

## طراحی محدوده بهینه نهائی در معادن روباز با استفاده از الگوریتم ژنتیک

حسین میرزائی نصیرآباد<sup>۱</sup>، رضا کاکائی<sup>۲</sup>

۱ - دانشجوی دکتری معدن، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، [hm\\_nasr@yahoo.com](mailto:hm_nasr@yahoo.com)

۲ - استادیار دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، [R\\_kakaie@Shahroodut.ac.ir](mailto:R_kakaie@Shahroodut.ac.ir)

### چکیده

قبل از استخراج مواد معدنی به روش روباز لازم است که محدوده نهائی معدن به منظور تعیین محل تأسیسات سطحی، دپوی باطله، کارخانه فرآوری، مسیرهای دسترسی و... طراحی شود. روش‌های مختلفی برای طراحی محدوده نهائی استفاده می‌شود که از میان آنها طراحی بهینه از اهمیت خاصی برخوردار است. الگوریتم‌های زیادی نظیر روش مخروط شناور، الگوریتم کوروبوف، روش لرج و گروسمن بر اساس تئوری گراف جهت تعیین محدوده بهینه نهائی در معادن روباز معرفی شده است که هر یک دارای مزایا و معایب خاصی هستند. در این مقاله نحوه تعیین محدوده بهینه نهائی در معادن روباز با استفاده از الگوریتم ژنتیک بیان شده است. برای این منظور با استفاده از الگوریتم مذکور دو مدل ارائه شده است: در مدل اول الگوریتم ژنتیک به تنهایی و در مدل دوم ترکیب الگوریتم ژنتیک و مخروط شناور بکار گرفته شده‌اند. برای بررسی کارائی مدل‌های ارائه شده، نتایج آن با نتایج سایر روش‌ها مقایسه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که این مدل‌ها جواب‌های قابل قبول بدست می‌آورند.

کلمات کلیدی: محدوده بهینه نهائی، معادن روباز، تئوری گراف لرج و گروسمن، روش مخروط شناور، الگوریتم ژنتیک

## Optimum Open Pit Design With The Use of Genetic Algorithm

H. Mirzaei, R. Kakarie

### Abstract

Before the excavation of the material with open pit mining method, it is necessary to determine the pit limit in order to locate processing plant and other surface facilities. Different methods are used to find out pit outline. Among these methods optimum open pit design is very important. Many algorithms such as Floating cone method, Korobov algorithm, Lerch and Grossmann algorithm based on graph theory, etc. have been developed to design the optimum open pit outline. All of these methods have special advantages and disadvantages. This paper describes the determination of the optimum open pit limit with the use of genetic algorithm. for this purpose two models are developed. in the first model only genetic algorithm and in the second model genetic algorithm together with the floating cone method is used. to evaluate the efficiency of models and the results are compared with the other results obtained with the floating cone method and the Lerch and Grossmann algorithm. Results showed that these models generate desirable solutions.

**Keywords:** Optimum open pit limit, Genetic algorithm, Lerch & Grossman Graph Theory, Floating cone method

## ۱- مقدمه

ذخایر معدنی به دو روش زیر زمینی و یا سطحی استخراج می‌شوند. روشهای استخراج سطحی شامل چندین روش از جمله روش استخراج نواری، روش کواری و روش استخراج روباز<sup>۱</sup> است که مهمترین و پیچیده‌ترین آنها روش استخراج روباز می‌باشد. اهمیت این روش استخراجی از آنجا ناشی می‌شود که بیش از ۷۰ درصد ذخایر معدنی با استفاده از این روش بهره برداری می‌گردد. از اینرو مطالعه و بهینه سازی امور مربوط به روش استخراج روباز حائز اهمیت می‌باشد. در معادن روباز بعد از اینکه یک کانسار مراحل مختلف اکتشاف را پشت سر گذاشت و سودآوری آن در مطالعات امکان پذیری تأیید گردید، قبل از شروع به استخراج کانسار ابتدا بایستی محدوده بهینه نهایی<sup>۲</sup> معدن طراحی گردد و سپس مواد موجود در این محدوده استخراج شود. هدف از طراحی محدوده بهینه نهایی، تعیین محدوده‌ای است که بیشترین سود ممکن را تولید نماید. برای تعیین محدوده بهینه نهایی معادن روباز روش‌های مختلفی نظیر مخروط شناور<sup>۳</sup>، تئوری گراف لرج و گروسمن<sup>۴</sup>، روش برنامه‌ریزی پویا<sup>۵</sup> و ... وجود دارند که هر یک از این روش‌ها دارای یکسری معایب هستند [۱]. از بین این روش‌ها روش مخروط شناور ساده‌ترین روش و تئوری گراف لرج و گروسمن از پیچیده‌ترین روش‌ها می‌باشند. روش تئوری گراف لرج و گروسمن تنها روشی است که قادر است جواب بهینه واقعی را تولید کند، ولی این روش در مقایسه با سایر روش‌ها برای حصول به جواب به وقت کامپیوتری زیادی نیاز دارد [۱]

بنابراین مسئله تعیین محدوده بهینه نهایی از جمله مسائلی است که به خاطر پیچیدگی و ماهیت خاصشان، روش‌های کلاسیک در حل آنها با مشکلات خاصی مواجه هستند و برای حل این مسائل الگوریتم‌های سریعی وجود ندارد. امروزه روش‌های هوش مصنوعی محاسباتی نظیر الگوریتم‌های ژنتیک، شبکه‌های عصبی و ... در حل مسائل پیچیده کاربرد موفقیت آمیزی داشته‌اند. بنابراین در این مقاله نحوه استفاده از الگوریتم ژنتیک برای تعیین محدوده بهینه نهایی معادن روباز بیان شده است.

## ۲- مسئله طراحی محدوده نهایی معادن روباز

### ۲-۱- تعریف محدوده نهایی

محدوده نهایی شکل و اندازه معدن را در آخر عمر آن نشان می‌دهد و بیانگر این است که خارج از آن استخراج ماده معدنی به روش روباز یا سطحی اقتصادی نیست. هدف از طراحی محدوده بهینه نهایی معدن، تعیین حجمی از مواد است که با استخراج آن سود حاصله بیشترین مقدار ممکن باشد. لازم به توضیح است محدوده نهایی با رعایت شیب پایدار دیواره‌ها طراحی می‌گردد. محدوده نهایی معادن روباز به سه روش دستی، کامپیوتری یا دستی - کامپیوتری و روشهای بهینه طراحی می‌گردد. از روش‌های فوق، روشهای بهینه از اهمیت بالایی برخوردارند. اساس روش‌های بهینه طراحی محدوده نهایی، استفاده از مدل بلوکی است [۲].

### ۲-۲- مدل بلوکی

برای طراحی محدوده بهینه نهایی، اولین قدم ساختن یک مدل برای کانسار است که آنرا مدل بلوکی<sup>۶</sup> گویند. برای این منظور ابتدا ماده معدنی و باطله همراه آن به صورت یک بلوک بزرگ در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعد این بلوک مکعب مستطیل شکل به بلوک‌های کوچک با ابعاد مشخص تقسیم می‌شود. مدل بلوکی در حالت سه بعدی منظم در شکل (۱) نشان داده شده است. در مرحله آخر با استفاده از اطلاعات اکتشافی موجود، عیار هر یک از بلوکها بوسیله روشهایی نظیر عکس فاصله<sup>۷</sup> و یا

<sup>۱</sup> Open Pit Mining

<sup>۲</sup> Optimum Open Pit Limit

<sup>۳</sup> Floating Cone Method

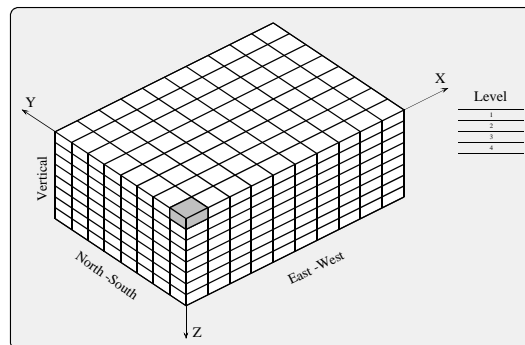
<sup>۴</sup> Lerchs & Grossmann Method

<sup>۵</sup> Dynamic Programming

<sup>۶</sup> Block Mode

<sup>۷</sup> inverse Distance

زمین آمار<sup>۱</sup> تخمین زده می‌شود که به آن مدل بلوکی عیاری گفته می‌شود. با استفاده از مدل بلوکی عیاری و اطلاعات اقتصادی، ارزش اقتصادی هر بلوک محاسبه شده و مدل بلوکی اقتصادی بدست می‌آید. در این مدل بلوک‌های ماده معدنی دارای ارزش مثبت، بلوک‌های باطله دارای ارزش منفی و بلوک‌های بالای سطح توپوگرافی ( بلوک‌های هوا ) دارای ارزش صفر است.



شکل ۱- مدل بلوکی کانسار در طراحی محدوده نهایی [۳].

با توجه به مدل بلوکی اقتصادی، طراحی محدوده بهینه نهایی عبارت است از پیدا کردن مجموعه‌ای از بلوک‌ها که ماکزیمم ارزش ممکن را داشته باشد به شرطی که زاویه شیب مورد نیاز کاواک تامین شود. زاویه شیب پایداری کاواک تنها محدودیت اعمال شده بر سیستم است.

### ۳- الگوریتم ژنتیک

امروزه سعی بر این است تا با تقلید از طبیعت و پدیده‌های طبیعی، الگوریتم‌های توانمندی برای حل مسائل بهینه سازی مشکل توسعه یابد. یک نمونه از این نوع الگوریتم‌ها، "روشهای برنامه ریزی تکاملی"<sup>۲</sup> هستند. معروفترین و مهمترین روش برنامه‌ریزی تکاملی، الگوریتم‌های ژنتیک هستند که در حل مسائل بهینه سازی کاربرد گسترده و موفقی داشته‌اند [۴]. طرز کار الگوریتم ژنتیک بدین صورت است که ابتدا تعدادی راه حل بطور تصادفی تولید می‌شود. هر یک از راه حل‌های پتانسیل، کروموزوم نام دارد و مجموعه کروموزوم‌ها جمعیت نامیده می‌شود. واحد تشکیل دهنده کروموزوم را نیز ژن گویند. بدیهی است با تغییر هر ژن از کروموزوم، کروموزوم جدیدی بدست می‌آید. در مرحله بعد با اعمال عملگرهای احتمالی بر جمعیت فعلی و با روش‌های خاص، جمعیت جدیدی ایجاد می‌شود و سپس با اعمال عملگرهای ژنتیکی کراس اور و موتاسیون<sup>۳</sup>، برخی از اعضای جمعیت موجود تغییر کرده و اعضای جدید جایگزین آنها می‌شوند. بدین ترتیب جمعیت جدیدی تولید می‌گردد. هر سیکل از این عملیات یک نسل نامیده می‌شود. این فرایند تا راه حل بهینه‌ای در جمعیت بوجود آید، تکرار می‌شود [۴]. در شکل (۲) فلوشیت الگوریتم ژنتیک با ۲۰ نسل، نشان داده شده است.

برای طراحی محدوده بهینه نهایی معادن روباز با استفاده از الگوریتم دو مورد گزارش شده است. در مورد اول، آقایان دنی و اسکوفیلد<sup>۴</sup> ادعا نموده‌اند هر دو مسئله طراحی محدوده نهایی و برنامه‌ریزی تولید را با استفاده از این الگوریتم حل کرده‌اند که متأسفانه جزئیات کارشان را ارائه نداده‌اند و همچنین کارائی الگوریتم آنها به اثبات نرسیده است [۵، ۶، ۱]. در مورد دوم، گوردون توماس<sup>۵</sup> با استفاده از الگوریتم ژنتیک محدوده نهایی معادن روباز را طراحی کرده و به نتایجی دست یافته است [۷].

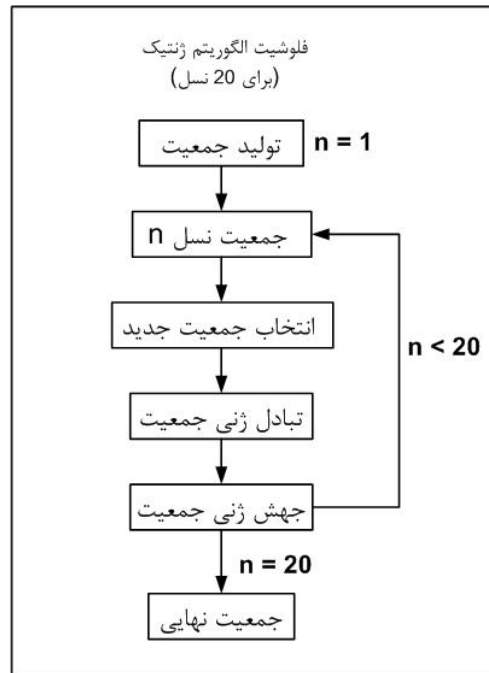
<sup>۱</sup> Geostatistic

<sup>۲</sup> Evolution programming

<sup>۳</sup> Cross Over & Mutasion

<sup>۴</sup> Denby & Schofield

<sup>۵</sup> Gordon tomas



شکل ۲- فلوجارت الگوریتم ژنتیک [۵]

#### ۴- حل مسئله طراحی محدوده نهایی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

##### ۴-۱- کروموزوم مدل شده برای مسئله محدوده نهایی

برای استفاده از الگوریتم ژنتیک ابتدا بایستی کروموزوم مسئله مورد نظر مدل گردد. در مسئله طراحی محدوده بهینه نهایی با در نظر گرفتن مدل بلوکی اقتصادی، با ارزش ترین محدوده، از مخروط‌های استخراجی بلوک‌های مثبت تشکیل می‌شود. (مخروط استخراجی برای یک بلوک، مجموعه بلوک‌هایی است که برای دسترسی به بلوک مورد نظر بایستی با توجه به محدودیت شیب برداشته شوند). بنابراین در این مسئله کروموزوم به صورت آرایه‌ای از اعداد صحیح به طول تعداد ستون‌های دارای بلوک مثبت، در نظر گرفته شده است که هر عضو این آرایه شماره بلوک‌های مثبت واقع در ستون متناظر را در خود ذخیره می‌کند [۲].

##### ۴-۲- جمعیت اولیه

اندازه جمعیت در مدل ارائه شده، ۵۰ کروموزوم در نظر گرفته شده است. برای شروع مقادیر تمام ژن‌های ۵۰ کروموزوم موجود در جمعیت بطور تصادفی با توجه به ستون‌های متناظرشان و تعداد بلوک‌های مثبت موجود در این ستون‌ها، انتخاب می‌شوند.

##### ۴-۳- انتخاب جمعیت جدید

در این مدل از روش چرخ رولت برای انتخاب جمعیت جدید استفاده شده است [۴]. معیار مورد استفاده برای انتخاب کروموزوم‌ها برای نسل بعدی تابع برازندگی می‌باشد. تابع برازندگی در این مسئله ارزش پیت متناظر با کروموزوم می‌باشد. به این صورت که برای هر ژن از کروموزوم مخروط استخراجی ساخته می‌شود و از مجموع مخروط‌های استخراجی ژن‌های موجود در آن، محدوده نهایی بدست می‌آید. مجموع ارزش بلوک‌های واقع در محدوده نهایی به عنوان برازندگی کروموزوم مورد نظر می‌باشد. با توجه به این که ممکن است ارزش برازندگی برخی کروموزوم‌ها منفی باشد، برای اینکه کار چرخ رولت مختل نشود، قدر مطلق کوچکترین برازندگی به برازندگی تمام کروموزوم‌ها افزوده می‌شود. چون ممکن است کوچکترین برازندگی صفر باشد، یک واحد نیز به برازندگی‌ها اضافه می‌گردد. بدین ترتیب مقادیر برازندگی اصلاح شده بدست می‌آید [۲].

##### ۴-۴- عملگرهای الگوریتم ژنتیک

همانطور که اشاره شد در الگوریتم ژنتیک اعضا با اعمال عملگرهای کراس اور و موتاسیون تغییر می‌کنند، در این مدل احتمال کراس اور و موتاسیون به ترتیب به صورت بازه  $0/3$  تا  $0/7$  و  $0/05$  تا  $0/15$  در نظر گرفته شده است که مقدار دقیق آن‌ها برای هر مدل بلوکی با استفاده از آنالیز حساسیت تعیین می‌شود.

#### ۴-۵- اتمام بهینه سازی

اگر بهینه‌سازی به تعداد مشخصی نسل بدون بهبود بهترین کروموزوم ادامه یابد، بهینه‌سازی متوقف می‌شود. این تعداد به نوع مسئله و شخص بهینه ساز بستگی دارد. در این مسئله این تعداد ۱۰۰۰ نسل در نظر گرفته شده است. یعنی اگر مقدار "بهترین کروموزوم" در طی ۱۰۰۰ نسل بهبود نیابد، فرآیند بهینه‌سازی متوقف می‌شود [۲]. برای درک بهتر مدل ارائه شده، مدل بلوکی دو بعدی شکل (۳) را بعنوان مثال در نظر می‌گیریم. پنج کروموزوم از جمعیت اولیه این مثال همراه با پیت متناظرشان در شکل (۴) نشان داده شده است.

1	2	3	4	5	6	7
-1	+1	+1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	+2	+1	-1
-1	-1	+2	-1	+3	-1	-1
-1	-1	-1	+1	-1	-1	-1

شکل ۳- مدل بلوکی دو بعدی [۲]

با توجه به مدل بلوکی شکل (۴)، در پنج ستون بلوک مثبت وجود دارد بنابراین کروموزوم به صورت یک آرایه پنج عضوی مدل می‌شود. در ژن اول (متناظر با ستون دوم مدل بلوکی) اعداد ۰ یا ۱، در ژن دوم اعداد ۰، ۱ و ۲، در ژن سوم اعداد ۰ یا ۱، در ژن چهارم اعداد ۰، ۱ و ۲ و در ژن پنجم نیز اعداد ۰ یا ۱ ذخیره می‌شوند. لازم به ذکر است که عدد صفر در یک ژن بیانگر این است که هیچ بلوکی از ستون متناظر آن استخراج نمی‌شود مگر اینکه در مخروط استخراجی سایر بلوک‌ها واقع شود. عدد یک نیز بیانگر این است که اولین بلوک مثبت بالایی از ستون متناظر به همراه بلوک‌های واقع در مخروط استخراجی آن باید استخراج گردد و همچنین عدد ۲ نشان دهنده این است که دومین بلوک مثبت بالایی از ستون متناظر به همراه بلوک‌های واقع در مخروط استخراجی آن باید استخراج گردد (شکل ۴).

بر اساس مدل‌های ارائه شده در این مقاله، نرم افزار Genpit تهیه گردید. این نرم افزار قادر است به دو روش محدوده نهایی معادن روباز را طراحی کند. در روش اول الگوریتم ژنتیک به تنهایی و در روش دوم ترکیب الگوریتم ژنتیک و مخروط شناور بکار گرفته شده است [۲].

0 0 1 2 0		
1 1 0 1 0		
1 0 0 1 0		
1 1 0 2 1		
0 2 0 1 0		

شکل ۴- جمعیت اولیه مثال نشان داده شده در شکل (۳) [۲]

### ۵- روش ترکیبی مخروط شناور و الگوریتم ژنتیک

در این روش ابتدا با استفاده از مخروط شناور محدوده بهینه نهایی طراحی می‌گردد و بلوک‌های واقع در محدوده نهایی طراحی شده از مدل بلوکی حذف می‌شود. در مرحله بعد برای بقیه بلوک‌های مدل بلوکی با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک محدوده بهینه نهایی مجدداً طراحی می‌گردد. با ترکیب نتایج دو روش مذکور محدوده بهینه نهایی بدست می‌آید.

### ۶- مورد مطالعاتی

به منظور بررسی کارایی مدل ارائه شده در این مقاله، از یک مثال سه بعدی استفاده شده و نتایج حاصله با نتایج روش‌های مخروط شناور و تئوری گراف لرچ و گروسمن مقایسه گردیده است. مشخصات این مثال در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات مدل بلوکی مثال مورد نظر

ابعاد مدل	تعداد بلوک	شیب دیواره معدن
۲۰ × ۱۸ × ۸	۲۸۸۰	۶۰

با توجه به اینکه الگوریتم ژنتیک ماهیت تصادفی دارد و در اجراهای مختلف ممکن است جواب‌های مختلفی بدست آید، بنابراین برای مدل بلوکی مورد نظر، هر یک از برنامه‌ها (روش الگوریتم ژنتیک و ترکیب مخروط شناور و الگوریتم ژنتیک) را ۵ بار اجرا می‌کنیم. ورودی‌ها و خروجی‌های این اجراها در جداول ذیل درج شده است.

جدول ۲- ورودی‌ها و خروجی‌های پنج اجرای الگوریتم ژنتیک

شماره اجرا	احتمال کراس اور	احتمال موتاسیون	پارامتر اتمام	ارزش پیت	تعداد کل بلوک	تعداد بلوک کانسنگ	تعداد بلوک باطله
۱	۰/۳	۰/۰۵	۵۰۰	۱۰۷۳۲/۲۳	۸۸۰	۲۲۵	۶۵۵
۲	۰/۳۵	۰/۱	۵۰۰	۱۰۸۳۵/۴۲	۹۵۸	۲۳۳	۷۲۵
۳	۰/۳۲	۰/۰۷	۵۰۰	۱۰۷۲۹/۹۲	۹۷۰	۲۳۱	۷۳۹
۴	۰/۳۲	۰/۰۷	۵۰۰	۱۰۷۱۷/۱۹	۹۳۰	۲۲۸	۷۰۲
۵	۰/۴	۰/۰۹	۱۰۰۰	۱۰۸۲۴/۹۲	۹۲۲	۲۳۰	۶۹۲

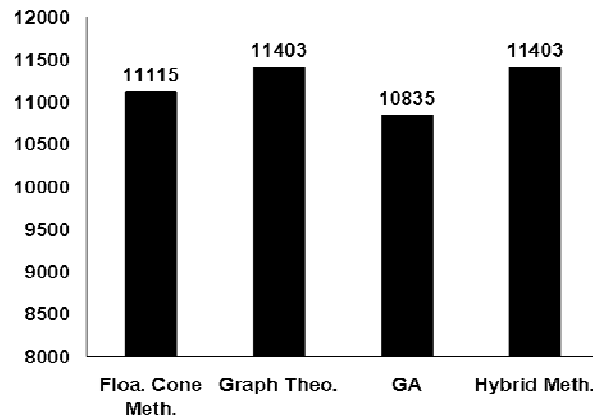
جدول ۳- ورودی‌ها و خروجی‌های پنج اجرای روش ترکیبی مخروط شناور و الگوریتم ژنتیک

شماره اجرا	احتمال کراس اور	احتمال موتاسیون	پارامتر اتمام	ارزش پیت	تعداد کل بلوک	تعداد بلوک کانسنگ	تعداد بلوک باطله
۱	۰/۳	۰/۰۵	۵۰۰	۱۱۴۰۲/۵۵	۹۱۴	۲۳۸	۶۷۶
۲	۰/۳۵	۰/۱۰	۵۰۰	۱۱۴۰۲/۵۵	۹۱۴	۲۳۸	۶۷۶
۳	۰/۳۲	۰/۰۷	۵۰۰	۱۱۳۹۴/۲۳	۹۰۰	۲۳۷	۶۶۳
۴	۰/۳۲	۰/۰۷	۵۰۰	۱۱۳۹۴/۲۳	۹۰۰	۲۳۷	۶۶۳
۵	۰/۴	۰/۰۹	۱۰۰۰	۱۱۳۸۴/۲۳	۹۰۲	۲۳۷	۶۶۵

### ۶-۱- مقایسه نتایج حاصله با نتایج سایر روش‌ها

برای مقایسه مدل ارائه شده در این مقاله با سایر روش‌ها، بهترین جواب اجراهای مختلف الگوریتم ژنتیک انتخاب شده و با نتایج سه روش مخروط شناور، تئوری گراف لرچ و گروسمن و روش ترکیبی مخروط شناور و الگوریتم ژنتیک مقایسه گردیده است. نتایج چهار روش ذکر شده برای مثال مورد نظر در نمودار شکل (۵) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نتیجه دو روش الگوریتم ژنتیک و ترکیب آن با مخروط شناور به مراتب بهتر از روش مخروط شناور است و همچنین به جواب تئوری گراف لرچ و گروسمن نزدیک می‌باشد. لازم به ذکر است که این دو روش در زمان کوتاهتری نسبت به تئوری گراف لرچ

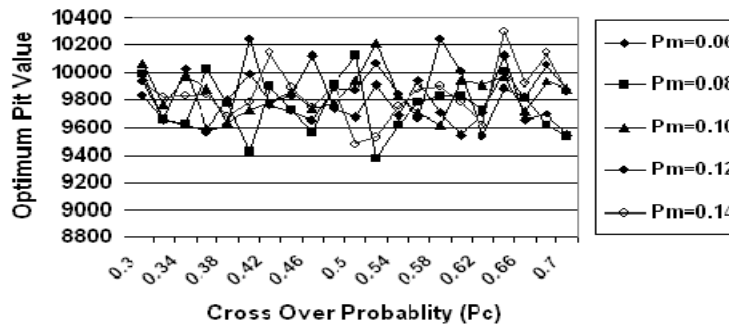
و گروسمن محدوده بهینه نهایی را تعیین می‌کنند. برای تعیین محدوده به روش تئوری گراف لرج و گروسمن و مخروط شناور از نرم افزار Pitwin32 استفاده شد [۳].



شکل ۵- نمودار مقایسه نتایج روش‌ها [۱].

#### ۶-۲- پارامترهای الگوریتم ژنتیک

برای این مثال اندازه جمعیت ۵۰ کروموزوم در نظر گرفته شده و مقدار احتمال کراس اور ( $P_c$ ) و موتاسیون ( $P_m$ ) با آنالیز حساسیت به ترتیب از بازه‌های (۰/۳، ۰/۷) و (۰/۰۵، ۰/۱۵) انتخاب می‌شود. نتایج آنالیز حساسیت این دو پارامتر در نمودار شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه به نمودار فوق بهترین جواب به ازای مقادیر  $P_c = ۰/۶۴$  و  $P_m = ۰/۱۴$  تولید می‌شود که مقدار آن برابر ۱۱۴۰۳ (ارزش بهینه محدوده معدن) است.



شکل ۶- نتایج آنالیز حساسیت احتمال‌های کراس اور و موتاسیون [۲].

#### ۷- نتیجه‌گیری

نتایج روش الگوریتم ژنتیک و روش ترکیبی مخروط شناور و الگوریتم ژنتیک با توجه به جواب‌های روش مخروط شناور و تئوری گراف لرج و گروسمن قابل قبول می‌باشند. مخصوصاً روش ترکیبی مخروط شناور و الگوریتم ژنتیک که از روش مخروط شناور بهتر بوده و جواب آن به جواب روش لرج و گروسمن خیلی نزدیک می‌باشد. دو روش الگوریتم ژنتیک و ترکیب آن با مخروط شناور در زمان کوتاهتری نسبت به تئوری گراف لرج و گروسمن محدوده نهایی معدن را تعیین می‌کنند. ماهیت الگوریتم ژنتیک طوری است که تضمین نمی‌کند جواب بهینه را دقیقاً پیدا کند. ولی اگر این الگوریتم بدرستی به کار گرفته شود و پارامترهای موثر در آن بطور دقیق انتخاب شوند، جواب‌های نزدیک به جواب بهینه واقعی را تولید می‌کنند. در مورد مسئله طراحی محدوده نهایی این نتیجه صادق است و نتایج نشان داده است که جواب‌های حاصل از الگوریتم ژنتیک به جواب

بهینه واقعی (جواب‌های تئوری گراف لرج و گروسمن) نزدیک هستند. برای اینکه الگوریتم ژنتیک و روش ترکیبی آن جواب بهتری پیدا کنند، بایستی مقادیر پارامترهای موثر در عملکرد آن بطور دقیق و مناسب انتخاب شوند. با توجه به اینکه الگوریتم ژنتیک ماهیت تصادفی دارد، از اجراهای مختلف آن نتایج متفاوتی بدست می‌آید و اگر این روش خوب بکار گرفته شود، نتایج اجراهای مختلف خیلی بهم نزدیک می‌باشند.

#### ۸- مراجع

[1] Gordon, S.T; 1996; "*Pit Optimisation and Mine Production Scheduling -The Way Ahead*", Technical Proc, 26th APCOM, PP: 221- 228.

[۲] میرزائی نصیرآباد، حسین؛ (۱۳۸۱)؛ "طراحی محدوده نهایی و برنامه ریزی تولید معادن روباز با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[3] Khalokakaie, R, Dowd, P.A, and Fowell, R.J., 2000, "A Windows program for optimal open pit design with variable slope angles", international Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, Vol .14, No.1, pp 261-275.

[4] Michalewicz, Z.; 1996; "*Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*", 3<sup>rd</sup> edition, Springer - Verlag, New York.

[5] Denby, B., and Schofield, D.; 1994; "*Open-Pit Design and Scheduling by use of Genetic Algorithms*", Trans (Section A: Mining industry), IMM, Vol. 103, pp A21- A26.

[6] Denby, B., and Schofield, D., 1995b; "*The Use of Genetic Algorithms in Underground Mine Scheduling*", Technical Proc, 25<sup>th</sup> APCOM, pp 389- 394.

[7] Gordon, S.T; 1996; "*Optimisation and Scheduling of Open Pits via Genetic Algorithm and Simulated Annealing*", www: <http://www.per.dem.csiro.au/mineprod>.