

# طراحی و پیاده‌سازی به‌کاو: نرم‌افزار تعیین محدوده‌ی نهایی معادن فلزی پایه روباز

مهدی یآوری، نجات فلاح و همکاران

مهدی یآوری، کارشناسی ارشد استخراج معدن، عضو هیأت علمی دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌ی فنی، دانشکده‌ی مهندسی معدن نجات فلاح، کارشناسی ارشد مهندسی استخراج معدن دانشکده‌ی معدن، متالورژی و نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

نرم‌افزار تعیین محدوده نهایی معادن فلزی پایه روباز، به‌کاو، به منظور یافتن اندازه و شکل کاواک معدن در پایان عملیات بهره‌برداری طراحی و پیاده‌سازی شده است. این نرم‌افزار مدل بلوکی زمین‌شناسی با ساختار متنی (پنج حالت اصلی) را می‌خواند و ساختار دیتامین (.dm) را وارد می‌کند، سپس مدل بلوکی اقتصادی را با روابط معین برای کانسارهایی با چند عنصر و معادنی با چندین روش فرآوری محاسبه کرده و در نهایت پس از اعمال شیب‌های متغیر در آزمون‌های گوناگون، محدوده نهایی را با الگوریتم سیمپلکس دوگان تعیین می‌نماید. در همه مراحل، داده‌های ورودی و نتایج بهینه‌سازی به دو صورت عددی و گرافیکی نمایش داده می‌شوند و قابل تبدیل به دیگر ساختارها (نظیر .txt، .dxf، .jpg و ...) هستند.

کلمات کلیدی: معدن روباز، الگوریتم سیمپلکس دوگان، محدوده نهایی و بهینه‌سازی

## مقدمه

برای تعیین محدوده‌ی نهایی، الگوریتم‌های فراوانی گسترش و ارائه شده است، اما فقط تئوری گراف سه‌بعدی لرج-گروسمن همیشه و در همه شرایط جواب صحیح را به صورت ریاضی می‌دهد [۱ و ۲]. آندرود و تولوینسکی با استفاده از سیمپلکس دوگان محدوده‌ی نهایی را تعیین کردند و اثبات کردند که سیمپلکس دوگان معادل با تئوری گراف است [۳ و ۴]. از لحاظ تئوری، سیمپلکس دوگان در زمان کمتری به جواب بهینه می‌رسد و این موضوع از جنبه‌ی عملی نیز با مقایسه‌های صورت گرفته تأیید شد.

امروزه اهمیت استفاده از نرم‌افزار برای انجام پردازش‌های گوناگون بر هیچ کس پوشیده نیست و صنعت معدن کاری نیز از این رهگذر گریزی ندارد، به ویژه آنکه با توجه به طولانی بودن

تعیین محدوده نهایی معدن روباز در کانسارهای فلزی (پایه) در فرایند طراحی و برنامه‌ریزی از ضروری‌ترین مراحل بوده و ذهن بسیاری از محققان را در ۵۵ سال گذشته به خود مشغول کرده است. تعیین این محدوده، اولین مرحله از چرخه‌ی بهینه‌سازی کاواک در معادن روباز است. بعد از طراحی اندازه و شکل محدوده‌ی نهایی، ذخایر قابل معدن‌کاری و میزان باطله‌ای که باید جابجا شود، تعیین شده و پس از آن انباشتگاه (های) باطله و مواد کم‌عیار، کارخانه فرآوری و بستر (های) فروشویی، تعمیرگاه‌ها و جاده‌های دسترسی مشخص می‌شود. علاوه بر موارد ذکر شده، در درون محدوده‌ی نهایی امکان تعیین فازها، زمان‌بندی بلند مدت تا کوتاه مدت فراهم می‌شود.

نرم افزار به‌کاو در سکوی .Net. و با استفاده از زبان C# کدنویسی شده است و قابلیت اجرا برای کانسارهای بزرگ و پیچیده حاوی چند عنصر و معادنی با چندین روش فراوری را در محیط ویندوز دارد.

جا دادن پژوهش‌های دانشگاهی انجام شده و یا تحقیقاتی که برای آینده تعریف می‌شوند در قالب نرم افزار مستقل یا مدولی از به‌کاو، مستلزم بسط و تبیین کامل همه جزئیات لازم برای برآورده کردن هدف است و در نتیجه به اقدامات پژوهشی رنگ و بویی کاملاً علمی و کاربردی می‌دهد که قابلیت اجرا و به کارگیری در صنعت و دنیای واقعی را دارند.

### پایگاه داده

در گذشته نه چندان دور برای ذخیره داده‌ها از فایل استفاده می‌شد، اما با ظهور پایگاه داده و امکانات و برتری‌های آن نسبت به سامانه فایلی، گرایش به استفاده از پایگاه زیاده‌تر شده است. این مزیت‌ها عبارت‌اند از:

- ارتباط آسان جداول با یکدیگر؛
- کاوش در یک یا چند جدول و استحصال نتایج؛
- سرعت بالای کاوش داده‌ها؛ و
- امکان تعریف سطح دسترسی برای جداول و کاربرها و در نتیجه امنیت عالی چه در PC و چه در شبکه

مدل ورودی و همه نتایج خروجی حاصل از مراحل مختلف به‌کاو در پایگاه داده SQL Server ذخیره می‌شوند و به این ترتیب در آینده نیز امکان استفاده از امکانات جدید این پایگاه وجود خواهد داشت.

### شروع به کار نرم افزار

ورودی نرم افزار یک فایل مدل بلوکی زمین‌شناسی است که می‌تواند یک ساختار متنی یا دیتامین (.dm) داشته باشد. اولین مرحله برای شروع کار، خواندن یا وارد کردن این مدل است. بعد از قرار گرفتن مدل در پایگاه داده، یک درختواره مخصوص این مدل ساخته می‌شود که امکان تکمیل مراحل مختلف و دسترسی

عمر معادن، پارامترهای طراحی و اقتصادی مرتباً تغییر می‌کند و همچنین با پیشرفت عملیات معدنکاری، اطلاعات جدیدتری حاصل می‌شود که امکان طراحی دقیق‌تر و تفصیلی را میسر می‌سازد. در نتیجه لازم است که طرح‌ها و برنامه‌ها متناسب با تغییرات ایجاد شده و اطلاعات جدیدتر، اصلاح و روزآمد شوند. هر ساله در این رابطه در داخل و خارج از کشور، پایان‌نامه‌های زیادی در مقطع کارشناسی ارشد و دکتری انجام می‌شود، اما در داخل کشور به دلیل عدم وجود برنامه‌ای راهبردی، این قبیل تحقیقات با گذشت زمان به دست فراموشی سپرده می‌شود یا اینکه به دلیل حق مالکیت محقق و عدم وجود بستر مناسب برای به کارگیری در صنعت و دانشگاه‌ها، از آنها استفاده نمی‌شود. در صورتی که تحقیقات ذکر شده سرمایه‌های مملکت هستند و با ایجاد زمینه مناسب برای همسوکردن آن‌ها با هم، تکمیل روند تحقیق بر روی یک موضوع و پیشنهاد زمینه‌های موجود برای تحقیقات آینده در یک محیط کاملاً کاربردی و مرتبط با صنعت، امکان رشد و تعالی معدن‌کاری روباز در سطح کشور، منطقه و جهان میسر می‌شود.

برای رسیدن به مقاصد پیش‌گفته، اولین قدم برای تهیه‌ی نرم افزاری که بتواند محدوده نهایی معادن روباز با کانسارهای فلزی پایه و طلا را تعیین کند، با حمایت مالی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران برداشته شد (علاقه‌مندان و متخصصین معادن برای تهیه‌ی آن می‌توانند به این سازمان مراجعه نمایند). نام این نرم افزار به‌کاو است.

در این نرم افزار، محدوده‌ی نهایی با استفاده از الگوریتم سیمپلکس دوگان گسترش یافته توسط آندرود و تولوینسکی، تعیین می‌شود. زمان اجرای این الگوریتم کمتر از زمان اجرای تئوری گراف لرچ - گروسمن است. نتایج حاصل از نرم افزار در قسمت‌های مختلف هم از لحاظ اعتبارسنجی و هم از لحاظ تطابق با واقعیت امتحان شده همچنین با نرم افزارهای NPV Scheduler، Whittle و Surfer مقایسه شدند. برای این‌کار از دو مدل بلوکی زمین‌شناسی - خودآموز نرم افزار دیتامین که با نرم افزارهای NPV Scheduler و Whittle اجرا شده بود و خودآموز نرم افزار NPV Scheduler - استفاده شد.



شکل (۱) - درختواره یک پروژه نمونه

به اطلاعات محاسبه شده را در اختیار کاربر قرار می دهد. شکل شماره ۱ (۱) درختواره پروژه تکمیل شده به نام "خودآموز - مدل با ساختار متنی" را نمایش می دهد.

پنج حالت اصلی برای ساختار متنی وجود دارد که جداکننده عامل تفاوت بین این ساختار است. چهار جداکننده کاما، سمی کالون، فاصله و Tab جز جداکننده های رایج هستند، اما کاربر نیز به دلخواه می تواند از هر کاراکتری مثلاً \*، <، > و ... استفاده نماید. ستون با عرض ثابت نیز ساختار دیگری برای فایل های متنی است.

ساختار دیتامین طبق تعریف کارشناسان این شرکت، داده ها را ذخیره می کند و با توجه به این ساختار، داده های مدل توسط به گاو از فایل باینری dm. استحصال شده و وارد پایگاه می شود.

### ساخت مدل بلوکی اقتصادی

برای محاسبه ارزش هر رکورد (سلول یا ریزسلول)، سپس ارزش بلوک ها و ساختن مدل بلوکی اقتصادی، نیاز است که مدل بلوکی زمین شناسی وارد (برای فایل های dm.) یا خوانده (برای فایل های متنی) شده باشد. علاوه بر آن باید پارامترهای اقتصادی توسط کاربر به به گاو معرفی شوند. برای یک پروژه ساخته شده که شامل فقط یک مدل بلوکی زمین شناسی است، چندین مدل بلوکی اقتصادی با پارامترهای مختلف می تواند ساخته شود. این مدل های اقتصادی از هم مستقل هستند.

برای انجام محاسبات ارزش اقتصادی بلوک ها، مدل بلوکی زمین شناسی حتماً باید شامل دو فیلد اساسی "وزن مخصوص" و "کد نوع سنگ" باشد. فیلد وزن مخصوص ممکن است ساخته شده و در مدل بلوکی زمین شناسی موجود باشد. از آنجایی که این فیلد برای محاسبه وزن بلوک یا ریزسلول به کار می رود، پس به جای فیلد مذکور می تواند فیلد تناژ وجود داشته باشد. در صورت عدم وجود فیلد وزن مخصوص لازم است که کاربر وزن مخصوص را به صورت عدد ثابت یا به صورت رابطه عیار و وزن مخصوص به نرم افزار معرفی نماید. فیلد کد نوع سنگ هم از روی فیلد وزن به دست می آید. فیلد وزن فیلدی است که نوع سنگ ها را در مدل

بلوکی زمین شناسی تعیین می کند. این فیلد معرف کانه یا باطله بودن بلوک یا ریزسلول است. کانه نیز می تواند چندین نوع باشد، مثلاً کانه مخصوص خردایش و فراوری در کارخانه<sup>(۱)</sup> یا کانه مخصوص فروشویی توده ای<sup>(۲)</sup>.

فیلدهای اصلی مدل بلوکی اقتصادی برای محدوده ی هر بلوک شامل موارد زیر می باشند:

- موقعیت (I, J, K)
- مختصات مرکز ثقل (XC, YC, ZC)
- میزان سنگ، کانسنگ و باطله (Rock, Ore, Waste)
- ارزش مواد (Value)
- عیار متوسط وزنی عناصر، محصولات برجا و بازیابی شده هر عنصر در هر روش فراوری (Grade, Insitu, Recovered)

مدل بلوکی اقتصادی، برای تمامی موادی که درون محدوده‌ی یک بلوک قرار دارند، یک رکورد ثبت می‌شود. بدیهی است اگر موادی در محدوده‌ی مذکور وجود نداشته باشد، رکوردی ثبت نمی‌شود.

### نمایش مدل بلوکی اقتصادی

اقلامی از مدل که محاسبات لازم برای نمایش آنها انجام شده و سپس به نمایش در می‌آیند، عبارت‌اند از:

- منحنی میزان توپوگرافی
- رویه‌ی سه بعدی توپوگرافی
- مقاطع قائم و افقی

برای رسم منحنی میزان و رویه‌ی سه بعدی توپوگرافی لازم است که شبکه‌بندی انجام شده باشد، اما نمایش مقاطع قائم و افقی از روی داده‌ها و مشخصه‌های مدل انجام می‌شود و نیازی به شبکه‌بندی ندارد. تخمین ارتفاع نقاط گره شبکه‌بندی توسط یکی از دو روش معکوس فاصله به توان یا کریجینگ به دلخواه انجام می‌شود. عوامل مؤثر بر هر کدام از این دو روش تخمین، توسط کاربر قابل تنظیم هستند (شکل شماره‌ی ۳).

بعد از شبکه‌بندی، امکان نمایش منحنی میزان و رویه‌ی سه بعدی به وجود می‌آید. موارد زیر جز ملزومات نقشه منحنی میزان هستند:

- تیک‌های درجه‌بندی (به همراه ارقام‌شان)
  - راهنما
  - مقیاس خطی
  - عنوان نقشه
- برای تنظیم نقشه به صورت دلخواه، امکانات زیر نیز در نرم‌افزار تعبیه شده‌اند:
- تغییر رنگ زمینه‌ی صفحه نمایش حذف یا افزودن یک منحنی تراز معین و تعیین رنگ آن
  - تغییر اندازه‌ی نقشه (کوچک‌نمایی، بزرگ‌نمایی و تمام‌نمایی)
  - جابجایی نقشه
  - ذخیره نقشه به ساختارهای .gif، .jpg، .bmp، .dxf،

باطله‌ها فراوری نمی‌شوند، در نتیجه نیازی به تعریف پارامترهای فراوری برای آنها نیست. برای سنگ‌های باطله فقط پارامترهای مربوط به هزینه‌ی استخراج مکانی تعریف می‌شود.

در اکثر معادن یک‌روش فراوری وجود دارد که شامل خردایش، تغلیظ عیار کانسنگ و ذوب و تصفیه (تولید فلز نهایی) می‌شود. در اینگونه معادن، کانسنگ تغلیظ شده یا فلز به عنوان محصول به فروش می‌رسد. اما ممکن است در معدنی خاص، غیر از روش فراوری در کارخانه، فراوری با روش فروشویبی توده‌ای نیز استفاده شود که امکان تعریف پارامترهای اقتصادی برای این روش نیز تعبیه شده است. همچنین در صورت نیاز به تعریف روش فراوری دیگری به غیر از روش‌های رایج مذکور، امکان آن وجود دارد، منتهی باید در نظر داشت که هر روش فراوری باید برای یک نوع سنگ خاص تعریف شود. مثلاً در صورتی که لازم باشد سه روش فراوری تعریف شود باید حداقل سه نوع کانسنگ و یک نوع سنگ باطله یعنی در مجموع چهار نوع سنگ در مدل وجود داشته باشد. پارامترهای مربوط به هر روش فراوری به طور مستقل توسط کاربر تعریف می‌شوند. این پارامترها پس از تعریف شدن توسط کاربر همان طوری که در شکل شماره‌ی (۲) نشان داده شده است، قابل ملاحظه و تغییر هستند.

نرم‌افزار به‌گاو قابلیت محاسبه ارزش اقتصادی بلوک‌ها را در حالتی که کانسار حاوی چند عنصر متفاوت باشد، دارد. همچنین بیش از یک روش فراوری می‌تواند تعریف شود. برای هر روش فراوری، پارامترهای مربوط به آن باید جداگانه تعریف شوند. همان طوری که در شکل شماره‌ی (۲) پیدا است بعد از وارد کردن پارامترهای اقتصادی امکان امتحان آنها وجود دارد. در صورت نیاز به تصحیح پارامترها، این کار انجام شده و اکنون می‌توان ارزش اقتصادی همه بلوک‌ها را محاسبه کرد و در نهایت مدل بلوکی اقتصادی را در جدول مربوطه ذخیره نمود. بعد از ذخیره نمودن مدل بلوکی اقتصادی، امکان تهیه‌ی خلاصه‌ی گزارش از آن در درختواره پروژه به وجود می‌آید.

ارزش رکوردهایی که درون محدوده‌ی یک بلوک واقع هستند، با یکدیگر جمع شده و ارزش استخراج مواد و سپس فراوری آنها را در محدوده‌ی بلوک مشخص می‌کند. در جدول

- دوران مدل
- جایجایی مدل
- نمایش به صورت سیمی نقطه‌ای، پرو
- نقشه سه بعدی
- مقیاس ارتفاعی

حالت های چهارگانه نمایش رویه‌ی سه بعدی در شکل شماره‌ی (۵) نمایش داده شده است.

به منظور رسم مقاطع قائم و افقی، به کاو، امکان رسم عناصر و ارزش بلوک‌ها را از سه نمای X (مقطع قائم شمالی - جنوبی)، Y (مقطع قائم شرقی - غربی) و یا Z (مقطع افقی) دارا می‌باشد. در اولین نمایش، مقطع میانی از نمای X برای اولین ویژگی رسم می‌گردد. با تغییر نما (X، Y و یا Z)، شماره‌ی مقطع (از ۱ تا بیشترین) یا ویژگی مورد نظر (AU، CU و Value)، اطلاعات مربوط به مجموعه‌ی سه‌تایی ذکر شده (نما، شماره مقطع، ویژگی) از میان داده‌ها جدا شده و نمایش داده می‌شود. شکل شماره‌ی (۶) سه نمای متفاوت مدل با سه شماره‌ی مقطع گوناگون که در هر کدام یک ویژگی به نمایش در آمده است را نشان می‌دهد.

ملزومات نقشه مقاطع قائم و افقی همانند نقشه منحنی میزان توپوگرافی شامل تیک‌های درجه‌بندی (به همراه ارقام‌شان)، مقیاس خطی، عنوان و راهنما است که فقط رنگ راهنما به صورت تدریجی است.

امکانات زیر برای تنظیم نقشه به صورت دلخواه، در نرم‌افزار تعبیه شده‌اند:

- تغییر رنگ زمینه‌ی صفحه نمایش، زمینه‌ی بلوک‌های باطله و قاب دور هر بلوک
- تغییر اندازه‌ی نقشه (کوچک‌نمایی، بزرگ‌نمایی و تمام‌نمایی)



شکل (۲) - پارامترهای اقتصادی تعریف شده توسط کاربر و امکان تغییر آنها



شکل (۳) - گزینه‌های روش‌های تخمین ارتفاع نقاط گره شبکه

## png و Tiff.

- چاپ نقشه با مقیاس دلخواه

در هنگام نمایش نقشه، صفحه‌ی نمایشگر در محدوده‌ی نقشه به صورت رقومی مقادیر طول، عرض و ارتفاع را نشان می‌دهد (شکل شماره‌ی ۴).

ملزومات رویه‌ی سه بعدی توپوگرافی عبارت‌اند از:

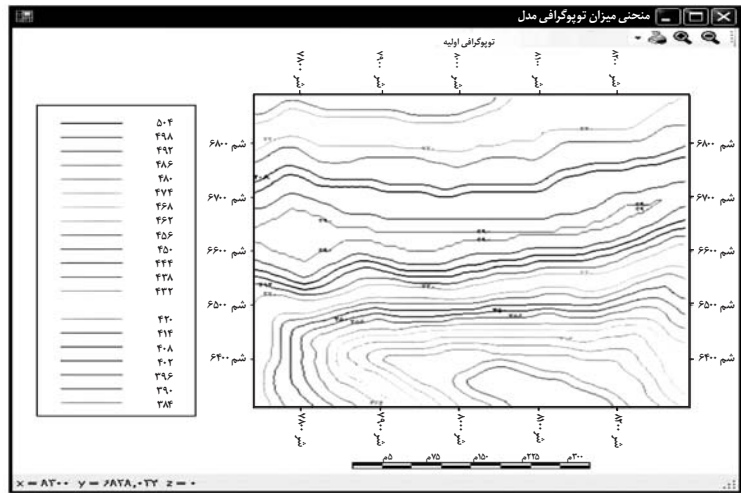
- مکعب مستطیل در برگیرنده‌ی رویه
- راهنما
- محورهای مختصات و جهت آنها
- دیواره‌ها
- امکانات جانبی رویه‌ی سه بعدی نیز به قرار زیر می‌باشند:
- تغییر اندازه‌ی نمایش

امکان استفاده از دو هدف بیشینه کردن سود یا بیشینه کردن کانسنگ در به‌گاو گنجانده شده است. به منظور اعمال شیب در تعیین محدوده‌ی نهایی، لازم است که نواحی درون مدل توسط کاربر مشخص شده و اندازه‌ی زاویه‌ی شیب در امتدادهای گوناگون (به تعداد نامحدود برای مدل‌سازی هر گونه ساختار ژئوتکنیکی) معرفی شود. ناحیه یک فضای منشوری شکل است که برای تعریف آن باید سطح مقطع و ارتفاع آن مشخص شود. سطح ناحیه باید حداقل سه ضلع داشته باشد تا یک چند ضلعی ساخته شود. سطح ناحیه با معرفی نقاط گوشه که به صورت پاد ساعتگرد شماره‌گذاری شده‌اند، معرفی می‌گردد. ارتفاع ناحیه با معرفی بالاترین و پایین‌ترین پله در برگرفته‌ی ناحیه‌ی معین می‌شود (شکل شماره‌ی ۷).

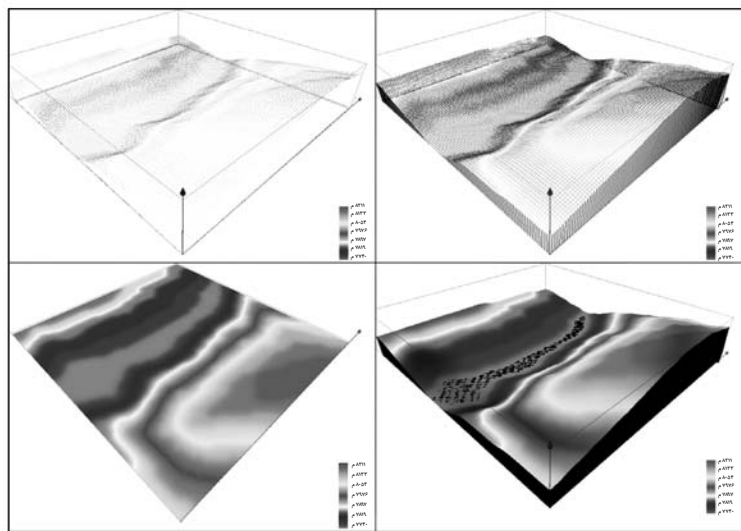
داده‌های هر ناحیه از دو منظر امتحان می‌شوند:

- ۱- مختصات نقاط گوشه ناحیه، درون یا روی مرز مدل باشند.
- ۲- در یک آزمون، فقط یک شیب تعریف شده باشد.

بعد از تعریف نواحی دلخواه توسط کاربر، این نواحی با کل مدل مقایسه شده تا مشخص شود آیا نواحی تعریف شده کل مدل را پوشش می‌دهند یا خیر؟. شکل شماره‌ی (۸) یک مدل را که با نواحی دلخواه پر شده است نمایش می‌دهد. بعد از کنترل نواحی و اعتبارسنجی داده‌های آنها، اولین اقدام برای ساختن کمان‌ها، مشخص کردن ناحیه هر بلوک از مدل است. به عبارت دیگر در ابتدا باید مشخص شود که هر بلوک در چه ناحیه‌ای قرار گرفته است تا با توجه به ناحیه‌اش، از زوج (های) آزمون-شیب مربوط به آن ناحیه برای تعیین مخروط جابجایی حداقل آن بلوک، استفاده شود. سه راه حل برای تعیین موقعیت یک نقطه (مرکز ثقل



شکل (۴) - نقشه منحنی میزان توپوگرافی اولیه

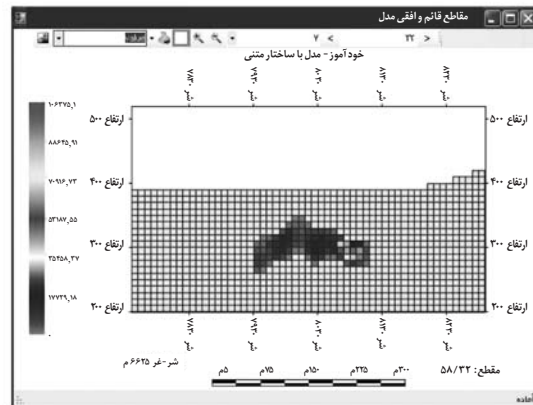
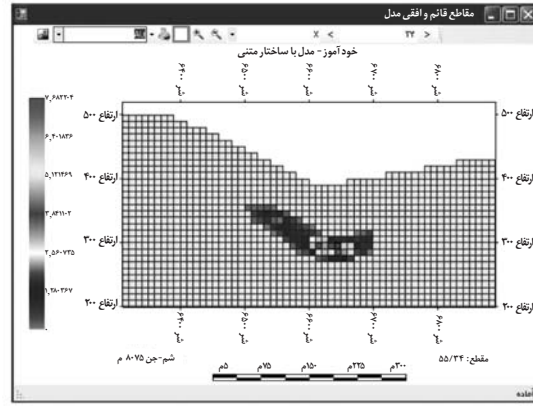
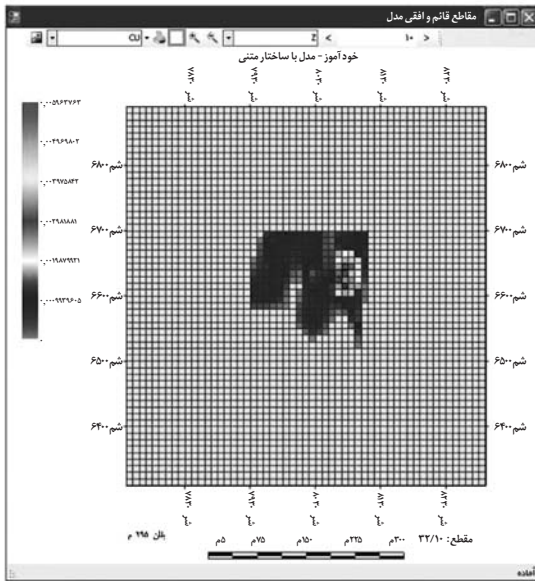


شکل (۵) - چهار حالت مختلف نمایش رویه سه بعدی

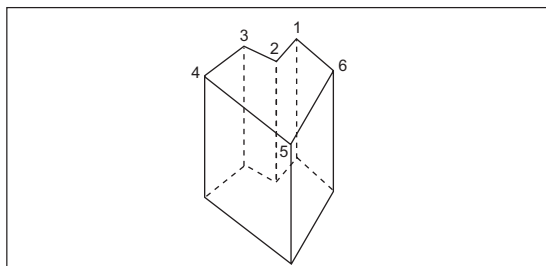
- جابجایی نقشه
- ذخیره نقشه به ساختارهای .dxf، .bmp، .jpg، .gif، .png و .Tiff.
- چاپ نقشه با مقیاس دلخواه

### تعیین محدوده نهایی

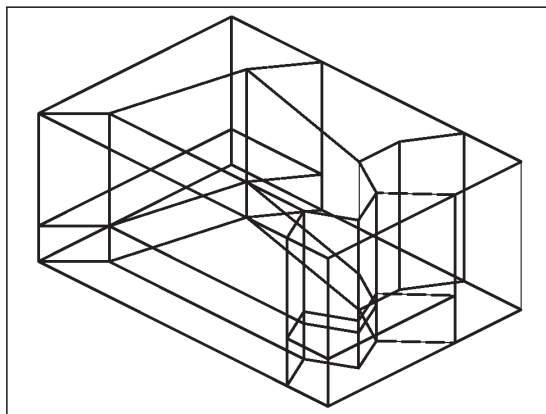
برای هر مدل بلوکی اقتصادی ساخته شده در درختواره پروژه، امکان تعیین چندین محدوده‌ی نهایی با تنظیمات متفاوت وجود دارد. عوامل مؤثر بر شکل و اندازه محدوده‌ی نهایی شامل "هدف تعیین محدوده‌ی نهایی" و "محدودیت تقدم استخراج بلوک‌ها به دلیل محدودیت شیب" می‌باشند.



شکل (۶) - سه نمای متفاوت از مدل بلوکی اقتصادی



شکل (۷) - منشور نمونه نشان دهنده‌ی یک ناحیه



شکل (۸) - مدل با نواحی نمونه

بلوک‌ها) نسبت به یک چند ضلعی (سطح حاصل از تقاطع منشور هر ناحیه و یک تراز معین) به منظور تعیین ناحیه هر بلوک مدل وجود دارد که عبارت‌اند از:

- تعداد نقاط برخورد
- مجموع زوایای خطوط
- تغییر مکان نقطه نسبت به امتداد اضلاع

در این نرم‌افزار از روش مجموع زوایای خطوط و حاصلضرب داخلی و خارجی بردارها (روش استفاده شده توسط دکتر خالوکاکائی) برای حل این مسأله استفاده شده است [۱].

از برخورد خطوط شیب با صفحه افقی یک تراز بالاتر از بلوک مینا، یک سطح به وجود می‌آید که بلوک‌های واقع در اولین تراز بالاتر از بلوک مینا که لازم است برای استخراج بلوک مینا برداشته شوند، را مشخص می‌کند. مخروط جابجایی حداقل هر بلوک از کنار هم قرار گرفتن این بلوک‌ها در ترازهای بالای بلوک مینا تا رسیدن به سطح توپوگرافی، به وجود می‌آید.

تشریح شده است، محاسبه شده و سپس در هر ناحیه مثلثاتی یک ربع بیضی ترسیم می‌شود. بلوک‌های واقع در این چهار ربع بیضی، بلوک‌های مخروط جابجایی حداقل در یک تراز بالاتر از بلوک مینا هستند [۱].

برای تمامی بلوک‌های واقع در یک تراز بالاتر از بلوک مینا که در مخروط جابجایی حداقل قرار گرفته‌اند، رویه‌ی مذکور تکرار می‌شود تا مخروط جابجایی حداقل بلوک در همه ترازها تا رسیدن به توپوگرافی ساخته شود [۱].

به‌گاو به منظور ساختن مخروط جابجایی حداقل از "الگوی جستجوی حداقل" استفاده نکرده و از روش مخروطی توضیح داده شده که توسط دکتر خالوکا کایی توسعه داده شده است، استفاده می‌کند [۱].

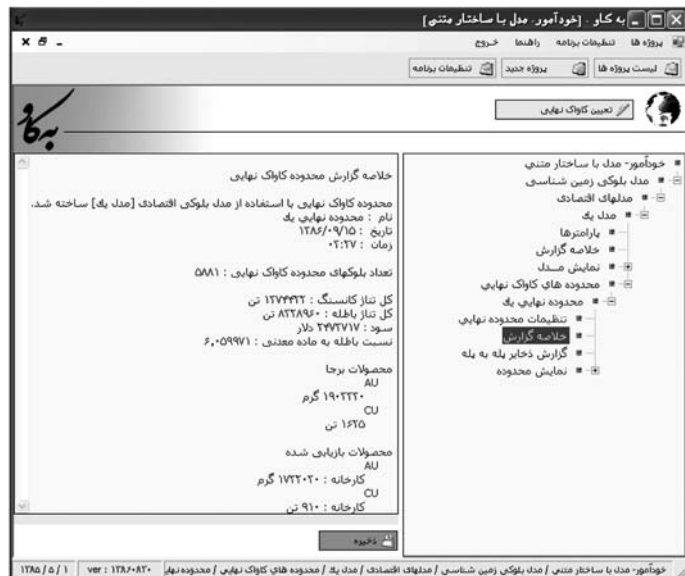
بعد از اینکه کاربر تنظیمات لازم برای تعیین محدوده‌ی نهایی شامل هدف و ناحیه (یا نواحی) را انجام داد، تنظیمات انجام شده در قسمت سمت چپ پنجره‌ی نرم افزار نمایش داده می‌شود. امکان تغییر تنظیمات انجام شده وجود ندارد اما می‌توان تنظیمات موجود را حذف کرد و مجدداً پارامترهای لازم برای تعیین محدوده‌ی نهایی جدید را وارد کرد.

به منظور تعیین محدوده‌ی نهایی از الگوریتم سیمپلکس دوگان گسترش یافته توسط تولوینسکی و آندروود استفاده می‌شود. این الگوریتم سریعتر از الگوریتم تئوری گراف لرچ - گروسمن اجرا می‌شود [۳ و ۴]. زمان اجرای الگوریتم برای مثال با گستردگی  $32 \times 58 \times 55$  و  $97257$  رکورد (سنگ) با  $3.06$  MHz CPU برابر  $3:32:03$  است. بعد از اجرای الگوریتم و ذخیره سازی نتایج در جدول پایگاه داده، امکان تهیه‌ی خلاصه گزارش (شکل شماره‌ی ۹) به وجود می‌آید.

همچنین از اطلاعات محدوده‌ی نهایی، گزارش ذخایر پله به پله تهیه می‌شود که شامل فیلدهای معین برای ترازهایی از مدل است که جز محدوده‌ی نهایی هستند. یک نمونه از این گزارش در ادامه آورده شده

به منظور نزدیک کردن مدل سازی شیب با واقعیت، زوج‌های آزمایش - شیب داده شده توسط کاربر، مورد بازنگری قرار می‌گیرند بدین صورت که از روی زوج‌های آزمایش - شیب اولیه، اختلاف زاویه بین هر دو امتداد متوالی به حداکثر زاویه‌ی ۱۵ درجه تقسیم می‌شوند و سپس زاویه شیب با توجه به اختلاف زاویه امتدادها و اختلاف شیب بین دو امتداد متوالی، درونیایی می‌شود. این امر باعث می‌گردد تا چندضلعی حاصل از برخورد خطوط شیب در آزمایش‌های اصلاح شده واقع در یک تراز بالاتر، به دایره نزدیک شود و تغییرات شیب بهتر مدل گردد [۱].

با توجه به آزمایش - شیب‌های اصلاح شده، زوایای شیب در چهار جهت اصلی با روشی که توسط دکتر خالوکا کایی به طور کامل



شکل (۹) - خلاصه گزارش محدوده‌ی نهایی

تراز	کلیت	سنگ (تن)	نسبت	سود (دلار)	مغز / ... / (N)CU	مغز ... / (N)CU
۲۶	۲۲۰۴	۲۲۰۴	Infinity	۱۷۱۰	۱۷۱۰	۱۷۱۰
۲۵	۵۰۱۱	۵۰۱۱	Infinity	۲۵۰۷	۲۵۰۷	۲۵۰۷
۲۴	۱۲۶۶۱	۱۲۶۶۱	Infinity	۹۵۴۶	۹۵۴۶	۹۵۴۶
۲۳	۲۳۵۸۸	۲۳۵۸۸	Infinity	۱۸۵۰۹	۱۸۵۰۹	۱۸۵۰۹
۲۲	۲۲۸۵۲	۲۲۸۵۲	Infinity	۲۱۰۴۶	۲۱۰۴۶	۲۱۰۴۶
۲۱	۳۲۱۰۰	۳۲۱۰۰	Infinity	۲۶۱۷۰	۲۶۱۷۰	۲۶۱۷۰
۲۰	۶۰۲۴۴	۶۰۲۴۴	Infinity	۴۳۲۰۰	۴۳۲۰۰	۴۳۲۰۰
۱۹	۸۸۹۲۰	۸۸۹۲۰	Infinity	۶۲۸۰۰	۶۲۸۰۰	۶۲۸۰۰
۱۸	۱۲۲۰۸۸	۱۲۲۰۸۸	Infinity	۹۲۷۸۰	۹۲۷۸۰	۹۲۷۸۰
۱۷	۱۶۶۲۱۲	۱۶۶۲۱۲	Infinity	۱۲۷۲۰۰	۱۲۷۲۰۰	۱۲۷۲۰۰
۱۶	۲۱۶۲۶۸	۲۱۶۲۶۸	Infinity	۱۶۲۰۰۰	۱۶۲۰۰۰	۱۶۲۰۰۰
۱۵	۲۷۸۸۵۲	۲۷۸۸۵۲	Infinity	۲۱۰۰۰۰	۲۱۰۰۰۰	۲۱۰۰۰۰
۱۴	۳۵۳۰۸۴	۳۵۳۰۸۴	Infinity	۲۶۱۰۰۰	۲۶۱۰۰۰	۲۶۱۰۰۰
۱۳	۴۳۸۵۲	۴۳۸۵۲	Infinity	۳۲۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰
۱۲	۵۳۶۰۸	۵۳۶۰۸	Infinity	۳۹۰۰۰۰	۳۹۰۰۰۰	۳۹۰۰۰۰
۱۱	۶۴۶۰۸	۶۴۶۰۸	Infinity	۴۷۰۰۰۰	۴۷۰۰۰۰	۴۷۰۰۰۰

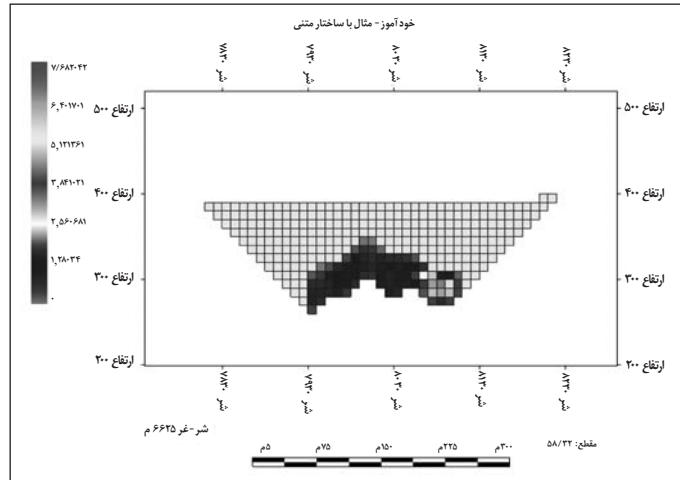
شکل (۱۰) - گزارش ذخایر پله به پله



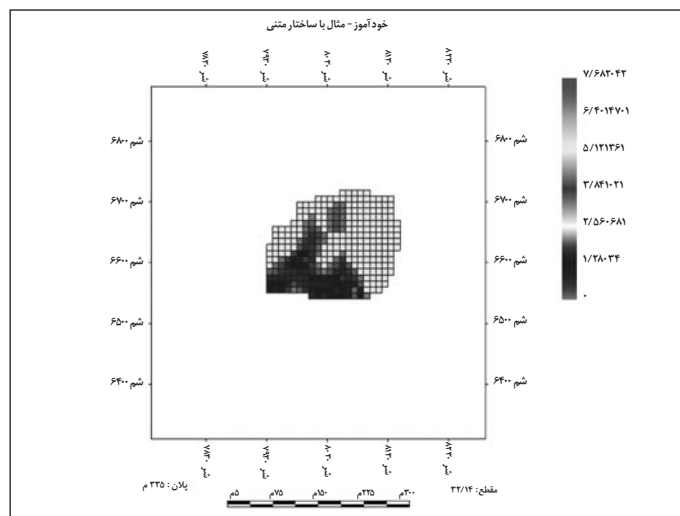
موارد سه گانه مدل بلوکی اقتصادی استفاده شد، به کار گرفته شده اند. دو نمونه از مقاطع قائم و افقی نشان دهنده ی محدوده ی نهایی در شکل شماره ی (۱۱) و (۱۲) به نمایش در آمده است.

برای ترسیم رویه ی سه بعدی و منحنی میزان محدوده ی نهایی از روش نزدیک ترین همسایگی برای تخمین ارتفاع نقاط گره شبکه بندی استفاده می شود (شکل شماره ی ۱۳ و ۱۴).

انواع خروجی های به کاو به دو دسته اصلی عددی و گرافیکی تقسیم می شود که نتایج عددی به یکی از دو صورت متنی و جدولی ارائه می شوند.



شکل (۱۱) - مقطع قائم نشان دهنده ی محدوده ی نهایی



شکل (۱۲) - مقطع افقی نشان دهنده ی محدوده ی نهایی

### جمع بندی و نتیجه گیری

نرم افزار به کاو محدوده کاواک نهایی را با الگوریتم سیمپلکس دوگان تعیین می کند که بهینگی آن از لحاظ ریاضی توسط آندرود و تولوینسکی اثبات شده است. نتایج تمامی مراحل مختلف نرم افزار با نرم افزارهای تجاری دیگر مقایسه شده است در نتیجه قابل به کارگیری در کانسارهای فلزی پایه بزرگ حاوی چند عنصر و معادنی با چندین روش فراوری می باشد.

به کاو محدوده ی نهایی معادن روباز را با هدف بیشینه سازی ارزش فعلی یا سود طراحی می کند. طراحی محدوده ی نهایی معادن روباز با هدف بیشینه سازی ارزش خالص فعلی می تواند به عنوان پیشنهاد برای توسعه ی این نرم افزار مطرح شود. بعد از تعیین محدوده ی نهایی با حداکثر NPV، برنامه ریزی پسروی ها و زمان بندی تولید کوتاه مدت، طراحی انباشتگاه ها و ... زمینه هایی هستند که می توان به کاو را در راستای آنها توسعه داد.

همکاری دانشگاه ها، مؤسسات تحقیقاتی و محققین حقوقی و حقیقی به منظور تکمیل روزافزون این نرم افزار موجب هر چه توانمندتر شدن به کاو و ارائه آن در عرصه ی جهانی می شود.

است (شکل شماره ی ۱۰). ترازهایی از مدل که محدوده ی نهایی بر آنها تأثیری ندارد یا به عبارتی جز محدوده ی نهایی نیستند، در این گزارش آورده نمی شوند.

### نمایش محدوده ی نهایی

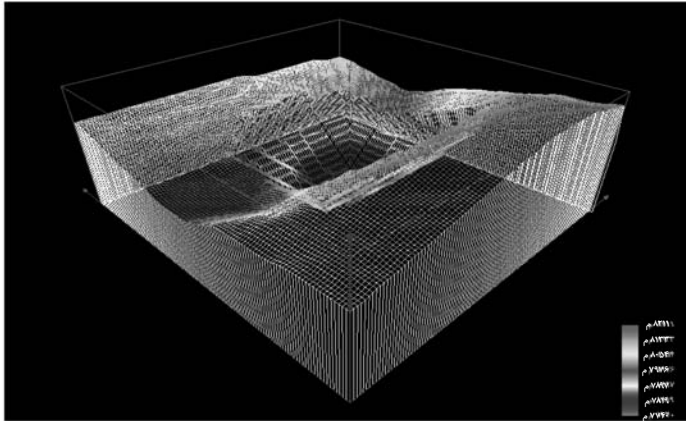
همانند نمایش مدل بلوکی اقتصادی، محدوده ی نهایی در نرم افزار به کاو به شکل های زیر نمایش داده می شوند:

مقاطع قائم و افقی

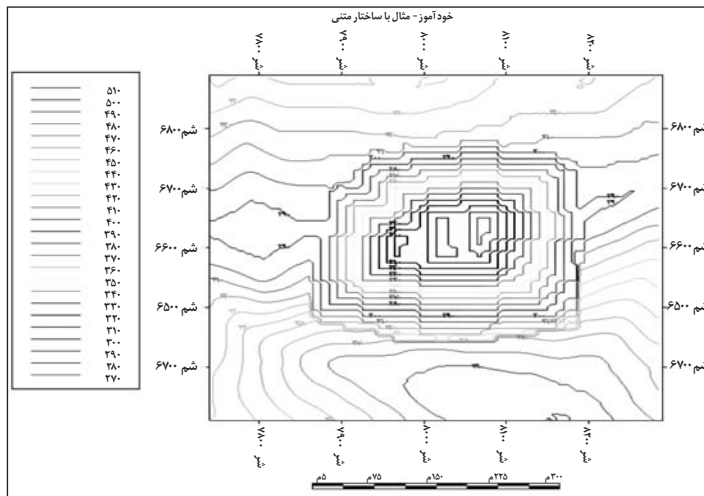
● رویه ی سه بعدی توپوگرافی

● منحنی های میزان توپوگرافی

در اینجا نیز ملزومات و امکاناتی که برای نمایش هر کدام از



شکل (۱۳) - رویه ی سه بعدی محدوده ی نهایی



شکل (۱۴) - منحنی میزان توپوگرافی محدوده ی نهایی

## تشکر و قدردانی

این جانبان تشکر و سپاس ویژه ی خود را از مرکز پژوهش و فناوری نوین سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران اعلام می دارد، هر چند که جوابگوی حمایت مالی و معنوی این مرکز برای تهیه ی این نرم افزار نیست. همچنین از همکاری شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران و مرکز تحقیقات مواد معدنی ایران - یزد در مدت زمان اجرای این طرح تحقیقاتی تقدیر و تشکر به عمل می آید. در پایان از تمامی همکاران پروژه و گروه مهندسی معدن جهاد دانشگاهی واحد امیرکبیر و همه عزیزان و دست اندرکارانی که در برداشتن این گام نقش داشتند، صمیمانه قدردانی می شود.

## منابع و مراجع

- 1-Khalokakaie, R., Dowd, P. A. and Fowell, R. J.,2000, " Lerch-Grossman algorithm with Variable Slope Angles", Transactions of IMM (section A: mining technology), 109, pp. A77-A85.
- ۲- فلاح، نجات، ۱۳۸۴، "تعیین محدوده ی نهایی معدن چادرملو بر اساس کمیته کردن نسبت باطله به ماده معدنی و بیشینه کردن NPV و مقایسه نتایج این روش ها"، پایان نامه ی کارشناسی ارشد دانشکده ی معدن، متالورژی و نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۶۱ صفحه.
- 3-Underwood, R. and Tolwinski B., 1998, "A Mathematical Programming Viewpoint of Solving the Ultimate Pit Problem", European Journal of Operational Research, 107, pp. 96-107.
- 4-Underwood R. and Tolwinsky B., 1996, "The Lerchs Grosman Algorithm from a Dual Simplex Viewpoint", 26th APCOM Symposium, USA, pp. 154-161.