

مقاله پژوهشی

مدلسازی انتشار گاز متان در استخراج زغال سنگ معدن مرکزی پروده طبس

محمد امین زارعی درمیان^۱، زهره سادات ریاضی راد^{۲*}، امین فرامرزی^۳

۱. کارشناس ارشد مهندسی معدن دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، aminz4811@yahoo.com

۲. استادیار گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران، zohrehriazi@iauc.ac.ir

۳. کارشناس ارشد مهندس معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، amin.yaran70@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۷ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴

چکیده

انتشار گازهای ناشی از معدن کاری زغال سنگ را می توان بر اساس عملیات تجربی، پیش بینی و محاسبه کرد. در این مطالعه، مدلسازی نرخ انتشار گاز متان ناشی از استخراج در معدن زغال سنگ مرکزی پروده طبس، مورد بررسی قرار می گیرد. بنابراین در ابتدا، مقدار اولیه و نهایی برای جبهه کارهای مورد مطالعه بر اساس شبکه عصبی مدلسازی شد. برای جبهه کار P8/TG، مقدار محاسبه شده به وسیله شبکه عصبی بین ۰/۴۴۷۶ تا ۰/۹۹۲۱ درصد و مقادیر پیش بینی شده برای جبهه کار P8/MG، با شبکه عصبی بین ۰/۱۶۳۶ تا ۰/۳۳۷۹ درصد است. شدت انتشار گاز متان معدن مورد مطالعه، بر اساس سطح زغال سنگ و میزان حجم گاز با استفاده از کد نویسی متلب انجام گرفت. روش استخراج معادن، بر میزان انتشار گازهای ناشی از معدن کاری موثر است. میزان و تراکم شکستگی های القا شده، می تواند نفوذ پذیری را چندین درجه افزایش دهد. افزایش نفوذ پذیری می تواند به نوبه خود، موجب تسریع در تخلیه گازهای ناشی از استخراج زیرزمینی معادن شود. در این مطالعه میزان انتشار گاز ناشی از حفاری ۰/۰۴ درصد، آتش کاری ۰/۰۴۵، نگهداری ۰/۰۴۰، خاک برداری ۰/۰۰۶ و پیکور کاری ۰/۲۵ درصد، با استفاده از کد نویسی به محتوای ماتریس باقی مانده گاز، محاسبه شد. خطاهای کوچک در اندازه گیری محتوای گاز، می تواند منجر به خطاهای بزرگ در محاسبات تخمین زده شود که این مقدار با استفاده از نرم افزار تعیین شد. ضریب همبستگی ورودی و خروجی داده های مورد مطالعه برابر با ۰/۹۸۴ درصد، تخمین زده شد. مدلسازی انجام شده برای ۲ جبهه کار فوق، نتیجه خوبی را نشان می دهد که می تواند در بهبود ایمنی معدن مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی

مدلسازی، پیش بینی انتشار گاز، زغال سنگ، گاز متان، معدن طبس

۱- مقدمه

دادند [۴].

خلود و همکاران (۲۰۲۰) پیش‌بینی‌های انتشار جهانی متان از معدن زیرزمینی زغال‌سنگ را با روش‌های مختلف استخراج زغال‌سنگ و با افزایش عمق معدن تا سال ۲۱۰۰ ارایه کردند. بر این اساس، یک روش به روز برای محاسبه انتشارات متان معدن زغال‌سنگ پیشنهاد شد که روش استخراج زغال‌سنگ، رتبه زغال‌سنگ و شرایط معدن را در نظر می‌گیرد و در آن از عمق و از عوامل انتشار مبتنی بر شواهد استفاده می‌شود. یک ارزیابی دقیق نشان می‌دهد که انتشار متان مربوط به معدن زغال‌سنگ در سال ۲۱۰۰ بیشتر از مطالعات قبلی بود. این مطالعه همچنین از یک روش جدید برای محاسبه انتشار متان از معدن زغال‌سنگ متروک استفاده می‌کند و اولین تخمین از انتشار گاز متان در آینده از آن معدن را نشان می‌دهد. با استفاده از داده‌های تولید زغال‌سنگ از شش مدل ارزیابی یکپارچه، نشان می‌دهد که تا سال ۲۱۰۰ انتشار متان از معدن زیرزمینی فعال با ضریب ۴ افزایش می‌یابد، در حالی که انتشار گازهای گلخانه‌ای از معدن متروکه با ضریب ۸ افزایش می‌یابد [۵].

پیش‌بینی قابل اعتماد منابع انتشار متان از لایه‌های مجاور استخراج زغال‌سنگ جبهه‌کار بلند برای توسعه طرح‌های جذب متان کارآمد برای به حداکثر رساندن کاهش انتشار و بهبود ایمنی معدن بسیار مهم است. کویینگ دونگ و همکاران (۲۰۲۲)، یک مطالعه نظارت میدانی یکپارچه را ارایه دادند که منجر به روش‌های جدید زیادی در مورد انتشار متان و دینامیک معدن در یک محیط معدنی با نفوذپذیری نسبتاً بالا و چند رگه‌ای شده است. مطالعه میدانی، شامل اندازه‌گیری محتوای گاز قبل و بعد از استخراج در سه مکان مختلف در سراسر پانل دیواره بلند و نظارت مداوم بر فشار منافذ رگه با استفاده از پیرومترهای فیبر نوری بود.

مشخصات محتوای گاز، قبل و بعد از استخراج، تعیین منطقه انتشار گاز را فعال می‌کند. وسعت جانبی منطقه انتشار گاز، بسیار فراتر از مجاورت منطقه تخریب است که با فرض خط پایه مدل فلاژ معمولی مورد استفاده در معدن در تضاد است. همچنین اختلافات قابل توجهی در میزان انتشار گاز بین اندازه‌گیری و مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده پیدا شد. به عنوان مثال، رگه زغال‌سنگ ۶۲ متر زیر معدن، هیچ گاز قابل تشخیصی منتشر نمی‌کند، در حالی که مدل فلوژ، انتشار گاز ۲۴ درصد را پیش‌بینی می‌کند. علت این تفاوت‌ها، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و روش‌های بهینه‌سازی پیش‌بینی انتشار

معدن زغال‌سنگ زیرزمینی، نیاز به تجهیزات و نیروی انسانی زیادی دارند. هوای زیرزمین معدن زغال‌سنگ با گازهای سمی ناشی از استخراج آلوده می‌شوند که باید اکسیژن لازم برای رقیق کردن گازهای قابل اشتعال که باعث انفجار معدن می‌شوند، جایگزین شود [۱]. بنابراین لازم است فن‌آوری‌ها و روش‌هایی برای اندازه‌گیری دقیق سطح غلظت گازهای سمی و قابل اشتعال در فضاهای زیرزمینی، برای امنیت معدن زغال‌سنگ، ایجاد شود. برای حفظ شرایط ایمنی و کاری در معدن زغال‌سنگ زیرزمینی، لازم است که به طور منظم سطح گازهایی مانند اکسیژن، متان، دی‌اکسید کربن، مونواکسید کربن و نظایر آن بررسی شود. این نتایج منجر به داده‌های کوتاه مدت و بلند مدت در سطح زمین می‌شود [۱]. بنابراین امکان هشدار در برابر انفجار و مواد سمی در مکان‌هایی که کارگران به طور معمول کار می‌کنند وجود دارد. هیچ کارگر معدنی نباید در هر محل کار زیرزمینی، به ویژه مکان‌هایی که گردش هوای ضعیف دارند، وارد شود (نقاط کور)، مگر اینکه هوا در آن بررسی شده باشد، تا اطمینان حاصل شود امنیت کافی در آن وجود دارد [۱].

علاوه بر تلاش‌های انجام شده در پیش‌بینی انتشار متان در معدن، تحقیقات میدانی زیادی برای بررسی عملکرد استفاده از گمانه‌های عمودی و افقی در کاهش متان در لایه‌های زغال‌سنگ انجام گرفته است.

لونارزوسکی (۱۹۹۸)، یک مدل آزمایشی برای تخمین میزان نشر متان در مراحل مختلف از عمر یک معدن زغال‌سنگ ارایه کرد [۲]. نشر متان تابعی از تناژ استخراجی زغال‌سنگ است و دیگر پارامترها را می‌توان به وسیله ثابت‌های تجربی بیان کرد. گرچه استفاده از این روش آسان است ولی ثابت‌های تجربی وابسته به مکان‌اند و بسط این روش به سایر مکان‌ها قابل اجرا نیست [۳].

کاراکان و همکاران (۲۰۰۷)، یک شبکه عصبی مصنوعی^۱ و تحلیل جزو اصلی^۲ بر اساس روش نمونه‌برداری و پیش‌بینی تهویه انتشار متان از معدن جبهه‌کار بلند آمریکا ارایه کردند [۳].

همچنین در تحقیق کاراکان و همکارانش (۲۰۰۷)، روش‌های کنترل و پیش‌بینی متان متصاعد شده در حین استخراج زغال‌سنگ ارایه شده است [۳]. هونگسینگ ژو و همکاران (۲۰۱۴)، مطالعاتی برای عملیات متان‌زدایی انجام

¹ Artificial neural network (ANN)

² Principal component analysis (PCA)

کیلومترمربع و در استان خراسان جنوبی واقع شده است. ناحیه پروده با وسعت ۱۲۰۰ کیلومترمربع و ذخیره زمین شناسی ۱/۱ میلیارد تن زغال سنگ کک شو یکی از چهار ناحیه حوزه زغالی طبس و بزرگترین حوزه زغال سنگ کک شو ایران محسوب می شود [۸]. جبهه کار P8/TG-Tail gate، یکی از جبهه کارهایی است که برای آماده سازی روش استخراج و استخراج زغال سنگ در حال کار است و جنس سنگ جبهه کار، بیشتر از زغال سنگ است. این جبهه کار، با مقطع چهار گوش مستطیل شکل^۱، کار شده است. طول جبهه کار تا آخرین برداشت ۵۰۰ متر است. جبهه کار P8/MG^۲ یکی از جبهه کارهایی است که برای آماده سازی روش استخراج و استخراج زغال سنگ در حال کار است و جنس سنگ جبهه کار، سیلت استون و زغال سنگ است. این جبهه کار، به صورت سه مقطعی، با مقطع های رایج معدن کاری، مانند مقطع نعل اسبی^۳، مقطع دوزنقه^۴ و چهار گوش مستطیل شکل کار شده است. آخرین مقطع کار شده در این تونل، مقطع دوزنقه است. طول جبهه کار تا آخرین برداشت، ۴۰۰ متر است [۸].

۳- روش انجام کار

در این مقاله، از نتایج و تحقیقات پژوهشگران مختلفی استفاده شده است [۱۱-۳۰]. کاراکان و همکاران (۲۰۰۵) از اصل آماری و تجزیه و تحلیل اصلی (PCA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و روش های پیشنهادی برای پیش بینی انتشار گاز متان و نرخ های انتشار بلندمدت در معدن استفاده کردند [۹]. از داده های موجود برای تجزیه و تحلیل گاز در سال های اخیر، به کاراکان و همکاران (۲۰۱۱) می توان اشاره کرد [۱۰]. همچنین زارعی در میان و همکاران (۱۳۹۷) به عملکرد نانوسنسورها در پایش و مدیریت گازهای ناشی از معدن کاری زغال سنگ پرداخته اند [۱].

مشخصات جبهه کار P8/TG معدن زغال سنگ مرکزی پروده طبس در جدول ۱ نشان داده شده است.

در جدول ۲ میزان گاز متان موجود در تونل P8/TG معدن زغال سنگ مرکزی پروده طبس بر اساس عملیات معدن کاری در اعماق مختلف بیان شده است. طول تونل در هنگام برداشت بر حسب متر و میزان گاز متان بر اساس عملیات معدن کاری بر حسب درصد است.

گاز انجام پذیرفت. تغییر فشار منافذ در رگه های مختلف، نتایج اندازه گیری محتوای گاز را تایید می کند و همچنین برای توضیح دینامیک انتشار گاز از رگه های سقف و کف بسیار مهم است. بنابراین، نظارت بر تغییر فشار منافذ رگه می تواند برای هدایت برنامه ریزی و طراحی جذب متان موثر باشد [۶].

تولید معادن زغال سنگ با انواع مختلفی از خطرات مشخص می شود که خطرناک ترین آن ها خطرات طبیعی ناشی از اختلال در تعادل توده سنگ در اثر عملیات معدنی است. یکی از شایع ترین و خطرناک ترین موارد برای تداوم، اثربخشی و ایمنی این فرآیند، خطر متان است. گازی که به طور طبیعی در رگه های زغال سنگ وجود دارد. برای محدود کردن این مورد، جاروسلاو و همکاران (۲۰۲۲) یک روش توسعه یافته از تشخیص و پیش آگهی آن را همراه با مثالی از کاربرد عملی آن ارائه کردند. این روش، مبتنی بر مدل عصبی- فازی است که با استفاده از نتایج اندازه گیری پارامترهای تهویه واقعی، تشخیص (مدل فازی) و پیش بینی (مدل عصبی- فازی)، درجه خطر متان در منطقه بهره برداری را امکان پذیر می سازد. معیار این خطر، مقدار شاخص خطر متان (MHI) است که رابطه بین ظرفیت مطلق و معیار ظرفیت حامل متان را در منطقه مورد بررسی، در نظر می گیرد. مدل ها و روش های توسعه یافته برای تعیین حساسیت متان در کوتاه مدت را امکان پذیر می سازد. این عامل سبب می شود که فرصتی برای کنترل متان در یک منطقه باشد. بنابراین، این امر می تواند با انجام اقدامات مناسب (مانند تغییر پارامترهای تهویه)، بهبود ایمنی و در نتیجه اثربخشی کل فرآیند تولید معدن را ممکن می سازد. مثال ارائه شده از این روش، در شرایط واقعی، کارایی آن را تایید می کند. با توجه به سرعت و قابلیت اطمینان نتایج به دست آمده و امکان یادگیری مداوم سیستم توسعه یافته بر اساس داده های جدید، نتایج خوبی حاصل می شود. این یافته ها نمونه ای از کاربرد اصلی روش های پیشرفته مدل سازی پدیده های فیزیکی برای حل یک مشکل عملی بهبود ایمنی فرآیند تولید است [۷].

در این پژوهش، ۲ جبهه کار معدن زغال سنگ مرکزی پروده طبس مورد بررسی و تحلیل میزان انتشار گاز متان قرار گرفت. داده های لازم از دفتر فنی معدن زغال سنگ مرکزی پروده طبس (۱۳۹۷) دریافت شده و از نرم افزار متلب در این مطالعه استفاده شده است. الگوی کار، مقالات رایج لاتین در معادن زغال سنگ مختلف دنیا است.

۲- معرفی معدن مرکزی پروده طبس

معدن زغال سنگ پروده طبس، در فاصله ۸۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان طبس و در وسعتی معادل ۱۲۰۰

¹ Mesh and Bolt

² Main gate

³ Arc

⁴ Frame, Mesh and Bolt

تشکیل، شکل ذخیره، تیپ کانسار و درجه کانی‌سازی نیز موثرند. جذابیت روش عصبی به این دلیل است که سیستم‌هایی پویا و غیرخطی در اختیار می‌گذارند که قابلیت یادگیری دارند همچنین تخمین‌گرهایی بدون مدل‌اند که می‌توانند به طور غیرخطی تخمین بزنند. این روش نیاز به فرضیاتی در مورد عوامل موثر در تغییرات فضایی عیار در اطراف یک گانه ندارد.

جدول ۱- مشخصات جبهه کار P8/TG معدن زغال سنگ مرکزی

پرونده طبس [۸]

P8/TG	نام تونل
چهارگوش (مش و بولت)	شکل مقطع تونل
استرپ شماره ۵۵۰	آخرین سیکل کار شده با سطح مقطع موجود
۲/۵۰ متر	ارتفاع تونل
۲/۵۰ متر	عرض تونل
۱۲ درجه	شیب تونل (در حال کار)
۶/۲۵ مترمربع	مساحت مقطع
واگن-وینچ	نوع سیستم حمل و نقل
۵۰۰ متر	طول کلی تونل

در جدول ۳ میزان گاز متان موجود در تونل P8/MG معدن زغال سنگ مرکزی پرونده طبس بر اساس عملیات معدن کاری در اعماق مختلف بیان شده است. طول تونل در هنگام برداشت (متر) و میزان گاز متان بر اساس عملیات معدن کاری (بر حسب درصد) است. مطالعه آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های برداشت شده برای بررسی رابطه بین ترکیب و نفوذپذیری زغال سنگ انجام شد. بر روی نمونه‌های زغال سنگ، آزمون نفوذپذیری با دستگاه MFORR انجام شد. بر این اساس بسیاری از زغال سنگ‌های منطقه پرونده، پیریت را به عنوان ماده معدنی غالب در برداشتند. زغال سنگ منطقه پرونده در حوضه طبس دارای درصد متوسط ویتربینایت برابر ۸۲/۱۵ درصد و اینترتینایت برابر ۱۱/۰۲ درصد است. توزیع عیار ماده معدنی به عوامل بسیاری بستگی دارد تاثیر بسیاری از این عوامل شناخته شده نیست و در مدل ریاضی رایج در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین در هر مدل‌سازی برای توزیع عیار کانسار ساده‌سازی و فرضیایی در مورد تغییرات فضایی انجام می‌گیرد. تقریباً در تمام روش‌های تخمین ذخیره فرض می‌شود که عیار تابعی از فاصله است. فاصله تنها عاملی است که در نظر گرفته می‌شود در حالی که عوامل دیگری مانند ساختار زمین‌شناسی، محیط

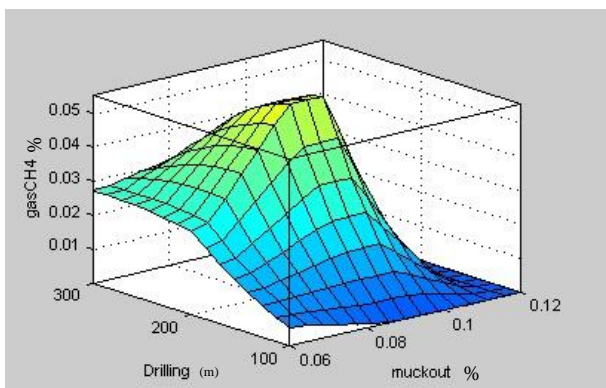
جدول ۲- میزان گاز متان (درصد) موجود در تونل P8/TG بر اساس عملیات استخراج در اعماق مختلف [۸]

میزان گاز متان بر اساس عملیات معدن کاری (بر حسب درصد)					تونل P8/TG	
پیکورکاری	خاک برداری	نگهداری	آتش کاری	حفرچال	طول تونل در هنگام برداشت (متر)	شماره برداشت
۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۲۳	۰/۰۸	۱۰۰	۱
۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۲۸	۰/۰۶	۱۲۵	۲
۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۹	۰/۰۴	۱۵۰	۳
۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۳۰	۰/۰۳	۱۷۵	۴
۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۴۵	۰/۰۸	۲۰۰	۵
۰/۲۰	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۳۲	۰/۱۲	۲۲۵	۶
۰/۲۲	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۴۴	۰/۱۰	۲۵۰	۷
۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۱۱	۲۷۵	۸
۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۳۵	۰/۰۹	۳۰۰	۹
۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۴۵	۰/۰۷	۳۲۵	۱۰
۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۴۹	۰/۰۶	۳۵۰	۱۱
۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۵۱	۰/۱۰	۳۷۵	۱۲
۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۴۹	۰/۱۱	۴۰۰	۱۳
۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۶۱	۰/۰۹	۴۲۵	۱۴
۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۳۹	۰/۰۴	۴۵۰	۱۵
۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۴۸	۰/۰۶	۴۷۵	۱۶
۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۵۱	۰/۰۹	۵۰۰	۱۷

جدول ۳- میزان گاز متان (درصد) موجود در تونل P8/MG بر اساس عملیات استخراج در اعماق مختلف [۸]

میزان گاز متان بر اساس عملیات استخراج (درصد)					تونل P8/MG	
پیکورکاری	خاک برداری	نگهداری	آتش کاری	حفرچال	طول تونل در هنگام برداشت (متر)	شماره برداشت
۰.۱۰	۰.۱۱	۰.۰۶	۰.۱۹	۰.۰۹	۱۰۰	۱
۰.۰۶	۰.۰۹	۰.۰۵	۰.۲۳	۰.۰۶	۱۲۵	۲
۰.۰۹	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۲۱	۰.۰۴	۱۵۰	۳
۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۰۹	۰.۱۰	۰.۰۳	۱۷۵	۴
۰.۱۲	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۲۵	۰.۰۷	۲۰۰	۵
۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۱۰	۰.۲۲	۰.۱۲	۲۲۵	۶
۰.۱۰	۰.۰۹	۰.۰۶	۰.۳۴	۰.۱۱	۲۵۰	۷
۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۲۰	۰.۱۲	۲۷۵	۸
۰.۰۹	۰.۱۰	۰.۰۷	۰.۱۵	۰.۰۹	۳۰۰	۹
۰.۱۱	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۲۵	۰.۰۷	۳۲۵	۱۰
۰.۱۱	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۱۹	۰.۰۹	۳۵۰	۱۱
۰.۱۰	۰.۰۹	۰.۰۷	۰.۲۱	۰.۱۱	۳۷۵	۱۲
۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۰۹	۰.۳۹	۰.۰۹	۴۰۰	۱۳

متغیرهای ورودی، خطای داده‌های آزمون محاسبه می‌شود. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که پارامترهای عملیات آتش کاری و چال زنی بیشترین حساسیت را دارند. تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات چال زنی و خاک برداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در شکل ۲ نشان داده شده است. با افزایش حفاری، میزان گاز متان نیز به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. تا ۱۰۰ متر شیب منحنی کم است اما از ۲۰۰ متر به بالا شیب افزایش می‌یابد چنانچه مقدار این گاز از ۰.۱ به بیش ۰.۰۴ درصد می‌رسد. خاک برداری نیز در ابتدا شیب ملایم ولی در انتها با شیب تند حرکت می‌کند، چنانچه در حفاری‌های عمیق، حالت هشدار برای انتشار گاز متان نشان می‌دهد.

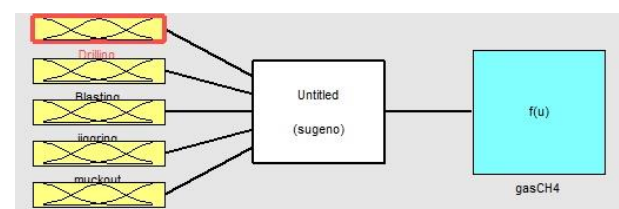


شکل ۲- تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات چال زنی و خاک برداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان

۴- نمایش مدل و الگوریتم پیش‌بینی انتشار گاز

در این مطالعه، پارامترهای حفاری^۱، آتش کاری^۲، نگهداری^۳، خاک برداری^۴ و پیکورکاری^۵ به عنوان متغیرهای ورودی و گاز متان^۶ به عنوان متغیر خروجی است.

در شکل ۱ انطباق داده‌های TEST و TRAIN در نرم‌افزار متلب با استفاده از سیستم شبکه انفیس در جبهه کار P8/MG نشان داده شده است.

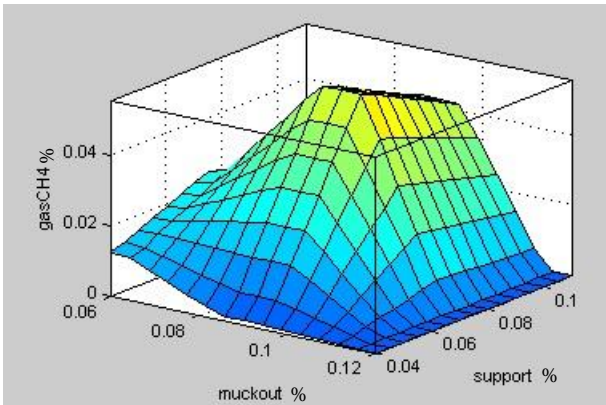


شکل ۱- انطباق داده‌های TEST و TRAIN در نرم‌افزار متلب با استفاده از سیستم شبکه انفیس در جبهه کار P8/MG

پس از مدل‌سازی، با تحلیل حساسیت می‌توان میزان تاثیر هر یک از پارامترهای ورودی را بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان مشخص کرد. بدین منظور، در هر مرحله با حذف یکی از

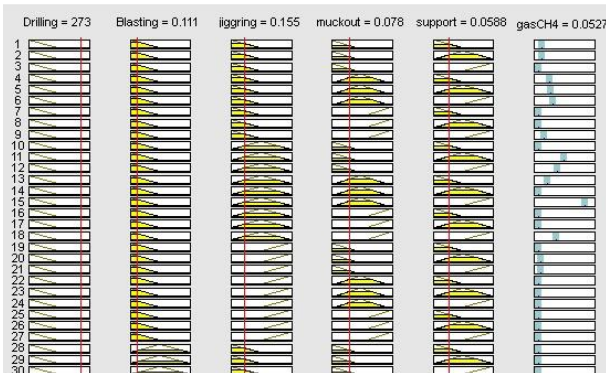
- 1 Drilling
- 2 Blasting
- 3 Support
- 4 Muckout
- 5 Jiggring
- 6 CH4

می‌دهد این میزان تا بیش از ۰/۰۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد.



شکل ۵- تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات نصب سیستم نگهداری و خاکبرداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان

در شکل ۶ نمای گرافیکی مدل و جواب نهایی سیستم انفیس برای پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه کار P8/MG در نرم‌افزار متلب نشان داده شده است. در شکل فوق به ترتیب از سمت چپ، ابتدا، با توجه به پارامترهای مختلف، میزان نرخ انتشار متان سنجش و داده‌ها وارد نرم‌افزار متلب شده است.

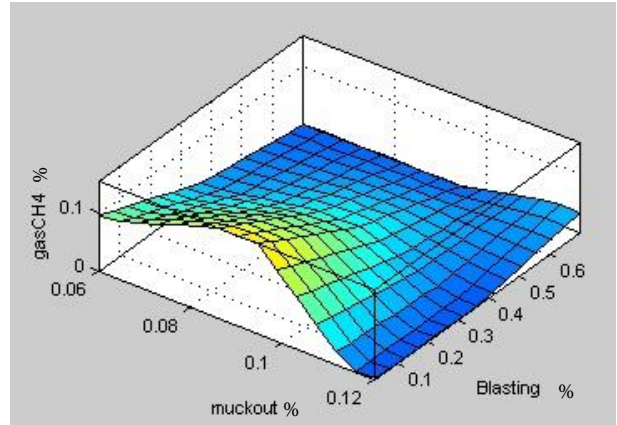


شکل ۶- نمای گرافیکی مدل و جواب نهایی سیستم انفیس برای پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه کار P8/MG در نرم‌افزار متلب

۵- اعتبارسنجی مدل سیستم انفیس

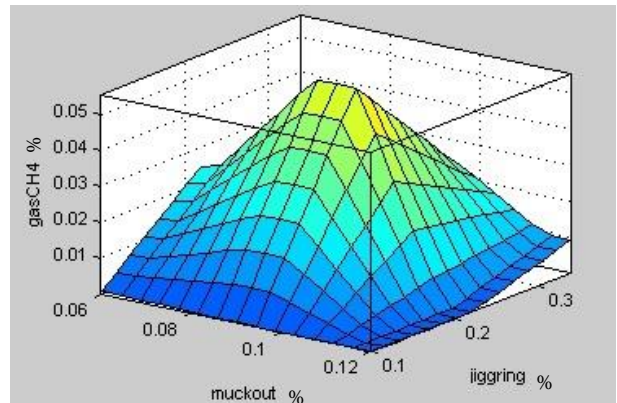
برای اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از مدل انفیس، می‌توان جذر میانگین مربع خطاها را محاسبه کرد. پس از مدل‌سازی اولیه، مقادیر مربوط به انتشار گاز متان به صورت واقعی اندازه‌گیری شده و در ۱۳ مقطع جبهه کار تونل به صورت برداشت میدانی، مجدداً به مدل انفیس داده شده‌اند، تا مقادیر تخمینی آن‌ها مشخص شود. با محاسبات مربوطه، میزان جذب میانگین مربع خطاها برابر با ۰/۷۶ درصد به دست آمد که نشان می‌دهد مدل فازی به کار گرفته شده، دارای کارایی و مطلوبیت لازم برای تخمین است. در جدول ۴ مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و تعریف شده برای جبهه کار P8/MG بیان شده است.

در شکل ۳ تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای آتش‌کاری و خاکبرداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان نشان داده شده است. خاکبرداری به ویژه در وسط جبهه کار، بیشترین انتشار گاز را که همراه با انفجار است، نشان می‌دهد. البته نمودار انفجار در انتهای جبهه کار مورد نظر مقدار انتشار گاز را که خاکبرداری نباشد، کاهشده نشان می‌دهد. در این حالت با توجه به خاکبرداری و انفجار حداکثر گاز متان منتشر شده به ۰/۰۱ درصد می‌رسد.



شکل ۳- تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای آتش‌کاری و خاکبرداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان

در شکل ۴ تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات پیکورکاری و خاکبرداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه کار P8/MG نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، با افزایش پیکورکاری و خاکبرداری انتشار گاز متان به حدود ۰/۰۵ میرسد.

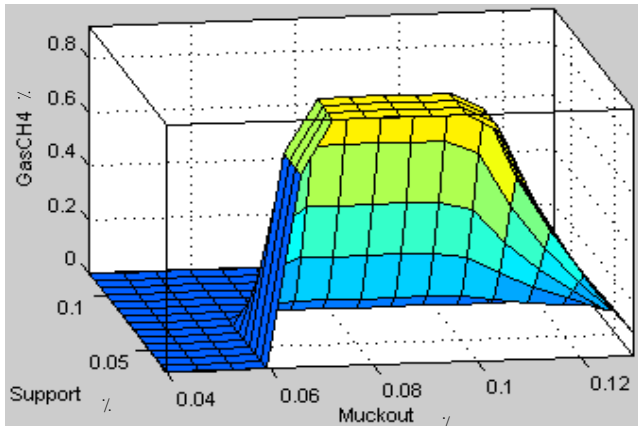


شکل ۴- تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات پیکورکاری و خاکبرداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه کار P8/MG

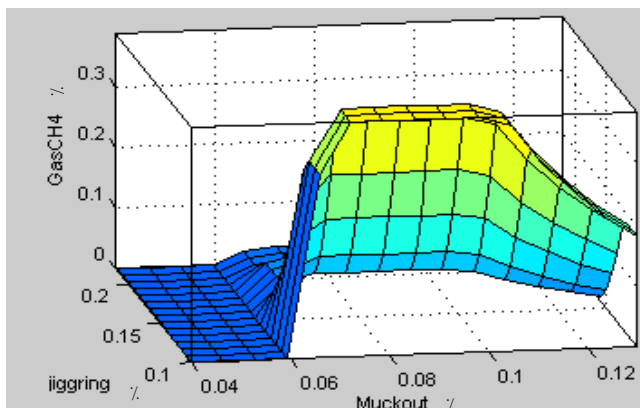
در شکل ۵ تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات نصب سیستم نگهداری و خاکبرداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان نشان داده شده است. هرچه سیستم نگهداری بیشتر شود میزان انتشار گاز با شیب نسبتاً تندی افزایش می‌یابد. البته باید توجه داشت که میزان خاکبرداری نیز بی‌تاثیر نیست. چنانچه شکل نشان

جدول ۴- مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و تعریف شده برای جبهه‌کار P8/MG

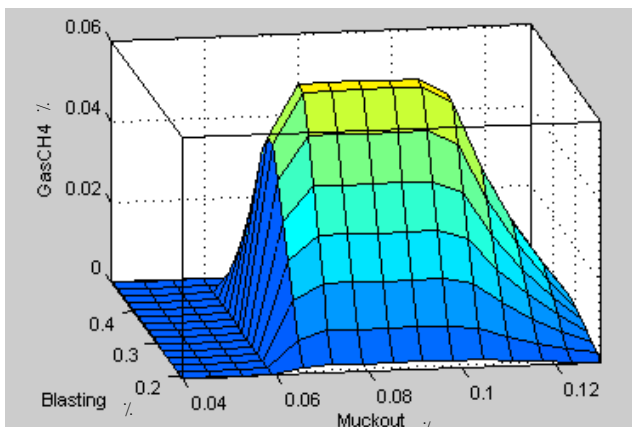
ردیف	پیش‌بینی شده	تعریف شده
۱	۰٫۵۲	۰٫۵۵
۲	۰٫۵	۰٫۴۹
۳	۰٫۴۱	۰٫۴۱
۴	۰٫۳۹	۰٫۳۶
۵	۱٫۲۹	۱٫۱۹
۶	۰٫۶۱	۰٫۶۱
۷	۰٫۹	۰٫۷
۸	۰٫۵	۰٫۵۱
۹	۰٫۵	۰٫۵
۱۰	۰٫۱۰۱	۰٫۰۶۳
۱۱	۰٫۳۹	۰٫۵۵
۱۲	۰٫۸۹	۰٫۵۸
۱۳	۰٫۶۱	۰٫۷۷



شکل ۷- تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای نصب سیستم نگهداری و خاک‌برداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار P8/TG



شکل ۸- تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات پیکورکاری و خاک‌برداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار P8/TG



شکل ۹- تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات آتش‌کاری و خاک‌برداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار P8/TG

۱-۵- پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار Tail Gate

در شکل ۷ تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای نصب سیستم نگهداری و خاک‌برداری، بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار P8/TG نشان داده شده است. در ابتدا که سیستم نگهداری در حال نصب است و خاک‌برداری انجام می‌گیرد، انتشار گاز وجود ندارد اما با پیشرفت خاک‌برداری با توجه به نحوه نصب نگهداری به یکدفعه منحنی انتشار گاز حالت افزایشی را نشان می‌دهد که بعد از یک دوره خاک‌برداری (۰٫۰ تا ۱٫۱۰۸)، بیشترین افزایش انتشار گاز متان را به میزان ۰٫۰۶ درصد نشان می‌دهد که بعد از آن شیب منحنی انتشار گاز کاهشی می‌شود.

شکل ۸، تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات پیکورکاری و خاک‌برداری را بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار P8/TG نشان می‌دهد. در ابتدای جبهه‌کار معدن با خاک‌برداری و پیکورکاری، انتشار گاز به صورت خیلی کم است اما به مرور زمان، افزایش خاک‌برداری باعث افزایش ناگهانی میزان انتشار گاز می‌شود در حالی که پیکورکاری این افزایش را نشان نمی‌دهد و منحنی آن آرام زیاد می‌شود. مقدار گاز منتشر شده مدتی حالت حداکثری را به خود می‌گیرد و به مرور زمان خیلی کمتر از حالت اولیه روند کاهشی را طی می‌کند.

در شکل ۹ تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات آتش‌کاری و خاک‌برداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار P8/TG نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است،

شکل ۱۰ تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات چالزنی و خاکبرداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار P8/TG را نشان می‌دهد. در ابتدای حفاری و خاکبرداری انتشار دیده نمی‌شود اما به مرور زمان با افزایش انتشار گاز متان به یکدفعه میزان انتشار قابل توجهی را نشان می‌دهد. چنانچه از مقدار ۰/۰۱ به مقدار بیش از ۰/۰۴ درصد می‌رسد و مدت‌ها این مقدار را نشان می‌دهد تا اینکه با شیب خیلی کند و آهسته این مقدار به ۰/۰۱ درصد می‌رسد. انتشار گاز در این حالت نسبت با سایر حالت‌ها بیشتر است.

جدول ۵- مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و تعریف شده برای

جبهه‌کار P8/TG با شبکه انفیس

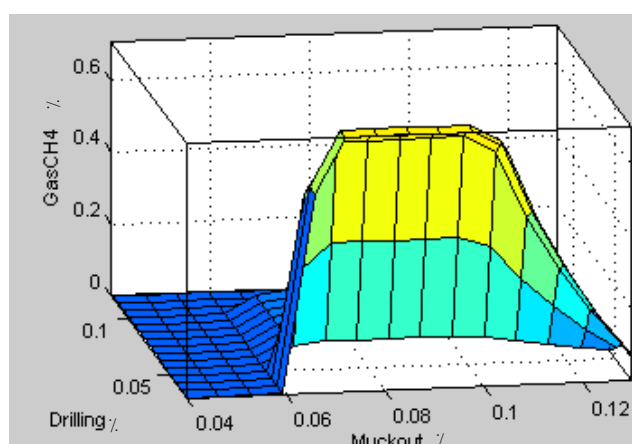
ردیف	پیش‌بینی شده	تعریف شده
۱	۰/۵۹	۰/۵۹
۲	۰/۶۴	۰/۶۴
۳	۰/۴۴	۰/۴۴
۴	۰/۶۷	۰/۶۷
۵	۰/۸۱	۰/۸۱
۶	۰/۸۳	۰/۸۳
۷	۰/۹۳	۰/۹۳
۸	۰/۵۷	۰/۵۷
۹	۰/۷۶	۰/۷۶
۱۰	۰/۸۳	۰/۸۳
۱۱	۰/۷۹	۰/۷۹
۱۲	۰/۸۳	۰/۸۳
۱۳	۰/۹۳	۰/۹۳
۱۴	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۵	۰/۴۳	۰/۷۵
۱۶	۰/۱۰۰	۰/۸۷
۱۷	۰/۵۳	۰/۹۲

۵-۲- تخمین نرخ پیشروی با استفاده از شبکه‌های عصبی

مصنوعی برای جبهه‌کار Tail Gate

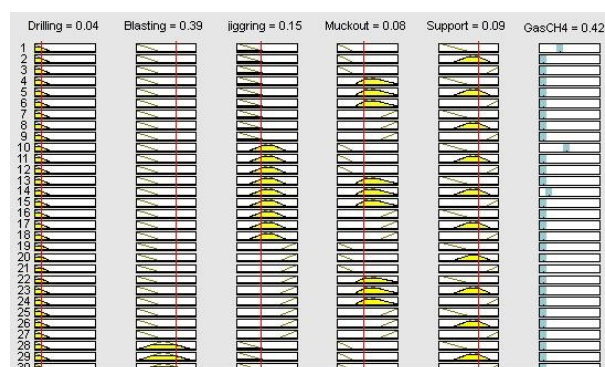
برای تخمین نرخ پیشروی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابتدا پارامترهای موثر بر نرخ پیشروی به منظور ساختار شبکه انتخاب و سپس به شبیه‌سازی برای دستیابی به شبکه بهینه پرداخته می‌شود.

۶۰ درصد داده‌ها برای آموزش مدل، ۲۰ درصد برای انجام فرآیند اعتبارسنجی و ۲۰ درصد به عنوان داده‌های آزمون مدل ساخته شده، انتخاب می‌شود. در نرم‌افزار متلب ابتدا باید متغیرهای ورودی و خروجی مشخص شوند. با در نظر گرفتن



شکل ۱۰- تاثیر میزان گازخیزی پارامترهای عملیات چالزنی و خاکبرداری بر نرخ پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار P8/TG

مدل و جواب نهایی سیستم انفیس برای پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار P8/TG در نرم‌افزار متلب محاسبه شد. در این مدل‌سازی، پارامترهای مختلف در معدن، میزان نرخ انتشار متان سنجش و داده‌ها، ورودی به نرم‌افزار بودند که خروجی آن به صورت شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- نمای گرافیکی مدل و جواب نهایی سیستم انفیس برای پیش‌بینی انتشار گاز متان در جبهه‌کار P8/TG در نرم‌افزار متلب

برای اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از مدل انفیس، می‌توان جذر میانگین مربع خطاها را محاسبه کرد. پس از مدل‌سازی اولیه، مقادیر مربوط به انتشار گاز متان به صورت

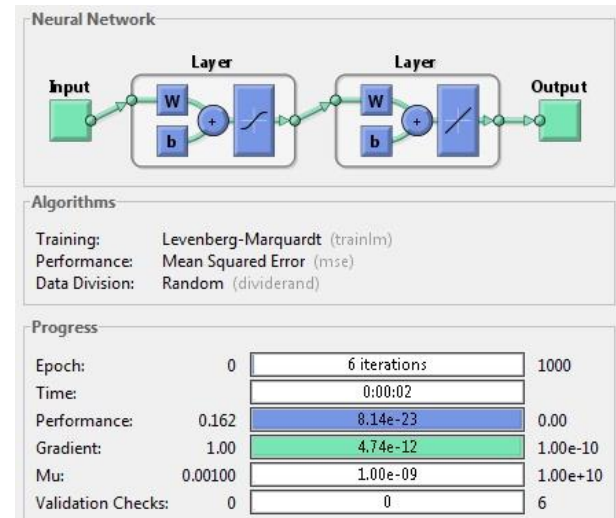
تحلیل حساسیت می‌توان میزان تاثیر هر یک از ورودی‌ها را بر نرخ انتشار گاز متان مشخص ساخت. بدین منظور، در هر مرحله، با حذف یکی از متغیرهای ورودی، خطا در داده‌های آزمون محاسبه می‌شود. تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که عملیات آتش‌کاری و عملیات چال‌زنی به عنوان حساس‌ترین متغیر و پارامتر نصب سیستم نگهداری، به عنوان غیرحساس‌ترین پارامتر در این جبهه کار مطرح است. برای تخمین نرخ پیشروی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابتدا پارامترهای موثر بر نرخ پیشروی برای ساختار شبکه انتخاب و سپس به شبیه‌سازی برای دستیابی به شبکه بهینه پرداخته می‌شود. در این مطالعه، در راستای مقایسه بهتر نتایج شبکه عصبی، تعداد چال، قطر چال، طول متوسط چال‌ها و وزن کل خرج، به عنوان پارامترهای ورودی و میزان نرخ پیشروی به عنوان پارامتر خروجی شبکه در نظر گرفته شده است. داده‌ها برای آموزش مدل ۶۰ درصد، انجام فرآیند اعتبارسنجی ۲۰ درصد و به عنوان داده‌های آزمون مدل ساخته شده ۲۰ درصد، انتخاب می‌شود. به منظور آموزش شبکه عصبی با استفاده از نرم‌افزار شبکه عصبی برای کل ورودی‌ها و خروجی‌ها، یک ضریب همبستگی تعیین شده و سپس یک ضریب همبستگی کل انتخاب می‌شود که با آن، میزان دقت داده‌ها ثابت می‌شود. سیستم عصبی همبستگی این میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها را برابر با 0.98425 درصد تخمین زد. عدد نشان داده شده، به این معناست که داده‌ها میزان همبستگی خوبی دارند. اکنون می‌توان پارامترهای ورودی را به شبکه وارد کرده و نرخ انتشار گاز متان را محاسبه کرد. در شرایط مشابه، میزان توان انتشار گاز پیش‌بینی شده با شبکه عصبی با تعداد ۱۰ نرون را به صورت رابطه ۱ نشان داد. جدول ۵ نرخ انتشار گاز متان در تونل P8/TG و مقدار پیش‌بینی شده با شبکه عصبی را نشان می‌دهد. در این رابطه، P نرخ انتشار گاز متان پیش‌بینی شده و P_1 نرخ انتشار گاز متان اندازه‌گیری شده است. با جای‌گذاری مقدار نرخ انتشار گاز متان اندازه‌گیری شده، نرخ انتشار گاز متان پیش‌بینی شده به دست می‌آید. به طور میانگین، نرخ انتشار گاز متان پیش‌بینی شده با شبکه‌های عصبی برابر با 0.7784 درصد در هر کدام از این ۱۷ مقطع جبهه کار محاسبه شده است (رابطه ۱).

$$P = 0.99 \times P_1 + 0.012 \quad (1)$$

شکل ۱۴ میزان همبستگی داده‌ها برای جبهه کار P8/TG در نرم‌افزار متلب را نشان می‌دهد. همبستگی در ۴ حالت نشان داده شده است. میزان خروجی هدف و اعتبارسنجی در ۴

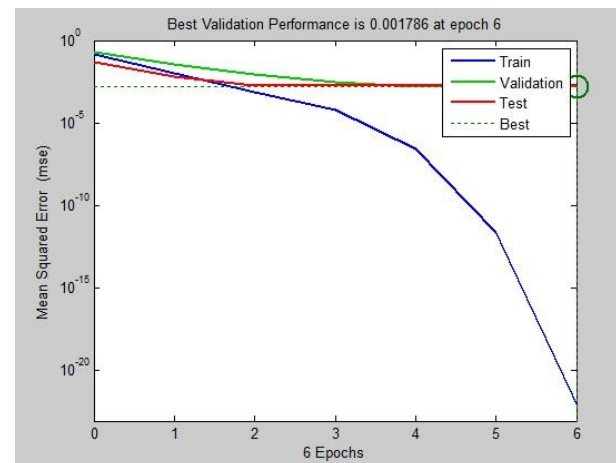
کل داده‌های ورودی به عنوان داده‌های آموزشی و کل داده‌های خروجی به عنوان داده آزمایشی، محیط مربوط شبیه‌سازی می‌شود. با توجه به این نتایج مشاهده می‌شود که نرم‌افزار با ۶ بار تکرار، دیگر کار را متوقف کرده است، چون در ۶ بار آموزش به نتیجه کافی رسیده است.

در شکل ۱۲ نتایج آموزش برای جبهه کار P8/TG در محیط نرم‌افزار متلب نشان داده شده است.



شکل ۱۲- نتایج آموزش برای جبهه کار P8/TG در محیط نرم‌افزار متلب

بیشترین کارایی شبکه عصبی در این ۶ بار تکرار، در تکرار ششم است که مقدار آن برابر 0.001786 درصد است (شکل ۱۳).

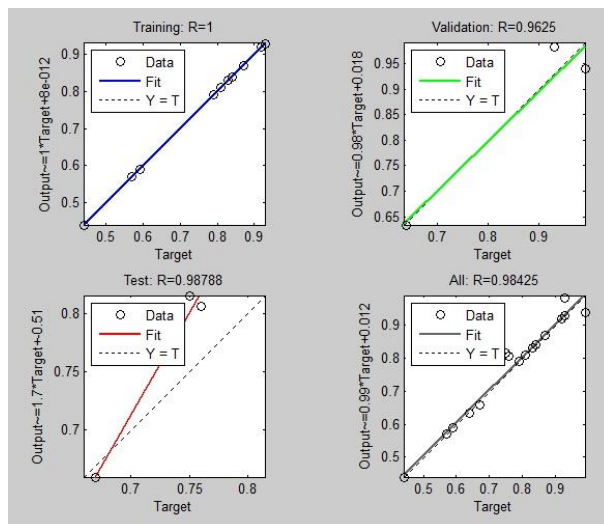
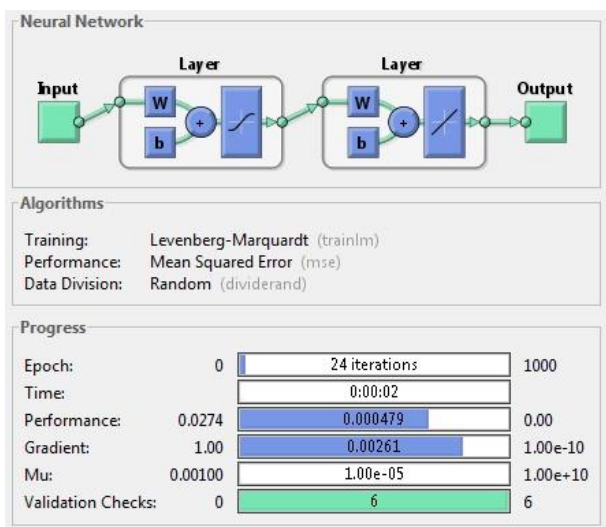


شکل ۱۳- بهترین کارایی شبکه عصبی برای جبهه کار P8/TG در نرم‌افزار متلب

اکنون می‌توان با توجه به متغیرهای ورودی ۱ تا ۶، متغیر پاسخ و میزان خطای مربوط را تعیین کرد. پس از مدل‌سازی، با

نمودار مختلف بیان شده است.

تکرار، دیگر کار را متوقف کرده است، چون در ۶ بار به نتیجه کافی رسیده است که در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۴- میزان همبستگی داده‌ها برای جبهه‌کار P8/TG در نرم‌افزار متلب

شکل ۱۵- نتایج آموزش برای جبهه‌کار P8/MG در محیط نرم‌افزار متلب

در جدول ۶ مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و تعریف شده برای جبهه‌کار P8/TG توسط شبکه عصبی بیان شده است.

جدول ۶- مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و تعریف شده برای جبهه‌کار P8/TG توسط شبکه عصبی

بیشترین کارایی شبکه عصبی در این ۶ بار تکرار، در تکرار ششم با مقدار برابر با ۰/۰۰۲۶۰۷۸ است. شبکه عصبی برای کل ورودی‌ها و خروجی‌ها، یک ضریب همبستگی تعیین کرده و سپس یک ضریب همبستگی کل انتخاب می‌کند که با آن، میزان دقت داده‌ها ثابت می‌شود. سیستم عصبی، میزان همبستگی این میزان ورودی‌ها و خروجی‌ها را برابر با ۰/۱۶۵۵۵ تخمین زده است که همبستگی به این معناست که داده‌ها همبستگی خوبی ندارند. اکنون می‌توان پارامترهای ورودی را به شبکه داده و نرخ انتشار گاز متان را محاسبه کرد. در شرایط مشابه، میزان توان انتشار گاز پیش‌بینی شده با شبکه عصبی با تعداد ۱۰ نرون، برابر با رابطه ۲ است. جدول ۶ نرخ انتشار گاز متان در تونل P8/TG و پیش‌بینی شده با شبکه عصبی را نمایش می‌دهد. در این رابطه، P نرخ انتشار گاز متان پیش‌بینی شده و P_1 نرخ انتشار گاز متان اندازه‌گیری شده است. با جای‌گذاری مقدار نرخ انتشار گاز متان اندازه‌گیری شده، نرخ انتشار گاز متان پیش‌بینی شده به دست می‌آید. به طور میانگین، نرخ انتشار گاز متان پیش‌بینی شده با شبکه‌های عصبی، برابر با ۰/۷۷۸۴ در هر کدام از این ۱۷ مقطع جبهه‌کار محاسبه شده است (رابطه ۲).

ردیف	پیش‌بینی شده	تعریف شده
۱	۰/۵۹۶۰	۰/۵۹
۲	۰/۶۴۵۶	۰/۶۴
۳	۰/۴۴۷۶	۰/۴۴
۴	۰/۶۷۵۳	۰/۶۷
۵	۰/۸۱۳۹	۰/۸۱
۶	۰/۸۳۳۷	۰/۸۳
۷	۰/۹۳۲۵	۰/۹۳
۸	۰/۵۷۶۳	۰/۵۷
۹	۰/۷۶۴۴	۰/۷۶
۱۰	۰/۸۳۳۷	۰/۸۳
۱۱	۰/۷۹۴۱	۰/۷۹
۱۲	۰/۸۴۳۶	۰/۸۴
۱۳	۰/۹۳۲۷	۰/۹۳
۱۴	۰/۹۹۲۱	۰/۹۹
۱۵	۰/۷۵۴۵	۰/۷۵
۱۶	۰/۸۷۳۳	۰/۸۷
۱۷	۰/۹۲۲۷	۰/۹۲

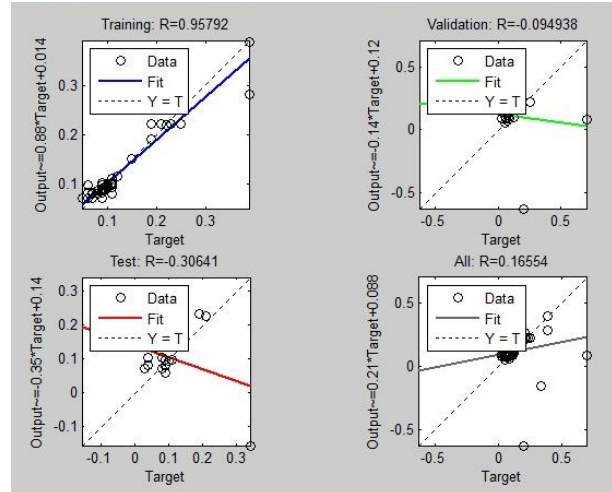
$$P = 0.21 \times P_1 + 0.088 \quad (2)$$

در شکل ۱۶ میزان همبستگی داده‌ها برای جبهه‌کار P8/MG با نرم‌افزار متلب نشان داده شده است. میزان خروجی هدف و اعتبارسنجی در ۴ نمودار مختلف بیان شده است.

با توجه به این نتایج مشاهده می‌شود که نرم‌افزار با ۶ بار

مقطع جبهه کار تونل P8/MG با استفاده از نرم افزار متلب، مدلسازی سیستم شبکه انفیس انجام شد که میانگین خطاها برابر ۰٫۷۶ درصد بدست آمد که نشان دهنده مدل فازی قابل قبولی است. با افزایش متغیر حفاری، میزان انتشار گاز متان به بیش از ۰٫۰۴ درصد می رسد. برای آتش کاری این میزان به ۰٫۰۱ و برای نگهداری به ۰٫۰۴۰ درصد می رسد. این مقدار برای خاک برداری در حالت هشدار قرار می گیرد. پیکورکاری نیز باعث تغییر میزان انتشار گاز متان تا ۰٫۰۵ درصد می شود. در مقطع جبهه کار P8/TG به صورت برداشت میدانی به مدل انفیس داده شد، میانگین مربع خطاها برابر با ۰٫۵۵ درصد بدست آمد. در این جبهه کار با افزایش پارامترهای حفاری، آتش کاری، خاک برداری و پیکورکاری، میزان انتشار گاز متان به ترتیب ۰٫۰۴، ۰٫۰۴۵، ۰٫۰۶ و ۰٫۲۵ درصد می رسد. تاثیر پارامتر نگهداری نیز کمتر از جبهه کار قبلی خواهد بود. در مدلسازی شبکه مصنوعی در این جبهه کار، پارامترهای ورودی تعداد چال، قطر چال، طول متوسط چال ها و وزن کل خرج است. میزان نرخ پیشروی به عنوان پارامتر خروجی در نظر گرفته می شود. به طور میانگین، نرخ انتشار گاز متان پیش بینی شده برابر ۰٫۷۷۸۴ درصد بدست آمد. در ۱۷ مقطع این جبهه کار میزان همبستگی بین ۰٫۹۶۲۵ تا ۰٫۹۸۷۸۸ درصد محاسبه شد. در ۱۳ مقطع جبهه کار P8/MG نیز، میزان همبستگی بین ۰٫۱۶۵۵ تا ۰٫۹۵۷۹ درصد بدست آمد. مدلسازی بر اساس تجزیه و تحلیل انتشار گاز متان، بخش های تخریب شده، انجام پذیرفت. منحنی کاهش گاز تولید شده برای بخش های تخریب معدن زیرزمینی زغال سنگ، بر اساس داده های برد کامل بلند مدت، محاسبه و رسم شد. سپس این دو مدل باهم مقایسه شد. نتایج بدست آمده، اجازه می دهد تا انتشار گاز متان پیش بینی شده، در نتیجه، دقت مدل تایید شود. با این مدلسازی می توان حجم گاز متان منتشر شده ناشی از رگه های زغال سنگ به اتمسفر را محاسبه کرد. بر اساس مدلسازی فوق، انتشار گاز متان در معدن زغال سنگ در حال افزایش است. همچنین محتوای گاز متان و شرایط زمین شناسی و معدنی بر این انتشار موثر است. با افزایش عمق بهره برداری، استخراج زغال سنگ بیشتر خواهد بود ولی برحجم انتشار گاز متان تاثیر می گذارد که برای رفع این مشکل باید متان زدایی انجام شود.

تحلیل حساسیت نشان می دهد که عملیات آتش کاری و چال زنی به عنوان حساس ترین متغیر و پارامتر نصب سیستم نگهداری، به عنوان غیر حساس ترین پارامتر در جبهه کار P8/TG است. همچنین نتایج نشان می دهد که پارامترهای عملیات آتش کاری و چال زنی بیشترین حساسیت برای جبهه کار



شکل ۱۶- میزان همبستگی داده ها برای جبهه کار P8/MG با نرم افزار متلب

در جدول ۷ مقایسه مقادیر پیش بینی شده و تعریف شده برای جبهه کار P8/MG با شبکه عصبی بیان شده است.

جدول ۷ - مقایسه مقادیر پیش بینی شده و تعریف شده برای جبهه کار P8/MG توسط شبکه عصبی

ردیف	پیش بینی شده	تعریف شده
۱	۰٫۲۰۳۴	۰٫۵۵
۲	۰٫۱۹۰۹	۰٫۴۹
۳	۰٫۱۷۴۱	۰٫۴۱
۴	۰٫۱۶۳۶	۰٫۳۶
۵	۰٫۳۳۷۹	۱٫۱۹
۶	۰٫۲۱۶۱	۰٫۶۱
۷	۰٫۲۳۵	۰٫۷
۸	۰٫۱۹۵۱	۰٫۵۱
۹	۰٫۱۹۳	۰٫۵
۱۰	۰٫۲۲۰۳	۰٫۶۳
۱۱	۰٫۲۰۳۵	۰٫۵۵
۱۲	۰٫۲۰۹۸	۰٫۵۸
۱۳	۰٫۲۴۹۵	۰٫۷۷

۶- نتیجه گیری

در این مطالعه، پیش بینی انتشار گاز متان در عملیات استخراج زغال سنگ بر اساس پارامترهای حفاری، آتش کاری، نگهداری، خاک برداری و پیکورکاری به عنوان متغیرهای ورودی و گاز متان، به عنوان متغیر خروجی در ۲ جبهه کار P8/MG به طول ۴۰۰ متر و جبهه کار P8/TG به طول ۵۰۰ متر در معدن زغال سنگ مرکزی پروده طبس، مورد بررسی قرار گرفت. در ۱۳

- growing even with declining coal production", Journal of Cleaner Production; 256, 120489. P8/MG را دارند.
6. Qingdong, Qu., Hua, Guo., Rao, Balusu, 2022, "Methane emissions and dynamics from adjacent coal seams in a high permeability multi-seam mining environment", International Journal of Coal Geology, 253, 103969.
 7. Jarosław, Brodny., Dariusz, Felka., Magdalena, Tutak, 2022, "The use of the neuro-fuzzy model to predict the methane hazard during the underground coal mining production process", Journal of Cleaner Production; 368(25), 133258.
 8. Report of the Technical Office the Central Mine of Tabas Parvadeh; 2017.
 9. Karacan, C.Ö., Diamond, W.P., Esterhuizen, G.S., Schatzel, S.J., 2005, "Numerical analysis of the impact of longwall panel width on methane emissions and performance of gob gas ventholes. In" International Coalbed Methane Symposium, Paper 0505, Tuscaloosa, Alabama.
 10. Karacan C.Ö., Ruiz F.A, Cotè M, Phipps S., 2011, "Coal mine methane: a review of capture and utilization practices with benefits to mining safety and to greenhouse gas reduction", International Journal Coal Geology; 86(2-3), 121-56.
 11. Sławomir, Kędzior., Marcin, Dreger, 2019, "Methane occurrence, emissions and hazards in the Upper Silesian Coal Basin, Poland", International Journal of Coal Geology 211, 103226.
 12. Cai J, Xu C, Xia Z, Chen Z, Li X., 2017, "Hydrate based methane recovery from coal mine methane gas in scale up equipment with bubbling". Energy procedia; 105, 4983-4989.
 13. Cai J., Xu C., Chen C., Chen Z., Li X., 2014, "Study of Hydrate Based Methane Separation from Coal Bed Methane in Scale up Equipment with Bubbling", Energy Procedia; 61, 812-816.
 14. Happel J., Hnатов MA., Meyer H., 2006, "The Study of Separation of Nitrogen from Methane by Hydrate Formation Using a Novel Apparatus". Annals of the New York Academy of Sciences 715(1):412 – 424.
 15. Jo, B. W., Khan, R. M. A., 2017, "An Event Reporting and Early Warning Safety System Based on the Internet of Things for Underground Coal Mines: A Case Study", Applied Sciences Journal.7(9) 925-950.
 16. Kumar. A., Kingson. T.M.G., Verma. R.P., Kumar. A., Mandal. R., Dutta. S., Chaulya. S.K., Prasad. G.M., 2013, "Application of Gas Monitoring Sensors in Underground Coal Mines and Hazardous Areas", International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE) 3(3), 9-22.
 17. Li X S., Cai J., Chen Z Y., Xu C G., 2012, با پیش‌بینی صحیح نرخ انتشار گازهای ناشی از معدن‌کاری زغال‌سنگ، می‌توان کاهش حوادث و همین‌طور آلودگی محیطی ناشی از گازها را انتظار داشت. با توجه به گازخیزی بالای مجموعه معادن زغال‌سنگ پروده طیس و انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضرورت توجه به متان‌زدایی از معادن پروده الزامی است. زهکشی متان بستر زغال‌سنگ (CBM) در استخراج زیرزمینی زغال‌سنگ، برای تضمین ایمنی فرآیند استخراج و مزایای زیست محیطی ارزشمند آن بسیار مهم است زیرا زهکشی می‌تواند به حذف حوادث مربوط به متان، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) و ارایه منبع انرژی پاک کمک کند.
- در مواقع اضطراری، یک توصیه برای بازرسی معادن زغال‌سنگ این است که کمیته‌ای برای بررسی تمام جنبه‌های کنترل آتش‌سوزی معادن و شرایط پس از انفجار قرار دهد. مانیتورینگ گاز به طور مداوم و الزامات مورد نیاز برای نظارت مستمر گاز همیشه مطرح می‌شود. توصیه می‌شود که نظارت مستمر مورد تایید سیستم، به صورت خودکار قادر به تعیین ترکیب اتمسفر معدن باشد.

منابع

1. Zarei Darmian, M.A., Vakili Fathabadi, M. 2019; "Function of Nanosensors in Monitoring and Gases Managing from Coal Mining with Attitude towards P8/TG and P8/MG faces in Central Mine of Tabas Parvadeh" Journal of Biosafety.11(2), 123-134.
2. Lunarzewski, L. 1998; "Gas emission prediction and recovery in underground coal mines" International Journal of Coal Geology 35, 117-145.
3. Karacan, C.Ö., Esterhuizen, G.S., Schatzel, S.J., Diamond, W.P. 2007; "Reservoir simulation based modeling for characterizing longwall methane emissions and gob gas venthole production" International Journal of Coal Geology 71, 225-245.
4. Hongxing, Z., Quanlin Y., Yuanping C., Chungui G., 2014, "Methane drainage and utilization in coal mines with strong coal and gas outburst dangers: A case study in Luling mine, China", Journal of Natural Gas Science and Engineering.,20, 357-365.
5. Nazar, Kholod., Meredydd, Evans., Raymond, C, Pilcher, Volha, Roshchanka., Felicia, Ruiz., Michael, Coté., Ron, Collings; 2020; "Global methane emissions from coal mining to continue

24. Zhong D L., Ding K., Yan J., Yang C., Sun D J., 2013, "Influence of Cyclopentane and SDS on Methane Separation from Coal Mine Gas by Hydrate Crystallization", *Energ Fuel*, 27(12), 7252–7258.
25. Zhang BY., Wu Q., 2010, "Thermodynamic Promotion of Tetrahydrofuran on Methane Separation from Low Concentration Coal Mine Methane Based on Hydrate", *Energ Fuel*, 24(4), 2530–2535.
26. Zhong DL., Daraboina N., Englezos P., 2013, "Coal Mine Methane Gas Recovery by Hydrate Formation in a Fixed Bed of Silica Sand Particles", *Energ Fuel*, 27(8), 4581–4588.
27. Zhong D L., Ding K., Lu Y Y., Yan J., Zhao W L., 2016, "Methane recovery from coal mine gas using hydrate formation in water in oil emulsions", *Applied Energy*, 162(15), 1619-1626.
28. Zhao J Z., Tian Y Q., Zhao Y S., Cheng W P., 2015, "Experimental Investigation of Effect on Hydrate Formation in Spray Reactor", *Journal of Chemistry*, <https://doi.org/10.1155/2015/261473>
29. <http://www.usmra.com/>
۳۰. طاهری، ع؛ سرشکی، ف؛ دولتی ارده جانی، ف؛ میرزا قربانعلی، ع؛ ۱۳۹۶، «مدلسازی جریان گاز متان در منافذ زغال سنگ به منظور عملیات گاززدایی و اعتبارسنجی آن، مطالعه موردی: معدن زغال سنگ پروده طبس ایران» پایان نامه دکتری
18. Olajosy A., Gawdzik A., Budner Z., Dula J. 2003, "Methane separation from coal mine methane gas by vacuum pressure swing adsorption". *Chemical Engineering Research and Design*, 81(4), 474-482.
19. Raheem. S. R., 2011, "Remote monitoring of safe and risky regions of toxic gases in underground mines": a preventive safety measures., In: Postgraduate Diploma thesis report, African Institute for Mathematical Sciences (AIMS), South Africa.
20. Stasinska B., Napieraj S., 2009, "Recovery of methane from coal mine ventilation air", *Przem Chem*, 88, 1121-1124.
21. Sun Q., Guo XQ., Liu AX., Dung J., Liu B., Zhang JW., 2012, "Experiment on the Separation of Air Mixed Coal Bed Methane in THF Solution by Hydrate Formation", *Energ Fuel*, 26(7), 4507-4513.
22. Warmuzinski K., 2008, "Harnessing methane emissions from coal mining", *Process Safety and Environmental Protection* 86(5), 315-320.
23. Xu C G., Cai J., Li X S., Lv Q N., Chen Z Y., Deng H W., 2012, "Integrated Process Study on Hydrate Based Carbon Dioxide Separation from Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Synthesis Gas in Scaled Up Equipment", *Energ Fuel*, 26(10), 6442–6448.