سومین کنفرانس مهندسی معدن ایران،۹-۷ بهمن ۱۳۸۸
انجمن مهندسی معدن ایران، دانشگاه یزد و شرکت سنگ آهن مرکزی ایران

بهینه سازی پارامتر های مؤثر بر پرتاب سنگ ناشی از انفجارات معدن فسفات اسفوردی با استفاده از روش طراحی آزمایش

عباس آقاجانی بزازی[۱] و ایمان عنایت الهی[۲]

چکیده

عملیات انفجار یکی از اصلی‌ترین بخش‌های عملیات معدنکاری می باشد و هدف از انفجار های معدن، رسیدن به خردایش مطلوب است که در اغلب موارد، انفجارهای معدنی مضراتی چون لرزش زمین، عقب زدگی، پرتاب سنگ و غیره را نیز به دنبال دارند. یکی از این مضرات انفجارهای تولیدی معادن روباز، پرتاب سنگ است که خسارات مالی و جانی را به دنبال خواهد داشت. از این رو اقدامات متعددی برای کاهش و کنترل پرتاب سنگ صورت گرفته است. در این تحقیق برای کنترل پرتاب سنگ در معدن فسفات اسفوردی سه فاکتور بارسنگ، گل گذاری و خرج ویژه که از پارامتر های مؤثر بر پرتاب سنگ می باشد در شانزده انفجار با استفاده از روش طراحی آزمایش و از طریق نرم افزار Qualitek 4 مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند و مقدار هر یک از این چهار فاکتور بنحوی مورد ارزیابی قرار گرفت که کمترین مقدار پرتاب سنگ بدست آورده شود.

کلمات کلیدی: انفجار، پرتاب سنگ، طراحی آزمایش، معدن فسفات اسفوردی

۱- مقدمه

عملیات انفجار از جمله مهمترین فرآیند های استخراج معادن روباز می باشد به طور کلی پیامد های ناشی از انفجار مواد منفجره عبارتند از: لرزش زمین، لرزش هوا، خرد شدن سنگ‌ها، جابجایی سنگ خرد شده، پرتاب سنگ و پودرشدن سنگ. انرژی حاصل از انفجار صرف انجام کارهای فوق می‌شود که به ترتیب لرزش زمین بیشترین مقدار و پرتاب سنگ و پودر شدن سنگ کمترین مقدار انرژی را مصرف می کند. مقدار انرژی مصرفی برای پرتاب سنگ حدود ۱ درصد از مقدار کل انرژی حاصل از ماده منفجره می‌باشد و نشان می دهد که مقدار آن کم بوده و هدف اصلی کاهش میزان مصرف انرژی نبوده بلکه هدف، جلوگیری از صدمات و آسیب های ناشی از برخورد قطعات سنگ پرتاب شده می‌باشد[۱]. در این مقاله با استفاده از طراحی آزمایش به روش تاگوچی، بهترین مقادیر برای فاکتور های موثر بر پرتاب سنگ (خرج ویژه، بارسنگ و گل گذاری) در معدن فسفات اسفوردی مورد

۱- عضو هیات علمی گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه a_aghajani@aut.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب I.enayatollahi@gmail.com

بررسی قرار گرفته است تا بتوان با ارزیابی این مقادیر کمترین پرتاب سنگ را انتظار داشت.

۲- پرتاب سنگ

این پدیده حرکت کنترل نشده قطعات خرد شده سنگ می باشد که در عملیات انفجار تولید می شود و یکی از منابع اصلی آسیب دیدن سازه ها و تجهیزات و همچنین صدمه دیدن افراد را تشکیل می دهد. پارامتر ها و شرایط خاصی در بوجود آمدن این پدیده موثر می باشند. برای مثال و در ارتباط با شرایط توده سنگ باید توجه شود که سنگ های به شدت درزه دار، احتمال بروز پرتاب سنگ را افزایش می دهند [۲]. از طرف دیگر هنگامی که عملیات انفجار در مناطق کارستی با سوراخ ها و حفره های فراوان انجام می شود، کنترل خیلی دقیقی باید جهت جلوگیری از ظهور این پدیده اعمال گردد. همچنین نوع ماده منفجره و پارامتر های هندسی و وزنی الگوی حفاری و انفجار نیز در این زمینه موثر می باشند[۳].

شکل ۱ پدیده پرتاب سنگ در معدن سنگ آهک ایالت پنسیلوانیای آمریکا را نشان می دهد. در این حادثه راننده ۳۲ ساله وسیله نقلیه قربانی پرتاب سنگ ناشی از انفجار شده است. این وسیله در ۸۰۰ متری محل انفجار واقع شده بود و نفوذ سنگ از شیشه جلو به کابین راننده باعث مرگ راننده جوان شده است. عوامل گوناگونی ممکن است در بروز این حادثه نقش داشته باشد که از آن جمله می توان به خرج ویژه زیاد، حفرات، ناپیوستگی ها، شکستگی لایه های سنگی و طراحی اشتباه مدار انفجار اشاره نمود. در ادامه دو روش محاسبه پرتاب سنگ در معادن روباز ارائه شده است.

شکل (۱): تلفات انسانی ناشی از پرتاب سنگ در معدن سنگ آهک ایالت پنسیلوانیای آمریکا [۳]

۱-۱- روش سوئدی

این مدل تجربی توسط لانبرگ و پرسن در سال ۱۹۷۵ پیشنهاد شد که نتیجه آن تعیین بیشترین فاصله مربوط به پرتاب سنگ می باشد. در این روش ابتدا سرعت اولیه پرتاب سنگ با استفاده از رابطه ۱ بدست می آید[۴]:

$$V_0 = \frac{10D \times 2600}{T_b \times \rho_r} \qquad (۱)$$

که در آن V_0 سرعت اولیه پرتاب سنگ بر حسب متر بر ثانیه، D قطر چال بر حسب اینچ، T_b اندازه قطعات سنگ بر حسب متر و ρ_r چگالی سنگ بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. پس از محاسبه

سرعت اولیه پرتاب سنگ از رابطه ۱ و بر اساس قوانین دینامیک پرتاب سنگ، حداکثر فاصله پرتاب سنگ به راحتی قابل محاسبه می باشد. از طرف دیگر در این روش تجربیات متعدد و آزمایش های مختلف در زمینه پرتاب سنگ، روابط تجربی زیر نیز پیشنهاد شده است[۴]:

$$L_{\max} = 260 \times D^{\frac{2}{3}} \qquad (۲)$$

$$T_b = 0.1 \times D^{\frac{2}{3}} \qquad (۳)$$

که در آن L_{max} حداکثر پرتاب سنگ بر حسب متر و D قطر چال می باشد. توجه به این نکته ضروری است که در روابط ۲ و ۳ ماده منفجره به صورت نقطه ای و نزدیک به سطح فرض شده است، لذا تاثیر آن در سطح زمین بیشتر به صورت اثر دهانه مخروطی است. بنابراین در حالت خرجگذاری معمولی، میزان پرتاب سنگ کمتر شده و برای خرج ویژه معادل ۰/۵کیلوگرم بر مترمکعب، حداکثر فاصله پرتاب سنگ از رابطه زیر بدست می آید[۳]:

$$L_{\max} = 40 \times D \qquad (۴)$$

۱-۲- روش پکروفسکی

در روش دیگری که توسط پکروفسکی و فیودورف ارائه شد، سرعت اولیه پرتاب با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می شود[۵]:

$$V_0 = \frac{72000 \times C_{ex}}{\gamma \times R_l^3} \qquad (۵)$$

که در آن V_0 سرعت اولیه پرتاب بر حسب متر بر ثانیه،γ وزن مخصوص سنگ بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب، C_{ex} وزن ماده منفجره در یک چال بر حسب کیلوگرم و R_l فاصله ماده منفجره تا سطح آزاد بر حسب متر می باشد. برای بدست آوردن حداکثر فاصله پرتاب سنگ از روابط دینامیک پرتابی استفاده می شود.

۲- طراحی آزمایش به روش تاگوچی

کلیه فرآیندها دارای ورودی، خروجی و همچنین شامل پارامترهای قابل کنترل و غیر قابل کنترل می باشند. بنابراین اگر میزان و شیوه اثر گذاری هر عامل در جریان تبدیل ورودی به خروجی مشخص باشد، می توان آن فرآیند را کنترل کرد[۶].

طراحی آزمایش دانشی است که به کمک آن می توان میزان اثر پذیری هر یک از عوامل موثر بر فرآیند ($X_1,X_2,\dots$) را بر مشخصه های خروجی ($Y_1,Y_2,\dots$) به شکل یک معادله $Y_i=f(X_i)$ بیان کرد. به عبارت دیگر طراحی آزمایش را می توان به صورت ایجاد تغییرات هدفمند در مشخصه های ورودی یا فاکتور های یک فرآیند برای مشاهده تغییرات در مشخصه خروجی تعریف کرد. اینکه این عوامل چگونه باشند تا بهترین مشخصه خروجی بدست آید مهم است. به این سوالات طراحی آزمایش پاسخ می

دهد[۶].

از اهداف کلی طراحی آزمایش می توان به موضوعاتی چون کاهش تعداد آزمایش ها و در نتیجه کاهش زمان و هزینه ها، تعیین متغیر هایی که بیشترین تاثیر را در پاسخ دارند و حذف فاکتور های غیر ضروری، محاسبه درصد اهمیت هر متغیر و تعیین شرایط بهینه اشاره کرد[۶].

فایگنبام مبتکر واژه کنترل جامع کیفیت در سال ۱۹۵۱، کیفیت را توانایی یک محصول در بر آوردن هدف مورد نظر با حداقل هزینه ممکن تولید تعریف کرد[۷].

ادوارد دمینگ، فلیپ کرازی، جوزف جوران، تاگوچی و ایشی کاوا از مشهور ترین رهبران نظریه کیفیت می باشند که تاثیر مهمی بر صنعت امروز جهان داشته اند. در دهه های اخیر مبحث کیفیت با عنوان های مختلف کنترل کیفیت جامع، مهندسی مجدد، کیفیت آماری فرآیند و غیره مطرح شده است. یکی از مطمئن ترین روش های آماری برای بهبود کیفیت، استفاده از روش های طراحی آزمایش است. از روش طراحی آزمایش می توان در تولیدات جدید و یا بهینه کردن سیستم های در حال تولید استفاده کرد. استفاده صحیح از روش های طراحی آزمایش آماری می تواند باعث سهولت مراحل طراحی و تولید محصولات جدید، کاهش زمان و هزینه های مصرفی، تعیین شرایط بهینه تولید با سطح اطمینان بالا و بهبود عملکرد محصولات تولید شده شود[۷].

در طراحی آزمایش به روش تاگوچی با آرایه های متعامد سرو کار داریم. یک آرایه متعامد، ماتریسی است که سطر های آن سطح های فاکتور ها در هر آزمایش و ستون های آن تعداد فاکتور ها را نشان می دهند[۷].

آرایه های متعامد را به صورت $L_n(X^y)$ نشان می دهند که L حرف اول کلمه Latin Squares، n بیانگر تعداد آزمایش ها، X نشانه تعداد سطح های فاکتور و y بیانگر حداکثر تعداد فاکتور هایی که با آرایه مورد نظر قابل بررسی می باشد[۸]. به طور کلی طراحی آزمایش ۳ مرحله دارد که عبارتند از فاز برنامه ریزی، اجرایی و تجزیه و تحلیل. فاز برنامه ریزی موارد زیر را شامل می شود:

تعریف و شرح کامل مساله
شرح هدف یا اهداف آزمایش
انتخاب متغیر های سیستم و یا فاکتور های موثر بر میزان پاسخ
انتخاب سطوح فاکتور ها
انتخاب آرایه متعامد متناسب بر اساس تعداد فاکتور ها و سطوح آنها
گذاردن فاکتور ها و اثرات متقابل در آرایه متعامد

اجرای آزمایش با توجه به شرایط آنها در آرایه متعامد و بدست آوردن پاسخ ها در فاز اجرایی انجام می شود و تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج آزمایش ها و اجرای آزمایش تائیدیه در فاز تجزیه و تحلیل قابل اجرا می باشد[۸].

در این تحقیق قصد بر آن است که 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 فاکتور ها مهمترین سطح انتخاب شود.

۳- تجزیه و تحلیل آزمایش ها بوسیله طراحی آزمایش به روش تاگوچی

برای شروع کار سه فاکتور چهار سطحی انتخاب گردید و با استفاده از نرم افزار Qualitek 4 مشخص شد که تعداد ۱۶ آزمایش می بایست انجام شود. یعنی آرایه متعامد برای این مدل طراحی آزمایش به صورت $L_{16}(3^4)$ می باشد. فاکتور های مورد نظر در این آزمایش عبارتند از بارسنگ، طول گل گذاری و خرج ویژه و سطوح چهار گانه برای هر یک از این فاکتور ها برای طراحی آزمایش از جدول ۱ بدست آورده می شود:

جدول (۱): فاکتور ها و سطوح در نظر گرفته شده برای طراحی آزمایش

فاکتور ها	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	سطح چهارم
بارسنگ	۱/۹۵	۲	۲/۰۵	۲/۱
طول گل گذاری	۱/۷	۱/۸	۱/۹	۲
خرج ویژه	۰/۷	۰/۷۵	۰/۸	۰/۹

با توجه به سطوح انتخابی برای هر یک از فاکتور ها، ۱۶ آزمایش که بوسیله نرم افزار Qualitek 4 تعیین گردیده شده بود انجام شد که در جدول ۲ شماره سطوح انتخابی برای هر یک از آزمایشات و نتایج آنها آورده شده است. بطور مثال در آزمایش اول مقدار بارسنگ ۲/۱ متر، طول گل گذاری ۲ متر و خرج ویژه ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب می باشد که این اعداد در جدول ۲ به ترتیب با ۴،۴ و ۴ نشان داده شده اند.

برای وارد کردن مقادیر هر یک از فاکتور ها در نرم افزار Qualitek 4 می بایست شماره سطح هر فاکتور به عنوان ورودی نرم افزار در نظر گرفته شود و برای پاسخ (خروجی) مقدار پرتاب سنگ بدست آمده از هر آزمایش به نرم افزار داده می شود (جدول ۲). در طراحی آزمایش پاسخ به صورت یکی از حالت های بیشتر – بهتر، کمتر – بهتر و نزدیک تر – بهتر مورد ارزیابی قرار می گیرد. که در اینجا برای ارزیابی پاسخ ها حالت کمتر – بهتر انتخاب گردیده است. بعد از اتمام مراحل فوق نرم افزار ورودی ها و خروجی ها را تجزیه و تحلیل می کند که برای این تحقیق نتایج به صورت میزان بارسنگ ۲/۱ متر، طول گل گذاری ۱/۹ متر و خرج ویژه ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین گردیده شد. نرم افزار میزان پرتاب سنگ را ۲۵۱/۳۳ متر پیش بینی نمود.

درصد تاثیر هر یک از این فاکتور ها به این قرار است که میزان بارسنگ ۴۴/۵۳ درصد، طول گل گذاری ۲۲/۲۱ درصد و میزان خرج ویژه ۳۳/۲۶ درصد بر پرتاب سنگ تاثیر دارند.

نتیجه حاصل از تجزیه و تحلیل بوسیله طراحی آزمایش به روش تاگوچی می‌بایست به صورت عملی مورد آزمایش و اجرا قرار گیرد. اما از آنجا که طرح پیشنهادی توسط نرم افزار در بین آزمایشات انجام شده وجود داشت (آزمایش شماره ۱۴) دیگر نیازی به اجرای مجدد این طرح وجود نداشت و تنها برای بررسی صحت نتیجه حاصل می بایست نتیجه آزمایش ۱۴ را با نتیجه پیش بینی شده بوسیله نرم افزار مقایسه نمود. میزان پرتاب سنگ در آزمایش ۱۴، ۲۶۰ متر اندازه گیری شده است. این در حالی است که نرم افزار این میزان را ۲۵۱/۳۳ متر پیش بینی نموده است. از نزدیکی این دو مقدار می توان به دقت پیش بینی توسط این روش پی برد.

جدول (۲): شماره سطوح انتخابی برای هر یک از آزمایشات و نتایج آنها

شماره انفجار	بارسنگ (m)	طول گل گذاری (m)	خرج ویژه (kg/m^3)	پرتاب سنگ (m)
۱	۴	۴	۴	۲۸۰
۲	۳	۳	۳	۲۹۰
۳	۳	۳	۲	۲۸۰
۴	۱	۱	۴	۳۵۰
۵	۲	۳	۱	۲۷۰
۶	۱	۴	۳	۲۹۰
۷	۲	۴	۲	۲۷۰
۸	۲	۱	۳	۳۰۰
۹	۲	۳	۱	۳۰۰
۱۰	۲	۱	۳	۳۲۰
۱۱	۲	۳	۱	۲۵۰
۱۲	۱	۲	۲	۲۹۰
۱۳	۳	۳	۳	۲۸۰
۱۴	۴	۲	۱	۲۶۰
۱۵	۲	۲	۴	۳۱۰
۱۶	۲	۲	۴	۳۰۰

٤- نتیجه

از اهداف کلی طراحی آزمایش می توان به کاهش تعداد آزمایشات و در نتیجه کاهش زمان و هزینه ها اشاره کرد که این موضوع در اجرای این پروژه مشهود بود. چرا که با توجه به تعداد فاکتور های انتخابی حداقل تعداد آزمایشات را جهت اجرا انتخاب نمود. از آنجا که مقدار پیش بینی شده پرتاب سنگ بوسیله طراحی آزمایش به مقدار واقعی تقریباً نزدیک بدست آمد می توان به دقت عملکرد این روش پی برد. با توجه درصد اهمیت نسبتاً بالای میزان بارسنگ می توان این پارامتر را یکی از پارامتر های تاثیر گذار در پرتاب سنگ معدن اسفوردی در نظر گرفت و با تغییراتی مناسب در این پارامتر، شاهد نتایج بهتری بود.

٥- مراجع

[۱]استوار، رحمت اله ؛ **آتشکاری در معادن** ، جلد دوم ، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیر کبیر ، چاپ سوم،۱۳۸۰.
[2] Jimeno, C.L.; Jimeno, E.L.; Carcedo, F.J.A.J.; *Drilling and Blasting of Rocks*, Rotterdam: Balkema, 1995.
[3] Aghajani Bazzazi,A.; Osanloo, M.; Azimi, Y.; *"Fly rock prediction by multiple regression analysis in Esfordi phosphate mine of Iran"*, Fragblast 9, Spain, p.p. 649-671, 2009.
[4] Persson, P.; Holmberg, R.; Lee, J.; *Rock blasting and explosives engineering*, Atlanta: CRC press, 1994.
[5] Hustrulid, W.; *Blasting Principles for open pit mining* Vol.1, Rotterdam: Balkema, 1999.
[۶] داگلاس سی. مونتگومری؛ **کنترل کیفیت آماری**، ترجمه نورالسناء، رسول. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۷.
[۷] زینالی، الهام؛ **طراحی آزمایش به روش تاگوچی با استفاده از نرم افزار Qualitek**، شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی، ۱۳۸۷.
[۸] لاری بارتین، **طراحی آزمایش ها: روشی برای بهبود کیفیت**، ت: نورالسناء، رسول. انتشارات سازمان مدیریت صنعتی، ۱۳۸۲.

Optimization of effective parameters on fly rock by design of experiments in Esfordi phosphate mine

A. Aghajani bazzazi[1] & I.Enayattollahi[2]

ABSTRACT

Blasting is a primary means of extracting minerals and ores at surface mining operations. The main object of blasting is fragmentation but air blast, fly rock, ground vibration are disadvantage of blasting in open pit mines. Fly rock is one of the mentioned disadvantages of production blasting in open pit mines. Fly rock from surface blasting operations has caused serious injury and death to employees and habitants, and it is always known as one of the major concerns for the blasters. In this research for controlling fly rock in Esfordi phosphate mine, burden, stemming and specific charge which are the most effective parameters on fly rock were evaluated by design of experiments and Qualitek 4 software. Optimum values of these parameters were calculated with regards to minimum fly rock distance in this phosphate mine.

Keywords: Explosive, fly rock, design of experiments, Esfordi phosphate mine

1 Faculty of Mining Engineering, Islamic Azad University, Savadkooh Branch, **Iran** a_aghajani@aut.ac.ir

2 Department of Mining Engineering, Islamic Azad University, South Tehran branch, Tehran, **Iran** I.enayatollahi@gmail.com.