نشریه علمی- پژوهشی "مهندسی معدن"
Iranian Journal of Mining Engineering
(IRJME)

دوره ششم، شماره 13، سال 1390، صفحه 93 تا 97
Vol. 6 , No. 13, 2012. p. 93-97

یادداشت فنی

اعتبار سنجی الگوریتم کوروبوف اصلاح‌شده به کمک الگوریتم لرچ و گروسمن

ابراهیم الهی زینی[1] * ، رضا کاکایی[2]

1-کارشناس ارشد مهندسی استخراج معدن، شرکت زغالسنگ البرز شرقی، Ellahi_ebrahim@yahoo.com
2- دانشیار دانشکده مهندسی معدن و ژئو فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، R_kakaie@shahroodut.ac.ir

(دریافت 14 دی 1388 ، پذیرش 17 مهر 1390)

چکیده

یکی از روش‌های استخراج معادن سطحی روش روباز است که در آن استخراج ماده معدنی به صورت پله‌ای انجام می‌شود. محدوده نهایی معدن در این روش که معرف شکل آن در پایان عمر معدن است، باید قبل از استخراج طراحی شود. محدوده نهایی معدن را می‌توان با روش‌های دستی و رایانه‌ای طراحی نمود. در روش دستی محدوده‌ی سربه‌سری معدن طراحی می‌شود ولی هدف در طراحی رایانه‌ای تعیین محدوده بهینه معدن است. محدوده بهینه، محدوده‌ای است که سود حاصل از آن حداکثر باشد. جهت طراحی محدوده بهینه الگوریتم‌های متعددی همچون مخروط شناور، الگوریتم کوروبوف، الگوریتم کوروبوف اصلاح شده و الگوریتم لرچ و گروسمن مبتنی بر نظریه گراف ارائه شده است که هر کدام دارای معایب و مزایای خاصی هستند. طراحان الگوریتم کوروبوف اصلاح شده معتقداند این الگوریتم قادر است در همه حالت‌ها محدوده بهینه واقعی را برآورد نماید. با توجه به اینکه ثابت شده الگوریتم لرچ و گروسمن قادر است در همه حالت‌ها محدوده بهینه واقعی را محاسبه نماید، لذا در این مقاله، الگوریتم کوروبوف اصلاح شده در مدل‌های مختلف مورد نقد و بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل با الگوریتم لرچ و گروسمن مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش مذکور درعین سادگی قادر نیست محدوده بهینه واقعی را در بعضی از مدل‌ها پیدا نماید.

کلمات کلیدی

معادن روباز، محدوده بهینه، الگوریتم کوروبوف اصلاح شده، الگوریتم لرچ و گروسمن

---

* نویسنده مسئول و عهده‌دار مکاتبات

1-مقدمه

یکی از مهم‌ترین روش‌های استخراج معادن سطحی روش روباز است که در آن استخراج ماده معدنی به صورت پله‌هایی انجام می‌شود. شکل معدن در پایان عمر آن در روش مذکور معرف محدوده نهایی معدن می‌باشد که بایستی قبل از استخراج طراحی شود. با مشخص بودن محدوده نهایی معدن پارامترهایی همچون میزان گسترش طولی، عرضی و عمقی معدن، مسیرهای دسترسی به ماده معدنی، محل دپوی باطله، محل تاسیسات سطحی نسبت باطله‌برداری، عمر معدن، میزان ذخیره قابل استخراج به روش روباز، میزان باطله برداری و نحوه برنامه‌ریزی تولید قابل برآورد است [1].

محدوده نهایی معدن را می‌توان به روش‌های دستی و یا رایانه‌ای طراحی نمود. در استفاده از هر روش باید مسائل اقتصادی در نظر گرفته شود. در روش دستی محدوده‌ی سربه‌سری معدن طراحی می‌شود که سود حاصل در مرزهای محدوده معادل با صفر می‌باشد. ولی هدف در طراحی رایانه‌ای تعیین محدوده بهینه واقعی معدن می‌باشد. محدوده بهینه واقعی، محدوده‌ای است که سود حاصل از این محدوده اولا مثبت است و ثانیا از بین مثبت‌های ممکن ماکزیمم مقدار خود می‌باشد. لذا بهترین روش برای طراحی محدوده نهایی معدن از نظر اقتصادی روش رایانه‌ای می‌باشد.

استفاده از رایانه برای طراحی محدوده بهینه معمولا بر اساس مدل بلوکی صورت می‌گیرد. برای این منظور ابتدا مدل بلوکی کانسار ساخته شده و کانسار به بلوک‌های کوچک‌تر تقسیم می‌گردد و برای هر بلوک عیار ماده معدنی با استفاده از روش‌های عکس‌فاصله و یا زمین‌آمار تخمین زده می‌شود. سپس ارزش اقتصادی هر بلوک را با توجه به هزینه‌ها و درآمد ناشی از ماده معدنی موجود در بلوک تعیین می‌کنند، که به آن مدل بلوکی اقتصادی کانسار گفته می‌شود. در این مدل بلوک‌های ماده معدنی دارای ارزش مثبت، بلوک‌های باطله دارای ارزش منفی و بلوک‌های هوا که بالاتر از سطح توپوگرافی قرار دارند دارای ارزش صفر می‌باشند. اغلب روش‌های طراحی از این مدل برای تعیین محدوده بهینه نهائی استفاده می‌کنند و هدف اصلی همه آنها پیدا کردن مجموعهٔ بلوک‌هایی است که اگر استخراج شوند سود به‌دست آمده تحت محدودیت‌های اقتصادی و فنی حداکثر شود [2].

جهت طراحی محدوده بهینه الگوریتم‌های متعددی همچون روش مخروط شناور [3]، روش مخروط شناور II(Floating cone II) [4]، روش برنامه‌ریزی پویا (Dynamic programming) [5]، [6] و [7]، روش لرچ و گروسمن (Lerchs and Grossmann algorithm) مبتنی بر نظریه گراف [8]، الگوریتم کوروبوف(Korobov algorithm) [9]، الگوریتم کوروبوف اصلاح شده(Corrected form of the Korobov algorithm) [10] و الگوریتم ژنتیک [11] ارائه شده است که هر کدام دارای معایب و مزایای خاصی می‌باشند.

روش الگوریتم کوروبوف اصلاح شده بر اساس ادعای طراحان آن قادر است در همه حالت‌ها محدوده بهینه واقعی را برآورد نماید [10]. با توجه به این که عدم بهینه واقعی نبودن این الگوریتم تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است لذا در این مقاله سعی شده است که این الگوریتم در مدل‌های مختلف مورد نقد و بررسی قرار گرفته و نتایج آن با الگوریتم لرچ و گروسمن مقایسه شود.

2- مروری بر الگوریتم‌های لرچ و گروسمن و کوروبوف

2-1- الگوریتم لرچ و گروسمن

این الگوریتم که در سال 1965 توسط لرچ و گروسمن مطرح شد، یکی از روش‌هایی است که ثابت شده در حالت دو یا سه بعدی قادر است محدوده بهینه واقعی را در تمام مدل‌ها پیدا نماید. روش مذکور که بر روی مدل بلوکی اقتصادی کانسار قابل اجرا است این مدل را تبدیل به یک گراف می‌نماید. این الگوریتم براساس مفاهیمی همچون گره، گوشه، گراف، کمان، کلوژر، مسیر، مدار، زنجیر، سیکل، درخت و ریشه استوار است. مراحل اجرای این الگوریتم بر چهار اصل تشکیل درخت اولیه، تعیین شاخه‌های مثبت و منفی، تعیین شاخه‌های قوی و ضعیف و اصل نرمالیزه کردن استوار است [12]. مهم‌ترین مزیت این روش قابلیت آن برای پیدا کردن محدوده بهینه واقعی معادن روباز در همه حالات است. ولی دارای معایبی ازجمله پیچیدگی الگوریتم و به دنبال آن مشکل بودن تهیه برنامه رایانه‌ای مربوطه و همچنین کاربرد آن برای شیب‌های متغیر است.

2-2- الگوریتم کوروبوف اصلاح شده

با توجه به اینکه الگوریتم کوروبوف قادر نیست در بعضی

حالات محدوده بهینه را تعیین نماید, جهت رفع این مشکل الگوریتم کوروبوف اصلاح شده توسط داود و انور در سال 1992 مطرح شد. طراحان این الگوریتم معتقدند که این الگوریتم قادر به تعیین محدوده بهینه واقعی می‌باشد [10] و [13]. در این الگوریتم در هر طبقه با توجه به تعداد بلوک‌های مثبت و مطابق جدول 1 به همان تعداد گروه‌هایی از بلوک‌های ماده معدنی تشکیل شده و در هر گروه ترکیبات متعددی مطابق جدول 1 (C_i، مخروط استخراجی بلوک i ام ماده معدنی) ایجاد می‌شود. ابتدا ترکیباتی که در مخروط‌های استخراجی آنها بلوک‌های مشترک وجود داشته باشند، شناسایی شده و اختصاص مقادیر مثبت به منفی ابتدا برای بلوک‌های غیر مشترک و سپس برای بلوک‌های مشترک انجام می‌شود. هر بلوک مثبت بلوک‌های غیرمشترک و مشترک مخروط استخراجی خود را صفر می‌کند. اگر ارزش باقیمانده هر یک از بلوک‌های مثبت بعد از صفر کردن بلوک‌های غیرمشترک و مشترک مخروط استخراجی خود مثبت باقی بماند، در این صورت این بلوک ماده معدنی به همراه مخروط استخراجی خود جز محدوده معدن محسوب می‌شوند و سپس جستجو برای ترکیبات مشترک بعدی از بلوک‌های باقیمانده با ارزش اولیه مدل بلوکی اقتصادی آغاز می‌شود. در غیر این صورت یعنی اگر ارزش باقیمانده هیچ یک از بلوک‌های ماده معدنی مثبت نباشد جستجو برای ترکیبات مشترک بعدی از طبقه بعدی مدل بلوکی اقتصادی شروع می‌شود. در ضمن اگر مخروط استخراجی وجود داشته باشد که با سایر مخروط‌های استخراجی در آن طبقه فاقد بلوک مشترک باشد در این صورت آن مخروط استخراجی به روش الگوریتم کوروبوف مورد بررسی قرار می‌گیرد [10] و [13].

3- اعتبار سنجی الگوریتم کوروبوف اصلاح شده

با توجه به اینکه الگوریتم مذکور تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است، لذا در این بخش اعتبار این روش برای حصول به جواب بهینه واقعی با دو مثال مختلف بررسی می‌گردد.

مثال اول: مدل بلوکی اقتصادی این مثال در شکل 1 نشان داده شده است. با استفاده از الگوریتم لرچ و گروسمن با فرض اینکه شیب دیواره نهایی محدوده استخراجی 1:1 باشد، مطابق جدول 2 این مدل فاقد محدوده بهینه واقعی است. همچنین در این مدل تنها طبقه‌ای که حاوی بلوک ماده معدنی است، طبقه سوم بوده و در این طبقه سه بلوک ماده معدنی وجود دارد. با توجه به اصول الگوریتم کوروبوف اصلاح شده مطابق جدول 1 از هفت ترکیب تشکیل شده، چهار ترکیب آن مربوط به ترکیبات اشتراکی و سه ترکیب آن مربوط به ترکیبات غیر اشتراکی است. از آنجا که در مخروط‌های استخراجی هر سه بلوک ماده معدنی، بلوک‌های مشترک وجود دارد در نتیجه در این طبقه ابتدا ترکیبات اشتراکی به نام‌های $C_1\&C_2$، $C_1\&C_3$، $C_2\&C_3$ و $C_1\&C_2\&C_3$ تشکیل و سپس در صورت نیاز ترکیبات غیر اشتراکی مطابق جدول 3 مورد بررسی قرار می‌گیرند. در شکل 2 مراحل اجرای الگوریتم کوروبوف اصلاح شده برای مرحله 4 نشان داده شده است که در نتیجه محدوده‌ای با ارزش 1- مطابق جدول 3 و شکل 2: ذ به‌دست آمده است. همان‌طور که از این مثال مشاهده می‌گردد الگوریتم کوروبوف اصلاح شده نتوانسته است محدوده بهینه واقعی را به‌دست آورد.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
3	-3	-3	+7	-3	+6	-3	+9	-3	-3

شکل 1: مدل بلوکی اقتصادی

جدول 2: مراحل الگوریتم لرچ و گروسمن

مرحله	طبقه	شماره بلوک	ارزش بلوک	ارزش شاخه	استخراج	نحوه جستجوی بلوک
1	3	(3 و3)	+7	ضعیف	نگردد	بعدی
2	3	(5 و3)	+6	ضعیف	نگردد	بعدی
3	3	(7 و3)	+9	ضعیف	نگردد	بعدی

هدف استفاده از مثال اول بیانگر ضعف الگوریتم کوروبوف اصلاح شده در نحوه اختصاص مقادیر مثبت به منفی است که در این مثال با توجه به شکل 2-ب، تخصیص ارزش بلوک مثبت به بلوک منفی مشترک به شماره بلوک (4و2) انجام نشده است و آن هم به این دلیل است که هنوز الگوریتم مذکور در نحوه اختصاص مقادیر مثبت به منفی دچار ضعف می‌باشد.

جدول 1: ترکیبات موجود در گروه‌ها [13]

1	2	3	4	…	n	گروه
C_1	C_2	C_3	C_4	…	C_n	
	$C_2\&C_1$	$C_3\&C_2$	$C_4\&C_3$	…	$C_n\&C_{n-1}$	
		$C_3\&C_1$	$C_4\&C_2$	…	$C_n\&C_{n-2}$	
		$C_3\&C_2\&C_1$	$C_4\&C_1$	…	...	
			$C_4\&C_3\&C_2$	…	...	
			$C_4\&C_3\&C_1$	…	...	
			$C_4\&C_2\&C_1$	…	$C_n\&C_1$	
			$C_4\&C_3\&C_2\&C_1$	…	$C_n\&C_{n-1}\&C_{n-2}$	
					$C_n\&C_{n-1}\&C_{n-3}$	
					...	
					$C_n\&C_{n-1}\&C_1$	
					...	
					$C_n\&C_{n-1}\&\ldots C_1$	

جدول 3: مراحل الگوریتم کوروبوف اصلاح شده

مرحله	طبقه	ترکیب اشتراکی	شماره بلوک‌ها	شماره ترکیب	ارزش بلوک	ارزش باقیمانده بعد از صفر کردن بلوک‌های غیر مشترک	ارزش باقیمانده بعد از صفر کردن بلوک‌های مشترک	استخراج	نحوه جستجوی بلوک
1	3	دارد	(3 و3) (5 و3)	$C_1\&C_2$	+7 +6	+1 0	0 0	نگردد نگردد	ترکیب بعدی
2	3	دارد	(3 و3) (7 و3)	$C_1\&C_3$	+7 +9	0 0	0 0	نگردد نگردد	ترکیب بعدی
3	3	دارد	(5 و3) (7 و3)	$C_2\&C_3$	+6 +9	0 +3	0 0	نگردد نگردد	ترکیب بعدی
4	3	دارد	(3 و3) (5 و3) (7 و3)	$C_1\&C_2\&C_3$	+7 +6 +9	+1 +4 +3	0 0 +1	نگردد نگردد گردد	باقیمانده
5	3	دارد	(3 و3) (5 و3)	$C_1\&C_2$	+7 +6	+1 +4	0 +1	نگردد گردد	باقیمانده
6	3	ندارد	(3 و3)	C_1	+7	+1		گردد	باقیمانده

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0
2	-2	0	0	-2	0	-2	0	0	-2
3	-3	-3	+1	-3	+4	-3	+3	-3	-3

الف: اختصاص مقادیر مثبت به منفی برای بلوک‌های غیر مشترک

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-2	0	0	-2	0	0	0	0	-2
3	-3	-3	0	-3	0	-3	+1	-3	-3

ب: اختصاص مقادیر مثبت به منفی برای بلوک‌های مشترک

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-1	-1	-1	-1					
2	-2	-2	-2	-2	-2				-2
3	-3	-3	+7	-3	+6	-3		-3	-3

ج: بلوک (7 و3) جزء محدوده بهینه

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	-1	-1					
2	-2	0	0	-2	0				-2
3	-3	-3	+1	-3	+4	-3		-3	-3

د: اختصاص مقادیر مثبت به منفی برای بلوک‌های غیر مشترک

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0					
2	-2	0	0	0	0				-2
3	-3	-3	0	-3	+1	-3		-3	-3

هـ: اختصاص مقادیر مثبت به منفی برای بلوک‌های مشترک

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-1	-1							
2	-2	-2	-2						-2
3	-3	-3	+7	-3		-3		-3	-3

و: بلوک (5 و3) جزء محدوده بهینه

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0							
2	-2	0	0						-2
3	-3	-3	+1	-3		-3		-3	-3

ح: اختصاص مقادیر مثبت به منفی

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
3	-3	-3	+7	-3	+6	-3	+9	-3	-3

ذ: محدوده بهینه به ارزش 1-

شکل 2: مراحل اجرای الگوریتم کوروبوف اصلاح شده

مثال دوم: برای اعتبار سنجی بهتر دو روش فوق از یک مطالعه واقعی استفاده شد. بدین منظور از مدل بلوکی اقتصادی کانسار مس سونگون اهر استفاده شد و ابتدا با استفاده از نرم‌افزار

Pitwin32 [2] محدوده نهایی این کانسار با روش لرچ و گروسمن تعیین و سپس برای تعیین محدوده نهایی این معدن به روش الگوریتم کوروبوف اصلاح شده برنامه کامپیوتری آن به زبان ++C تهیه شد. نتایج حاصل از هر دو روش در جدول 4 ارائه شده و مشاهده می‌شود الگوریتم کوروبوف اصلاح شده محدوده بهینه‌ای با ارزش کم‌تر از الگوریتم گراف تئوری لرچ و گروسمن محاسبه نموده است.

جدول 4: مقایسه نتایج محدوده نهایی با هر دو روش

شرح	الگوریتم لرچ و گروسمن	الگوریتم کوروبوف اصلاح شده
تعداد کل بلوک در محدوده نهایی معدن	21807	24105
تعداد بلوک ماده معدنی در محدوده نهایی معدن	7468	7911
تعداد بلوک باطله در محدوده نهایی معدن	14339	16194
ارزش ماده معدنی در محدوده نهایی معدن	247413/35	258458/29
هزینه باطله برداری در محدوده نهایی معدن	-112023/4	-126512/93
ارزش کل محدوده نهایی معدن (میلیون ریال)	135389/95	131945/36

4- نتیجه‌گیری

با توجه به مقایسه نتایج مثال‌های ارائه شده در این مقاله این الگوریتم با الگوریتم گراف تئوری، ملاحظه می‌شود که الگوریتم کوروبوف اصلاح شده در مدل‌های فوق اولا محدوده‌ای با ارزش کم‌تر از الگوریتم گراف تئوری پیشنهاد نموده و ثانیا در بعضی از مدل‌ها محدوده‌ای با ارزش منفی ارائه داده که با تعریف محدوده بهینه واقعی در تضاد است. آن هم به دلیل ضعف در نحوه اختصاص مقادیر مثبت به منفی است و همچنین در نظر نگرفتن تاثیر طبقات نسبت به هم می‌باشد. لذا این الگوریتم بر خلاف ادعای طراحان آن در همه مدل‌ها قادر به طراحی محدوده بهینه واقعی نبوده و جهت رسیدن به هدف بهینه واقعی نیاز به تصحیح مجدد دارد.

5- مراجع

[1] کاکایی، رضا؛ 1384؛ "**بررسی روش‌های مختلف طراحی محدوده بهینه نهائی در معادن روباز**"، مجله علوم و فنون دانشگاه صنعتی شاهرود، شماره‌های و 7، صفحه 31-19.

[2] 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, 14, p.p. 261-275.

[3] Carlson, T. R.; Erickson, J. D.; O'Brain D. T. and Pana, M. T.; 1966; "*Computer techniques in mine planning*", Mining Engineering, Vol. 18, No. 5, p.p. 53-56.

[4] Wright, E. A.; 1999; "*MOVING CONE II - A Simple Algorithm for Optimum Pit Limits Design*", Proceedings of the 28th Symposium on the application of computers and operations research in the mineral industries (APCOM), (Colorado USA), p.p. 367-374.

[5] Koenigsberg E.; 1982; "*The optimum contours of an open pit mine: an application of dynamic programming*", Proceedings of the 17th Symposium on the application of computers and operations research in the mineral industries (APCOM), (New York: AIME), p.p. 247-287.

[6] Wilke, F. L. and Wright, E. A.; 1984; "*Determining the optimal ultimate pit design for hard rock open pit mines using dynamic programming*", Erzmetall, No. 37, p.p. 139-144.

[7] Yamatomi, J.; Mogi, G.; Akaike, A. and Yamaguchi, U.; 1995; "*Selective extraction dynamic cone algorithm for three-dimensional open pit designs*", Proceedings of the 25th Symposium on the application of computers and operations research in the mineral industries (APCOM), Brisbane, p.p. 267-274.

[8] Lerchs, H. and Grossmann, I. F.; 1965; "*Optimumm design of open pit Mine*"; CIM Bulletin, No. 58, pp. 47 – 54.

[9] David, M.; Dowd, P. A. and Korobov, S.; 1974; "*Forecasting departure from planning in open pit design and grade control*", Proceedings of the 12th Symposium on the application of computers and operations research in the mineral industries (APCOM), (Golden, Colo: Colorado School of Mines), Vol. 2, p.p. F131-F142.

[10] Dowd, P. A. and Onur, A. H.; 1993; "*Open pit optimization - part 1: optimal open pit design*", Trans. Instn Min. Metall. (Sect. A: Min. industry), No. 102, p.p. A95-A104.

[11] Denby, B. and Schofield, D.; 1994; "Open-pit design and scheduling by use of genetic algorithms", Trans. Instn Min. Metall. (Sect. A: Min. industry), No. 103, p. p. A21-A26.

[12] Hustrulid, W. and Kuchta, M.; 1995; *Open Pit Mine Planning & Design*, Vol. 2, Balkema, Rotterdam.

[13] Dowd, P. A. and Ounr, A. H.; 1992; "*Optimising open pit design and sequencing*", 23rd APCOM, Colorado School of Mines, pp. 411 – 422.