



عیار حد و نقش آن در طراحی معدن

تدوین:

دکتر مرتضی اصانلو

استاد دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

پاییز ۱۴۰۳

سرشناسه	: اصائلو، مرتضی، ۱۳۲۸-
عنوان و نام پدیدآور	: عیار حد و نقش آن در طراحی معدن / تدوین مرتضی اصائلو.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، مرکز نشر، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	: س، ۱۸۲ ص.
شابک	: ۳۱۰۰۰ ریال: ۲-۴۰۶-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: سنگ معدن - درجه بندی.
موضوع	: سنگ معدن - نمونه سنجی و تخمین.
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران). مرکز نشر.
شناسه افزوده	: Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic). Publishing Center.
رده بندی کنگره	: ۱۳۸۹ ع ۹۶ الف / ۵۰۰ TN
رده بندی دیویی	: ۶۲۲/۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۰۰۱۲۴

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۸۸/۱۰/۰۱ شورای چاپ و نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

عنوان کتاب	: عیار حد و نقش آن در طراحی معدن
تدوین	: مرتضی اصائلو
ناشر	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
چاپ سوم	: پاییز ۱۴۰۳
قیمت	: ۱۶۰,۰۰۰ تومان
تیراژ	: ۱۰۰
شابک	: ۲-۴۰۶-۴۶۳-۹۶۴-۹۷۸ ISBN : 978-964-463-406-2

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: <http://publication.aut.ac.ir>

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست مطالب

فصل اول - مقدمه‌ای بر عیار حد.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۱
فصل دوم - اصول اولیه عیار حد.....	۵
۱-۲ اصول اولیه	۵
۲-۲ ارتباط بین عیار حد و تناژ-عیار.....	۶
۳-۲ ضرر یا سود مستقیم	۷
۴-۲ سود یا هزینه فرصت از دست رفته	۱۰
۱-۴-۲ هزینه تأخیر.....	۱۱
۲-۴-۲ هزینه تغییر	۱۲
۵-۲ بهینه‌سازی عیار حد با هزینه فرصت از دست رفته	۱۹
۶-۲ سایر مزایا (متفرقه یا جانبی).....	۲۱
فصل سوم - عیارهای سربه‌سری یا کمینه.....	۲۵
۱-۳ تعریف.....	۲۵
۲-۳ عیار حد بین کانسنگ و باطله	۲۶
۳-۳ عیار حد برای مواد کف معدن	۳۲
۴-۳ استفاده از عیار حد در تعیین فازهای استخراجی	۳۵
۵-۳ عیار حد و برنامه‌ریزی تولید بهینه	۳۹
۶-۳ عیار حد در معدن زیرزمینی.....	۴۸
۷-۳ عیار حد برای انتخاب دو فرآیند	۵۱
۸-۳ عیار حد به منظور تصمیم‌گیری در مورد مواد کم‌عیار (انباشتگاه یا مکان دمپ).....	۵۵
۹-۳ تعیین عیار حد با درصد بازیابی متفاوت	۵۸
فصل چهارم - عیار حد در ذخایر چند فلزی	۶۳
۱-۴ مقدمه.....	۶۳
۲-۴ روش عیار حد	۶۴

۳-۴	روش ارزش مواد	۶۶
۴-۴	محاسبه عیار حد با استفاده از NSR	۶۸
۵-۴	خلاصه	۷۱
فصل پنجم - عیار حد و بهینه‌سازی عملیات فرآوری کارخانه		
۱-۵	رابطه ریاضی	۷۵
فصل ششم - انواع هزینه‌ها و تأثیر آنها در عیار حد		
۱-۶	انواع هزینه‌ها	۹۰
۱-۱-۶	هزینه ثابت یا غیرمستقیم	۹۰
۲-۱-۶	هزینه متغیر یا مستقیم	۹۰
۳-۱-۶	هزینه‌های مصرف شده	۹۱
۴-۱-۶	هزینه‌های پشتیبانی	۹۳
۵-۱-۶	هزینه‌های طرح توسعه	۹۴
۶-۱-۶	هزینه بالاسری	۹۵
فصل هفتم - عیار حد و ظرفیت استخراج		
۱-۷	عیار حد و ظرفیت استخراج وقتی که ظرفیت فرآوری ثابت است	۹۷
فصل هشتم - عیار حد و ظرفیت فرآوری		
۱-۸	افزایش ظرفیت فرآوری و عیار حد	۱۰۳
فصل نهم - عیار حد و محصول قابل فروش ثابت		
۱-۹	مقدار فروش ثابت	۱۰۷
۲-۹	محاسبه عیار حد وقتی که ظرفیت فرآوری و محصول قابل فروش ثابت اما محدودیتی در ظرفیت استخراج وجود ندارد	۱۰۹
۳-۹	محاسبه عیار حد وقتی که مقدار فروش محصول نهایی معدن و ظرفیت استخراج ثابت اما محدودیتی در ظرفیت کارخانه وجود ندارد	۱۱۱
فصل دهم - آزادسازی محدودیت ظرفیت‌ها		
۱-۱۰	عیار حد و ظرفیت‌های متغیر	۱۱۳
فصل یازدهم - عیار حد و ذخیره معدنی		
		۱۱۹

۱-۱۱	نقش ذخیره معدنی.....	۱۱۹
فصل دوازدهم- عیار حد و برنامه‌ریزی معدن.....		
۱-۱۲	روش روباز.....	۱۲۵
۲-۱۲	معدن زیرزمینی.....	۱۲۷
۳-۱۲	مشابهت بین برنامه‌ریزی در معدن روباز و زیرزمینی.....	۱۲۸
فصل سیزدهم-عیار حد و برنامه‌ریزی معدن در روش استخراج زیرزمینی-		
۱-۱۳	تخریب بلوکی.....	۱۳۱
۲-۱۳	عیار حد و روش استخراج تخریب بلوکی.....	۱۳۱
۳-۱۳	عیار حد مرزی و نقطه بارگیری جبهه کار.....	۱۳۲
۴-۱۳	عیار حد مرزی و طراحی بلوک.....	۱۳۳
۵-۱۳	تأثیر هزینه سرمایه‌ای و نرخ تنزیل داده شده.....	۱۳۳
۶-۱۳	هزینه فرصت از دست رفته.....	۱۳۵
فصل چهاردهم- عیار حد و عملیات فروشویی طلا.....		
۱-۱۴	لیچینگ (فروشویی).....	۱۳۷
فصل پانزدهم- تعاریف اصطلاحات به کار گرفته شده در متن.....		
۱-۱۵	تعاریف اصطلاحات.....	۱۴۳
منابع.....		
فهرست موضوعات و مفاهیم.....		
واژه انگلیسی به فارسی به ترتیب استفاده در متن.....		
واژه فارسی به انگلیسی به ترتیب حروف الفبا.....		
واژه انگلیسی به فارسی به ترتیب حروف الفبا.....		

فهرست شکل‌ها

- ۱-۱ عیار حد و سایر عوامل تأثیرگذار در طراحی معدن ۴
- ۱-۲ تأثیر عیار حد بر عیار- تناژ ۷
- ۲-۲ ارتباط بین NPV، $u_{op}(g)$ و زمان استخراج ۱۵
- ۳-۲ ارتباط بین عمر معدن (سال)، هزینه فرصت از دست رفته و عیار حد ۱۵
- ۴-۲ محاسبه عیار حد بهینه با در نظر گرفتن $u_{opp}(g)$ به روش تکرار محاسبات ۲۰
- ۱-۳ عیار حد سربه‌سری معدن و عیار حد سربه‌سری کارخانه ۲۹
- ۲-۳ تخمین گرافیکی عیار حد سربه‌سری به منظور تشخیص باطله از موادیکه باید به مرحله فروشویی ارسال شود ۳۱
- ۳-۳ عیار حد برای مواد کف معدن ۳۴
- ۴-۳ عیار حد و نقش آن در تعیین فازهای استخراجی ۳۶
- ۵-۳ روند نقدینگی در پروژه معدن روباز ۳۷
- ۶-۳ عیارهای حد، فازهای استخراجی و عیار حد سربه‌سری ۳۹
- ۷-۳ الف- بیشینه NPV براساس نرخ تولید و عیار حد به روش گرافیکی ۴۴
- ۷-۳ ب ارتباط بین قیمت، تولید بهینه و NPV ۴۵
- ۸-۳ تخمین گرافیکی عیار حد به منظور تشخیص مقصد ارسال مواد ۵۳
- ۹-۳ ارتباط بین درصد بازیابی، متوسط عیار و ثابت مخزن ۶۰
- ۱۰-۳ ارتباط بین باطله، کانسنگ با توجه به ضریب ثابت مخزن ۶۱
- ۱-۴ روش‌های تعیین عیار حد در ذخایر دو فلزی ۶۶
- ۲-۴ ارتباط بین NSR_C و عیارهای فلزات ۷۲
- ۱-۵ ارتباط بین عیار حد و عیار- تناژ مس در سال پیش‌رو ۸۰
- ۲-۵ ارتباط بین هزینه فرآوری و تناژ موادیکه در سال فرآوری می‌شود ۸۲
- ۳-۵ ارتباط بین میزان فرآوری سالانه و میزان بازیابی ۸۳
- ۴-۵ ارتباط بین خوراک کارخانه و ارزش آن ۸۴
- ۵-۵ تأثیر ظرفیت کارخانه بر ارزش خوراک کارخانه ۸۶

۱-۶	تأثیر درجه مکانیزاسیون بر عیار حد و بهره‌وری	۹۶
۱-۷	تخمین عیار حد با فرض ثابت ماندن ظرفیت کارخانه فرآوری	۱۰۰
۱-۸	تخمین عیار حد در شرایطی که ظرفیت استخراج ثابت است	۱۰۵
۱-۹	محاسبه عیار حد و تناژ براساس عیار خوراک کارخانه	۱۱۰
۲-۹	محاسبه عیار حد با توجه به فلز موجود در خوراک کارخانه	۱۱۲
۳-۹	تخمین خوراک کارخانه براساس عیار حد	۱۱۲
۱-۱۱	ارتباط بین عیار حد انتخابی کمینه و روش‌های استخراج	۱۲۰
۲-۱۱	ارتباط بین عیار حد انتخابی بیشینه و روش‌های استخراج	۱۲۱
۱-۱۴	تخمین عیار تناژ براساس عیار حد	۱۳۸
۲-۱۴	ارتباط بین میزان بازیابی و نسبت محلول	۱۴۰
۱-۱۵	مراحل فرآوری، کانسنگ تغلیظ شده و تیلینگ	۱۴۶
۲-۱۵	یک نمونه ساده از عملیات متالورژیکی	۱۴۸
۳-۱۵	باطله‌های معادن روباز فلزی و سطحی ذغال سنگ	۱۵۱
۴-۱۵	ارتباط بین منابع و ذخایر معدنی	۱۵۶

فهرست جداول

۳-۱ استراتژی عیارهای حد برای سه نرخ تولید.....	۴۴
۴-۱ نحوه محاسبه فاکتور معادل سازی عیار در ذخایر چند فلزی.....	۶۵
۵-۱ ارتباط عیار- تناژ در سال پیش رو.....	۷۹
۵-۲ ارزش $u(T+C)$ برای عیارهای حد مرتبط با $T+C$	۸۵
۵-۳ محاسبه تغییرات ارزش خوراک کارخانه برای عیارهای مختلف و تناژهای مرتبط.....	۸۷
۱۰-۱ ارتباط بین عیار حد- تناژ قابل استخراج و فلز موجود.....	۱۱۴
۱۰-۲ تأثیر عیار حد بر ظرفیت های استخراج و فرآوری.....	۱۱۵
۱۱-۱ تأثیر عیار حد، شرایط ذخیره بر میزان تولید مس.....	۱۲۲
۱۵-۱ انواع باطله های معدن و منابع آنها.....	۱۵۳

فهرست نمادها

1- AMR	قیمت یک تن کنسانتره در معدن
2- b_o	هزینه‌های استخراج یک تن کانسنگ
3- b_{Stp}	هزینه‌های استخراج فعلی یک تن موادیکه به انباشتگاه ارسال می‌شود
4- b_w	هزینه‌های برداشت یک تن باطله
5- C	ثابت مخزن
6- C_{ch}	هزینه‌های ناشی از تغییرات اقتصادی
7- C_c	هزینه سرمایه‌گذاری برای راه‌اندازی آخرین پیشروی
8- C_d	هزینه‌های تأخیر
9- C_o	هزینه‌های فرآوری یک تن کانسنگ
10- C_s	هزینه‌های ذوب
11- C_{Stp}	هزینه‌های فعلی انباشتگاه
12- C_t	هزینه‌های حمل
13- C_w	هزینه‌های فرآوری یک تن باطله جهت پیشگیری از آلاینده‌گی
14- CPY	هزینه در سال
15- d_c	بازیابی تنزیل داده شده
16- DIMC	هزینه تنزیل داده شده ناشی از توسعه ظرفیت استخراج
17- DIPC	هزینه تنزیل داده شده ناشی از افزایش ظرفیت فرآوری
18- DIR	درآمد تنزیل داده شده ناشی از افزایش ظرفیت کارخانه
19- f_1	بازیابی در مرحله ذوب پالایش
20- f_2	بازیابی در مرحله لیچینگ (فروشیوی)
21- f_e	فاکتور معادل‌سازی
22- Fw	ارزش آینده سرمایه
23- g	عیار
24- g_c	عیار حد

25- g_{c2}	عیار حد پیشروی جدید بدون احتساب نرخ تنزیل داده شده
26- g_{c3}	عیار حد پیشروی جدید با احتساب نرخ تنزیل داده شده
27- g_{c4}	عیار حد پیشروی جدید با احتساب نرخ تنزیل داده شده و هزینه فرصت‌های از دست رفته
28- g_{cq}	عیار معادل
29- g_{+c}	متوسط عیار خوراک کارخانه- زیادتر از عیار حد
30- I	درآمد
31- i	نرخ تنزیل داده شده
32- k	ضریب کنسانتره
33- n	تعداد سال
34- N_m	تعداد ماه
35- NPV	ارزش خالص فعلی
36- NPV_{im}	ارزش خالص فعلی هزینه‌های حمل از انباشتگاه به کارخانه
37- NPV_{Stp}	ارزش خالص فعلی هزینه‌های سالانه انباشتگاه
38- NSR	ارزش خالص یک تن کنسانتره
39- NSR_{CE}	NSR بیرونی یا معدن
40- NSR_{CI}	NSR داخلی یا فرآوری (مرز بین باطله و فرآوری)
41- O_o	هزینه‌های بالاسری یک تن کانسنگ
42- O_{Stp}	هزینه‌های بالاسری فعلی مواد انباشتگاه
43- O_w	هزینه‌های بالاسری یک تن باطله
44- P	قیمت
45- P_{Stp}	قیمت محصول نهایی موادی که از انباشتگاه به کارخانه ارسال شده است.
46- PPM	تن در ماه
47- Q_{+c}	مس موجود در کنسانتره

48- Q_c	ذخایر قابل تجارت
49- Q_g	ذخایر زمین‌شناسی
50- Q_L	ذخایر تلف شده، به‌هدر رفته
51- Q_{NW}	ذخایر غیرقابل استخراج- استخراج نشدنی
52- Q_W	ذخایر قابل استخراج
53- R	هزینه‌های حمل، بیمه ناظر و حق کمیسیون
54- S	هزینه‌های ذوب و پالایش و حمل محصول نهایی به بازار
55- S_1	هزینه‌های فروش محصول اولیه
56- S_2	هزینه‌های فروش محصول ثانویه
57- S_{Stp}	هزینه‌های فروش محصول نهایی موادی که از انباشتگاه به کارخانه ارسال شده است.
58- T	موادی که از آخرین پیشروی استخراج می‌شوند (تن)
59- t	زمان
60- TC	جمع هزینه‌ها
61- T_C	خوراک کارخانه
62- T_{+C}	خوراک کارخانه با عیار زیادتر از عیار حد
63- u	ارزش
64- $u(g)$	ارزش مواد با عیار g
65- u_d	سود یا ضرر مستقیم (مرتبط با یک تن مواد)
66- $u_{op}(g)$	ارزش فرصت از دست رفته (سود یا ضرر)
67- $u_{ot}(g)$	ارزش متفرقه
68- $u_w(g)$	ارزش برداشت یک تن باطله (هزینه)
69- $u_{ore}(g)$	ارزش یک تن کانسنگ
70- $u_{Stp}(g)$	ارزش موادی که انبار می‌شوند.
71- u_{jk}	ارزش بلوک j در سال k

72- u ($T+c$)	ارزش خوراک کارخانه با عیار زیادتر از عیار حد
73- y	مقدار بازیابی = درصد یا کسری
74- y_1	میزان بازیابی محصول اولیه
75- y_2	مقدار بازیابی محصول ثانویه
76- y_c	بازیابی بعد از کسر ثابت مخزن
77- y_{Stp}	بازیابی محصول نهایی موادی که از انباشتگاه به کارخانه ارسال می شوند

پیشگفتار

کتاب پیش رو که تحت عنوان "عیار حد و نقش آن در طراحی معادن" در اختیار دانش پژوهان مهندسی معدن و زمین‌شناسان قرار می‌گیرد عمدتاً از کتابی تحت عنوان: "An Introduction to Cut off grade Estimation" اقتباس شده است. کتاب یاد شده در سال ۲۰۰۸ توسط:

Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc (SME)

در ایالات متحده آمریکا به چاپ رسیده است. مؤلف کتاب آقای Jean-Michel Rendu می‌باشد. اما همانطور که خوانندگان محترم کتاب ملاحظه خواهند کرد از منابع دیگر نیز در تدوین کتاب استفاده شده است. بدون شک عیار حد اولین و مهمترین پارامتر طراحی معادن بالاخص معادن روباز محسوب می‌شود. اولین مرحله از فعالیت معدنکاری تهیه یا داشتن مدل بلوکی زمین‌شناسی (اکتشافی) از منابع معدنی است. "Geological Block Model of Resource"

در این مرحله منابع معدنی از نظر حجم داده‌های اخذ شده، دقت و صحت وجود منابع به چند گروه قطعی، احتمالی، ممکنه، فرضی و ذهنی تقسیم و با توجه به آنکه دو گروه اول از ریسک کمتری در قیاس با گروههای دیگر برخوردارند برای طراحی و برنامه‌ریزی در نظر گرفته می‌شوند سپس با محاسبه عیار حد و متوسط عیار برای هر بلوک، کلیه بلوک‌هایی که از نظر اقتصادی پتانسیل استخراج دارند را مشخص و کل ذخیره قابل استخراج (استخراج‌پذیر) محاسبه می‌شود. پس از این مرحله مدل بلوکی استخراجی تهیه می‌گردد. "Mineable Block Model of ore Reserve"

برای تهیه مدل بلوکی استخراجی یا اقتصادی ارزش اقتصادی هر بلوک تعیین می‌شود. در ارزش اقتصادی بلوک‌ها هفت عامل: عیار، قیمت، بازیابی، هزینه استخراج، هزینه فرآوری و حجم یا تناژ هر بلوک (کانسنگ و باطله) مؤثرند با تهیه مدل بلوکی استخراجی (اقتصادی) محدوده نهایی معدن پیدا و سپس برنامه‌ریزی تولید از محدوده نهایی معدن براساس بیشینه کردن ارزش خالص فعلی (NPV) انجام خواهد گرفت. همانطور که توضیح داده شد، سنگ بنای برنامه‌ریزی معادن عیار حد است اگر عیار حد دارای خطا باشد، محدوده نهایی معدن اشتباه خواهد بود و اگر محدوده نهایی معدن صحیح نباشد برنامه‌ریزی غلط و در نهایت میزان NPV پیش‌بینی شده اشتباه خواهد

بود. در کتاب حاضر سعی شده تا با تعریف کامل از عیار حد و در نظر گرفتن عوامل اقتصادی تأثیرگذار بر آن، روابط برای محاسبه عیار حد در شرایط مختلف معدنکاری معرفی و با حل مثال بالاخص در مورد فلزات قیمتی و پایه به درک مطلب کمک شود. همچنین در این کتاب از نمودارها و شکل‌های ضروری برای توجیه مطالب نیز استفاده شده است. در این کتاب به مقوله نظریه لین "Lane" که در کتاب دو جلدی نویسنده تحت عنوان روش‌های استخراج معادن سطحی بطور مفصل بحث شده پرداخته نشده است. با وجود تلاشی که برای تهیه کتاب عیار حد و نقش آن در طراحی معادن انجام گرفته اما بدون شک پیشنهادات دانش پژوهان و صاحب‌نظران در چاپ‌های بعدی کتاب می‌تواند در تکمیل کتاب مفید واقع شود و از این جهت نویسنده از پیشنهاد دهندگان قدردانی و تشکر بعمل خواهد آورد. همچنین ضروری است که از خانم آسیه حکمت اولین دانشجوی زن دکتری مهندسی استخراج معدن ایران که در تدوین کتاب کمک موثر داشته‌اند تقدیر به عمل آورم.

مرتضی اصائلو

زمستان ۱۳۸۸

مقدمه‌ای بر عیار حد

۱-۱ مقدمه:

بطور کلی عیار حد^۱ به مقدار فلز یا محصول با ارزشی اطلاق می‌شود که یک تن متر یک (۱۰۰۰ کیلوگرم) مواد باید داشته باشد قبل از آنکه به کارخانه تغلیظ ارسال شود. براساس این تعریف می‌توان تصمیم گرفت که چه موادی باید در معدن استخراج و چه موادی نباید استخراج شود و اگر استخراج انجام گرفت مقصد ارسال مواد کجاست؟ مقصد ارسال مواد می‌تواند (۱) مکان دمپ باطله‌ها، (۲) کارخانه تغلیظ (۳) لیچینگ انبارهای^۲ یا (۴) انباشتگاه^۳ به منظور فرآوری درآینده نزدیک یا دور باشد.

-
- 1- Cut off grade
 - 2- Heap Leaching
 - 3- Stockpile