"مدل‌کان"، نرم‌افزاری برای مدل‌سازی کانسارهای لایه‌ای

مجید عطایی‌پور[i]، مجید گودرزی[ii]

چکیده

با توجه به شکل کانسار، غالباً به یکی از دو روش مدل‌سازی دو بعدی یا سه بعدی برای نمایش و تفسیر ذخیرهٔ معدنی ارایه می‌شود. معمولاً روش‌های دو بعدی برای کانسارهای لایه‌ای و روش‌های سه بعدی برای کانسارهای توده‌ای به کار گرفته می‌شوند. امروزه، نرم‌افزارهای تجاری متعددی در جهان وجود دارند که با بکارگیری الگوریتم‌های دقیق و قدرت گرافیکی بالا کمک‌های مؤثری در شناسایی کانسار به مهندس طراح ارایه می‌دهند و در این خصوص می‌توان به نرم‌افزارهای Surfer و Datamine اشاره کرد که از مطرح‌ترین نرم‌افزارها به ترتیب برای مدل‌سازی دو بعدی و سه بعدی هستند.

هنوز در ایران، نرم‌افزار مستقل و جامعی در این زمینه تولید نشده است و مدیران و مهندسان ناگزیر از استفاده از نرم‌افزارهای متعدد خارجی هستند. طراحی و ساخت مدل‌کان می‌تواند به عنوان یکی از نخستین گام‌ها در مسیر تولید نرم‌افزارهای جامع معدنی در ایران تلقی شود که مقالهٔ حاضر به معرفی و مقایسهٔ آن با Surfer می‌پردازد.

از مهم‌ترین قابلیت‌های نرم‌افزار مدل‌کان می‌توان به: ۱. ساخت مدل(های) دوبعدی از اطلاعات اکتشافی و یا اطلاعات توپوگرافی، ۲. نمایش مدل‌ها (منحنی تراز دو بعدی و رویهٔ سه بعدی)، ۳. محاسبهٔ حجم لایه و ۴. ایجاد و رسم مقطع (در مسیر مستقیم یا خط شکسته) اشاره که تکنیک تخمین مورد استفاده روش عکس فاصله است و محاسبهٔ حجم به روش ذوزنقه انجام می‌شود.

کلمات کلیدی

نرم‌افزار معدنی، مدل‌سازی دوبعدی، کانسار لایه‌ای، محاسبهٔ ذخیره

"Modelor", A Software Tool for Modeling Tabular Deposits

ABSTRACT

Resource modeling is usually performed using 2D or 3D techniques for tabular or massive ore bodies, respectively. Nowadays, commercial software tools are available worldwide to assist mining engineers to model ore bodies and plan and design mines.

In Iran, there is no computer packages, yet, for resource modeling and mine planning. This paper introduces "Modelor" as one of the first steps towards developing Iranian comprehensive mining software tools. Modelor's capabilities include: 1. construction of 2D models, 2. displaying models (in 2D contours and 3D surfaces), 3. volume calculation of layers and 4. displaying profiles of the model in any direction. Modelor employs inverse distance estimation technique and trapezoidal method for volume calculation.

KEYWORDS

Mining software, Construction of 2D models, Tabular ore bodies, Volume calculation.

[i] استادیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی معدن

[ii] دانشجوی کارشناسی استخراج معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر: madjid_guodarzi@yahoo.com

۱- مقدمه

به منظور انجام عملیات استخراج، ابتدا باید کانسار به کمک روش‌های اکتشافی، از نظر شکل و چگونگی توزیع مواد درون کانسار، شناسایی شود. با توجه به ماهیت نتایج اکتشافی؛ که اغلب به صورت اعداد و ارقام است، فهم نتایج اکتشاف برای مهندسین دشوار است؛ بنابراین به روشی احتیاج است تا از اطلاعات خام حاصل از اکتشاف، مدلی بدون ابهام تولید شود که بیانگر مشخصات کانسار است. یک مدل زمین شناسی، مدلی از کانسار است که موقعیت فضایی واحدهای کانی‌سازی و سنگ‌های باطله را مشخص می‌کند. به عبارت دیگر، می‌توان گفت : "یک مدل زمین شناسی نمایش و یا تفسیری از ذخیرهٔ معدنی است."

تکنیک‌های مدل‌سازی به دو دستهٔ مدل‌سازی دو بعدی و مدل‌سازی سه بعدی تقسیم می‌شوند. با توجه به ماهیت و هندسهٔ کانسار یکی از دو روش مدل‌سازی دو بعدی و یا سه بعدی ارجحیت می‌یابد. معمولاً برای کانسارهای لایه‌ای تکنیک‌های دو بعدی و برای کانسارهای توده‌ای، تکنیک‌های سه بعدی به کار گرفته می‌شوند.

مدل‌سازی دوبعدی، شبکه‌بندی مربعی و یا مستطیلی بر روی محدودهٔ کانسار و برآورد متغیرهای مربوط به مشخصهٔ کانسار از قبیل ضخامت، عیار و ... در نقاط رئوس شبکه به کمک روش‌های درون‌یابی است. مش تولید شده، شبکه‌ای در یکی از صفحات XY، YZ و یا XZ است. هر یک از رئوس شبکه نمایانگر یکی از خصوصیات کانسار (Z) مانند ارتفاع ویا ضخامت می‌باشد. اغلب مدل‌سازی دو بعدی در صفحهٔ XY انجام می‌پذیرد؛ اما در صورت لزوم و با توجه به گسترش کانسار می‌توان مدل‌سازی را در دو صفحهٔ YZ و یا XZ نیز انجام داد.

در مدل‌سازی سه بعدی به جای مش‌بندی صفحه، فضای سه‌بعدی به المان‌های مکعبی تقسیم می‌شود. مرکز هر یک از این المانهای مکعبی نمایانگر یکی از خواص کانسار همچون عیار، چگالی، نفوذپذیری و ... است که به هر بلوک اختصاص داده می‌شود. در مدل‌های سه‌بعدی ابتدا قاب سیمی تولید می‌شود سپس این قاب سیمی با بلوکها پر می‌شود.

تجزیه و تحلیل اطلاعات خام اکتشافی و برآورد ذخیرهٔ کانسار به روش دستی، کاری وقت‌گیر است؛ بنابراین شرکتهای مختلف، به تولید نرم‌افزارهایی در زمینهٔ مدل‌سازی و برآورد ذخیره اقدام کرده‌اند. Datamine[۱] از جمله محبوب‌ترین و قوی‌ترین نرم‌افزارهای موجود در زمینهٔ ساخت مدل‌های سه بعدی است. این نرم‌افزار ابتدا اطلاعات ورودی را به چند فایل دسته‌بندی کرده، سپس این فایل‌ها را به یک فایل موسوم به کامپوزیت تبدیل و در مرحلهٔ بعدی این فایل کامپوزیت به مدل سه‌بعدی تبدیل می‌گردد. برای تهیهٔ مدل‌های دو بعدی می‌توان از نرم‌افزارهائی همچون Surfer بهره جست. نرم‌افزار surfer[۲] امکان ساخت مدل‌های دو بعدی و نمایش منحنی تراز مدل‌های تولید شده را به کاربر می‌دهد. دو نرم‌افزار فوق از مطرح‌ترین نرم‌افزارها در زمینهٔ ساخت مدل‌های دو بعدی و سه بعدی در جهان است. هنوز در ایران، نرم‌افزار مستقل و جامعی در این زمینه تولید نشده‌است. به عنوان یکی از گام‌های نخستین می‌توان به ساخت نرم‌افزار مدل‌کان اشاره کرد که مقاله حاضر به معرفی آن می‌پردازد.

نرم‌افزار مدل‌کان ابزاری برای مدل‌سازی کانسارهای لایه‌ای است[۳]، که با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Delphi[۴] تهیه شده و برای رسم سه بعدی مدل‌ها، به کارت گرافیک با پشتیبانی OpenGL[۵] نیاز دارد.

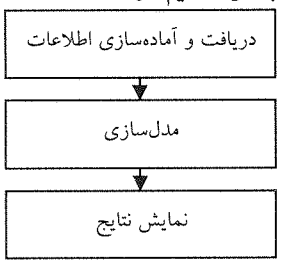
این نرم‌افزار اطلاعات اکتشافی را مشابه نرم‌افزار Datamine دسته‌بندی و از دو فایل Collar و Assay برای ساخت مدل استفاده می‌کند. اطلاعات زمین‌شناسی کانسار نیز به فایل assay و تحت ستونی جدید با نام Layer منتقل شده‌است.

اطلاعات فایل Collar، شامل شماره گمانه‌ها و مختصات دهانه گمانه‌ها (X, Y, Z) است.

اطلاعات فایل Assay شامل شماره گمانه‌ها، طول قسمت‌های آنالیز شده، تفسیر زمین‌شناسی منطقه و عیار عناصر و کانی‌های مهم کانسار می‌باشد.

۲- مراحل ساخت یک مدل با استفاده از نرم‌افزار مدل‌کان

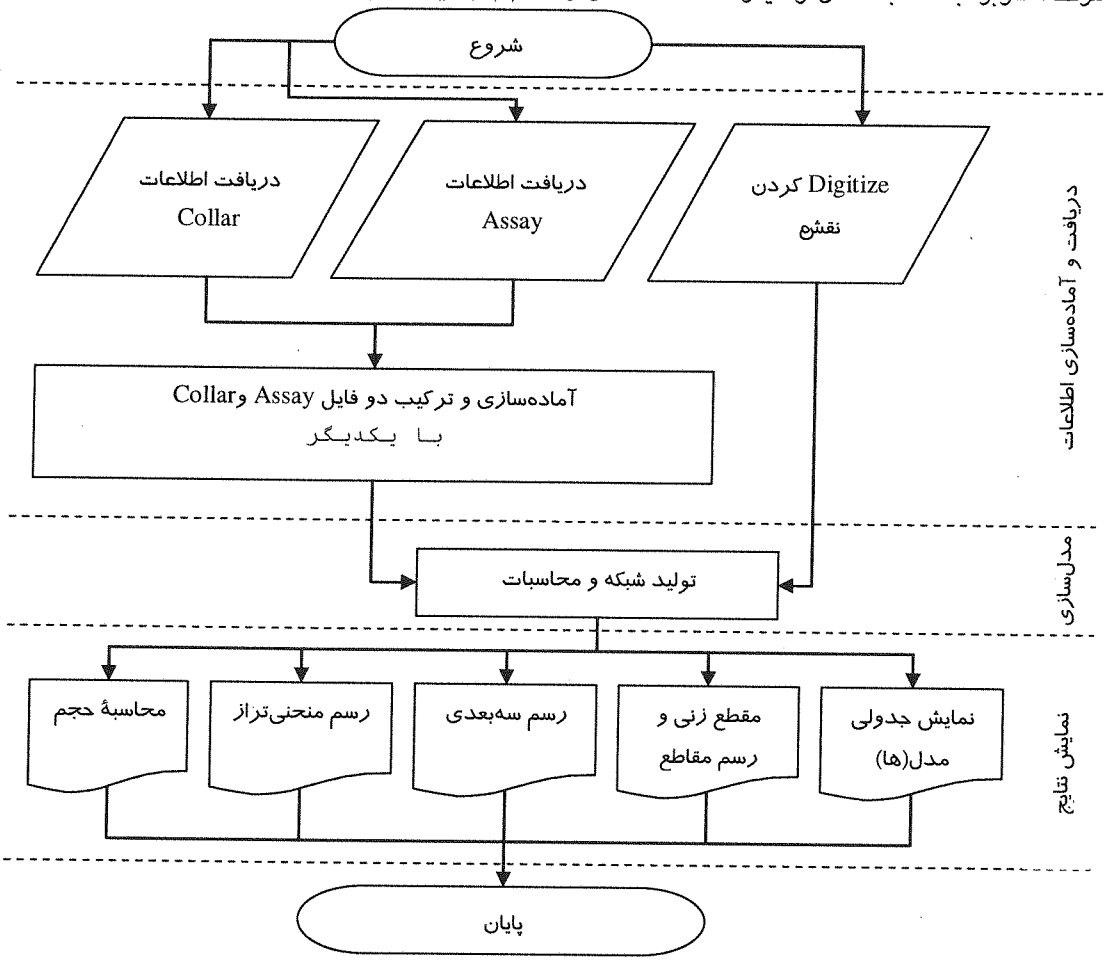
الگوریتم استفاده از نرم‌افزار را به طور کلی می‌توان مطابق شکل (۱)، به سه بخش تقسیم کرد:



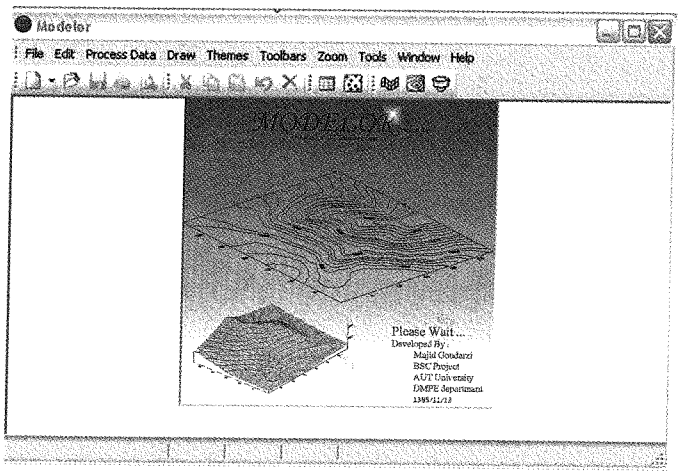
شکل (۱): مراحل استفاده از نرم‌افزار مدل‌کان

دریافت و آماده سازی اطلاعات: نرم‌افزار مدل‌کان برای مدل‌سازی به اطلاعات اکتشافی لایه‌ها نیازمند است. این اطلاعات را کاربر بایستی درون فایل(های) متنی و یا Excel

تهیه کرده و در اختیار نرم‌افزار قرار دهد. نرم‌افزار مدل‌کان همچنین قادر است نقشه‌های توپوگرافی و یا موقعیت تاج گمانه‌ها را با استفاده از ابزار Digitizer خود، رقومی کند. نرم‌افزار مدل‌کان در مرحلهٔ دوم به ساخت مدل می‌پردازد. در این مرحله، کاربر ابعاد شبکهٔ مدل و دیگر مشخصات مدل را تعیین می‌کند. مرحلهٔ سوم، استفاده از مدل‌ها(ی تهیه شده،) است. در این مرحله کاربر می‌تواند به دلخواه به محاسبهٔ حجم یک لایه، رسم منحنی تراز و یا رویهٔ مدل پرداخته و یا در جهتی دلخواه به مقطع‌زنی و سپس به رسم مقاطع بپردازد. درشکل (۲) جزئیات هر یک از مراحل شکل (۱) قابل مشاهده است.



شکل (۲): الگوریتم استفاده از نرم‌افزار مدل‌کان



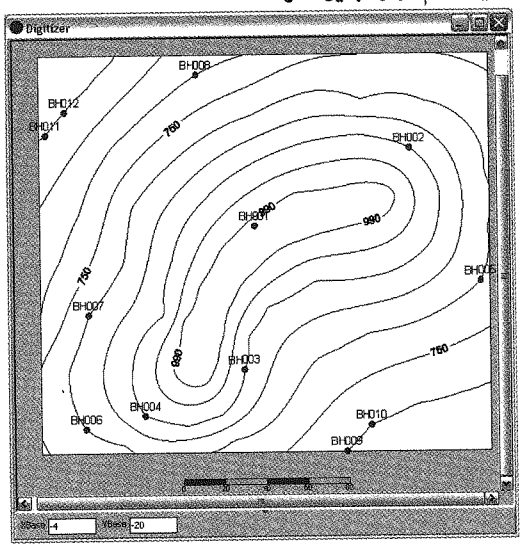
شکل (۳) : پنجرهٔ اصلی نرم‌افزار مدل‌کان

۳- معرفی محیط اجرایی نرم‌افزار مدل‌کان

پس از نصب و اجرای نرم‌افزار، محیط نرم‌افزار مطابق شکل (۳) مشاهده می‌شود. مراحل مختلف مدل‌سازی کانسار با مدل‌کان به اختصار در زیر توضیح داده می‌شود

۳-۱- رقومی کردن نقشه‌ها (دریافت اطلاعات)

اولین قدم در استفاده از نرم‌افزار، تهیهٔ فایل‌های خام اکتشافی (Collar و Assay) است. شکل (۴) نقشه نمونه‌ای را به همراه موقعیت تاج‌گمانه‌ها، که در نرم‌افزار برای رقومی کردن (digitize) گشوده شده‌است، نشان می‌دهد. شکل (۵) نیز مختصات تاج‌گمانه‌ها را بعد از برداشت نمایش می‌دهد. فایل assay مربوطه نیز می‌تواند در نرم‌افزار Excel و یا Notepad تولید شود و سپس با نرم‌افزار مدل‌کان، به فایل‌ها(ی) باینری مورد نیاز نرم‌افزار تبدیل شود.



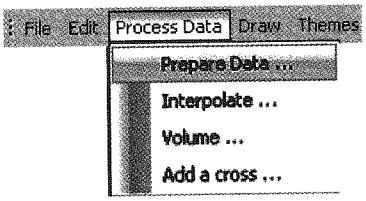
شکل (۴): محیط پنجرهٔ Digitizer

```
Digitized Points
Point,X,Y,Z
Point1,103,108,1000
Point2,177,145,900
Point3,98,39,900
Point4,50,18,900
Point5,210,81,800
Point6,22,12,800
Point7,23,66,800
Point8,76,180,700
Point9,146,0,700
Point10,158,12,700
Point11,3,152,600
Point12,13,163,600
```

شکل (۵): پنجرهٔ Digitized Points

۳-۲- آماده سازی داده‌ها

آماده‌سازی داده‌ها از طریق گزینهٔ ProcessData در منوی اصلی نرم‌افزار اجرا می‌شود، شکل (۶).



شکل (۶): گزینهٔ ProcessData از منوی اصلی

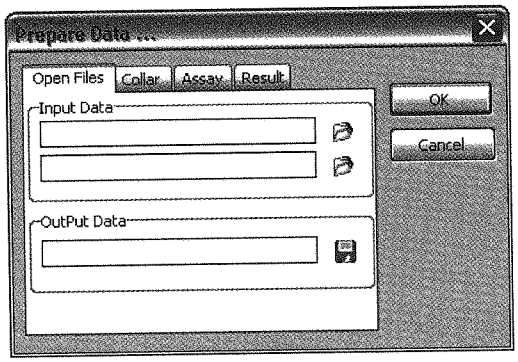
اطلاعات و فیلدهای دو فایل Collar و Assay به یکدیگر مربوط است؛ اما در فایل‌های مجزا نگه‌داری می‌شوند؛ بنابراین باید دو فایل مورد پردازش قرار گیرد و فایلی جدید؛ که شامل تمام اطلاعات اکتشافی است، تهیه شود. در پنجرهٔ "prepare data ..." چهار زبانه به ترتیب زیر موجود است:

زبانهٔ Open Files: وظیفهٔ این زبانه تعیین نام فایل‌های ورودی و تعیین نام فایل نهایی است، (شکل (۷).

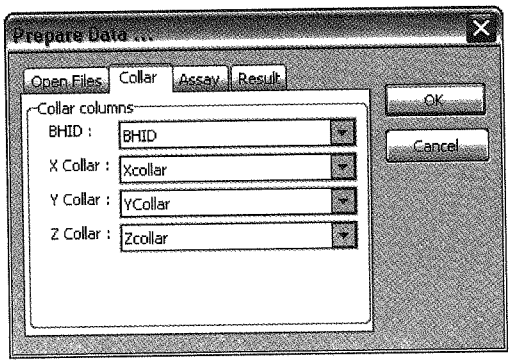
زبانهٔ Collar: وظیفهٔ این زبانه تعیین ستون‌های نام گمانه و X, Y, Z تاج‌گمانه است، (شکل (۸).

زبانهٔ Assay: وظیفهٔ این زبانه تعیین ستون‌های نام گمانه، شروع عمق مغزه‌گیری، پایان عمق ناحیهٔ مغزه‌گیری، شمارهٔ مشخصهٔ لایه و دیگر اطلاعات اطلاعات اکتشافی در فایل Assay است، شکل (۹).

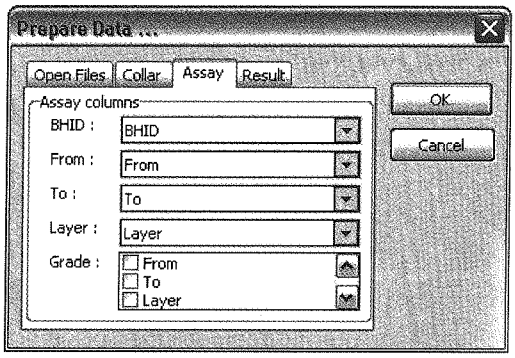
زبانهٔ Result: این زبانه روند مدل‌سازی را نمایش می‌دهد، شکل (۱۰).



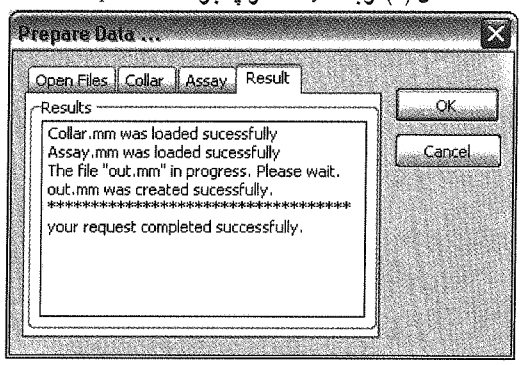
شکل (۷) : پنجرهٔ Prepare data



شکل (۸) : زبانهٔ Collar از پنجرهٔ Prepare data



شکل (۹): زبانهٔ Assay از پنجرهٔ Prepare data



شکل (۱۰): زبانهٔ Result از پنجرهٔ Prepare data

۳-۳- ساخت مدل

۳-۳-۱ تکنیک مدل‌سازی

نرم‌افزار مدل‌کان، مدل‌سازی را با استفاده از تکنیک Inverse Distance to a Power(ID) انجام می‌دهد. روش ID یک روش درونیابی میانگین وزنی است. با روش ID، اطلاعات هنگام درونیابی وزن داده می‌شوند، به این صورت که تأثیر یک نقطه وابسته به دیگری است و با افزایش فاصله از راس شبکه این تأثیر کاهش می‌یابد. با افزایش توان، تأثیر نقاط دورتر از راس شبکه هنگام درونیابی کمتر می‌شود. برای توان‌های کوچک‌تر، وزن به صورت عادلانه‌تر بین نقاط همسایگی توزیع می‌شود. در صورتی که تعداد نقاط داده کمتر از ۵۰۰ باشد، روش عکس فاصله روشی بسیار سریع برای تخمین است.[۲]

به طور خلاصه، فرمول مورد استفادهٔ این روش به صورت زیر آمده‌است:

$$\hat{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Z_i}{h_{ij}^{\beta}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{h_{ij}^{\beta}}} \qquad (۱)$$

که در آن:

$$h_{ij} = \sqrt{d^2 + \delta^2} \qquad (۲)$$

h_{ij}: فاصلهٔ مؤثر بین راس شبکه j و نقطهٔ همسایهٔ iام،

$\hat{Z}_j$: مقدار درون‌یابی شده برای راس شبکهٔ j،

Z_i: مقدار عددی ($Value$) هر یک از نقاط همسایه (این مقدار از اطلاعات گمانه‌ها حاصل می‌شود)،

β: پارامتر توان محاسبات،

d: فاصله بین راس شبکه j و نقطهٔ iام،

δ: پارامتر ملایم‌سازی (اگر پارامتر هموارسازی برابر صفر واقع شود، فاصلهٔ مؤثر h_{ij} و فاصلهٔ بین راس شبکهٔ j نقطهٔ همسایهٔ iام با یکدیگر برابر خواهند بود).

پارامتر هموارسازی:

به طور معمول، در روش ID مجموع تمام وزن‌های نقاط داده برابر یک است. هنگامی که راس شبکه بر نقطهٔ داده منطبق باشد، وزن نقطهٔ داده برابر یک و وزن سایر نقاط برابر صفر خواهد بود. به این ترتیب، مقداری که به راس شبکه نسبت داده می‌شود برابر نقطهٔ داده است. پارامتر هموارسازی، ساز وکاری است برای جلوگیری از این رفتار. هنگامی که مقداری غیر صفر به پارامتر هموارسازی نسبت داده شود، هیچ نقطهٔ داده‌ای وزنی برابر یک نخواهد گرفت.

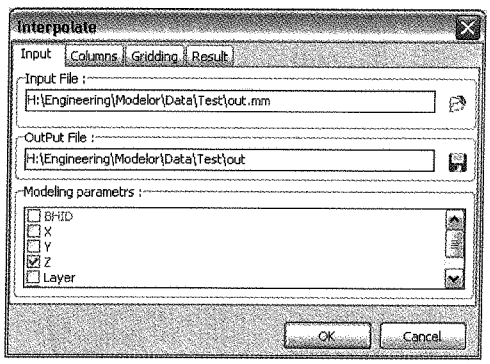
مهم‌ترین بخش نرم‌افزار، مرحلهٔ ساخت مدل یا تولید شبکه است. برای راحتی کار، اطلاعات مورد نیاز بخش مدل‌سازی طی چهار مرحله پرس‌وجو می‌شود:

زبانهٔ Input: برای انتخاب فیلدهای مورد نظر برای مدل‌سازی و انتخاب نام فایل خروجی، شکل (۱۱)،

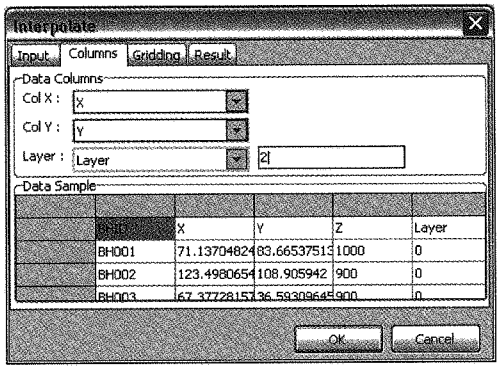
زبانهٔ Columns: برای انتخاب ستون Xها و Yها تعین شمارهٔ لایهٔ مورد نظر، شکل (۱۲)،

زبانهٔ Girding: تعیین محدودهٔ مدل‌سازی و ابعاد شبکهٔ مدل، شکل (۱۳) و

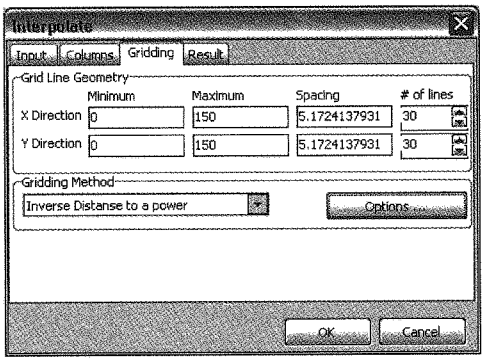
زبانهٔ Result: برای مشاهدهٔ پیشرفتِ ساخت مدل است، شکل (۱۴).



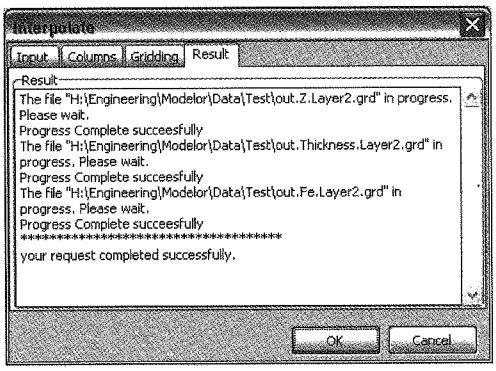
شکل (۱۱): زبانهٔ input و اجزای آن از پنجرهٔ interpolate



شکل (۱۲): زبانهٔ Columns و اجزای تشکیل دهندهٔ آن



شکل (۱۳): زبانهٔ Gridding و اجزای تشکیل دهندهٔ آن



شکل (۱۴) : زبانهٔ Result

۳-٤- محاسبهٔ حجم

۳-٤-۱ محاسبهٔ حجم به روش ذوزنقه

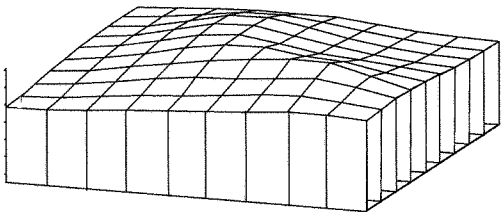
برای محاسبهٔ حجم، به دو شبکه - با تعداد رئوس برابر - نیاز است. فضای محصور بین دو شبکه موجود بایستی به تعدادی مقطع موازی و با فواصل مساوی از یکدیگر تقسیم شود. نمونه‌ای از این تقسیم‌بندی در شکل (۱۵) نمایش داده شده‌است. مساحت هر یک از مقاطع نیز با کمک روش ذوزنقه محاسبه می‌شود.

روش ذوزنقه، فرمولی به شرح زیر دارد[۶]:

$$A_i = \frac{\Delta x}{2}\left[G_{i,1} + 2G_{i,2} + 2G_{i,3} \ldots + G_{i,nCol}\right]$$

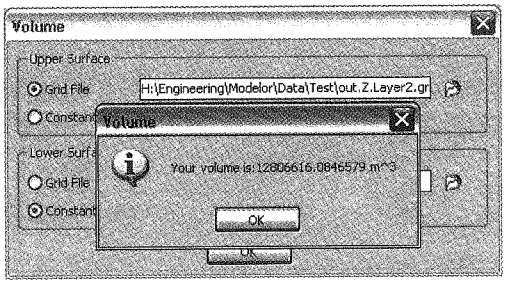
,

$$Volume = \frac{\Delta y}{2}\left[A_1 + 2A_2 + \ldots + 2A_{nCol-1} + A_{nCol}\right]$$



شکل (۱۵): نمایش مقطع‌بندی حجم محصور بین دو شبکهٔ فرضی

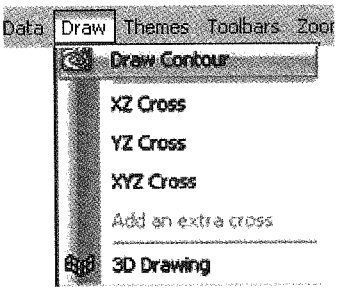
که A_i مساحت هر یک از مقاطع و $Volume$ حجم کل است. در مدل‌کان محاسبه از طریق پنجره‌ای؛ که در شکل (۱۶) نشان داده شده‌است، اجرا می‌شود.



شکل (۱۶): پنجرهٔ محاسبهٔ حجم

٤- ترسیم مدل(های) ساخته شده

نرم‌افزار می‌تواند نتایج مدل کانسار را به صورت‌های دو بعدی و سه بعدی نمایش دهد. این امر از طریق گزینهٔ Draw از منوی اصلی امکان پذیر است، شکل (۱۷).

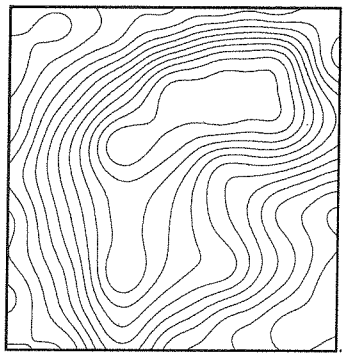


شکل (۱۷): منوی Draw نرم‌افزار مدل‌کان

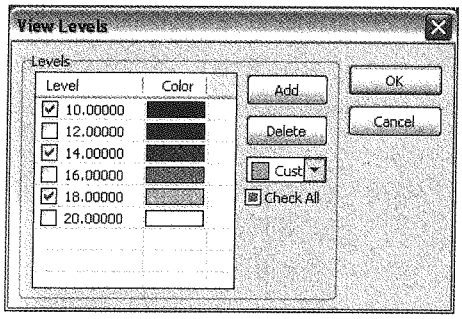
٤-۱- رسم منحنی تراز

نرم‌افزار مدل‌کان قادر است تا فایل‌های مدل تهیه شده را بصورت منحنی تراز نمایش دهد. نرم‌افزار به صورت پیش فرض با توجه به اختلاف ارتفاع بیشترین و کمترین ارتفاع موجود در فایل شبکه ، مقدار ثابتی را برای افزایش ترازها انتخاب می‌کند. ذکر این نکته لازم است که مقدار عددی افزایش

ترازها و همچنین رنگ هر یک از خطوط تراز از سوی کاربر قابل تغییر است و کاربر قادر است، به دلخواه تراز خاصی را به مجموعه اضافه و یا از مجموعه حذف کند. شکل (۱۸) منحنی تراز لایه‌ای فرضی را نشان می‌دهد و در شکل (۱۹) تنظیمات لایه را می‌توان به دلخواه ویرایش کرد.



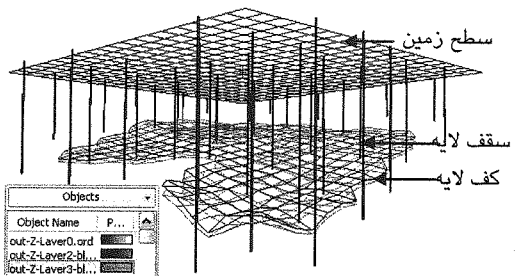
شکل (۱۸): منحنی تراز رسم شده لایه‌ای فرضی



شکل (۱۹): پنجرهٔ levelها

٤-۲- نمایش سه بعدی

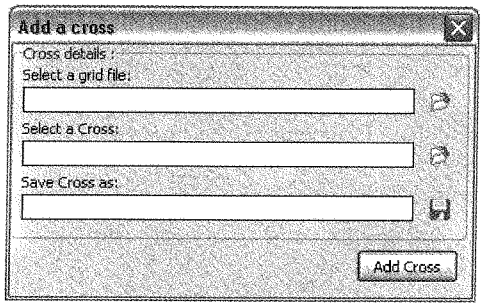
از دیگر خروجی‌های تهیه شده برای نرم‌افزار، ترسیم رویهٔ (Surface) مدل‌های تولید شده است. کاربر در صورت لزوم می‌تواند به نرم‌افزار فرمان رسم چند رویه در یک محیط را صادر کند. در این صورت، رویه‌ها بر روی یکدیگر منطبق(overlay) خواهند شد. همچنین در صورت تمایل نرم‌افزار می‌تواند گمانه‌های اکتشافی را از فایلی که در مرحلهٔ "آماده‌سازی داده‌ها" تهیه شده‌است به صورت خودکار و با رنگ و قطر دلخواه برای گمانه‌ها ترسیم کند، شکل (۲۰).



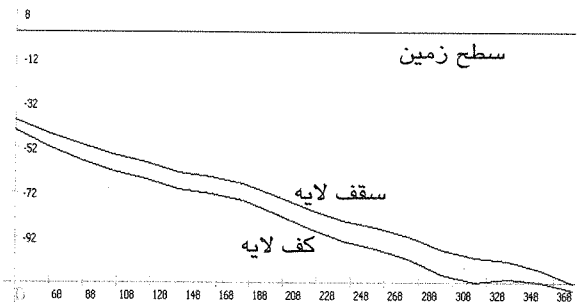
شکل (۲۰): نمای پرسپکتیو از سه مدل به همراه گمانه‌های اکتشافی

٤-۳- ایجاد و رسم مقطع

نرم‌افزار قادر است از مدل تهیه شده مقاطعی در جهت دلخواه ایجاد کند. برای ایجاد یک مقطع به دو فایل به شرح زیر نیاز است: ۱. فایل مدل و ۲. فایلی که حاوی مسیر مقطع‌زنی است. برای تولید فایل مسیر مقطع‌زنی می‌توان همانند تولید فایل Collar از ابزار digitize بهره جست. شکل (۲۱) پنجرهٔ مقطع‌زنی و شکل (۲۲) ترسیم همزمان سه مقطع در یک صفحهٔ واحد را نمایش می‌دهد.



شکل (۲۱): پنجرهٔ مقطع‌زنی



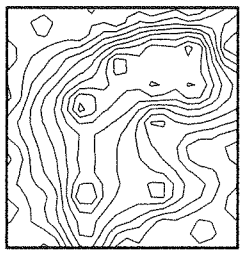
شکل (۲۲): مقطع رسم شده بوسیلهٔ نرم‌افزار مدل‌کان

۵- اعتبار سنجی نرم‌افزار

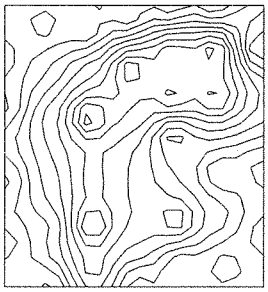
نرم‌افزار مدل‌کان برای ساخت مدل‌های دوبعدی طراحی و پیاده سازی شده‌است. در زمینهٔ مدل‌سازی دوبعدی می‌توان به نرم‌افزار قدرتمندی همچون Surfer اشاره کرد. از آنجا که هردو نرم‌افزار مدل‌کان و Surfer به ساخت مدل‌های دو بعدی می‌پردازند و همچنین تقریباً تمام قابلیت‌های نرم‌افزار مدل‌کان در نرم‌افزار Surfer موجود می‌باشد، از همین رو، برای اعتبار سنجی، نتایج نرم‌افزار مدل‌کان با نتایج نرم‌افزار Surfer مقایسه می‌شود. در همین راستا اطلاعات خام واحدی را به طور جداگانه به دو نرم‌افزار مدل‌کان و Surfer معرفی و تحت شرایط یکسان به ساخت مدل در هر دو نرم‌افزار پرداخته شده‌است. مدل‌های تولید شده در دو شکل (۲۳) و شکل (۲۴) قابل مشاهده است.

همچنین با هر یک از دو نرم‌افزار فوق در راستایی واحد و یک شبکهٔ معین، مقطعی زده‌شد. بخشی از نتیجهٔ مقطع تولید

شده با نرم‌افزار Surfer در جدول (۱)و بخشی از نتیجهٔ مقطع تولید شده با نرم‌افزار مدل‌کان در جدول (۲) گردآوری شده است.



شکل (۲۳): منحنی‌تراز تولید و رسم شده با نرم‌افزار مدل‌کان



شکل (۲۴): منحنی‌تراز تولید و رسم شده با نرم‌افزار Surfer

جدول (۱): مقادیر عددی مقطع C از کف لایهٔ دوم (Surfer)

-۱.۷۰e+۳۸	۳۸۴	۱۸۸
-۱۱۵.۳۶۶	۳۷۹.۴۷۴	۱۸۸.۱۴۲
-۱۱۲.۱۱۶	۳۵۹.۹۴۷	۱۸۸.۷۵۶
...	...	...

جدول (۲): مقادیر عددی مقطع C از کف لایهٔ دوم (مدل‌کان)

-۱.۷۰e+۳۸	۳۸۴	۱۸۸
-۱۱۵.۳۶۶	۳۷۹.۴۷۴	۱۸۸.۱۴۲
-۱۱۲.۱۱۶	۳۵۹.۹۴۷	۱۸۸.۷۵۶
...	...	...

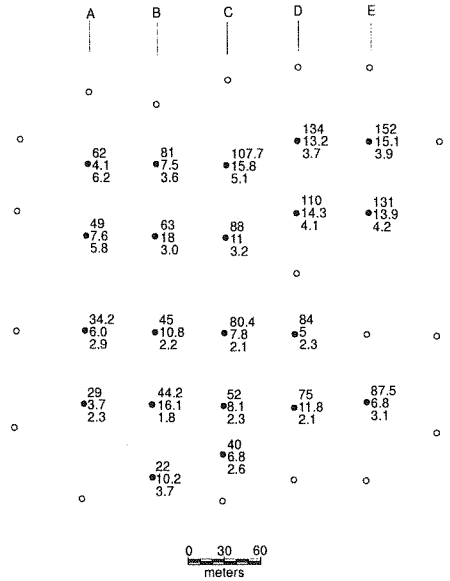
۶- مدل‌سازی یک کانسار مس لایه‌ای با استفاده از نرم‌افزار مدل‌کان

اطلاعات اکتشافی مربوط به یک لایهٔ مس در شکل (۲۵) مشاهده می‌شود. اعدادی که در کنار هر گمانه نوشته شده، از بالا به پایین به ترتیب عمق گمانه تا سقف لایه (برحسب متر)، ضخامت مادهٔ معدنی (برحسب متر) و عیار مس (درصد) و وزن مخصوص مادهٔ معدنی ۲.۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. برای انجام مدل‌سازی دو بعدی به ابعاد شبکه نیاز است. در حل این نمونه ابعاد شبکه ۲۰ در ۲۰ منظور شده‌است.

۶-۱- ساخت و نمایش مدل

ابتدا موقعیت گمانه‌ها، با استفاده از ابزار Digitize، به اطلاعات رقومی تبدیل شدند، جدول (۳)؛ سپس با استفاده از اطلاعات مندرج در شکل (۲۵)، چهار مدل مختلف به شرح زیر ساخته شدند:

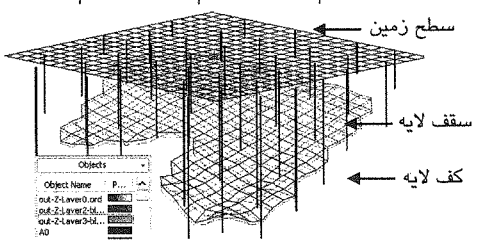
مدل‌های سقف، کف، ضخامت و عیار لایهٔ مس.



شکل (۲۵): اطلاعات اکتشافی مربوط به کانسار مس لایه‌ای[۷]

جدول (۳): بخشی از اطلاعات حاصل از رقومی کردن تاج گمانه‌ها

BHID	X	Y	Z
A0	۸۱	۲۸	۰
A1	۸۰	۱۰۸	۰
A2	۷۸	۱۶۹	۰
...	...	...	...



شکل (۲۶) نمایش سه بعدی از رویه‌های کف و سقف لایه را در نمایی ارتوگرافیک نشان می‌دهد؛ همچنین شکل (۲۸) و شکل (۲۷) نمایش دو بعدی (منحنی‌تراز) ضخامت و عیار را نشان می‌دهد.

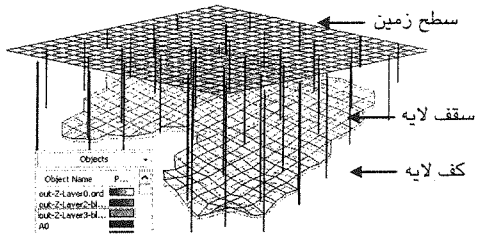
۶-۲- ایجاد و رسم مقطع

در شکل (۲۵) محل درج پنج مقطع با نام‌های A، B، C، D و E تعیین شده‌است. پنج مقطع فوق، با هر دو نرم‌افزار مدل‌کان و Surfer از مدل‌های ساخته شده تهیه شد جدول (٤) و جدول (٥) بخشی از نتایج حاصل از مقطع C را؛ که به ترتیب با Surfer و مدل‌کان تهیه شده‌است، نشان می‌دهند. تصویری از مقطع مزبور که با مدل‌کان ترسیم شده‌است در شکل (۲۲) نشان داده شده است. توضیح این نکته لازم است که در این مقطع سطح

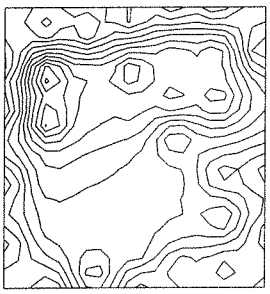
زمین، سقف لایه و کف لایهٔ کانسار قابل مشاهده است.

۶-۳- محاسبهٔ حجم لایه

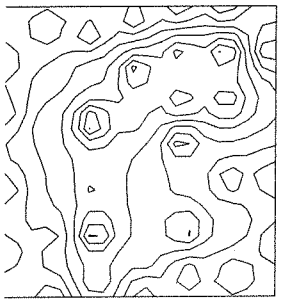
حجم محصور بین سقف و کف کانسار با استفاده از نرم‌افزار مدل‌کان برابر با ۸۱۸۲۷۶ متر مکعب و ذخیرهٔ کانسار برابر ۸۱۸۲۷۶ تن برآورد شده‌است که با نتایج Surfer (روش ذوزنقه) کاملاً مطابقت دارد. محاسبهٔ ذخیره فوق با روش‌های دیگر در جدول (۶) آمده است.



شکل (۲۶): نمای اورتوگرافیک از سه مدل به همراه گمانه‌های اکتشافی



شکل (۲۸): مدل عیار



شکل (۲۷): مدل ضخامت

جدول (۴): مقادیر عددی مقطع C از کف لایهٔ مس با استفاده از نرم‌افزار Surfer

-۱.۷۰e+۳۸	۳۸۴	۱۸۸
-۱۱۵.۳۶۵	۳۷۹.۴۷۳	۱۸۸.۱۴۲
...	...	...

جدول (۵): مقادیر عددی مقطع C از کف لایهٔ مس با استفاده از نرم‌افزار مدل‌کان

-۱.۷۰e+۳۸	۳۸۴	۱۸۸
-۱۱۵.۳۶۵	۳۷۹.۴۷۳	۱۸۸.۱۴۲
...	...	...

جدول (۶): خلاصهٔ نتایج محاسبهٔ ذخیرهٔ کانسار با روش‌های گوناگون[۷]

نام روش مورد استفاده	ذخیره برآورد شده
متوسط گیری ریاضی	۱۸۶۷۷۸۰
چند ضلعی	۲۱۳۷۹۰۰
مثلث	۱۸۳۲۳۴۰
خطوط تراز	۱۹۱۹۲۱۰
مقاطع	۱۳۹۳۶۸۹
میانگین روش‌های فوق	۲۰۳۰۱۸۳.۸

۷- جمع‌بندی

هدف از تولید نرم‌افزار مدل‌کان، ساخت نرم‌افزاری برای مدل‌سازی دو بعدی کانسارهای لایه‌ای است. نرم‌افزار مدل‌کان قادر است، با استفاده از اطلاعات اکتشافی، از مشخصه‌های مختلف کانسار همانند شکل، عیار، ضخامت، چگالی و ... مدلی دو بعدی تهیه کند. نرم‌افزار مدل‌کان در مراحل بعدی به محاسبهٔ حجم و نمایش مدل‌های تولید شده می‌پردازد. مهم‌ترین توانایی‌های نرم‌افزار مدل‌کان به شرح زیر است:

رقومی کردن نقشه‌ها، آماده‌سازی اطلاعات خام اکتشافی برای انجام مدل‌سازی، ساخت مدل‌های دوبعدی از مشخصه‌های مختلف کانسار، محاسبهٔ حجم لایهٔ معین، مقطع‌زنی در مدل‌های تولید شده در هر جهت دلخواه، رسم منحنی میزان مدل‌های تولید شده، نمایش سه بعدی مدل‌های تولید شده، ترسیم مقاطع ایجاد شده در صفحات XY، YZ و هر صفحهٔ دلخواه، هماهنگی بین مدل‌های تولید شده با نرم‌افزارهای مدل‌کان و Surfer به این معنی که مدل‌های تولید شده با نرم‌افزارهای مدل‌کان و Surfer برای یکدیگر قابل استفاده است.

از دیگر قابلیت‌های خروجی نرم‌افزار، کپی کردن نقشهٔ رسم شده به Clipboard است؛ همچنین نرم‌افزار می‌تواند نقشهٔ رسم شده را با فرمت‌های bmp و wmf ذخیره کند. بعلاوه نرم‌افزار توانایی تبدیل مدل ساخته شده به فرمت excel را نیز دارد. پیش بینی شده‌است که امکان چاپ نتایج با AutoCAD در مرحلهٔ توسعهٔ نرم‌افزار فراهم شود.

طراحی و ساخت مدل‌کان به عنوان یکی از نخستین گام‌ها در مسیر تولید نرم‌افزارهای جامع معدنی برای مدل‌سازی کانسارها محسوب می‌شود و در حال حاضر، محدودیت‌هایی دارد که به تدریج بر طرف خواهد شد. از جملهٔ این محدودیت‌ها می‌توان به لزوم قایم بودن گمانه‌ها، استفاده از تنها یک تکنیک تخمین (معکوس فاصله) و عدم لحاظ گسل‌ها اشاره کرد.

۸- فهرست منابع

[۱] Anon. (2000) Datamine software tool help files, Version 2.1, Datamine.

[۲] Anon. (2000) Surfer software tool help files, version 7.02, Golden Software, Inc.

[۳] گودرزی، مجید (1386)، مدل‌سازی کامپیوتری دو بعدی کانسارهای لایه‌ای، پایان نامهٔ کارشناسی مهندسی معدن، دانشکدهٔ مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۱۴ ص.

[۴] Anon. (2005) Delphi 2005 Architect edition tool help files, Borland.

[۵] Shreiner, D, Woo, M, Neider J and Davis T (2005), The OpenGL Programming Guide – The RedbookVersion 2, Addison-Wesley Professional, 896 p.

[۶] ذوالفقاری، محمد (۱۳۵۶)، نقشه برداری شناخت کلی، ویرایش اول. تهران،
[۷] مدنی، حسن (۱۳۶۶)، اصول پی‌جویی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی.ویرایش اول. تهران: شرکت انتشارات ایران انتشار.