

## بهینه‌سازی عقب‌زدگی با الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (SA) در معدن سادات سیریز زرنند

مرضیه اسدی خانوکی<sup>۱</sup>، سید محمدمهدی موسوی نسب<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی زرنند

<sup>۲</sup>استادیار، گروه مهندسی معدن، مجتمع آموزش عالی زرنند

نام نویسنده مسئول:

سید محمدمهدی موسوی نسب

### چکیده

این مقاله بر اساس مقاله قبل که پیش‌بینی مقدار بهینه عقب‌زدگی در مواد معدنی در معدن سادات سیریز زرنند پایه‌ریزی شده است. تابع چند جمله‌ای با توان غیر صحیح که تابع بهینه در مواد معدنی به شمار آمد. در این مقاله به بهینه‌سازی پارامترهای ورودی این تابع توسط الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده صورت گرفت. نتایج حاصل از بهینه‌سازی شامل طول چال ۲.۸۵ متر، بارسنگ ۱.۸۰۸ متر، فاصله داری ۵.۷ متر، طول گل‌گذاری ۱ متر، تعداد چال ۳۳، خرج ویژه ۱۰۰.۱۸۹۷ کیلوگرم بر متر مکعب، حفاری ویژه ۰/۰۲۲ متر بر متر مکعب و پارامتر خروجی عقب‌زدگی ۰ متر به دست آمد.

**کلمات کلیدی:** بهینه‌سازی، تابع چند جمله‌ای، الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده، پارامتر، عقب‌زدگی.

## ۱- مقدمه

بهینه‌سازی یکی از موضوعات مهم در علوم مهندسی، اقتصادی، علوم پایه، پژوهش‌های اجرایی و دیگر حوزه‌های مرتبط است. مسائل بهینه‌سازی به آن دسته از مسائلی گفته می‌شود که در آن‌ها هدف، کمینه یا بیشینه کردن یک یا چند تابع هدف، تحت یک دسته از قیود است. در این پایان‌نامه منظور از بهینه‌سازی، یافتن جواب‌های ممکن بهتر برای مسئله بهینه‌سازی است. پیش‌بینی و بهینه‌سازی عقب‌زدگی با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب صورت گرفته است نتیجه بهینه‌سازی شده‌ای آن با الگوریتم کرم شب‌تاب، الگوهای پیشنهادی میزان عقب‌زدگی در بخش ماده معدنی ۱.۳۸ متر شد (۱). شیروانی و همکاران پیش‌بینی عقب‌زدگی در معدن مس سونگون را با الگوریتم ژنتیک (GP) که یک الگوریتم تکاملی است را با مدل رگرسیون چندگانه غیر خطی مورد مقایسه قرار داد نتیجه بدست آمده نشان داد مدل GP جهت پیش‌بینی عقب‌زدگی از برتری بالایی برخوردار بود (شیروانی و همکاران، ۲۰۱۵). پیش‌بینی عقب‌زدگی با شبکه هوش مصنوعی و الگوریتم کلونی مورچه در معدن سنگ آهن دلکن انجام شده است. با الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه ۶۱ درصد پرتاب سنگ و ۵۸ درصد عقب‌زدگی کاهش یافت (۳).

## ۲- الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (SA)

واژه انگلیسی Simulated Annealing در لغت به معنای گداخته کردن جسم می‌باشد ولی در اصطلاح، یک فرایند فیزیکی برای بالا بردن دمای جسم تا رسیدن آن به نقطه ذوب و سپس سرد کردن آن شرایط مشخص می‌باشد که در طول این فرایند انرژی جسم به حداقل می‌رسد. در سال ۱۹۵۳ متروپلیس، الگوریتمی را برای ارزیابی تغییرات دمای جسم جامد ارائه داد. او در ابتدا، دمای جسم را بالا برده تا جسم به حالت مذاب در آید و سپس برای کاهش انرژی درونی جسم، اتم‌های جسم را جابجا نموده تا انرژی جسم کاهش یابد. این جابجایی ما بین دو اتم انجام می‌گیرد. سپس در همسایگی این اتم، اتم دیگری را انتخاب نموده و با این اتم جابجا کند، انتخاب اتم جهت جابجایی، کاملاً تصادفی صورت می‌گیرد و هیچ ترتیبی برای اینکار در نظر گرفته نمی‌شود. در این دما، چندین جابجایی صورت می‌گیرد و وقتی هیچ تغییری در انرژی حاصل نشد، دمای جسم را کاهش می‌دهند. قبل از این که دمای جسم را کاهش دهند، تست تعادلی انجام می‌گیرد. در صورتی که در اثر جابجایی، انرژی جسم کاهش یابد جابجایی پذیر شده ولی در صورت عدم کاهش انرژی این جابجایی با یک احتمال پذیرفته می‌شود.

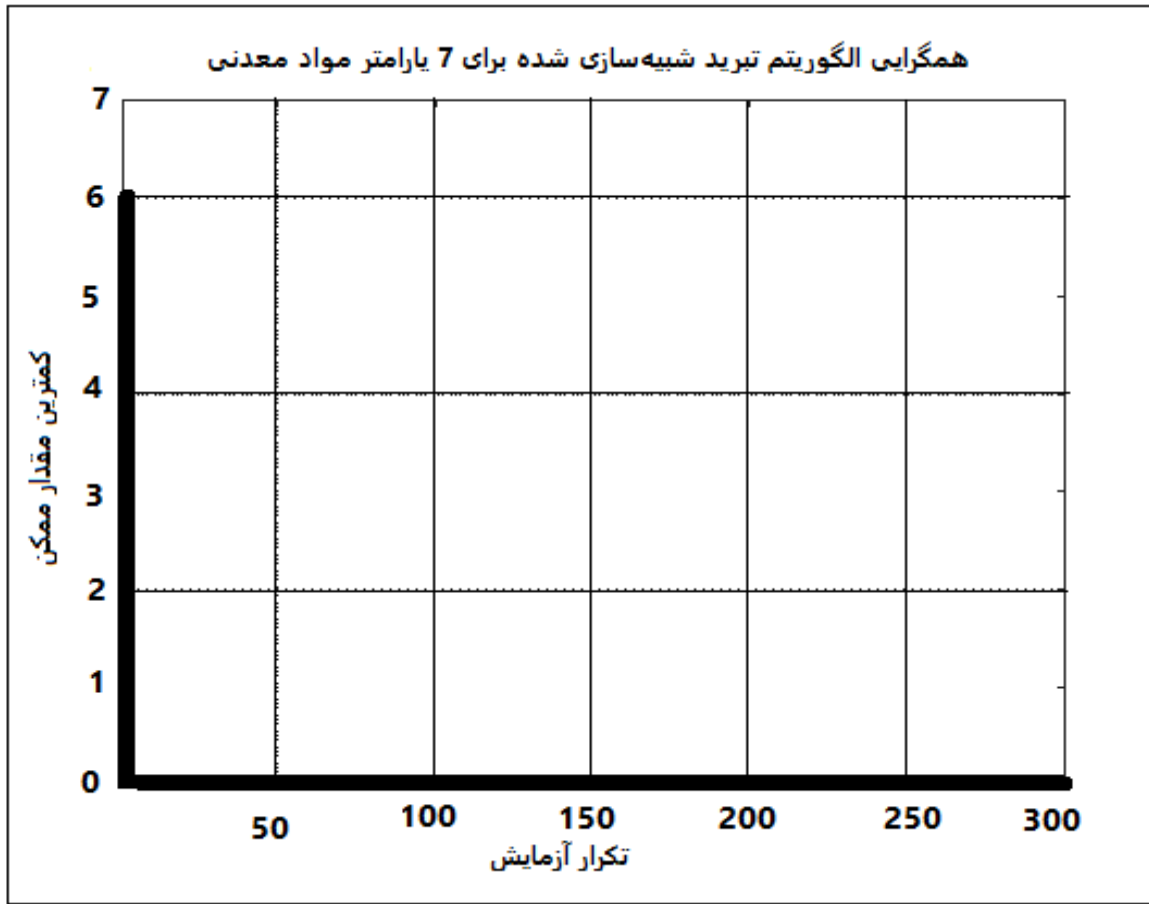
بعدها در سال ۱۹۸۳، کرک پاتریک، با مشابه‌سازی این الگوریتم، بین کمینه کردن تابع هزینه یک مساله و سرد کردن جسم تا زمان رسیدن آن به حالت انرژی پایه، از آن برای حل مسایل بهینه‌سازی استفاده کرد. با این جایگذاری، او و همکارانش الگوریتمی به نام شبیه‌سازی تبرید تدریجی را برای حل مسایل بهینه‌سازی ترکیبی معرفی کرد (۴، ۵، ۶).

## ۳- داده‌ها و روش تحقیق

تابع چند جمله‌ای با توان غیر صحیح که به عنوان تابع بهینه شناخته شد را در نرم‌افزار برنامه نویسی متلب وارد کرده و همچنین با وارد کردن پارامترهای جدول ۱ برنامه اجرا می‌شود و بعد از انجام ۳۰۰ بار تکرار آزمایش شکل ۱ (همگرایی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای ماده معدنی) از میان رکوردهای ایجاد شده جدول ۲ بهترین داده انتخاب می‌شود.

جدول ۱

پارامتر	متوسط عقب‌زدگی (m)	حفاری ویژه (متر بر متر مکعب)	خرج ویژه ردیف آخر (کیلوگرم بر متر مکعب)	تعداد چال	گل‌گذاری (m)	فاصله‌داری (m)	بارسنگ (m)	طول چال (m)
نماد	BB	Sd	PF	N	ST	S	B	L
میانگین	۴	۰/۱۶۸	۱۹۰	۱۳۱	۱/۵	۲/۸	۲/۵	۹/۷
کمینه	۰	۰/۰۲۲	۹۳	۳۳	۱	۲	۱/۸	۲/۸۵
بیشینه	۵	۰/۲۹	۹۴۲	۲۵۰	۳/۵	۵/۷	۵	۱۳



شکل ۱- همگرایی الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده برای ماده معدنی

جدول ۲- رکوردگیری مواد معدنی

L	B	S	ST	N	PF	Sd	BB
۲.۹۷۰۹	۲.۰۰۲۹	۵.۷	۱.۲۵۹۳	۲۵۰	۹۳	۰.۰۲۲	۰
۲.۸۵	۱.۸	۵.۷	۱	۲۴۹.۹۹۹۶	۲۱۹.۴۸۹	۰.۱۸۱۳۷	۰
۲.۸۵	۱.۸	۵.۷	۱	۳۳.۱۷۱۸	۵۳۱.۷۱۷۹	۰.۰۲۲	۰
۲.۸۵	۱.۸	۵.۶۹۹۸	۱	۳۳.۱۷۹۴	۱۲۱.۵۹۹۶	۰.۰۲۲۳۷۳	۰
۲.۸۵	۱.۸	۵.۶۶۸۱	۱.۱۱۵۴	۱۴۷.۸۹۱۶	۱۸۸.۷۹۲۸	۰.۰۵۴۹۵۱	۰
۲.۸۵	۱.۸	۵.۷	۱	۳۳.۰۰۰۸	۵۰۹.۸۶۵	۰.۰۲۲	۰
۲.۸۵	۱.۸	۵.۳۱۱۴	۱.۰۰۱۴	۲۴۹.۹۲۹	۹۳	۰.۰۶۲۴۴۵	۰
۲.۸۵۷۸	۱.۸۰۴۵	۵.۶۶۰۸	۱	۲۴۹.۹۹۷۵	۶۵۰.۰۵۰۲	۰.۱۳۹۳۶	۰
۲.۸۵	۱.۸	۵.۷	۱	۳۳.۰۳۲۳	۴۷۶.۴۶۳۳	۰.۰۲۲۱۴	۰
۲.۸۵	۱.۸۰۸۴	۵.۷	۱	۳۳	۱۰۰.۱۸۹۷	۰.۰۲۲	۰

#### ۴- تحلیل داده‌ها

با توجه به شرایط معدن سادات سیریز زرد بهترین مقادیر که میزان بهینه را نشان می‌دهد را در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- نتیجه بهینه سازی الگوریتم تبرید شبیه سازی شده، مواد معدنی

مقادیر بهینه شده	مقادیر اولیه		نماد	پارامتر
	Min	Max		
۲.۸۵	۲.۸۵	۱۳	L	طول چال (m)
۱.۸۰۸۴	۱.۸	۵	B	بارسنگ (m)
۵.۷	۲	۵.۷	S	فاصله داری (m)
۱	۱	۳.۵	ST	طول گل گذاری (m)
۳۳	۳۳	۲۵۰	N	تعداد چال
۱۰۰.۱۸۹۷	۹۳	۹۴۲	PF	خرج ویژه (گرم بر متر مکعب)
۰.۰۲۲	۰.۰۲۲	۰.۲۹	Sd	حفاری ویژه (متر بر متر مکعب)
۰	۰	۵	BB	عقب زدگی (m)

#### ۵- نتیجه گیری

با قرار دادن تابع هدف در الگوریتم تبرید شبیه سازی شده که یک الگوریتم بهینه سازی می باشد باعث بهینه شدن پارامترهایی که در میزان عقب زدگی تأثیر دارند شده است. با رکورد گیری بهترین مقدار برای پارامترها انتخاب شد. مقدار بهینه ای این پارامترها در مواد معدنی طول چال ۲.۸۵- متر، بارسنگ ۱.۸۰۸-متر، فاصله داری ۵.۷ متر، طول گل گذاری ۱ متر، تعداد چال ۳۳، خرج ویژه ۱۰۰.۱۸۹۷ کیلوگرم بر متر مکعب، حفاری ویژه ۰/۰۲۲ متر بر متر مکعب، عقب زدگی ۰ متر به دست آمد.

#### منابع و مراجع

- ۱- خواجهوئی، عباس، (۱۳۹۵)، پیش بینی و بهینه سازی عقب زدگی با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب، پایان نامه کارشناسی ارشد، مجتمع آموزش عالی زرد.
- 2- Saghatforoush, A., Monjezi, M., Shirani Faradonbeh, R., Jahed Armaghani, D.,.. Combination of neural network and ant colony optimization algorithms for prediction and optimization of flyrock and back-break induced by blasting. Engineering with Computers (2016) DOI 10.1007/s00366-015-0415-0.
- 3- <http://artificial.ir>
- 4- <https://faradars.org>
- 5- [www.cloob.com](http://www.cloob.com)
- 6- Aarts, E., Korst, J., Simulated Annealing and Boltzman Machines, A Stochastic Approach to Combinational Optimization and Neural Computing.
- ۷- شمس الدینی، حامد، (۱۳۹۲). پیش بینی عقب زدگی ناشی از انفجار با استفاده از روش های رگرسیون- PSO و شبکه های عصبی مصنوعی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۸- طرح بهره برداری از معدن سادات سیریز. (۱۳۹۵).