های مختلف در حالت سه بعدی برای شبکه اول



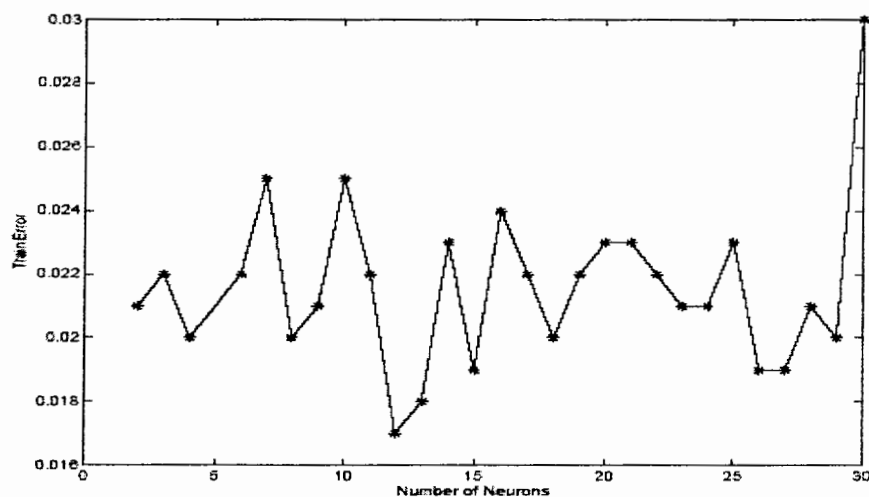
شکل ۵-۱۰- مقادیر خطای تست برای نرون های مختلف در حالت سه بعدی برای شبکه اول



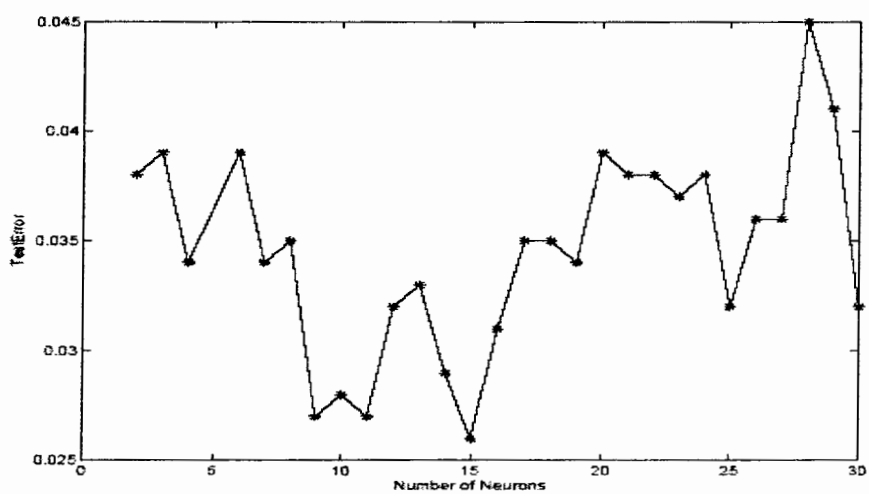
شکل ۵-۱۱- مقادیر RMS تست برای نرون های مختلف در حالت سه بعدی برای شبکه اول



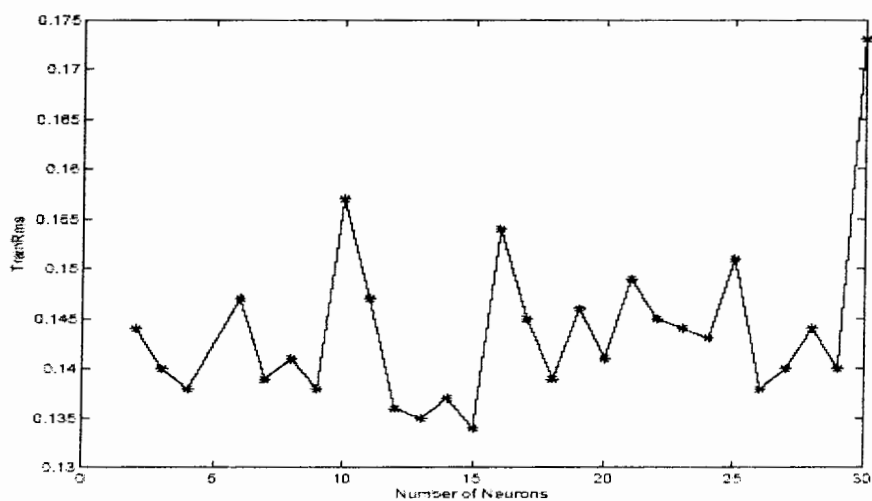
شکل ۵-۱۲- مقادیر ضرایب رگرسیون برای نرون های مختلف در شبکه اول



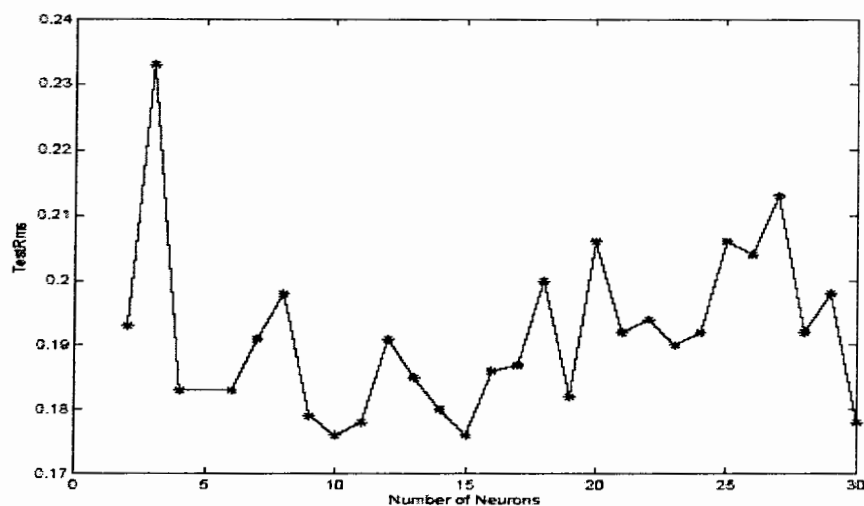
شکل ۵-۱۳- مقادیر خطای آموزش برای نرون های مختلف در شبکه اول



شکل ۵-۱۴- مقادیر خطای تست برای نرون های مختلف در شبکه اول

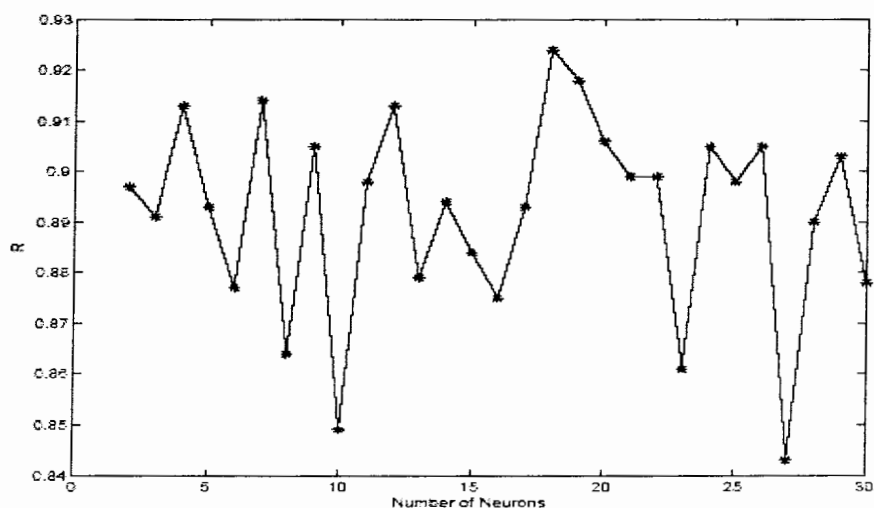


شکل ۵-۱۵- مقادیر RMS آموزش برای نرون های مختلف در شبکه اول

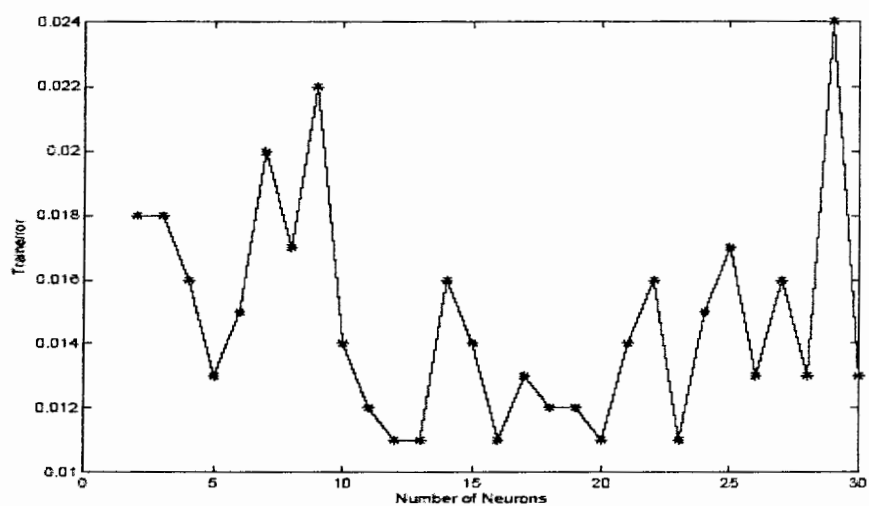


شکل ۵-۱۶- مقادیر RMS تست برای نرون های مختلف در شبکه اول

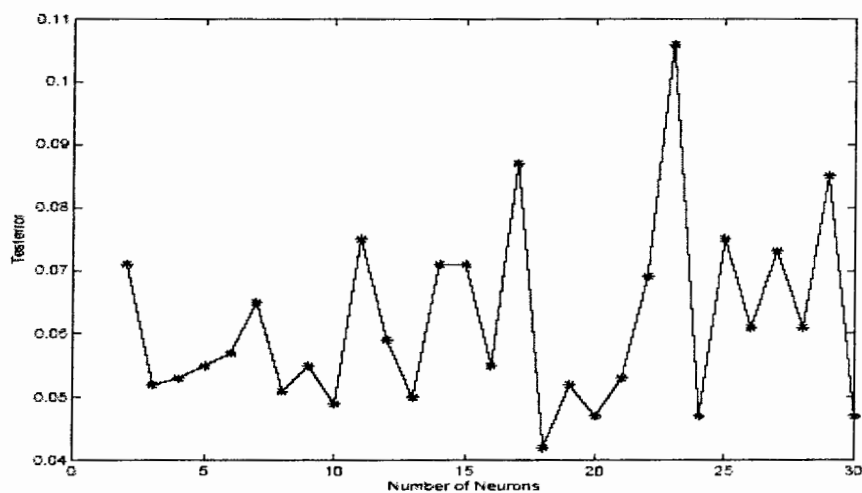
برای شبکه دوم هم که از داده های هر سه محل مورد مطالعه استفاده شده است، به ازای تعداد نرون های مختلف در لایه های میانی اول و دوم مقادیر ضرایب رگرسیون، خطای آموزش، خطای تست، RMS آموزش و RMS تست به دست آمده است، که در شکل های (۵-۱۷) تا (۵-۲۱) دیده می شوند. با بررسی نمودارها این نتیجه به دست می آید که شبکه با حدود ۲۰ نرون در هر لایه پنهان به جواب مناسب تری می رسد.



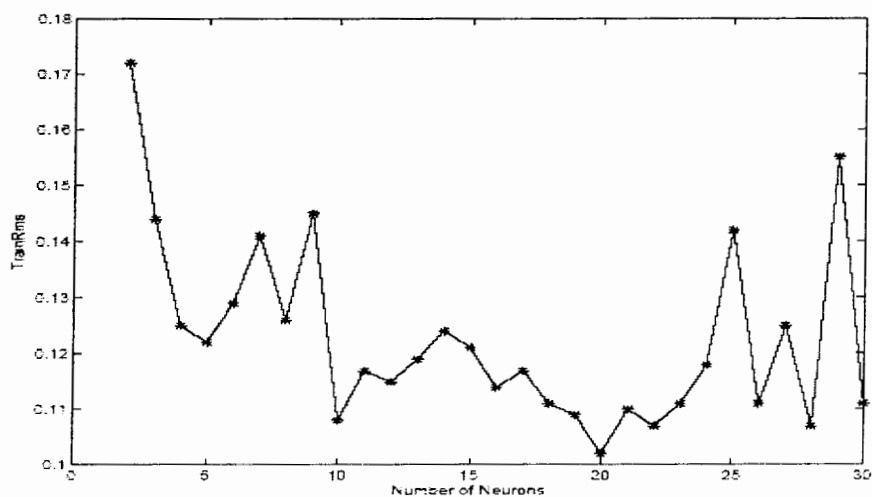
شکل ۵-۱۷- مقادیر ضرایب رگرسیون داده های تست برای نرون های مختلف در شبکه دوم



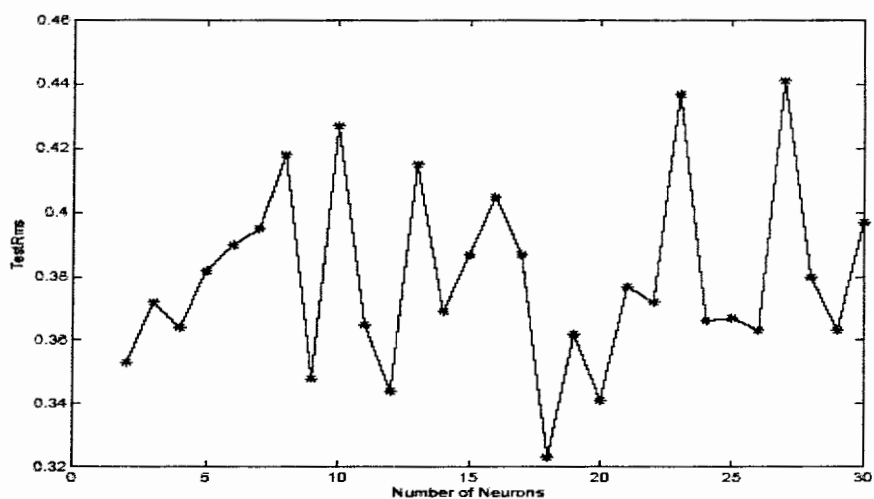
شکل ۵-۱۸- مقادیر خطای آموزش برای نرون های مختلف در شبکه دوم



شکل ۵-۱۹- مقادیر خطای تست برای نرون های مختلف در شبکه دوم



شکل ۵-۲۰- مقادیر RMS آموزش برای نرون های مختلف در شبکه دوم



شکل ۵-۲۱- مقادیر RMS تست برای نرون های مختلف در شبکه دوم

با توجه به شکل ها می توان مقادیر به دست آمده برای هر شبکه را مشاهده کرد، که این مقادیر

در جداول (۵-۱) و (۵-۲) دیده می شوند.

جدول ۵-۱- مقادیر به دست آمده برای پارامتر های ارزیابی برای شبکه اول

پارامتر ارزیابی	مقدار
ضریب رگرسیون	۰/۹۷۵
خطا به ازای داده های آموزش	۰/۰۱۷
خطا به ازای داده های تست	۰/۰۲۶
RMS به ازای داده های آموزش	۰/۱۳
RMS به ازای داده های تست	۰/۱۷

جدول ۵-۲- مقادیر به دست آمده برای پارامتر های ارزیابی برای شبکه دوم

پارامتر ارزیابی	مقدار
ضریب رگرسیون	۰/۹۲
خطا به ازای داده های آموزش	۰/۰۱۱
خطا به ازای داده های تست	۰/۰۴
RMS به ازای داده های آموزش	۰/۱
RMS به ازای داده های تست	۰/۳۲

د- توابع محرک لایه ها

هر نرون به یک تابع تحریک نیاز دارد، یعنی برای ۴ لایه که شامل لایه ورودی، لایه خروجی و دو لایه پنهان هستند، تعداد ۳۴ تابع محرک برای شبکه اول و تعداد ۴۴ تابع محرک برای شبکه دوم نیاز است اما به دلیل اینکه نرونهای هر لایه نقش مشابه ای دارند، در نتیجه توابع محرک یکسانی را نیاز دارند، که برای لایه های میانی (پنهان)، تابع محرک، سیگموئیدی^۱ انتخاب شده است. دلیل انتخاب تابع سیگموئیدی آن است که محدوده داده ها به دلیل نرمالایز شدن در فاصله (۱ و -۱) می باشد و داده های مورد مطالعه به صورت غیرخطی هستند و تابع سیگموئیدی نتیجه بهتری خواهد داشت. برای لایه چهارم (لایه خروجی) از تابع خطی (Purline) استفاده شده است تا خروجی به دامنه مشخصی محدود نشود.

ه- انتخاب خطای مناسب برای داده ها

در شبکه های مورد بحث در این پایان نامه، خطای مناسب برای داده ها، یعنی هدف (Goal) مساله میزان ۰/۰۰۲ در نظر گرفته شده است که خطای مطلوبی می باشد و در صورتی که شبکه به

1- Sigmoid

این مقدار خطا نرسد و یا زمان زیادی برای رسیدن به این خطا صرف شود، می توان این مقدار خطا را اندکی بیشتر کرد (مثلاً تا ۰/۰۰۵)، زیرا خطا در حدود این مقدار نیز قابل قبول است.

و- تقسیم بندی داده ها

در کار با شبکه عصبی عموماً داده ها به دو قسمت آموزشی^۱ و تست^۲ تقسیم بندی می شوند. داده های آموزشی داده هایی هستند که در فرآیند آموزش شبکه مورد استفاده قرار می گیرند و برای محاسبه گرادیان و به هنگام کردن^۳ وزن‌ها و بایاس‌های شبکه استفاده می شوند. داده های تست هم برای تست کردن درستی شبکه مورد استفاده قرار می گیرند. این داده ها در طی آموزش شبکه استفاده نمی شوند، اما برای مقایسه میزان خطا استفاده می شوند. این داده ها همچنین برای رسم خطای داده های تست در طی پروسه آموزش استفاده می شوند (راهنمای نرم افزار Matlab 7، ۲۰۰۶).

در این مطالعه پس از امتحان های بسیار این نتیجه به دست آمد که حدود ۷۰٪ داده ها به عنوان داده های آموزشی و حدود ۳۰٪ داده ها به عنوان داده های تست در نظر گرفته شوند. برای این کار در نوشتن برنامه برای الگوریتم شبکه دو راه وجود داشت. یک راه این بود که به دلخواه قسمتی از داده ها به عنوان داده آموزشی و بقیه به عنوان داده های تست انتخاب شوند. در این حالت امکان درست انتخاب نکردن داده ها بیشتر می باشد، زیرا مثلاً با انتخاب یک سری از داده های شبیه به هم و تکرار داده های مثل هم در بین داده های آموزشی، شبکه می تواند با خصوصیات آن داده ها آموزش یابد و دارای همان خصوصیات شود، در حالیکه کل داده ها دارای این خصوصیات نیستند و یکی از نتایج این کار این است که داده های تست جواب ضعیفی می دهند و جواب همخوان با داده های آموزشی نمی دهند. راه دیگر این است که برنامه طوری نوشته شود که داده ها به صورت تصادفی انتخاب شوند، یعنی با اجرای برنامه به صورت تصادفی حدود ۷۰٪ داده ها به داده های

1- Train
2- Test
3- Update

آموزش و حدود ۳۰٪ آنها به داده های تست تقسیم شوند. در این حالت چون داده ها از قسمتهای مختلف مجموعه داده ها انتخاب می شوند، تمام خصوصیات را در بر می گیرند و خصوصیات داده ها به سمت مجموعه خاصی از داده ها میل پیدا نمی کنند. در این مطالعه داده ها از روش دوم و به صورت تصادفی انتخاب شده اند.

ز- پیش پردازش داده ها

یکی از تکنیکهایی که استفاده از آن می تواند باعث آموزش بهتر شبکه شود، پیش پردازش داده ها می باشد. داده ها پس از پیش پردازش در فرآیند آموزش استفاده می شوند و پس از آموزش باید داده ها با عمل پس پردازش به فضای اولیه برگردانده شوند.

چندین روش پیش پردازش وجود دارد که روشهایی مانند روش مینیمم - ماکزیمم^۱ (postmnmx) و روش میانگین - انحراف معیار^۲ (poststd) معمول ترین آنها هستند (راهنمای نرم افزار Matlab 7، ۲۰۰۶).

در این مطالعه با توجه به تعداد کم داده ها (۱۷۲ عدد)، پیش پردازش بر روی داده ها نتیجه خاصی نداشت. به همین دلیل پیش پردازش انجام نشد و فقط داده ها نرمالایز شدند، که چگونگی این مسأله در ادامه شرح داده می شود.

ح- نرمالایز کردن داده ها

نرمالایز کردن داده ها روشی برای یکنواخت کردن و یک شکل کردن داده ها می باشد. بدیهی است که آموزش داده های نرمالایز شده نتیجه بهتری را در بر خواهد داشت. در این مطالعه داده ها ابتدا یکبار قبل از نرمالایز کردن برای آموزش شبکه مورد استفاده قرار گرفتند، که در این حالت در بسیاری از آزمایش ها شبکه به جواب مورد نظر^۳ نمی رسید (شبکه واگرا می شد) و در مواردی هم

1- Min and Max

2- Mean and Standard Deviation

3- Goal

که به مقدار هدف می رسید، خطای شبکه بسیار زیاد بود، که چنین حالتی به هیچ وجه قابل قبول نیست.

بنابراین برای رسیدن به جواب درست باید داده ها را نرمالایز کرد. سه روش معمول برای نرمالایز کردن داده ها وجود دارد که عبارتند از:

۱- تقسیم مقدار هر ستون بر ماکزیمم آن ستون

در این روش با تقسیم مقدار هر ستون بر ماکزیمم آن ستون، داده ها به اعدادی در محدوده ۰ و ۱ تبدیل می شوند. این روش بهترین جواب را با توجه به داده های مورد مطالعه دارد. اشکال کلی این روش آن است که در برگرداندن داده ها به فضای اولیه، خطا افزایش می یابد.

۲- استفاده از الگوریتمی که در آن، داده ها در محدوده (۱-۱) نرمالایز می شوند و به صورت زیر می باشد:

$$P_n = 2 \frac{P - \min P}{(\max P - \min)} - 1 \quad \text{معادله (۵-۱)}$$

که در اینجا :

P = ماتریس ورودی به ابعاد $R \times Q$

P_n = ماتریس ورودیهای نرمالایز شده به ابعاد $R \times Q$

$\min P$ = بردار $1 \times R$ ، شامل کمترین مقدار به ازای هر P

$\max P$ = بردار $1 \times R$ ، شامل بیشترین مقدار به ازای هر P می باشند (راهنمای نرم افزار Matlab 7، ۲۰۰۶).

۳- الگوریتمی که با توجه به آن، داده ها طوری نرمالایز می شوند، که میانگین آنها صفر و انحراف از معیار آنها ۱ شود، که از رابطه زیر استفاده می شود:

$$P_n = \frac{P - \text{mean}P}{stdp} \quad \text{معادله (۵-۲)}$$

که در اینجا:

P = ماتریس ورودی به ابعاد $R \times Q$

P_n = ماتریس ورودیهای نرمالایز شده به ابعاد $R \times Q$

$meanP$ = بردار $R \times 1$ ، شامل میانگین هر P

$stdp$ = بردار $R \times 1$ ، شامل انحراف معیار هر P می باشد (راهنمای نرم افزار Matlab 7، ۲۰۰۶).

داده ها در این مطالعه با استفاده از روش تقسیم مقدار هر مولفه یک ستون بر ماکزیمم مقدار در آن، ستون نرمالایز شدند که با توجه به داده های موجود، بهترین جواب را می دهد. داده ها پس از پایان آموزش باید دوباره به فضای اولیه برگردانده شوند. در شبکه BP در خیلی از جاها احتیاجی به نرمالایز کردن داده های خروجی شبکه نیست و فقط داده های ورودی نرمالایز می شوند. این قضیه در جاهایی صادق است که داده هایی که شبکه با توجه به آن ها آموزش می یابد، منظم و با پراکندگی کم از هم باشند. داده های این تحقیق بدون نرمالایز کردن خروجی ها جواب خوبی نمی دهند و شبکه پس از نرمالایز کردن خروجی ها به جواب مناسب در زمان مناسب می رسد.

۵-۲-۳- نحوه آموزش شبکه عصبی

برای آموزش شبکه عصبی ۱۱ روش کلی آموزش وجود دارد که در جدول (۳-۵) آورده شده است. در این مطالعه ۱۱ روش فوق برای آموزش شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت. نتایجی که از به کار بردن این ۱۱ روش برای دو شبکه اول و دوم به دست آمد، در جدول (۴-۵) و (۵-۵) مشاهده می شود.

جدول ۵-۳- روش های آموزش شبکه عصبی (راهنمای نرم افزار Matlab 7, ۲۰۰۶)

روش	دستور در نرم افزار Matlab	توضیحات
Levenberg-Marquardt	Trainlm	سریعترین الگوریتم آموزشی برای شبکه های معمولی است. در اجرای این روش، وقتی که شبکه آموزشی بزرگ باشد، در حین انجام آموزش، حافظه ^۱ مورد استفاده به تدریج کاهش می یابد.
Basic gradient descent	Traingd	این شبکه از لحاظ زمانی دیرتر به جواب می رسد و می تواند در روشهای نموی ^۲ آموزش استفاده شود.
Gradient descent with momentum	Traingdm	معمولاً از روش traingd سریعتر است و می توان از آن در روشهای نموی آموزش استفاده کرد.
Adaptive learning rate	Traingdx	از روش traingd سریعتر است، اما فقط در آموزش دسته ای ^۳ می توان از آن استفاده کرد.
Resilient backpropagation	Trainrp	دارای الگوریتم آموزش دسته ای ساده با همگرایی سریع است و کمترین حافظه را نیاز دارد.
Fletcher-Reeves conjugate gradient	Traincgf	کمترین حافظه را در بین الگوریتمهای گرادیان توام نیاز دارد.
Polak-Ribiere conjugate gradient	Traincgp	حافظه بیشتری نسبت به روش traincgf نیاز دارد و عموماً سریعاً همگرا می شود.

1- Storage

2- Incremental

3- Batch mod training

ادامه جدول ۵-۳

اندکی حافظه بیشتر از روش traincgp نیاز دارد و عموماً سریعاً همگرا می شود.	Traincgb	Powel-Beale conjugate gradient
تنها الگوریتم توأمی می باشد که احتیاج به جستجوی خطی ندارد.	Trainscg	Scaled conjugate gradient
احتیاج به حافظه برای تخمین ماتریس هسیان ^۱ دارد و در هر تکرار محاسبات بیشتری نسبت به روش گرادیان توأم دارد، اما با تعداد تکرار کمتری همگرا می شود.	Trainbfg	BFGS Quasi-Newton
حد واسطی بین دو روش گرادیان توأم و روش trainbfg می باشد.	Trainoss	One step secant

جدول ۵-۴- مقایسه روش های آموزش شبکه برای شبکه اول

Number	Method	R	Etrain	Etest	RMStrain	RMStest
۱	Trainlm	۰/۹۶۶	۰/۰۲۴	۰/۰۳۱	۰/۱۵۲	۰/۱۷۶
۲	Traingdx	۰/۶۴۷	۰/۰۲۶	۰/۰۹۲	۰/۱۶۲	۰/۴۲۹
۳	Trainrp	۰/۸۷۴	۰/۰۱۸	۰/۰۷۶	۰/۱۵۲	۰/۳۴۳
۴	Traincgf	۰/۹۳۱	۰/۰۲۸	۰/۰۴۱	۰/۱۴۵	۰/۲۶۷
۵	Traincgp	۰/۹۶۰	۰/۰۳۲	۰/۰۴۱	۰/۱۷۸	۰/۲۰۰
۶	Traincgb	۰/۹۳۵	۰/۰۲۴	۰/۰۵۹	۰/۱۵۱	۰/۲۴۳
۷	Trainscg	۰/۹۶۷	۰/۰۳۸	۰/۰۴۲	۰/۱۵۵	۰/۲۰۳
۸	Trainbfg	۰/۹۳۹	۰/۰۳۲	۰/۰۶۷	۰/۱۰۹	۰/۲۵۹
۹	Trainoss	۰/۷۶۱	۰/۰۲۷	۰/۱۴۷	۰/۱۶۴	۰/۴۸۱
۱۰	Traingd	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود
۱۱	Traingdm	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود

1- Hessian Matrix

جدول ۵-۵- مقایسه روش های آموزش شبکه برای شبکه دوم

Number	Method	R	Etrain	Etest	RMStrain	RMStest
۱	Trainlm	۰/۹۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۶۵	۰/۱۰۸	۰/۳۱۷
۲	Traingdx	۰/۹۰۲	۰/۰۲۰	۰/۰۹۲	۰/۱۴۸	۰/۳۵۱
۳	Trainrp	۰/۸۶۲	۰/۰۱۶	۰/۰۷۱	۰/۱۲۱	۰/۳۸۳
۴	Traincgf	۰/۸۲۳	۰/۰۱۴	۰/۱۳۷	۰/۱۱۸	۰/۵۲۱
۵	Traincgp	۰/۹۱۴	۰/۰۱۷	۰/۰۵۰	۰/۱۲۵	۰/۳۲۷
۶	Traincgb	۰/۸۶۵	۰/۰۲۰	۰/۰۹۸	۰/۱۴۰	۰/۴۴۹
۷	Trainscg	۰/۹۱۸	۰/۰۱۹	۰/۰۹۳	۰/۱۳۹	۰/۴۷۶
۸	Trainbfg	۰/۹۱۰	۰/۰۲۰	۰/۱۶۰	۰/۱۴۲	۰/۵۸۲
۹	Trainoss	۰/۸۸۰	۰/۰۱۶	۰/۱۳۹	۰/۱۵۱	۰/۴۳۶
۱۰	Traingd	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود
۱۱	Traingdm	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود	همگرا نمی شود

با توجه به مقادیری که در جداول (۴-۵) و (۵-۵) مشاهده می شود و با توجه به زمان آموزش

شبکه و میزان حافظه مورد نیاز، روش trainlm بهترین نتایج را در بر دارد. بنابراین در آموزش شبکه عصبی از این روش استفاده شده است.

۵-۲-۳-۱- روش Levenberg - Marquardt^۱

این روش برای آموزش، بدون نیاز به محاسبه ماتریس هسین طراحی شده است. وقتی که تابع راندمان (کارایی) به شکل مجموع مربعات (مقدار رایج در شبکه های feedforward) باشد، ماتریس هسین به صورت زیر محاسبه می شود:

$$H = J^T . J \quad \text{معادله (۳-۵)}$$

و گرادینان به صورت زیر محاسبه می شود:

$$g = J^T . e \quad \text{معادله (۴-۵)}$$

در این معادله J ماتریس ژاکوبین است، که شامل اولین مشتقات^۱ خطا با توجه به وزنهای و بایاسها است و e بردار خطای شبکه است. در طی کار شبکه BP، می تواند ماتریس ژاکوبین به دست آید، که این قضیه از محاسبه ماتریس هسین ساده تر است.

روش Levenberg-Marquardt برای محاسبه ماتریس هسین از روش Newton-like اصلاح شده استفاده می کند، که به صورت زیر می باشد:

$$x_{k+1} = x_k - [J^T \cdot J + \mu \cdot I]^{-1} \cdot J^T \cdot e \quad \text{معادله (۵-۵)}$$

وقتی که μ برابر با صفر شود، این روش مانند روش نیوتون با استفاده از محاسبه ماتریس هسین انجام می شود. وقتی که μ مقدار بزرگی باشد، روش تبدیل به روش کاهش گرادیان^۲ با استفاده گام کوچک می شود. روش نیوتن سریع تر و دقیق تر است و هدف کار متمایل کردن روش به سمت روش نیوتن تا جای ممکن است. بنابراین μ ، بعد از هر مرحله کار موفق (مرحله کاهش در تابع کارایی^۳) کاهش می یابد و تنها وقتی که در یک مرحله آزمایشی تابع کارایی افزایش یابد، μ افزایش می یابد. به این طریق، تابع کارایی معمولاً در طی هر تکرار کاهش می یابد. این روش سریع ترین روش برای شبکه های با اندازه متوسط است و در اجرا با نرم افزار Matlab دارای کارایی بالا است، در این روش راه حل معادلات ماتریسی با توجه به تابع ها ساخته می شود و این قضیه در نرم افزار Matlab مساله قطعی و مشخصی است.

۵-۲-۳-۲- خصوصیات (پارامترهای) معماری شبکه

وقتی که یک شبکه عصبی در نرم افزار MATLAB تعریف می شود، دارای تعدادی پارامتر و خصوصیت است. این پارامترها و خصوصیات، شامل معماری شبکه، توابع تحریک، روش آموزش، پارامترهای آموزش و.... می شوند. برای مشاهده این پارامترها کافی است نام شبکه را بدون علامت (;) تایپ کنیم. برای شبکه به کار رفته در این مطالعه پارامترها به صورت زیر می باشد:

1- Derivatives

2- Gradient descent

3- Performance function

Neural Network object:

architecture:

numInputs: 1

numLayers: 3

biasConnect: (1; 1; 1)

inputConnect: (1; 0; 0)

layerConnect: (0 0 0; 1 0 0; 0 1 0)

outputConnect: (0 0 1)

targetConnect: (0 0 1)

numOutputs: 1 (read-only)

numTargets: 1 (read-only)

numInputDelays: 0 (read-only)

numLayerDelays: 0 (read-only)

subobject structures:

inputs: {1x1 cell} of inputs

layers: {3x1 cell} of layers

outputs: {1x3 cell} containing 1 output

targets: {1x3 cell} containing 1 target

biases: {3x1 cell} containing 3 biases

inputWeights: {3x1 cell} containing 1 input weight

layerWeights: {3x3 cell} containing 2 layer weights

functions:

adaptFcn: 'trains'

initFcn: 'initlay'

performFcn: 'mse'

trainFcn: 'trainlm'

parameters:

adaptParam: .passes

initParam: (none)

performParam: (none)

trainParam: .epochs, .goal, .max_fail, .mem_reduc,
.min_grad, .mu, .mu_dec, .mu_inc, .mu_max, .show, .time, .lr

weight and bias values:

IW: {3x1 cell} containing 1 input weight matrix

LW: {3x3 cell} containing 2 layer weight matrices

b: {3x1 cell} containing 3 bias vectors

other:

userdata: (user stuff)

برای شبکه های آموزش یافته در این پایان نامه مقادیر عددی پارامترهای به کار رفته در جدول (۶-۵) آورده شده است.

جدول ۶-۵- پارامترهای به کار رفته در شبکه ها

پارامتر	مقدار
Trainparam.Goal	۰/۰۰۲
Trainparam.Epochs	۱۰۰۰۰
Trainparam.Show	۱۰
Performparam.ratio	۰/۵
Learning Rate	۰/۸

۵-۲-۴- روشهای ارزیابی شبکه های عصبی مصنوعی

به طور کلی برای ارزیابی شبکه عصبی روشهایی مثل، مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMS)^۱، ضریب رگرسیون (R) بین خروجی های مطلوب و خروجی های پیش بینی شده توسط شبکه، مقدار میانگین مربعات خطا (MSE)^۲ و همچنین میزان خطا (اختلاف) بین مقادیر مطلوب و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه و غیره وجود دارد. برای ارزیابی شبکه مورد بحث در این مطالعه از سه روش مقدار خطای موجود بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده، مقدار خطای RMS و ضریب رگرسیون استفاده شده است.

در ادامه خلاصه ای از چهار روش ذکر شده بیان می شود:

1- Root mean square error

2- Mean square error

الف- خطای بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه

در هر بار اجرای شبکه، شبکه مقداری را به عنوان خروجی می دهد و یک خروجی هم به عنوان خروجی واقعی وجود دارد که همان خروجی های داده های واقعی می باشند. میزان اختلاف بین مقادیر خروجی واقعی و مقادیر پیش بینی شده برای خروجی ها، توسط شبکه، به عنوان خطای شبکه نامیده می شود. این مقدار در تکرارهای اولیه شبکه BP زیادتر است، اما شبکه BP با توجه به الگوریتم خود این مقدار خطا در هر مرحله را ناشی از کل شبکه می داند و خطاها را به همه لایه های شبکه برمی گرداند و پارامترهای شبکه طوری تغییر می کند تا میزان خطا به حداقل مقدار تا میزان خطای مطلوب برسد.

ب- جذر میانگین مربعات خطا (RMS)

یکی از روشهای ارزیابی شبکه عصبی مصنوعی می باشد، که از رابطه زیر محاسبه می شود (راهنمای نرم افزار 7، Matlab، ۲۰۰۶):

$$RMS = \frac{\max(|y - D|)}{\sqrt{Lenght(y - D)}} \quad \text{معادله (۵-۶)}$$

که در آن:

y = خروجی های پیش بینی شده توسط شبکه

D = مقادیر واقعی خروجی ها

$Lenght(y - D)$ = طول بردار $y - D$ که برابر با طول هر کدام از بردارهای y و D است.

ج- میانگین مربعات خطا (MSE)^۱

این روش در یادگیری با ناظر استفاده می شود که قانون یادگیری توسط مثالهایی از رفتار مطلوب شبکه تولید می شود.

$$\{P_1, t_1\}, \{P_2, t_2\}, \dots, \{P_Q, t_Q\}$$

۱- Mean square error

که در اینجا، P_Q ورودی شبکه و t_Q هدف مربوط به آن است. وقتی که هر ورودی به شبکه داده می شود، خروجی شبکه با مقدار هدف مقایسه می شود. هدف نهایی این است که میانگین مجموع خطا ها را مینیمم کنیم.

$$MSE = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q e(k)^2 = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q (t(k) - a(k))^2 \quad \text{معادله (۶-۶)}$$

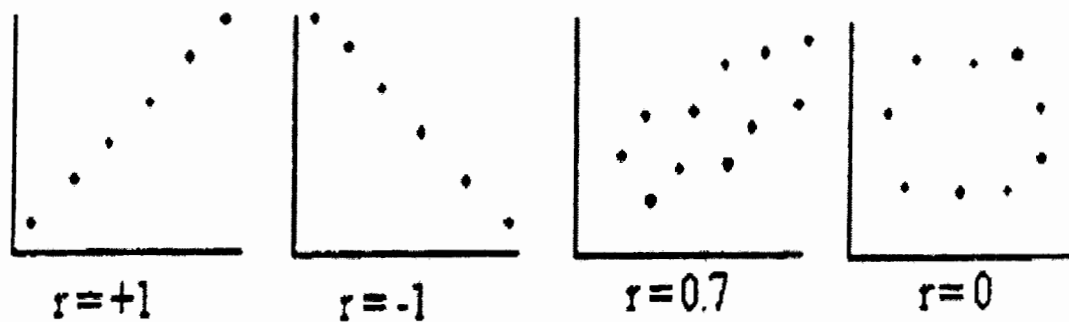
MSE در اجرا برای شبکه به صورت یک تابع نمایشی است. بنابراین تابع کارایی با توجه به پارامترهای بردار ورودی، یک مینیمم سراسری^۱ و یا یک مینیمم محلی دارد و یا اینکه مینیمم ندارد (راهنمای نرم افزار Matlab 7، ۲۰۰۶).

د- ضریب رگرسیون (R)

یک ضریب همبستگی، آماره ای است جهت اندازه گیری قدرت یا درجه یک رابطه خطی بین دو متغیر که هر کدام با واحد های خود اندازه گیری شده اند. مشهورترین ضریب همبستگی ضریب پیرسون^۲ است. این ضریب به گونه ای است که مقادیری بین ۱- و ۱ را می گیرد. هرچه قدر مطلق این ضریب بزرگتر باشد، بیضی مربوط به نمودار پراکندگی باریکتر می شود و نقاط نمودار پراکنش به خط رگرسیون نزدیک تر هستند. زمانی یک همبستگی کامل رخ می دهد که بتوان مقدار یک متغیر را از روی مقدار متغیر دیگر دقیقاً پیش بینی کرد. در این حالت ضریب همبستگی ۱+ یا ۱- است و کلیه نقاط در نمودار پراکندگی بر روی خط رگرسیون قرار می گیرند. اگر رابطه ای بین دو متغیر وجود نداشته باشد، این ضریب مقدار صفر دارد. این مطلب در شکل (۵-۲۲) نشان داده شده است.

1- Global

2- Pearson correlation coefficient



شکل ۵-۲۲- ضرایب رگرسیون و پراکندگی متقابل داده ها (Kinner, 2001)

اگر با خارج کردن تصادفی تعدادی از داده ها شکل نمودار پراکندگی تغییر نکند، احتمالاً رابطه بین دو متغیر واقعی است.

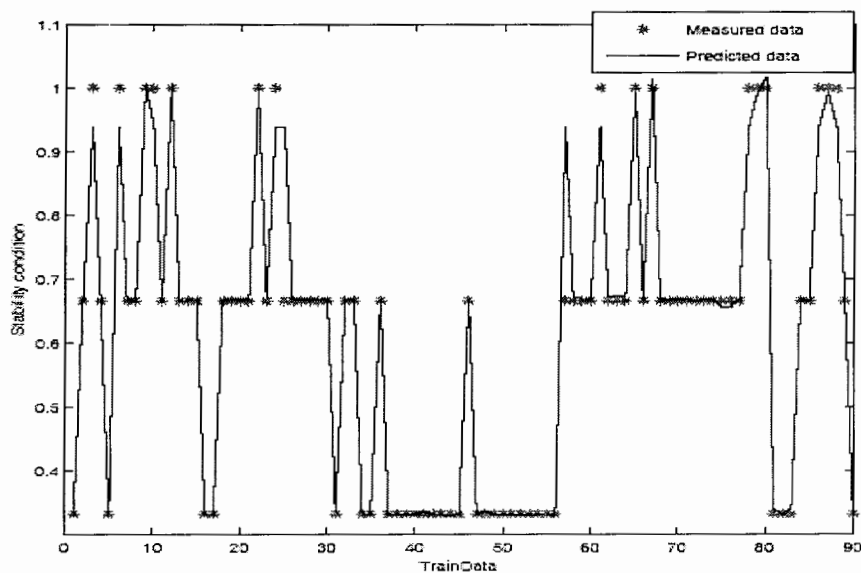
پس از طریق نمودار پراکندگی می توان به وجود و یا عدم وجود رابطه خطی بین متغیرها پی برد و همچنین مقدار ضریب همبستگی پیرسون را حدس زد و سپس از روی ضریب همبستگی شدت رابطه بین دو متغیر را بررسی کرد. ضریب همبستگی پیرسون و یا ضریب رگرسیون نمی تواند معیاری برای خطا باشد و تنها شدت یک رابطه خطی بین دو متغیر را نشان می دهد (Kinner, 2001).

۵-۳- رقمی^۱ کردن خروجی ها و نمودار های آن

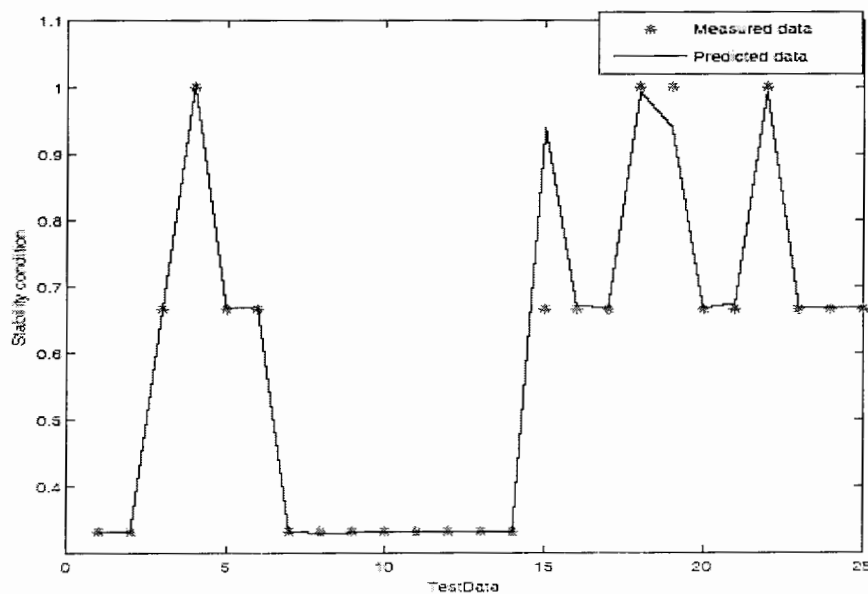
در این تحقیق خروجی های واقعی (سنجیده شده) سه دسته هستند، که با سه عدد نشان داده می شوند، یعنی سه حالت پایدار، دارای پتانسیل ناپایداری و ناپایدار به ترتیب با اعداد ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است، پس مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه هم باید اعداد ۱، ۲ و ۳ باشند.

مقادیری که شبکه آموزش یافته در ابتدا به عنوان خروجی های پیش بینی شده توسط شبکه می دهد، به صورت اعداد ۱، ۲ و ۳ نیستند، زیرا داده ها در طی جریان آموزش نرمالایز می شوند و به اعداد ۰/۳۳، ۰/۶۷ و ۱ تبدیل می شوند و مساله مهم تر اینکه پیش بینی شبکه همراه با خطا می باشد و مقادیر خروجی پیش بینی شده توسط شبکه دقیقاً همان مقادیر واقعی نیستند و

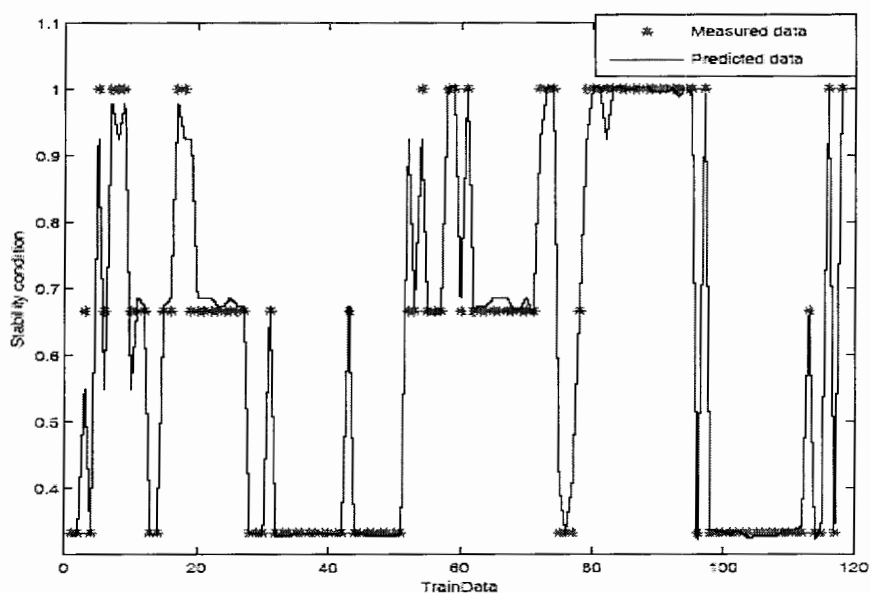
خروجی های پیش بینی شده مطابق شکل‌های (۵-۲۳) تا (۵-۲۶) نزدیک به خروجی واقعی (همراه با خطا)، می باشند.



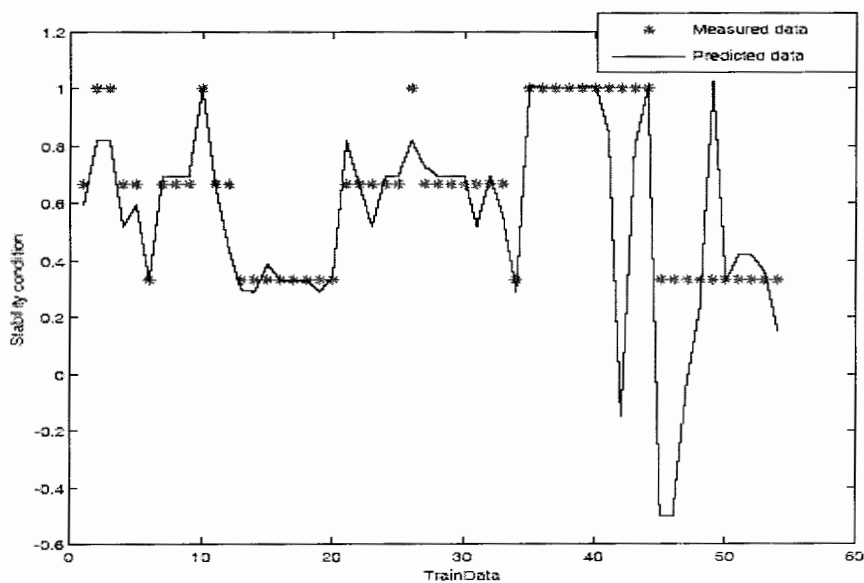
شکل ۵-۲۳- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های آموزشی شبکه اول بدون رقمی کردن خروجی ها



شکل ۵-۲۴- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های تست شبکه اول بدون رقمی کردن خروجی ها



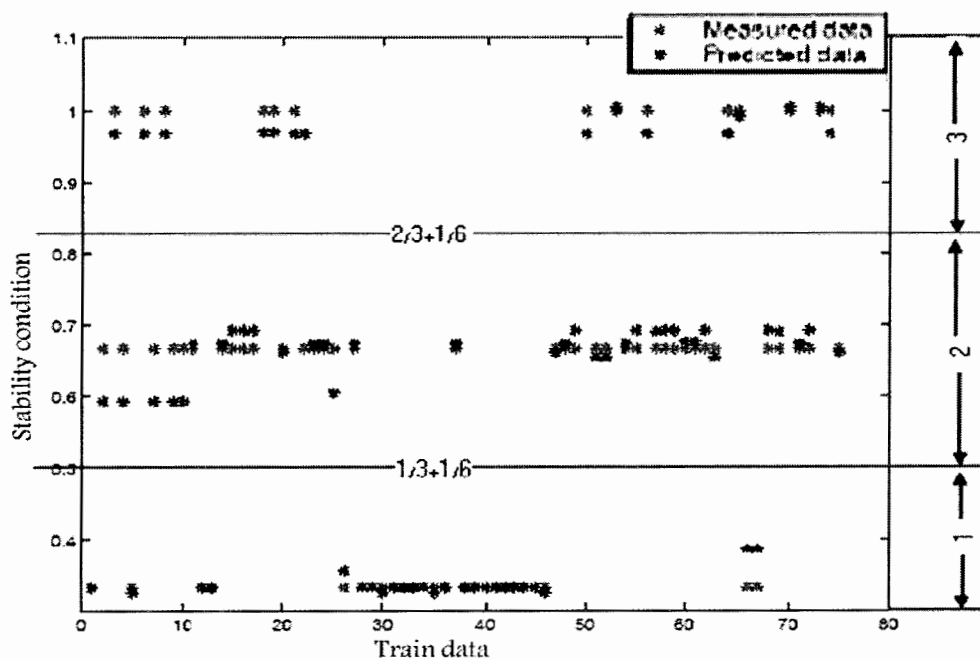
شکل ۵-۲۵- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های آموزشی شبکه دوم بدون رقمی کردن خروجی ها



شکل ۵-۲۶- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های تست شبکه دوم بدون رقمی کردن خروجی ها

با توجه به شکل های (۵-۲۳) تا (۵-۲۶) که دیده می شود، محدوده خروجی ها بین اعداد ۰ و ۱ می باشد و هر داده، در صورت پیش بینی درست، دارای خطای کمی می باشد و برای تبدیل خروجی ها به اعداد ۱، ۲ و ۳ برای رقمی کردن اعداد، مقدار میانه محدوده هر عدد برای آن عدد در نظر گرفته شده است، یعنی خروجی های کوچک تر از $\frac{1}{2}$ ($\frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2}$) به عدد ۱ و خروجی های بین

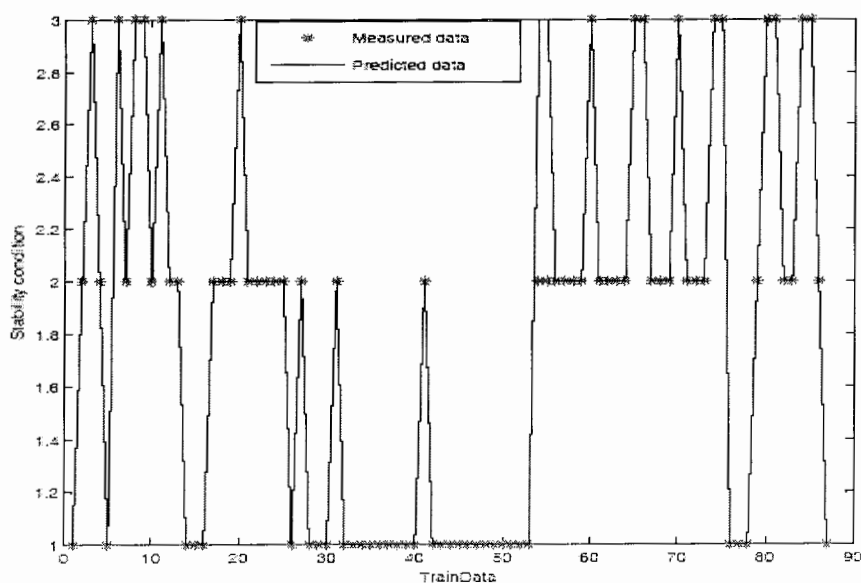
۱/۲ و ۵/۶ ($2/3 + 1/6 = 5/6$) به عدد ۲ و اعداد بزرگ تر از ۵/۶ به عدد ۳ نسبت داده شده اند (شکل ۵-۲۷).



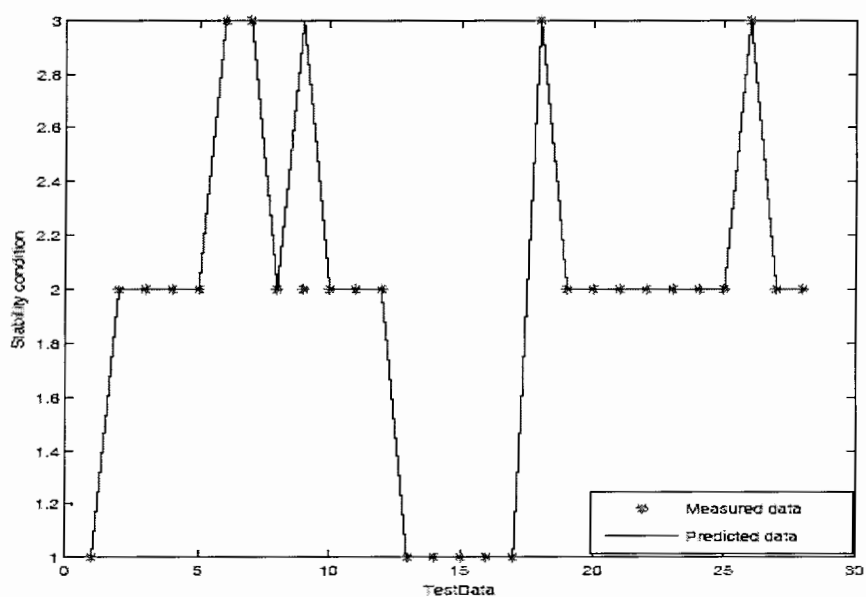
شکل ۵-۲۷- چگونگی تعیین محدوده مربوط به هر عدد خروجی

پس از این کار و با رقمی کردن خروجی ها، نمودار مقایسه خروجی های واقعی و خروجی های

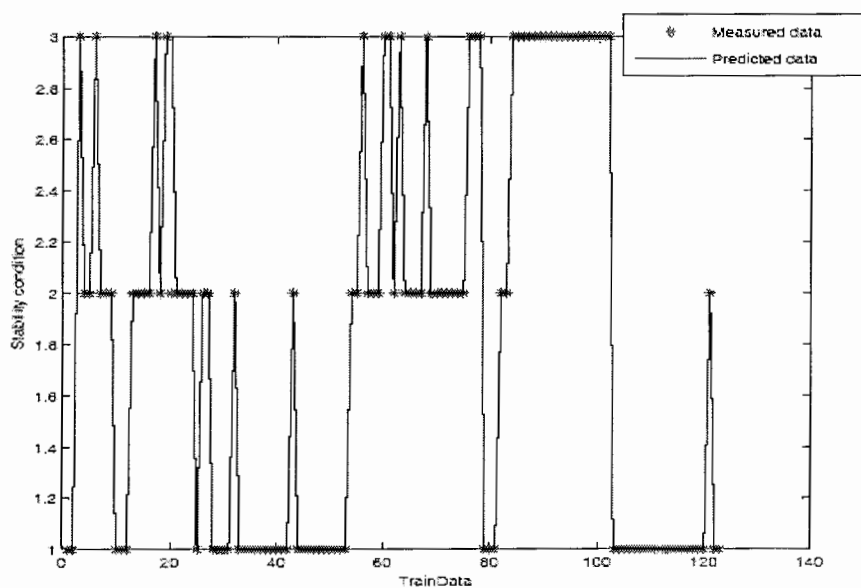
پیش بینی شده برای هر دو شبکه در شکل های (۵-۲۸) تا (۵-۳۱) آورده شده است.



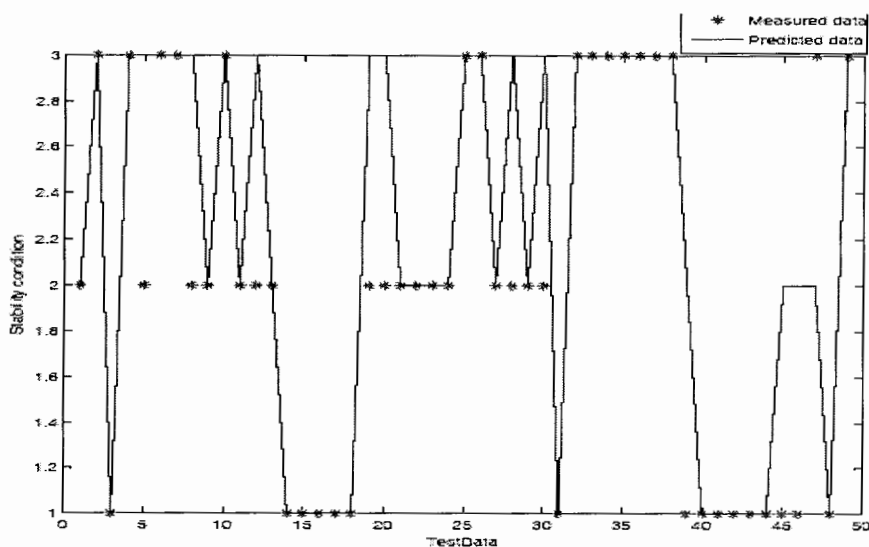
شکل ۵-۲۸- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های آموزشی شبکه اول بعد از رقمی کردن خروجی ها



شکل ۵-۲۹- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های تست شبکه اول بعد از رقمی کردن خروجی ها



شکل ۵-۳۰- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های آموزشی شبکه دوم بعد از رقمی کردن خروجی ها



شکل ۵-۳۱- مقایسه بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده برای داده های تست شبکه دوم بعد از رقمی کردن خروجی ها

۵-۴- تعیین درصد درستی شبکه

برای تعیین درصد درستی شبکه از نمودارهای رقومی شده استفاده شده است. بعد از رقومی کردن، در صورتی که شبکه جواب درست بدهد، مقدار پیش بینی شبکه و مقدار واقعی بر هم منطبق می شوند و مقادیری که بر هم منطبق نشده اند، نشان دهنده خطای پیش بینی در آن نقاط می باشند. بنابراین با تقسیم تعداد نقاط منطبق بر هم بر کل نقاط سنجیده شده میزان درستی شبکه به دست می آید. در جدول (۵-۷) مقادیر درستی شبکه به ازای داده های آموزشی و تست که از شکل ها به دست آمده است، مشاهده می شود.

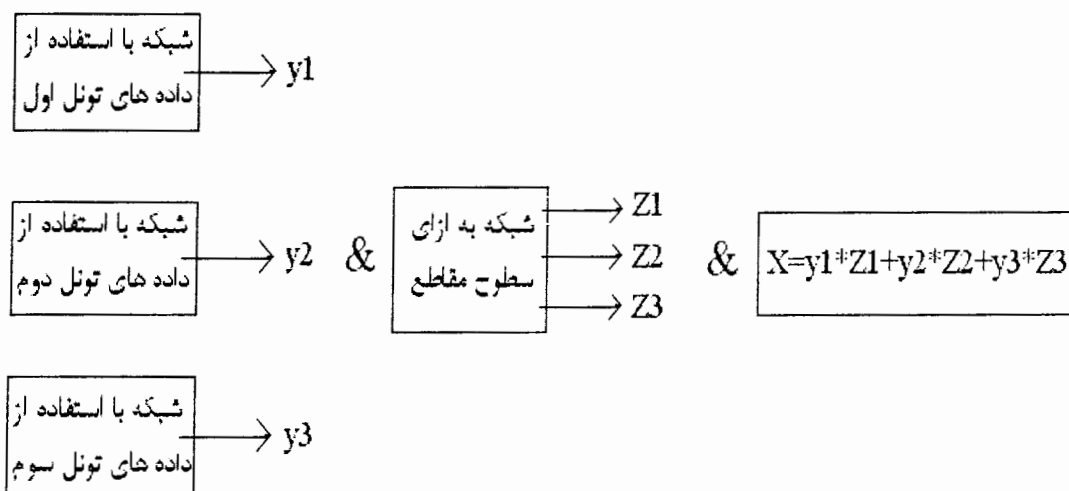
جدول ۵-۷- مقادیر درستی شبکه ها

درصد درستی	شبکه
٪۹۴	شبکه اول به ازای داده های آموزشی
٪۹۲	شبکه اول به ازای داده های تست
٪۹۶	شبکه دوم به ازای داده های آموزشی
٪۸۰	شبکه دوم به ازای داده های تست

۵-۵- شبکه سوم

پس از آموزش دو شبکه فوق، شبکه سومى نیز با توجه به داده های موجود، آموزش داده شده است، که با توجه به دلایلی که در ادامه بیان می شود، جواب ضعیف تری را می دهد.

نحوه کار این شبکه به این صورت می باشد که در ابتدا داده های مربوط به هر تونل در فایل های جداگانه ای قرار می گیرند و از شبکه BP برای آموزش با هر کدام از این دسته داده ها (پارامترهای RMR, Q داده ها) استفاده می شود و همان طور که در شکل (۵-۳۲) دیده می شود، شبکه به ازای آموزش توسط هر مجموعه از داده ها یک خروجی می دهد که با y_1 , y_2 , y_3 نشان داده می شود. برای سطوح مقطع هم یک شبکه عصبی با یک لایه مخفی طراحی و آموزش داده می شود که به ازای سه سطح مقطع ورودی، اعداد صفر و یک را به Z_1 , Z_2 , Z_3 می دهد، یعنی برای سطح مقطع ۴۰ به ترتیب اعداد ۰-۰-۱ و برای سطح مقطع ۶۰ اعداد ۰-۱-۰ و برای سطح مقطع ۱۲ اعداد ۰-۰-۰ را می دهد.



شکل ۵-۳۲- شبکه سوم

در شبکه بعد با استفاده از شبکه های قبلی آموزش یافته، به ازای داده های جدیدی که به شبکه می دهیم و با استفاده از دستور Sim مقدار y خروجی را به ازای داده های ورودی با توجه به رابطه $X = y_1 * Z_1 + y_2 * Z_2 + y_3 * Z_3$ می توان به دست آورد که در اینجا میزان خطا زیادتیر از حد

معمول می باشد که این قضیه می تواند به دو دلیل باشد، اول اینکه رابطه فوق رابطه درستی نیست و دوم اینکه تعداد داده ها در برخی از حالت های مورد مطالعه، مثلاً برای سطح مقطع ۱۲ کم می باشد.

روش دیگری هم برای به دست آوردن رابطه X استفاده شد، که به این صورت است که اگر مقدار Z به هر صورت صفر و یک بود، فقط داده های مربوط به آن سطح مقطع برای تعیین y استفاده شوند، یعنی رابطه X را به صورت $X=y_i*Z_i$ می نویسیم که i بیانگر شماره سطح مقطع است؛ یعنی اگر داده های با سطح مقطع ۴۰ را به شبکه بدهیم مقدار i برابر با ۱ می شود.

مزیت حالت اول در این می باشد که اگر داده های مربوط به تونلی با سطح مقطع متفاوت را به شبکه بدهیم، خود شبکه با توجه به سطح مقاطعی که برای آموزش استفاده کرده است به Z مقادیری را به صورت وزنی بین صفر و یک می دهد، مثلاً اگر برای آموزش شبکه از سطوح مقاطع ۱۲ و ۴۰ و ۶۰ استفاده شود و سپس داده های تونلی با سطح مقطع ۵۰ را به شبکه بدهیم، مقادیر وزنی توسط شبکه به Z ها داده خواهد شد که مطمئناً وزن مقادیر مربوط به شبکه های با سطح مقطع ۴۰ و ۶۰ بیشتر خواهد بود.

شبکه فوق تا مرحله قبل از به کار بردن رابطه X جواب قابل قبولی می دهد اما در این مرحله میزان خطا زیادتر است.

پس باتوجه به مطالب بیان شده شبکه اول دارای خطای کمتر و قابلیت تعمیم پایین تر می باشد و شبکه دوم دارای خطای بیشتر و قابلیت تعمیم بالاتر است.

فصل هشتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه با توجه به داده های موجود که از محل سه سایت مترو اصفهان، تونل آبرسانی چشمه روزیه سمنان و تونل راه آهن خماری برداشت شده است، شبکه های عصبی آموزش یافتند. در این مطالعه سه شبکه عصبی آموزش داده شدند، که شبکه اول با استفاده از داده های مترو اصفهان و شبکه دوم با استفاده از داده های هر سه محل آموزش یافت و شبکه سوم نیز با داده های سه محل و به طریق دیگری آموزش یافت، که در بخش (۵-۵) توضیح داده شد. از کار انجام شده در این پایان نامه نتایج زیر به دست آمد:

۱- برای انجام کار شبکه عصبی باید در انتخاب پارامترهای ورودی و خروجی دقت کافی را انجام داد، که در این پایان نامه مقادیر RMR ، Q و سطح مقطع تونل به عنوان پارامترهای ورودی و حالت پایداری تونل به عنوان پارامتر خروجی در نظر گرفته می شوند.

۲- داده ها برای انجام کار باید به درستی تقسیم بندی شوند، که در این پایان نامه داده ها پس از تکرار و آزمون های فراوان در بهترین حالت به صورت تصادفی، در حدود ۷۰٪ به داده های آموزشی و در حدود ۳۰٪ به داده های تست تقسیم شدند.

۳- داده ها باید نرمالایز شوند که این قضیه در اکثر مواقع باعث بهتر شدن نتایج پارامترهای ارزیابی شبکه می شود و در این تحقیق هم بدون نرمالایز کردن داده ها شبکه به جواب نمی رسد.

۴- برای آموزش شبکه عصبی، شبکه ها با یک و دو لایه پنهان با هم مقایسه شدند که شبکه با دو لایه پنهان نتایج بهتری را داشت. به همین دلیل از شبکه با دو لایه پنهان استفاده شده است، که برای حالت اول شبکه با حدود ۱۵ نرون در هر لایه پنهان و برای حالت دوم شبکه با حدود ۲۰ نرون در هر لایه پنهان بهترین جواب را می دهد.

۵- توابع مورد استفاده برای لایه های میانی تابع سیگموئیدی (Sign) و برای لایه خروجی تابع خطی (Purline) می باشند.

۶- در آموزش شبکه BP، ۱۱ روش آموزش مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند که روش Levenberg-Marquardt، بهترین نتایج را به همراه داشت.

۷- برای ارزیابی شبکه عصبی از سه معیار، میزان خطا بین مقادیر خروجی واقعی و مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه، میزان خطای RMS و مقدار ضریب همبستگی استفاده شده است که برای شبکه اول نتایج بهتری به دست می آید و نتایج شبکه دوم نیز قابل قبول می باشد که این نتایج به تفصیل در فصل پنجم شرح داده شده است.

۸- در شبکه اول چون داده ها از یک محل برداشت شده اند و برداشت کننده داده ها یک مجموعه از افراد بودند، نویز کمتری وجود دارد، اما در شبکه دوم به دلیل اینکه برداشت کننده های داده ها، افراد مختلفی از چند مجموعه هستند، میزان نویز بیشتر می باشد.

۹- بزرگ ترین مشکل در انجام این تحقیق تعداد کم داده و پارامترهای ورودی در دسترس بود که قدرت مانور زیادی در مورد شبکه آموزش یافته و همچنین در مورد روش های دیگر آموزش وجود نداشت.

۱۰- در آموزش شبکه عصبی بسیاری از موارد مثل انتخاب تابع تحریک در لایه میانی، تعیین تعداد لایه های میانی، تقسیم داده ها به دو قسمت آموزشی و تست و تعیین پارامترهای آموزش با روش سعی و خطا به دست می آید و به همین علت علم شبکه های عصبی مصنوعی به شدت آمیخته با سعی و خطا است.

۶-۲- پیشنهادات

پس از پایان این تحقیق پیشنهاداتی برای اجرای بهتر کار به نظر می رسد که به شرح زیر می باشد:

۱- در این تحقیق تعداد پارامترهای ورودی ۳ عدد بود که تمام پارامترهای ساختاری و ساختمانی موثر در تونل سازی، مانند نوع سنگ، RQD، وضعیت آب های زیرزمینی، جهت و فاصله داری، تعداد

ناپوستگی ها و ... را می توان به عنوان ورودی در نظر گرفت. این کار باعث بالا رفتن دقت کار می شود. در این تحقیق به دلیل این که امکان به دست آوردن پارامترهای بیشتری وجود نداشت با همان پارامترهای ذکر شده شبکه آموزش یافت.

۲- در این تحقیق شبکه BP مورد استفاده قرار گرفت و شبکه RBF و استفاده از روش های آماری و همچنین ترکیبی از شبکه های کوهنن و BP ممکن است میزان خطا را کم کند و دقت کار را بالا ببرد. یکی از دلایل استفاده نکردن از این روش ها در این تحقیق، کمبود داده مربوط به کار بود.

۳- علاوه بر موارد بالا استفاده از سیستم عصبی - فازی و همچنین استفاده از روش هایی مثل الگوریتم ژنتیک ممکن است باعث بالا رفتن راندمان کار شود، که این مسأله احتیاج به تحقیق و کار بیشتر دارد.

۴- شبکه سومی که در بخش (۵-۵) شرح داده شد، در صورت داشتن داده مناسب از چند مطالعه موردی، دارای کاربرد و قابلیت تعمیم بالاتری می باشد.

فهرست منابع

فهرست منابع و مآخذ:

- احمدی، م و ابراهیم پور، ج. ۱۳۸۳. تخمین میزان جابجایی در سقف و دیواره تونل های راه آهن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. دومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران. دانشگاه تربیت مدرس
- اجل لوئیان، ر و محمدی، د. ۱۳۸۲. رده بندی توده سنگ (روشی کاربردی در مهندسی عمران). انتشارات فن آوران
- البرزی، م. ۱۳۸۰. آشنایی با شبکه های عصبی. موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف
- بدری، ج. ۱۳۸۴. مدلسازی نگاره های شاخص فتوالکتریک به کمک روش های عصبی و فازی در چاه های نفت. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود
- بهنیا، ا و بهنیا، ک. ۱۳۷۳. بناهای زیرزمینی. موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران
- ترابی، س. ر. ۱۳۸۱. مقدمه ای بر مکانیک سنگ. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود
- تدینی، م و عربانی، ا. ر و نبی بید هندی، م. ۱۳۸۱. تعیین نفوذپذیری سنگ مخزن میدان نفتی پارسی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی. کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس
- حسینی، س. ا. ۱۳۸۳. جزوه درسی شبکه های عصبی مصنوعی. دانشگاه صنعتی شاهرود
- دهقان بنادکی، م. ۱۳۷۹. همگرایی و کنترل آن در تونل ها. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود
- دموت، ه و بیل، م. ۲۰۰۶. راهنمای نرم افزار Matlab 7
- شرکت مهندسين مشاور مهتاب قدس و شرکت ساختمانی ساب. ۱۳۸۴. گزارش زمین شناسی و ساختمانی طرح تونل آبرسانی چشمه روزیه سمنان

شرکت مهندسين مشاور هرازراه. ۱۳۸۴. پروژه طرح و اجراي قطار شهري اصفهان، گزارش نهايي مطالعات زمين شناسي و ژئوتكنيك

صديق عرباني، م. ۱۳۸۱. تخمين تخريل از روي نگارهاي چاه با استفاده از شبكه هاي عصبي مصنوعي. سومين كنفرانس داتشجويي مهندسي معدن، دانشگاه صنعتي امير كبير

طهماسبى، ف. ۱۳۸۳. مدل سازي معكوس دويعدى داده هاي مگنتوتلوريك با استفاده از شبكه هاي عصبي مصنوعي. پايان نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه صنعتي شاهرود

ظهير بند، س. ۱۳۸۱. تخمين خصوصيات مخزنى توسط شبكه هاي عصبي مصنوعي در مهندسي نفت. سومين كنفرانس داتشجويي مهندسي معدن، دانشگاه صنعتي امير كبير

غضنفرى، م و اركات، ج. ۱۳۸۳. شبكه هاي عصبي (اصول و كاركردها). مركز انتشارات دانشگاه علم و صنعت

فطورچى، س. ۱۳۸۲. رفتارنگارى و آناليز پايدارى تونل راه آهن خمارى. پايان نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه صنعتي شاهرود

فهيمي فر، ا. ۱۳۷۶. سازه هاي زيرزميني در سنگ. آزمایشگاه فني و مكانيك خاك وزارت راه و ترابري

قارونى، م و ابيازنى، ه. ۱۳۸۰. نگهدارى حفریات زيرزميني در سنگهای سخت. موسسه علمي و فرهنگي نص

كاظمي، ح. ۱۳۸۱. معرفي شبكه هاي عصبي مصنوعي به عنوان تكنيك تخمين ذخيره. سومين كنفرانس داتشجويي مهندسي معدن، دانشگاه صنعتي امير كبير

مدنى، ح. ۱۳۸۱. تونلسازي. مركز نشر دانشگاهي دانشگاه صنعتي اميركبير، جلد چهارم

منهاج، م. ب. ۱۳۸۱. مباني شبكه هاي عصبي. مركز نشر دانشگاهي دانشگاه صنعتي اميركبير

یاوری، م و مهدوری، س. ۱۳۸۳. پیش بینی نرخ نفوذ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس

Alvarez Grima, M. 2000. **Nero-Fuzzy modeling in engineering geology**. Balkema, Rotterdam

Ambrozic, T and Turk, G. 2002. **Prediction of subsidence due to underground mining by artificial neural networks**. Elsevier science

Barton and Lien, N. 1974. **Engineering classification of rock masses for design of tunnel support** Rock mechanics. Springer-verlag

Barton, N. 1974. **Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support**. Springer- verlag

Bieniawski, J. 1989. **Engineering Rock mass classification**. Jhon wiley & Sons

Choi, S.Y. and Park, H.D. 2002. **Comparison among different criteria of RMR and Q-system for rock mass classification for tunnelling in Korea**. School of Civil, Urban and Geosystem Engineering, Seoul National University, Seoul, South Korea

Deng, J.H and Lee, C.F. 2000. **Displacement back analysis for a steep slope at the three Gorges project site**. International journal of rock mechanics & mining science

Gautschi, W. 1997. **Numerical Analysis: An Introduction**. Springer- verlag

Hoek, E and Brown, E.T. 1980. **Underground excavations in rock**. Institution of mining & metallurgy. London

Kapageridis, I.K. 2002. **Artificial neural network technology in mining and environmental planing and equipment selection**. Technological Education Institute of West Macedonia, Greece

Kinner, P. 2001. **SPSS for windows mod simple release 10**. Psychology press

Han, J; weiya, X and shouyi, X. 2001. **Artificial neural network method of rock mass blastability classification**. Research institute of Geotechnical engineering of Hohai University

Haykin, S. 2001. **Kalman filtering and neural network**. Wiley-Interscience publication

Jong, Y and Lee, C. 2002. **Application of Neural networks to prediction of powder factor and peak particle velocity in tunnel blasting**. International society of explosive engineers

Kim, C.y; bae, G.j; hang, S.w; park, C.h; moon, H.k and shin, H.s. 2001. **Neural network based prediction of ground surface settlements due to tunneling**. Elsevier science

- Kovari,K. 1983. **Field measurments in Geomechanics**. International symposium zurich, volume2
- Labelle,D; Bares,J and Nourbakhsh,I. **Material classification by drilling**. Robotics institue of carnegie mellon university
- Milne, D; Hadjigeorgiou, J and Pakalnis, R. 1999. **Rock Mass Characterization for Underground Hard Rock Mines**.
- Pandya,A.S and Macy,R.B. 1995. **Pattern recognition with Neural networks in C++**. CRC press,Inc
- Park, H.D and Choi. S.Y. 2002. **Comparison among different criteria of RMR and Q-system for rock mass classification for tunnelling in Korea**. School of Civil, Seoul, South Korea
- Perlovsky,L. 2001. **Neural network and intellect**. Oxford university press
- Pietruszczak,S and Pande,G.N. 1997. **Numerical models in Gemechanics**.Balkema,Rotterdam
- Principe,J.c; Euliano,N.R and Lefebvre,W.C. 1999. **Neural and adaptive systems**. John Whily&sons,Inc
- Ren,L and Zhao,Z. 2002. **An optimal neural network and conceret strenght modeling**. Elsevier science
- Sen Leu,S; Nan Chen,C and Lin Chang,S. 2000. **Data mining for tunnel support stability: neural network approach**. Elsevier Science
- Sofretu. 1993. **Working paper,Geology work program**. Esfahan metro project
- Stoer,J and Bulirsch,R. 1993. **Introduction to numerical analysis**. Springer- verlag
- Taheri,A. and Associates. 1997. **Geotechnical Investigations Interim Report**. Esfahan metro project
- The math works. 2006. **Neural network toolbox users guide**
- Wang,J; Milne,D and Pakalnis,R. 2002. **Application of a neural network in the empirical design of underground excavation spans**. The Institution of Mining and Metallurgy
- Yang,Y and zhang,Q. 1998. **The application of neural network to rock engineering systems(RES)**. pergamon science
- Yilmaz,S; Diemircioglu,C and Akin,S. 2002. **Application of artificial neural network to optimum bit selection**. Elsevier science

Yuanyou,X; Yanming,X and Ruigeng,Z. 1997. **An engineering geology evaluation method based on an artificial neural network**. Elsevier science

پوست الف

الف-۱- روش طبقه بندی ژئومکانیکی RMR

روش RMR در سال ۱۹۴۷ توسط بیناوسکی^۱ ارائه شد. در این روش طبقه بندی مجموع امتیازات

۶ پارامتر زیر، امتیاز نهایی RMR را تعیین می کند:

الف- مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر^۲

ب- شاخص کیفی سنگ^۳ (R.Q.D)

ج- فاصله داری ناپیوستگیها^۴

د- شرایط ناپیوستگیها^۵

ه- وضعیت آبهای زیرزمینی^۶

و- جهت داری ناپیوستگی ها^۷

برای هر یک از شش پارامتر موجود امتیازهای معینی در نظر گرفته می شود که با یکدیگر جمع می شوند تا مقدار RMR به دست آید. جداول (الف-۱) تا (الف-۶)، سیستم امتیاز دهی به توده های سنگی را نشان می دهد.

پس از امتیازدهی پارامترهای فوق و تعیین مقدار عددی RMR، توده سنگ را می توان مطابق جدول (الف-۷) به پنج رده طبقه بندی کرد. در این جدول می توان مفهوم عملی هر یک از رده ها را در ارتباط با مسایل ویژه مهندسی مکانیک سنگ مشاهده کرد (Park, 2002).

همچنین نموداری نیز توسط بیناوسکی (۱۹۸۹) ارائه شده است که با داشتن مقدار عددی RMR و عرض دهانه فضای مورد نظر، زمان پایداری سازه (بدون استفاده از وسایل نگهداری) را می توان به دست آورد. این نمودار در شکل (الف-۱) نشان داده شده است. زمان ارائه شده در شکل (الف-۱) در

1- Bieniawski

2- Uniaxial Compressive Strength (U.C.S)

3- Rock Quality Designation

4- Spacing

5- Discontinuity condition

6- Underground water condition

7- Discontinuity orientation

ارائه روش اجرا و زمان نصب نگهداری می تواند بسیار مفید واقع شود
(Milne, Hadjigeorgiou, Pakalnis, 1999).

جدول الف-۱- شاخص کیفی سنگ (اجل لوئیان و محمدی، ۱۳۸۲؛ Bieniawski, 1979)

امتیاز	RQD	توصیف کمی
۲۰	۹۰-۱۰۰	عالی
۱۷	۷۵-۹۰	خوب
۱۳	۵۰-۷۵	نسبتاً خوب
۸	۲۵-۵۰	ضعیف
۳	<۲۵	خیلی ضعیف

جدول الف-۲- مقاومت سنگ بکر (اجل لوئیان و محمدی، ۱۳۸۲؛ Bieniawski, 1979)

امتیاز	شاخص مقاومت بار نقطه ای (MPa)	مقاومت تراکمی (MPa)	توصیف کیفی
۱۵	۸	>۲۵۰	به طور استثنایی قوی
۱۲	۴-۸	۱۰۰-۲۵۰	خیلی قوی
۷	۲-۴	۵۰-۱۰۰	قوی
۴	۱-۲	۲۵-۵۰	متوسط
۲	استفاده از مقاومت تراکمی تک محوری ترجیح داده می شود.	۱۰-۲۵	ضعیف
۱	استفاده از مقاومت تراکمی تک محوری ترجیح داده می شود.	۲-۱۰	خیلی ضعیف
۰	استفاده از مقاومت تراکمی تک محوری ترجیح داده می شود.	۱-۲	بسیار ضعیف

جدول الف-۳- فاصله داری ناپیوستگیها (اجل لوئیان و محمدی، ۱۳۸۲؛ Bieniawski, 1979)

امتیاز	فاصله (m)	توصیف کمی
۲۰	> 2	خیلی دور
۱۵	$2 - 0.6$	دور
۱۰	$0.6 - 0.2$	متوسط
۸	$0.2 - 0.06$	نزدیک
۵	< 0.06	خیلی نزدیک

جدول الف-۴- شرایط ناپیوستگیها (اجل لوئیان و محمدی، ۱۳۸۲؛ Bieniawski, 1979)

امتیاز	توصیف
۳۰	سطوح خیلی زبر و غیر هوازده، دیواره سنگ کاملاً بسته و غیر ممتد، بدون بازشدگی
۲۵	سطوح زبر و کمی هوازده، بازشدگی سطح دیواره سنگ کمتر از 1^m
۲۰	سطوح کمی زبر و نسبتاً تا شدیداً هوازده، بازشدگی سطح دیواره سنگ کمتر از 1^{mm}
۱۰	سطح دیواره سنگ صاف با ضخامت گوج 5^{mm} -۱ یا بازشدگی 5^{mm} -۱ به طور متداوم
۰	5^{mm} ضخامت گوج نرم، بازشدگی 5^{mm} به طور متداوم

جدول الف-۵- وضعیت آبهای زیرزمینی (اجل لوئیان و محمدی، ۱۳۸۲؛ Bieniawski, 1979)

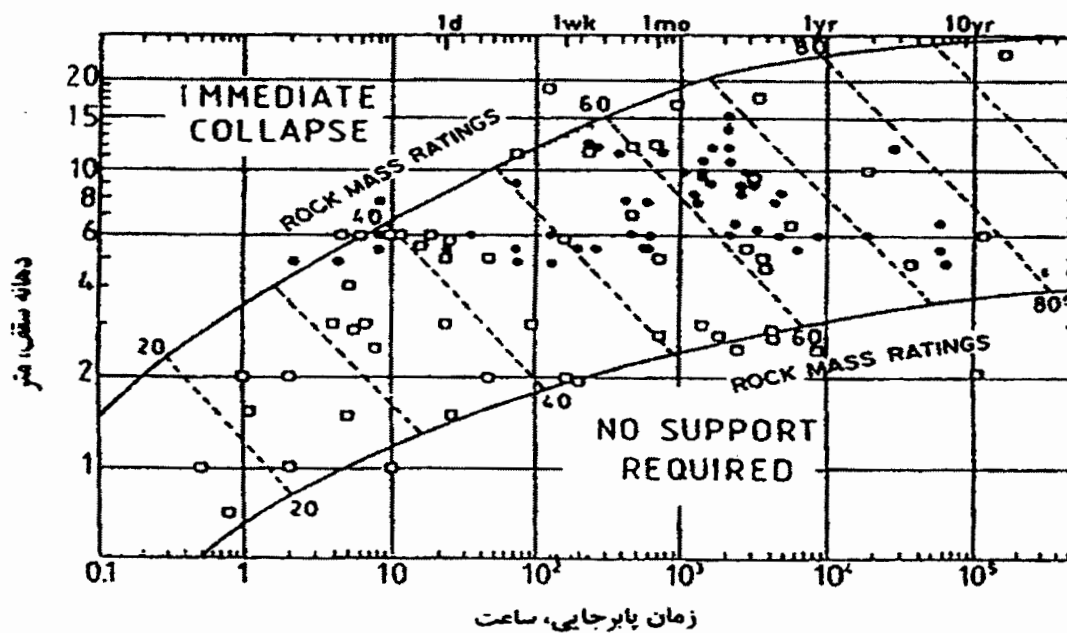
جریان درونی به ازاء ده متر تونل (lit/min)	هیچ	<۱۰	۱۰-۲۵	۲۵-۱۲۵	>۱۲۵
نسبت فشار آب درزه به تنش اصلی بزرگتر	۰	۰-۰/۱	-۰/۲ ۰/۱	۰/۲-۰/۵	>۰/۵
وضعیت عمومی	کاملاً خشک	مرطوب	خیس	قطرات آب	جریان آب
امتیاز	۱۵	۱۰	۷	۴	۰

جدول الف-۶- جهت داری ناپیوستگیها (اجل لوئیان و محمدی، ۱۳۸۲)

الف	محور پی / دامنه / جهت تونل
ب	جهت ناپیوستگیها :
دسته ۱	شیب (از تا) میانگین امتداد
دسته ۲	شیب (از تا) میانگین امتداد
دسته ۳	شیب (از تا) میانگین امتداد

جدول الف-۷- طبقه بندی توده سنگ بر اساس روش RMR به همراه مفهوم عملی طبقه های مختلف (Park, 2002)

امتیازات	۸۱-۱۰۰	۶۱-۸۰	۴۱-۶۰	۲۱-۴۰	کمتر از ۲۰
رده توده سنگی	۱	۲	۳	۴	۵
شرح کیفی	خیلی خوب	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
متوسط زمان پابرجایی	۱۰ سال برای دهانه ۱۵ متری	۷ ماه برای دهانه ۸ متری	۱ هفته برای دهانه ۵ متری	۱۰ ساعت برای دهانه ۲/۵ متری	۳۰ دقیقه برای دهانه ۱ متری
چسبندگی توده سنگ (MPa)	>۴۰۰	۳۰۰ - ۴۰۰	۲۰۰ - ۳۰۰	۱۰۰ - ۲۰۰	<۱۰۰
زاویه اصطکاک توده سنگ (درجه)	>۴۵	۳۵ - ۴۵	۲۵ - ۳۵	۱۵ - ۲۵	<۱۵



شکل الف-۱- رابطه بین زمان خود ایستایی حفاریات بدون نگهداری و مقدار RMR (ترابی، ۱۳۸۲)

اونل^۸ با استفاده از طبقه بندی RMR، بار وارده بر سیستم نگهداری را تخمین زد و تغییرات بار سنگی را به صورت تابعی از دهانه فضا در مورد رده های مختلف سنگی، به صورت رابطه زیر بدست آورد:

$$P = \gamma \cdot h = \gamma \cdot B \cdot \left(\frac{100 - RMR}{100} \right) \quad \text{رابطه (الف-۱)}$$

که در رابطه فوق:

P : بار سنگ بر حسب کیلوگرم بر متر مربع

B : عرض دهانه بر حسب متر

γ : وزن حجمی سنگ بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

h : ارتفاع بار سنگ بر حسب متر می باشد.

علاوه بر این اونل بر اساس RMR، الگویی به منظور برآورد میزان و نوع سیستم نگهداری مورد نیاز همراه با یک روش اجرای مناسب ارائه کرده است که در مورد تونل های با دهانه ۸ متر که با روش چالزنی و آتشیاری در اعماق کمتر از ۱۰۰۰ متر حفر می شوند می باشد.

همچنین کیزر^۹ و همکاران (۱۹۸۶) رابطه (الف-۲) را به منظور تعیین مقدار RMR بدون نیاز به سیستم نگهداری ارائه کرده اند.

$$RMR(NS) = 22Ln(ED) + 25 \quad \text{رابطه (الف-۲)}$$

که در رابطه فوق $RMR(NS)$ مقدار عددی RMR بدون نیاز به سیستم نگهداری و ED بعد معادل می باشد که از رابطه زیر بدست می آید:

$$ED = ESR / (\text{عرض، ارتفاع یا عمق}) \quad \text{رابطه (الف-۳)}$$

ESR : ضریب نگهداری حفره است که به نوع کاربری سازه حفر شده و درجه ایمنی مورد نظر بستگی دارد و مقادیر عددی آن در موارد مختلف را می توان از جدول مربوطه بدست آورد (Park, 2002).

الف-۲- روش طبقه بندی Q

این روش توسط بارتن^{۱۰} و همکارانش ابداع شد. این سیستم یک روش طبقه بندی کمی می باشد و سیستمی مهندسی است که قابلیت پوشش نهایی تونل را دارا است. در این روش، ۶ پارامتر زیر در محاسبه مقدار عددی Q موثر می باشند:

الف- شاخص کیفی سنگ (RQD)

ب- تعداد دسته درزه ها (J_n)

ج- زبری نامطلوبترین درزه یا ناپیوستگی (J_r)

د- درجه هوازدگی یا پرشدگی در طول ضعیف ترین درزه (J_a)

ه- ضریب کاهشی آب درزه ها (J_w)

و- وضعیت تنش (SRF)

شنش پارامتر فوق که بصورت سه کسر گروه بندی شده اند، کیفیت توده سنگ را طبق رابطه زیر نتیجه می دهند.

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \left(\frac{J_w}{SRF} \right) \quad (\text{رابطه الف-۴})$$

در رابطه (الف-۴)، کسر اول، معرف اندازه تقریبی بلوک سنگ، کسر دوم، معرف مقاومت برشی بین بلوکها و کسر سوم بیانگر تنش فعال است.

ارزش Q با بعد معادل و نگهداری تونل مرتبط شده است. بعد معادل تابعی از دو عامل ابعاد، نوع عملیات حفاری است و با تقسیم کردن دهانه، قطر، یا ارتفاع فضای حفاری بر ضریب نگهداری حفره (ESR) به دست می آید که در محاسبه RMR(NS) نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

از طرفی ارتباط بین Q و ابعاد یک تونل، میزان نگهداری تونل را مشخص می کند. در این راستا بارتون و همکاران رده سیستم نگهداری دائمی را پیشنهاد کرده اند. به منظور تعیین نگهداری موقت می توان Q را پنج برابر افزایش داد.

بیشترین دهانه بدون نگهداری از رابطه زیر به دست می آید:

$$(رابطه ۲-۵) \quad Q^{0.4} \cdot ESR = 2 \text{ (بیشینه دهانه (بدون نگهداری))}$$

همچنین ارتباط بین مقدار Q و فشار وارد بر سیستم نگهداری دائمی (P_{roof}) از رابطه زیر به دست می آید:

$$(رابطه ۲-۶) \quad P_{roof} = 2Q^{-1/3} \cdot J_r^{-1}$$

در صورتی که تعداد دسته درزه ها کمتر از ۳ باشد رابطه فوق به صورت زیر بیان می شود:

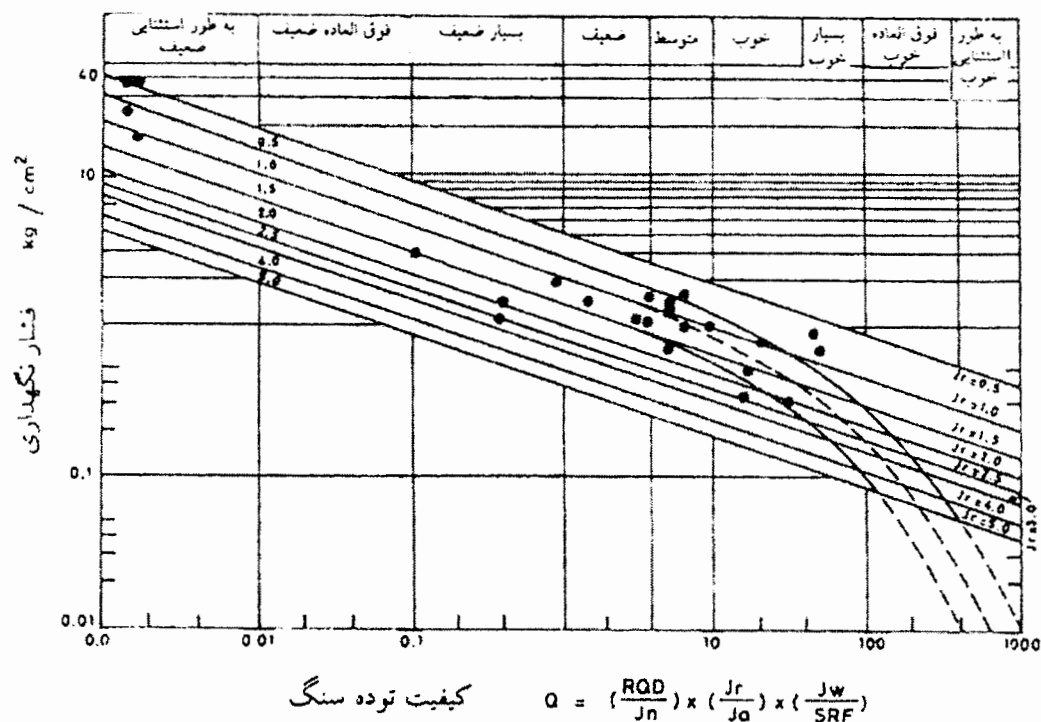
$$(رابطه ۲-۷) \quad P_{roof} = 0.67Q^{-1/3} \cdot J_n^{1/2} \cdot J_r^{-1}$$

پس از طبقه بندی مهندسی سنگ و تعیین مقدار Q ، می توان با استفاده از نمودار شکل (الف-۲)، کمیت و کیفیت وسایل نگهداری لازم را بر آورد کرد و این بدین صورت است که در ازای مقدار Q مشخص و بعد معادل زیرزمینی یک رده بین ۱ تا ۳۸ از نمودار شکل (الف-۳) مشخص شده و در نهایت بر اساس هر یک از نسبت های $\frac{RQD}{J_n}$ ، $\frac{J_r}{J_a}$ و بعد معادل حفره می توان حالت های مختلف

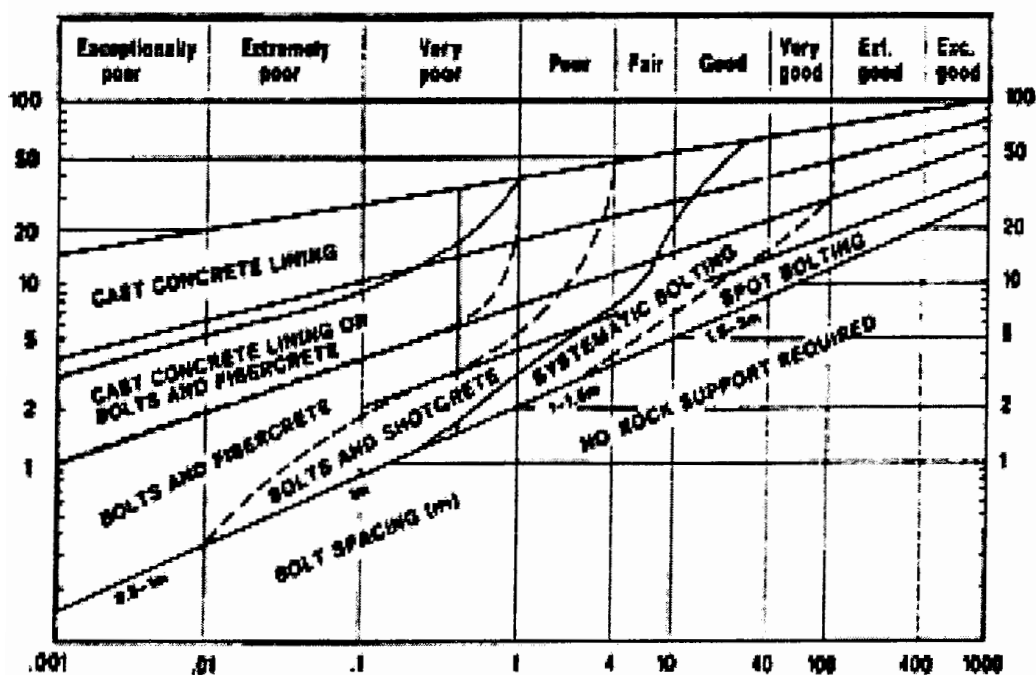
نگهداری در هر رده را نیز تعیین کرد (اجل لوئیان و محمدی، ۱۳۸۲؛ Park, 2002).

در نگهداری دائمی حفریات زیرزمینی، طول پیچ سنگها بستگی به ابعاد فضای مذکور دارد. با استفاده از رابطه زیر می توان آنها را محاسبه کرد:

$$(رابطه ۲-۸) \quad L = 2 + 0.15B / ESR$$



شکل الف-۲- رابطه بین فشار نگهداری و کیفیت توده سنگ (Barton, 1974)



شکل الف-۳- نمودار رده های مختلف نگهداری دائمی بر اساس Q و بعد معادل (اجل لوثیان و محمدی، ۱۳۸۲)

الف-۳- تعیین اندیس مقاومت زمین شناسی (GSI)

مقاومت توده سنگ درزه دار به خواص تکه‌های سنگ بکر و نیز به درجه آزادی این تکه‌ها نسبت به لغزش و چرخش، تحت شرایط مختلف تنش، بستگی دارد. این درجه آزادی از طریق شکل هندسی تکه‌های سنگ بکر و همچنین شرایط سطوح جداکننده تکه‌ها، کنترل می‌شود. توده سنگهایی که از قطعه‌های سنگی زاویه دار تشکیل شده و ناپیوستگی‌های موجود در آن نیز از سطوح زبر و تمیز برخوردار می‌باشند، به مراتب مستحکم‌تر از توده سنگهایی با قطعات سنگی گرد گوشه و حاوی مصالح هوازده و دگرساز شده، می‌باشند در حل عددی مدلها با سطوح درزه بسیار زیاد که قابل مدل شدن توسط بعضی از نرم افزارها مثل *FLAC* نیستند از محیط معادل شبه پیوسته (بدون درزه) با تعیین *GSI* استفاده می‌شود. در زیر چگونگی تعیین *GSI* بر اساس رده بندی سنگها و بر اساس توضیحات زمین شناسی اشاره می‌شود.

الف- تعیین *GSI* بر اساس شاخصهای رده بندی سنگها

با استفاده از شاخصهای *RMR* و *Q* به صورت زیر عمل می‌شود:

۱- مقدار *RMR* براساس نسخه ۱۹۸۹ تعیین می‌شود، که موارد زیر را باید در نظر گرفت.

الف- برای محاسبه *RMR*، توده سنگ باید کاملاً خشک فرض شود (امتیاز ۱۵ برای آب زیرزمینی).

ب- همچنین جهت ناپیوستگی‌ها باید خیلی مطلوب فرض شود (امتیاز صفر برای تعدیل جهت ناپیوستگی).

۲- اگر امتیاز نهایی که به نام RMR_{89} خوانده می‌شود، بزرگتر از ۲۳ بدست آمد، مقدار *GSI* به

صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (\text{رابطه ۲-۹})$$

و در صورتی که $RMR_{89} < 23$ ، با استفاده از رابطه زیر مقدار *GSI* قابل محاسبه است:

$$GSI = 9 \ln Q + 44 \quad (\text{رابطه ۲-۱۰})$$

که Q اندیس طبقه بندی بارتن می باشد.

برای محاسبه Q ، برای ضریب کاهش آب درزه (J_w) و ضریب کاهش تنش (SRF) مقدار ۱ (که معادل یک توده سنگ خشک تحت تاثیر شرایط تنش متوسط است) را در نظر می گیریم. بنابراین مقدار Q از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \quad (\text{رابطه ۲-۱۱})$$

ب- تعیین GSI بر اساس توصیفهای زمین شناسی

۱- با استفاده از مشاهدات صحرایی ساختار توده سنگ و شرایط سطوح ناپیوستگی براساس شکل (الف-۴) مشخص می شود.

۲- با توجه به اطلاعات مرحله ۱، منطقه مناسب حال توده سنگ مورد بررسی در نمودار این جدول تعیین می شود.

۳- مقدار میانگین اندیس مقاومت زمین شناسی (GSI) از روی کنتورهای موجود، ارزیابی می شود.^{۱۱}
حال با داشتن تمامی پارامترهای این معیار می توان رابطه بین تنش های اصلی در لحظه گسیختگی را به راحتی نوشت (اجل لوئیان و محمدی، ۱۳۸۲).

^{۱۱} - برای GSI حاکم بر توده سنگ مورد بررسی، بایستی دامنه ای از اعداد را بیان کرد.

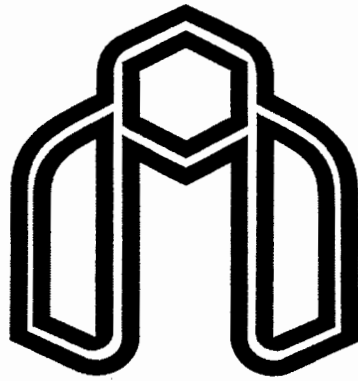
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		SURFACE CONDITIONS				
From the description of structure and surface conditions of the rock mass, pick an appropriate Box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index (GSI) from the contours. Do not attempt to be too precise. Quoting a range of GSI from 36 to 42 is more realistic than stating that GSI = 38. It is also important to recognise that the Hoek-Brown criterion should only be applied to rock masses where the size of individual blocks is small compared with the size of the excavation under consideration. When individual block sizes are more than approximately one quarter of the excavation dimension, failure will be structurally controlled and the Hoek-Brown criterion should not be used.		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings of angular fragments	VERY POOR Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE – intact rock specimens or massive in situ rock masses with very few widely spaced discontinuities	90	80	N/A	N/A	N/A
	BLOCKY – very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets	70	60			
	VERY BLOCKY – interlocked, partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	50	40			
	BLOCKY/DISTURBED – folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets	30	20			
	DISINTEGRATED – poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded rock pieces	10				
	FOLIATED/LAMINATED/SHEARED – Thinly laminated or foliated and tectonically sheared weak rocks. Closely spaced schistosity prevails over other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness	N/A	N/A			

شکل الف-۴- تخمین اندیس مقاومت زمین شناسی بر اساس بررسی های شرایط زمین شناسی (اجل لوثیان و محمدی، ۱۳۸۲)

Abstract:

Now days, the growth of the population and the construction of the ground installations, have lead to the lake of enough space on the surface of the earth. So underground spaces have got an important role and their usage have developed. There are three conventional methods to stability analyses of these spaces: Experimental, observational and analytical. Each of these methods has some limitation such as: Being experimental, being time consumer and having complicated equation. In order to solve such problems, new approaches have been used. One of the newest methods is artificial neural network.

In this study, these networks have been used to analyze the stability of tunnels. Initial data have been collected from three different dities: Semnan cheshmeh rooziyeh water tunnel, khomary railway tunnel and Esfehan subway tunnel. All of the tunnels have horse shoe section. Two kinds of neural networks were designed. Both of them are back propagation networks. The first network was trained with the data of Esfehan subway tunnel and the second one was trained with the data of all three tunnels. As the first network just used the data of one tunnel, result is good but this network can not be extended to the other places. In the second network, because of the variety of the data origin, the result is not good but this network can be extended to the other places.



Shahrood university of technology
Faculty of mining engineering and geophysics

Title:

**Underground space stability analyses by
artificial neural network**

By:

Nima Naiery

Supervisors:

Dr.M.Ataei

Dr.S.E.Hoseini

Advisor:

Dr.S.R.Torabi

June 2006