فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال ششم، شماره ۱۸، بهار ۱۳۹۱

پیش‌بینی خردایش ناشی از انفجار در معادن – مطالعه موردی: معدن سنگ آهن گل‌گهر

احمد اسدی[۱]، ایمان عنایت الهی[۲]

۱- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب asadi@azad.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۲/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۹/۱۱

چکیده

حفاری و انفجار تقریباً ۳۰ درصد کل هزینه‌های عملیاتی در معادن روباز را شامل می‌شود که این مقدار درصورت ایجاد قطعات بزرگ سنگ و با توجه به نیاز به انفجارهای ثانویه تا ۵۰ درصد نیز افزایش می‌یابد. انفجار خوب تنها موجب کاهش هزینه‌های مربوط به انفجارهای ثانویه نمی‌شود بلکه از دیگر پیامدهای یک انفجار خوب می‌توان به کاهش آسیب‌های محیط زیستی، اجرای آسان مراحل بعد از انفجار یعنی بارگیری، باربری و مراحل خردایش و فرآوری اشاره کرد. با توجه به موارد فوق پیشنهاد مدلی برای پیش‌بینی ابعاد سنگ خرد شده و تخمین پراکندگی خردایش بسیار مهم است و نتایج حاصله از آن می‌تواند بسیار سودمند باشد. در این تحقیق با انجام یکسری انفجار در معدن سنگ آهن گل گهر عوامل انفجاری مؤثر بر انفجار و خردایش سنگ، به وسیله طراحی آزمایش به روش تاگوچی و شبکه‌های عصبی مورد ارزیابی قرار گرفتند و با اجرای الگوی بدست آمده از این دو روش میزان خردایش به ترتیب ۵۷/۵ و ۶۰ سانتیمتر بدست آمد که به ابعاد سنگ مورد نیاز معدن گل‌گهر بسیار نزدیک شد. همچنین برخی از مشکلات زیست محیطی با اجرای این الگوی انفجاری کاهش یافت.

واژگان کلیدی: انفجار، خردایش سنگ، طراحی آزمایش به روش تاگوچی، شبکه عصبی چند لایه

مقدمه

میزان خردایش و توزیع ابعاد سنگ خرد شده در اثر انفجار بسته به هدف از انجام انفجار می‌تواند متفاوت باشد. برای مثال در معادن روباز خردشدگی مناسب و خوب برای سنگ‌های باطله مد نظر نیست ولی برای ماده معدنی انتظار خردشدگی مناسب را داریم [8]. در هر انفجار تنها حدود۳۰٪ از انرژی ماده منفجره به امواج فشاری تبدیل می‌شود. از آن جا که این امواج بعد از برخورد با سطح آزاد در سنگ انعکاس پیدا می‌کنند، در صورت کافی نبودن و عدم رسیدن این انرژی به سنگ‌ها احتمال بوجود آمدن سنگ‌های درشت بسیار زیاد خواهد بود. امواج فشاری وظیفه ایجاد ترک‌های شعاعی را بر عهده دارند و امواج

کششی عمل خرد کردن را انجام می‌دهند [9]. برای خرد کردن سنگ باید فشردگی موج ضربه اولیه بیشتر از مقاومت سنگ باشد. برای رسیدن به این هدف خرج مصرفی در چال انفجاری باید به طور کامل و بدون هیچ فضای خالی با سنگ در ارتباط باشد. البته به منظور کاهش فشار ناشی از انفجار می‌توان فضاهای خالی در بین خرج درون چال انفجاری تعبیه نمود [10]. فرآیند خرد شدن سنگ قبل از حرکت توده سنگ شروع و تا جابجایی کامل سنگ ادامه می‌یابد. خرد شدن سنگ به علت وجود سه عامل به شرح زیر رخ می‌دهد [11]:

- تنش‌های کششی ناشی از انعکاس تنش فشاری وارده به سنگ در سطح آزاد
- تنش‌های کششی وارد شده به سنگ ناشی از فشار مستمر گاز داخل چال
- برخورد سنگ‌های پرتاب شده

ابعاد سنگ‌های منفجر شده باید به اندازه‌ای کوچک باشد که بارگیری آن ها به آسانی انجام شود و نیازی به انجام انفجارهای ثانویه نباشد. از سوی دیگر از تولید خرده‌های بسیار ریز پیشگیری شود زیرا موجب از دست رفتن انرژی و تولید گرد و غبار می‌شود. هر چند اندازه جام سیستم بارگیری، بزرگترین اندازه سنگ‌های منفجر شده را تعیین می‌کند، اما تعیین کوچکترین اندازه سنگ‌های خرد شده در اثر انفجار مشکل می‌باشد و چنانچه اندازه سنگ‌های منفجر شده کوچکتر از اندازه مورد نظر باشد موجب به هدر رفتن ماده منفجره و افزایش هزینه‌ها خواهد شد.

به همین دلیل با توجه به نوع ماشین بارگیری و اندازه ورودی سنگ‌شکن اولیه، در هر معدن متوسط اندازه خرده‌های انفجاری باید از یک اندازه بهینه برخوردار باشند [12,15].

در حدود ۳۰ سال پیش مک کنزی نمودارهایی را که نشان دهنده هزینه‌های مرتبط با هر یک از عملیات معدنی با توجه به خردایش می‌باشد را در معدن کوبک-کارتیر بدست آورد. عملیات معدنی که برای تهیه این نمودارها در نظر گرفته شد، عبارت بودند از حفاری، انفجار، بارگیری، باربری و خردایش سنگ با استفاده از سنگ شکن [16,18].

مشاهدات مک کنزی منجر به بدست آمدن نمودارهای هزینه بر اساس میانگین ابعاد خردایش گردید. مک کنزی نشان داد که هزینه‌های بارگیری، باربری و خرد کردن سنگ با سنگ‌شکن با افزایش خردایش سنگ کاهش می‌یابد، در حالی که با افزایش خردایش سنگ هزینه‌های حفاری و انفجار افزایش می‌یابد [17,18]. در این تحقیق برای پیش‌بینی خردایش ناشی از انفجار در معدن گل گهر از طراحی آزمایش به روش تاگوچی استفاده شد. برای مقایسه نتایج نیز روش شبکه‌های عصبی به کار گرفته شد. همچنین برای اصلاح خردایش سنگ ناشی از انفجار در این معدن با استفاده از طراحی آزمایش و شبکه عصبی الگوی انفجاری جدیدی معرفی و استفاده شده که نتایج خوب و مناسبی از به کارگیری این روش‌ها بدست آمد.

در این مطالعه نتایج انفجارهایی که در پنج پله معدن سنگ آهن گل گهر صورت پذیرفت جمع‌آوری گردیده شد. هفت پارامتر به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفته شد که در جدول (۲) نشان داده شده است. در این پژوهش، d_{80} به عنوان پارامتر خروجی لحاظ گردید. برای تعیین میزان d_{80} از آنالیز تصویری و نرم‌افزار *Goldsize-2.0* استفاده شد. برای انجام آنالیز تصویری با استفاده از این نرم افزار، حدود ۲۵-۲۰ عکس بعد از هر انفجار و در حین بارگیری تهیه و مورد آنالیز قرار گرفت (شکل ۱).

شکل ۱- نمونه عکس برای آنالیز با نرم‌افزار *Goldsize*

طراحی آزمایش به روش تاگوچی

کلیه فرآیندها دارای ورودی و خروجی و همچنین شامل پارامترهای قابل کنترل و غیر قابل کنترل می‌باشند. بنابراین اگر میزان و شیوه اثرگذاری هر عامل در جریان تبدیل ورودی به خروجی مشخص باشد می‌توان آن فرآیند را کنترل کرد. طراحی آزمایش دانشی است که به کمک آن می‌توان میزان اثرپذیری هر یک از عوامل مؤثر بر فرآیند ($X1,X2,...$) را بر مشخصه‌های خروجی ($Y1,Y2,...$) به شکل یک معادله $Y_i=f(X_i)$ بیان کرد. به عبارت دیگر طراحی آزمایش را می‌توان به صورت ایجاد تغییرات هدفمند در مشخصه‌های ورودی یا فاکتورهای یک فرآیند برای مشاهده تغییرات در مشخصه خروجی تعریف کرد. اینکه این عوامل چگونه باشند تا بهترین مشخصه خروجی بدست آید مهم است. طراحی آزمایش به این سوالات پاسخ می‌دهد [19]. از اهداف کلی طراحی آزمایش می‌توان به موضوعاتی چون کاهش تعداد آزمایش‌ها و در نتیجه کاهش زمان و هزینه‌ها، تعیین متغیرهایی که بیشترین تاثیر را در پاسخ دارند و حذف فاکتورهای غیر ضروری، محاسبه درصد اهمیت هر متغیر و تعیین شرایط بهینه اشاره کرد [20]. فایگنبام مبتکر واژه کنترل جامع کیفیت در سال ۱۹۵۱ میلادی کیفیت را توانایی یک محصول در بر آوردن هدف مورد نظر با حداقل هزینه ممکن تولید تعریف کرد. یکی از مطمئن ترین روش‌های آماری برای بهبود کیفیت، استفاده از روش‌های طراحی آزمایش است. از روش طراحی آزمایش می‌توان در تولیدات جدید و یا بهینه کردن سیستم‌های در حال تولید استفاده کرد. استفاده صحیح از روش‌های طراحی آزمایش آماری می‌تواند باعث سهولت مراحل طراحی و تولید محصولات جدید، کاهش زمان و هزینه‌های مصرفی تعیین شرایط بهینه تولید با سطح اطمینان بالا و بهبود عملکرد محصولات تولید شده شود [۱]. در طراحی آزمایش به روش تاگوچی از آریه‌های متعامد استفاده می‌شود. یک آرایه متعامد، ماتریسی است که سطرهای آن سطح‌های فاکتورها در هر آزمایش و ستون‌های آن تعداد فاکتورها را نشان می‌دهند [۱]. آرایه های متعامد را به صورت $Ln(X^y)$ نشان می‌دهند که L حرف اول کلمه *Latin Squares*، n بیانگر تعداد آزمایش‌ها X نشانه تعداد سطح‌های فاکتور و y بیانگر حداکثر تعداد فاکتورهایی که با آرایه مورد نظر قابل بررسی می‌باشد [۲]. به طور کلی طراحی آزمایش ۳ مرحله دارد که عبارتند از فاز برنامه‌ریزی اجرایی و تجزیه و تحلیل. فاز برنامه‌ریزی موارد زیر را شامل می‌شود:

- تعریف و شرح کامل مساله
- شرح هدف یا اهداف آزمایش
- انتخاب متغیرهای سیستم و یا فاکتورهای مؤثر بر میزان پاسخ
- انتخاب سطوح فاکتورها
- انتخاب آرایه متعامد متناسب بر اساس تعداد فاکتورها و سطوح آن ها
- گذاردن فاکتورها و اثرات متقابل در آرایه متعامد

اجرای آزمایش با توجه به شرایط آنها در آرایه متعامد

و به دست آوردن پاسخ‌ها در فاز اجرایی انجام می‌شود و تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج آزمایش‌ها و اجرای آزمایش تأییدیه در فاز تجزیه و تحلیل قابل اجرا می‌باشد [۳]. در این تحقیق با طراحی آزمایش به روش تاگوچی و با استفاده از نرم افزار *Qualitek-4* که مختص روش تاگوچی طراحی شده است از بین سطوح انتخاب شده برای هر یک از فاکتورها مهمترین سطح انتخاب شود.

تجزیه و تحلیل آزمایش‌ها به وسیله طراحی آزمایش به روش تاگوچی

در این تحقیق هفت فاکتور (شش فاکتور چهار سطحی و یک فاکتور سه سطحی) انتخاب شد و با استفاده از نرم افزار *Qualitek-4* مشخص شد که تعداد ۳۲ انفجار برای بررسی و پیش‌بینی خردایش ناشی از انفجار مورد نیاز است. یعنی آرایه متعامد برای این مدل طراحی آزمایش به صورت $L_{32}(6^4*1^3)$ می‌باشد. فاکتورهای مورد نظر در این آزمایش عبارتند از طول چال (*H*)، خرج ویژه (*CE*)، حفاری ویژه (*sd*)، نسبت فاصله ردیفی به بارسنگ (*S/B*)، گل‌گذاری (*st*) بارسنگ (*B*) و تعداد ردیف انفجاری (*N*). همان طور که پیشتر نیز مطرح شد خروجی مورد نظر میزان خردایش بدست آمده از آنالیز تصویری است. سطوح در نظر گرفته شده برای هر یک از این فاکتورها برای طراحی آزمایش در جدول۱ آورده شده است. با توجه به سطوح انتخابی برای هر یک از فاکتورها، ۳۲ آزمایش که به وسیله نرم افزار *Qualitek-4* تعیین شده بود، انجام شد که در جدول ۲ شماره سطوح انتخابی برای هر یک از آزمایش‌ها و نتایج آنها آورده شده است. برای وارد کردن مقادیر هر یک از فاکتورها در نرم افزار *Qualitek-4* باید شماره سطح هر فاکتور به عنوان ورودی نرم افزار در نظر گرفته شود و برای پاسخ (خروجی) میزان خردایش که با استفاده از آنالیز تصویری تعیین شده است به نرم افزار داده می‌شود. در طراحی آزمایش پاسخ به صورت یکی از حالت های بیشتر- بهتر، کمتر- بهتر و نزدیک‌تر- بهتر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. که در اینجا برای ارزیابی پاسخ‌ها حالت نزدیکتر بهتر - بهتر انتخاب شده است. با توجه به اینکه میزان خردایش مورد نظر در معدن سنگ آهن گل‌گهر بین ۷۵-٦۵ سانتیمتر است، مقدار ۷۰ سانتیمتر برای نرم‌افزار به عنوان مقدار مورد نظر برای دستیابی به آن تعریف شد. بعد از اتمام مراحل فوق و تجزیه و تحلیل ورودی‌ها و خروجی‌ها به وسیله نرم افزار بهترین الگوی انفجاری به صورت **Error! Reference source not found.** بدست آمد. نرم افزار *Qualitek-4* مقدار خردایش را با در نظر گرفتن الگوی انفجاری پیش‌بینی شده ۵۷/۵ سانتیمتر پیش‌بینی کرد. در جدول ۳، درجه آزادی (*DOF*) از تفاضل یک واحد از تعداد سطوح هر پارامتر بدست می‌آید. ضریب فشر برای معنی دار بودن اثر هر پارامتر استفاده می شود. همچنین (*P*) درصد سهم هر فاکتور در توزیع پراکندگی را نشان می‌دهد. همچنین هرچه سهم مربوط به خطا در آزمایشی کمتر از ۱۵ درصد باشد این نشانه قابل قبول بودن طراحی آزمایش انجام شده می‌باشد. سهم مربوط به خطا در این طراحی آزمایش ۲/۵۸٤ به دست آمد. نتیجه حاصل از تجزیه و تحلیل به وسیله طراحی آزمایش به روش تاگوچی باید به صورت عملی مورد آزمایش قرار گیرد. پس از اجرای آزمایش بر اساس الگوی انفجاری پیش‌بینی شده به وسیله نرم افزار*Qualitek-4* در معدن گل‌گهر میزان خردایش در این انفجار با استفاده از آنالیز تصویری ۵۷/٦۵ سانتیمتر به دست آمد.

جدول۱- فاکتور ها و سطوح در نظر گرفته شده برای طراحی آزمایش

ردیف	فاکتورها	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم
۱	طول چال	۱۷/۵	۱۷	۱۶/۵	۱۶
۲	خرج ویژه	۰/۳۰	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲
۳	حفاری ویژه	۰/۰۳۵	۰/۰۳۲	۰/۰۳۰	۰/۰۲۸
٤	S/B	۱/۳۳	۱/۲۵	۱/۲	۱/۱۸
۵	گل‌گذاری	۷	٦/۵	٦	۵/۵
٦	بارسنگ	-	٦	۵/۵	۵
۷	تعداد ردیف انفجاری	۵	٤	۳	۲

جدول ۲- الگوی انفجاری پیش‌بینی شده به وسیله نرم افزار *Qualitek-4*

ردیف	پارامتر	H	CE	Sd	S/B	St	N	B
۱	مقادیر	۱٦/۵	۰/۲	۰/۰۳	۱/۲۵	۵/۵	۵	۵
۲	سطوح	۲	۱	۲	۳	۱	٤	۱

جدول۳- آنالیز ANOVA مربوط به پیش‌بینی خردایش در معدن گل‌گهر

پارامترها	DOF	Sum of Squs (s)	Variance (v)	F-Ratio	Pure Sum (s')	Percent p (%)
H	۳	۲۰۵/۵	٦۸/۵۳	۸/۸۸	۱٤۲/٤٦	۳۳/۰۲
CE	۳	۳۷/۵۹	۱۲/۵۳	۱/٦۲	۱۷/٤٦۳	۲/٦۱
sd	۳	٤۲/۵۹	۱٤/۱۹	۱/۸٤	۲۰/٤٦	۳/۵۲
S/B	۳	۱٤۲/۸٤	٤۷/٦۱	٦/۱۷	۱۱۹/۷۱	۲۱/٦٦
st	۳	۲۵/۵۹	۱٦/۵۳	۱/۸٤۷	۱۵/٤۲	۳/۲۱
N	۳	۳۰/۰۹	۱٦/۰۳	۱/۷۸	۱٤/۵۱	۲/۱۲
B	۲	۲۱/۳٤	۱۲/٦۷	۱/۰۸	۱٤/۰۱	۳/۰۳

شبکه های عصبی

شبکه‌های عصبی با الهام از ساختار مغز انسان و عملکرد آن به وجود آمده‌اند و تا به حال نتایج شگفت‌آوری به دنبال داشته‌اند. امروزه با استفاده از هوش محاسباتی سیستم‌هایی ساخته شده که قابلیت یادگیری دارند. این سیستم‌ها می‌توانند در محیط متغیر کارکنند [٤,٦].

در شبکه‌های عصبی آموزش فرآیندی است که طی آن شبکه یاد می‌گیرد تا الگوی موجود در ورودی‌ها را که

به صورت مجموعه داده‌های آموزشی است، بشناسد. در این مرحله مجموعه داده‌های آموزشی شامل مقادیر متغیرهای ورودی و جواب مرتبط با آن به شبکه وارد می‌شود. این امر امکان یادگیری شبکه را فراهم می‌کند. برای این منظور شبکه عصبی از مجموعه‌ای از قوانین یادگیری که نحوه یادگیری را تعریف می‌کنند استفاده می‌کند. تعمیم، توانایی شبکه برای ارائه جواب قابل قبول در قبال ورودی‌هایی که در مجموعه آموزشی نبوده اند، می‌باشد. استفاده از شبکه برای انجام عملکردی که به منظور آن طراحی شده است را اجرا می‌نامند [۷]. در این تحقیق برای ارزیابی داده‌ها به وسیله شبکه عصبی از نرم‌افزار *Alyuda NeuroIntelligence* استفاده شد. این نرم‌افزار به دو صورت دستی و خودکار داده‌ها را به سه گروه آموزش و آزمون تقسیم می‌کند. این کار در بخش *Analayze* صورت می‌گیرد. در این تحقیق از مجموع ۷۰ داده جمع‌آوری شده ۵۵ داده برای آموزش و ۱۵ مورد برای آزمون شبکه در نظر گرفته شد. این تعداد داده برخلاف تعداد داده‌های مورد نیاز برای طراحی آزمایش است و تعداد داده‌های مورد استفاده برای شبکه عصبی بیشتر است. در مورد شبکه‌های عصبی هر چه تعداد داده‌های مورد بررسی بیشتر باشد نتایج به دست آمده بهتر و قابل اعتمادتر می‌باشد. به همین دلیل در این بخش از این تحقیق از داده‌های بیشتری نسبت به طراحی آزمایش استفاده شده است. برای رسیدن به مناسب‌ترین ساختار شبکه، تعداد لایه و نرون‌های میانی و توابع انتقال مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. با استفاده از این نرم‌افزار تعداد لایه‌های پنهان ۳ عدد و تعداد نرون ها بر طبق موارد مندرج در بخش آموزش این نرم‌افزار چهار برابر تعداد پارامترهای ورودی در نظر گرفته شد. این نرم‌افزار بعد از تعیین تعداد لایه‌ها و نرون‌ها به طور خودکار تمام شبکه‌های ممکن که می‌توان ساخت را آزمایش می‌کند و ساختار شبکه‌ای که بیشترین ضریب همبستگی و ارتباط بین پارامترهای ورودی و خروجی به انضمام کمترین خطای آموزش و آزمون را داشته باشد انتخاب می‌کند. از این رو شبکه‌ای با ساختار ۱-۱۱-۷-۷ (این ساختار به معنی این است که شبکه طراحی شده دو لایه پنهان، یک لایه ورودی و یک لایه خروجی دارد. در لایه ورودی ۷ نرون، لایه خروجی یک نرون لایه پنهان اول ۷ و لایه پنهان دوم ۱۱ نرون وجود دارد.) با خطای آموزش $۲/٤۹ \times ۱۰^{-۷}$، خطای آزمون ۰/۰۰۰۵٤ را به عنوان بهترین ساختار شبکه عصبی انتخاب نمود توابع انتقالی که برای هر نرون در هر لایه مورد آزمایش قرار گرفت، شامل توابع تانژانت سیگموئید لگاریتم سیگموئید و خطی خالص بوده‌اند که از جمله کاربردی ترین توابع انتقال در حل مسائل مهندسی به شمار می‌آیند.

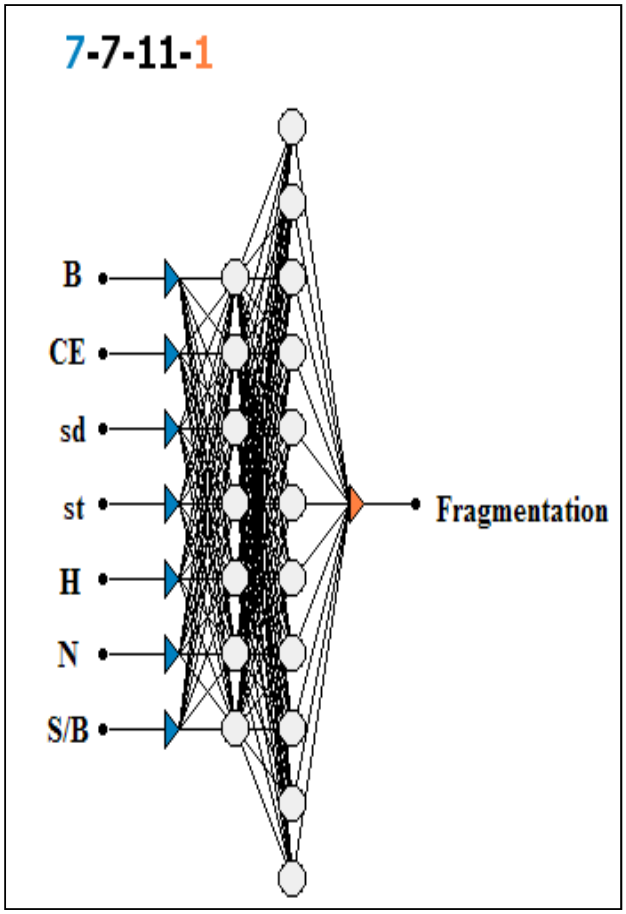
در قسمت آزمون علاوه بر آزمایش کردن شبکه نمودارهای مختلفی را برای ارزیابی و بررسی نتایج در اختیار قرار می‌دهد که از آن جمله می‌توان نمودارهای مقایسه‌ای خروجی شبکه عصبی و خروجی واقعی را نام برد (**Error! Reference source not found.** شکل). بعد از طراحی شبکه عصبی می‌بایست آموزش شبکه انجام شود. که برای انجام آموزش از قسمت *Training* نرم‌افزار استفاده شد. در نمودار **Error! Reference source not found.** دو خط دیده می‌شود که خط قرمز رنگ نشان دهنده مقادیر واقعی و خط آبی رنگ نشان دهنده مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله شبکه عصبی می‌باشد. در این تحقیق با توجه به نمودار **Error! Reference source not found.** این دو خط در بیشتر قسمت‌ها کاملاً بر هم منطبق می‌باشند

و تنها در قسمت‌های کمی بر هم منطبق نیستند. این مورد نشان دهنده دقت بالای شبکه عصبی در پیش‌بینی میزان d_{80} مطلوب معدن گل‌گهر می‌باشد. شکل نشان دهنده نمودار رگرسیونی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده می‌باشد. در این نمودار خط سیاه رنگ نشان دهنده مقادیر واقعی و نقاط آبی رنگ نشان دهنده مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله شبکه عصبی می‌باشد. نزدیکی این نقاط به خط قرمز رنگ در این شکل همانند نمودار قبل نشان دهنده دقت بالای شبکه عصبی می‌باشد. ضریب همبستگی (R^2) نمودار شکل برابر با ۰/۹۸٤٥ و ارتباط بین پارامترهای ورودی و خروجی (Correlation) ۰/۹۸٦۳ بدست آمد که در شکل **Error! Reference source not found.** دیده می‌شود.

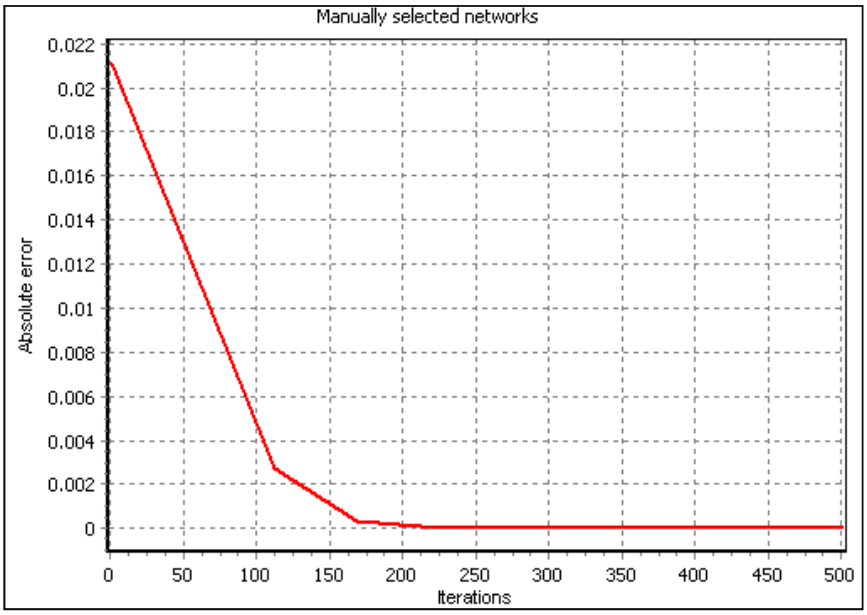
مقدار خروجی واقعی بدست آمده از آنالیز تصویری به طور میانگین ۰/٤۱۸٥ متر بدست آمد که به خروجی پیش‌بینی شده به وسیله شبکه بسیار نزدیک است.

شبکه عصبی این مقدار را به طور متوسط ۰/٤۲۳۳ متر پیش‌بینی نمود. آخرین بخش از کار شبکه‌های عصبی به وسیله این نرم‌افزار قسمت پیش‌بینی آن است. در این بخش بعد از انجام آموزش و آزمون شبکه عصبی می‌توان به هر یک از پارامترهای ورودی و خروجی مقادیری اختصاص داد و مقدار خروجی را دریافت کرد.

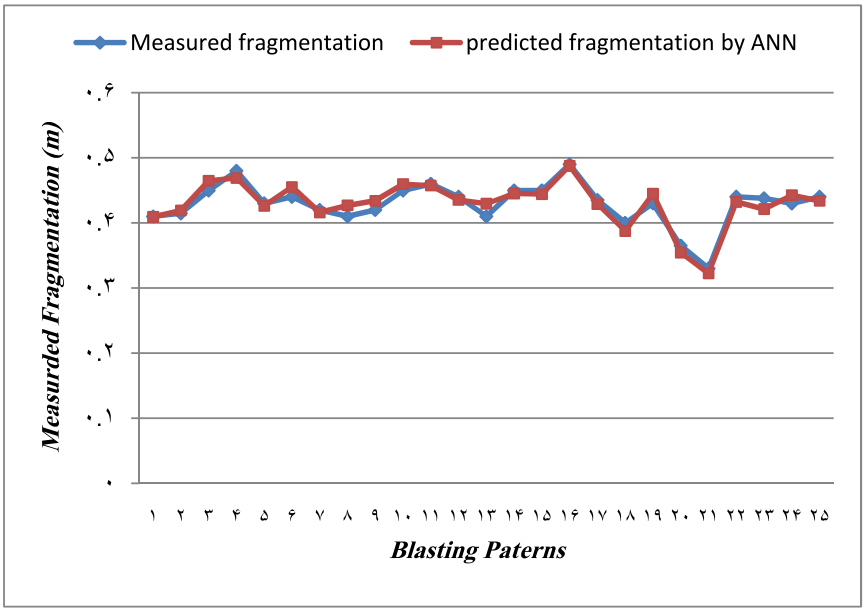
بعد از انتخاب الگوریتم مناسب برای آموزش و اتمام عملیات آموزش شبکه عصبی، در قسمت *Training* نرم‌افزار آنالیز حساسیت را انجام داده شد. این مورد تاثیر هر یک از ورودی‌ها را در تعیین خروجی نشان می‌دهد. نتیجه آنالیز حساسیت به صورت جدول٤ است. در این تحقیق قبل از تغییر پارامترها و تعریف الگوی انفجاری جدید، برای اینکه دقت شبکه عصبی بررسی شود و مشخص گردد که رابطه بین ورودی‌ها و خروجی از دقت مناسبی برخوردار است، سه انفجار برای انجام اعتبار سنجی در نظر گرفته شد. عکس‌های مورد نیاز برای انجام آنالیز تصویری به وسیله نرم افزار *Goldsize* از این سه انفجار تهیه شد. سپس نتایج بدست آمده از آنالیز تصویری با نتایج حاصل از شبکه عصبی مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن به شرح جدول ٥ می‌باشد.



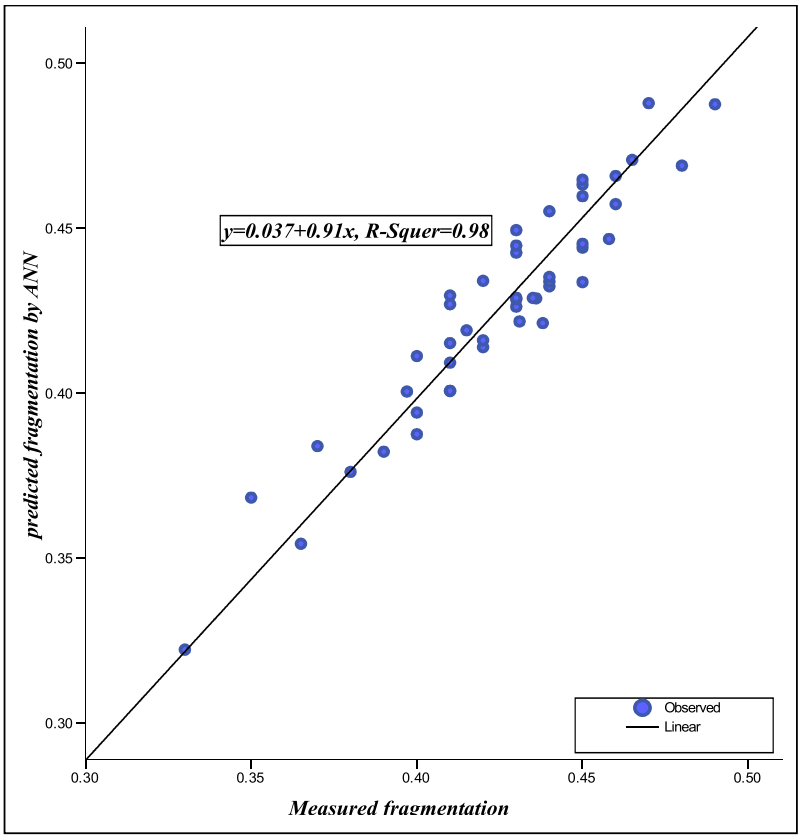
شکل۲- ساختار شبکه عصبی برای پیش‌بینی میزان d_{80} معدن سنگ آهن گل‌گهر



شکل۳- نمودار خطای طراحی شبکه



شکل٤– نمودار مقایسه بین خروجی‌های واقعی و پیش‌بینی شده به وسیله شبکه عصبی



شکل٥– نمودار مقایسه بین خروجی‌های واقعی و پیش‌بینی شده

جدول٤- درصد اهمیت هر یک از پارامتر ها در شبکه عصبی

پارامترهای ورودی	بارسنگ	تعداد ردیف	گل گذاری	نسبت S/B	حفاری ویژه	خرج ویژه	طول چال
درصد اهمیت	۱۷/۹۱	۳/۷٤	۱۵/۹۹	۱۱/۳٦	۱۱/۹۳	۱۵/۸۲	۲۳/۲۵

جدول ۵- مقایسه نتایج Gold size و شبکه عصبی سه انفجار مربوط به اعتبار سنجی

شماره انفجار	نتیجه *Gold size* (*m*)	نتیجه شبکه عصبی (*m*)
۱	۰/٤٤	۰/٤٥٥٨
۲	۰/٤۲۷	۰/٤۳۸۳
۳	۰/٤۳	۰/٤۲۷۸

بعد از اعتبارسنجی ذکر شده با سه انفجار و اطمینان کافی از دقت شبکه عصبی در پیش‌بینی، اصلاح الگوی انفجاری به وسیله شبکه عصبی انجام شد. برای اصلاح الگوی انفجاری ایجاد تغییرات در پارامترهایی با بالاترین حساسیت مورد استفاده قرار گرفت. الگوی انفجاری شماره ٤۰-۱۲ الگوی برای ایجاد تغییرات در نظر گرفته شد. میزان d_{80} با توجه به الگوی مد نظر مهندسان انفجار معدن گل‌گهر قبل از تغییرات برای اصلاح الگو، با استفاده از شبکه عصبی ۰/۵۵٦۳ متر بدست آمد. با توجه به آنالیز حساسیت می‌بایست پارامترهای طول چال و نسبت *S/B* که بیشترین تاثیر را در نتیجه دارند تغییر داده می‌شدند. اما به دلیل حساس بودن این پارامترها، تغییر در سایر پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت بعد از انجام بررسی‌های لازم گل‌گذاری به عنوان مناسب‌ترین پارامتر برای تعییر در این الگوی انفجاری در نظر گرفته شد. میزان گل‌گذاری مد نظر مهندسان انفجار معدن گل‌گهر برای این الگو ۵/٦ متر بود که در قسمت پیش‌بینی شبکه عصبی تغییراتی بر روی این میزان گل‌گذاری انجام شد که نتایج این تغییرات در جدول ٦ آورده شده است. با توجه به نتایج این پیش‌بینی برای میزان گل‌گذاری و همچنین افزایش میزان گل‌گذاری، در نهایت تصمیم گرفته شد که متراژ گل‌گذاری ٦/۳ متر برای الگوی ٤۰-۱۲ معدن گل‌گهر به کار گرفته شود. با توجه به نتایج پیش‌بینی شبکه عصبی برای تغییر در میزان گل‌گذاری که در جدول ٦ آورده شده است امکان انتخاب مقادیر بالاتر از ٦/۳ متر برای گل‌گذاری و آزمایش آن در الگوی انفجاری مذکور وجود داشت. اما با توجه به این که تنها یک بار امکان آزمایش این تغییر در معدن سنگ آهن گل‌گهر وجود داشت و همچنین به دلیل کاهش ریسک ناشی از اجرای این تغییر در الگوی انفجاری٤۰-۱۲ و جلوگیری از ایجاد سنگ‌های درشت بعد انفجار در معدن گل‌گهر، با انجام بررسی‌ها میزان گل‌گذاری ٦/۳ متر انتخاب شد.

جدول ٦- بررسی تغییرات گل گذاری در شبکه عصبی برای الگوی انفجاری ٤٠-١٢ معدن سنگ آهن‌گل‌گهر

گل‌گذاری (m)	٦/٧	٦/٦	٦/٥	٦/٤	٦/٣	٦/٢	٦/١	٦	٥/٩	٥/٨	٥/٧	٥/٦
پیش‌بینی d_{80} به وسیله شبکه عصبی (m)	٠/٦٥٤٩	٠/٦٤٥٨	٠/٦٣٦٨	٠/٦٢٨	٠/٦١٩٤	٠/٦١٠٩	٠/٦٠٢٦	٠/٥٩٤٥	٠/٥٨٦٥	٠/٥٧٨٧	٠/٥٧١١	٠/٥٦٣٦

جدول ٧- نتایج اعتبار سنجی مدل بدست آمده از طراحی آزمایش با انجام سه مرحله انفجار

پارامتر	H	CE	Sd	S/B	St	N	B	خردایش پیش‌بینی شده با استفاده از طراحی آزمایش (m)	خردایش پیش‌بینی شده با استفاده از آنالیز تصویری (m)	خردایش پیش‌بینی شده با استفاده از شبکه عصبی (m)
مقادیر هر انفجار	١٧	٠/٢٥	٠/٠٣	١/١٨	٦	٤	٥/٥	٠/٤١	٠/٤٢	٠/٤٣
	١٦/٥	٠/٢٥	٠/٠٣	١/٢	٥	٤	٥	٠/٤٤٥	٠/٤٤	٠/٤٣
	١٧/٥	٠/٢	٠/٠٣٥	١/٢	٥/٥	٤	٥/٥	٠/٤١٧	٠/٤٢	٠/٤٣

انفجار با این تغییر صورت پذیرفت و مجدداً عکس‌های مورد نیاز جهت انجام آنالیز تصویری تهیه شد و مورد آنالیز قرار گرفت که مقدار d_{80} حاصله از آنالیز تصویری ٠/٦ متر به دست آمد که به مقدار بدست آمده از بخش پیش‌بینی شبکه عصبی بسیار نزدیک است. شبکه عصبی میزان d_{80} را با گل‌گذاری ٦/٣ متر، ٠/٦٢ متر پیش‌بینی کرده بود.

بحث و بررسی

بعد از انجام بررسی‌های لازم با استفاده از طراحی آزمایش و شبکه‌های عصبی، سه انفجار برای ارزیابی و مقایسه نتایج انتخاب شد و پس از انفجار میزان خردایش به وسیله آنالیز تصویری مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین میزان خردایش بدست آمده از این الگوها با استفاده از بخش پیش‌بینی نرم افزار *Qualitek-4* و *Alyuda NeuroIntelligence* به دست آمده و سپس این نتایج با یکدیگر و با نتایج آنالیز تصویر مقایسه شدند آورده شده است. نتایج حاصل از شبکه عصبی و مدل طراحی آزمایش به یکدیگر بسیار نزدیک می‌باشند. همچنین این نتایج به نتایج واقعی بدست آمده از آنالیز تصویری نیز بسیار نزدیک هستند و این نشان دهنده دقت مدل‌های بدست آمده است.

نتیجه‌گیری

بعد از تعیین پارامترهای مؤثر بر خردایش در معدن سنگ آهن گل‌گهر و آنالیز آن ها به وسیله شبکه‌های عصبی و طراحی آزمایش، الگوی مناسب جهت انجام انفجار در این معدن ارائه شد. پس از انجام آنالیز حساسیت و تحلیل‌های آماری صورت گرفته بر خروجی‌ها مدل سازی انجام شده، نتایج زیر حاصل

گردید: هر چند جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای شبکه عصبی بسیار مشکل است، اما بعد از انجام تجزیه و تحلیل‌های لازم بدست آوردن نتایج خیلی سریع صورت می‌گیرد به طور کلی می‌توان شبکه‌های عصبی را به عنوان یکی از راه‌های مناسب برای بررسی انفجار در معادن مطرح معرفی نمود. اما آنچه که در بررسی به وسیله طراحی آزمایش می‌توان به عنوان یک مزیت نسبت به شبکه‌های عصبی عنوان کرد تعداد کمتر آزمایش مورد نیاز می‌باشد. اما به طور کلی نتایج حاصل از این دو روش به یکدیگر بسیار نزدیک است. نتایج به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار *Alyuda NeuroIntelligence* نسبت به *MATLAB* یکی از مزایای کاربرد شبکه‌های عصبی در این تحقیق به شمار می‌آید. این نرم افزار بهترین ساختار شبکه عصبی را از میان بیش از ٤٥٠٠ شبکه طراحی شده انتخاب نموده است و در نهایت با ساختار معرفی شده توسط این نرم افزار به نتیجه جالب توجهی دست پیدا شد و آن اینکه با افزایش میزان گل‌گذاری از ۵/۵ متر به ٦/٣ متر میزان d_{80} که توسط شبکه عصبی پیش‌بینی شده بود از ۰/٥٥٦ به ۰/٦٢ متر افزایش یافت. با اجرای این تغییرات در الگوی انفجاری٤٠-١٢ معدن گل‌گهر میزان d_{80} حاصله از انجام آنالیز تصویری به مقدار پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی بسیار نزدیک بود. این مقدار با استفاده از نرم‌افزار *Goldsize*، ۰/٦ متر بدست آمد. در این خصوص می‌توان به نتایج حاصل از نرم افزار Qualitek-4 نیز اشاره کرد که به نتایج واقعی بسیار نزدیک است و با اجرای الگوی انفجاری پیشنهادی به وسیله این نرم افزار در معدن گل گهر میزان خردایش ۵۷/۵ سانتیمتر به دست آمد که به خردایش مورد نظر در معدن گل گهر نزدیک است. یکی از اثرات زیست محیطی که در اجرای انفجار معادن ایجاد می‌شود مشکل لرزش زمین بوده که با اجرای این الگوی انفجاری این مشکل در معدن گل‌گهر تا حد زیادی کاهش پیدا کرد. لرزش زمین در معدن گل‌گهر با استفاده از دستگاه‌های مخصوص لرزه‌نگاری برداشت و ثبت شد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی" طراحی الگوی انفجاری به منظور بهینه سازی خردایش ناشی از انفجارات معدنی با استفاده از طراحی آزمایش" و با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب انجام پذیرفته است.

منابع

۱- داگلاس، سی. ام.،(۱۳۷۷)، کنترل کیفیت آماری، ترجمه نورالسناء، ر. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۳۸۵ ص.

۲- زینالی، الف.،(۱۳۸۷)، طراحی آزمایش به روش تاگوچی با استفاده از نرم افزار Qualitek، شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی، ١٧٦ ص.

۳- لاری، ب.،(۱۳۸۲)، طراحی آزمایش‌ها: روشی برای بهبود کیفیت، ترجمه نورالسناء، ر. انتشارات سازمان مدیریت صنعتی ٢٨٦ ص.

٤- منهاج، م.،(١٣٨٤)، مبانی شبکه های عصبی، جلد اول انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ٣٤٥ ص.

۵- شالکف، ر.،(۱۳۸۲) ترجمه جورابیان، م. زارع، ط. استوار الف.، شبکه های عصبی مصنوعی، انتشارت دانشگاه شهید چمران، ۲۲۳ ص.

٦- کیا، م.،(۱۳۸۷)، آموزش شبکه‌های عصبی در مطلب انتشارات قبا، ۳۲۰ ص.

۷- مهدی‌زاده، م.،(۱۳۸۸) شبکه‌های عصبی مصنوعی و کاربرد آن در مهندسی عمران، انتشارات عبادی، تبریز، ۱۹۷ ص.

8-Senyur, M.G. (1998), A Statistical Analysis of Fragmentation after Single Hole Bench Blasting, Rock Mechanics and Rock Engineering, pp 181–196.

9-Rustan, A. (1998), Rock Blasting Terms and

Symbols, Balkema, pp 63-75.
10-Aler, J., Du Mouza, J., Arnould, M. (1996), Measurement of the Fragmentation Efficiency of Rock Mass Blasting and its Mining Applications, Pergamo, pp125-139.
11-Ratan Raj, T. (2005), Surface andUnderground Excavation, Balkema.
12-MELNIOV, N.V. (1987), Blasting Methods to Improve Rock Fragmentation, Pergamo, pp. 102-112.
13-Lopez J.C. (2005), Drilling and Blasting of Rocks, Balkema, pp 431–456.
14- Hustrulid, W. (2000), Blasting Principles for Open Pit Mining Vol.1, Balkema. pp 76–93.
15- Mario, A. Morin, F.F. (2006), Monte Carlo Simulation as a Tool to Predict Blasting Fragmentation Based on the Kuz–Ram Model, Computers & Geosciences, pp.352–359.
16- Olaf son, S.O. (1998), Applied Explosives Technology for Construction, Balkema. pp 211–232.
17- Ozkahraman, H.T. (2006), Fragmentation Assessment and Design of Blast Pattern at Goltas Limestone Quarry, Turkey, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, pp.628–633.
18- Persson, P., Holmberg, R., Lee, J. (2002), Rock Blasting & Explosives Engineering, CRC press. Pp.87–99.
19- Roy, R.K., Dwived, S.N. (2006), Strategies for Robust Product and Process Design, ICAM.
20- Roberston, R. 2002, The Taguchi Method: The Service Manager's Primer to Quality, Boise State University. Pp.467–496.