

ارائه یک مدل ریاضی

برای تعیین مخلوط بهینه زغالسنگ‌های طبس و گلندرود به منظور تهیه کک متالورژی

حسن مدنی - فرهاد رحمانی

آقای حسن مدنی فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی معدن از دانشگاه تهران (۱۳۴۵) است. وی مدت ۹ سال در معادن زغالسنگ شرکت ملی فولاد، فعالیت داشته است. مدت ۳۰ سال عضو هیأت علمی دانشکده معدن، متالورژی و نفت دانشگاه امیرکبیر بود و در چندین دوره سمت‌هایی مانند رئیس، معاون و سرپرست تحصیلات تکمیلی این دانشکده را به عهده داشته است. تألیف و ترجمه‌ی ۴۰ کتاب در زمینه‌ی معدن و ارائه‌ی حدود ۵۰ مقاله نیز از دیگر سوابق کاری ایشان است. آقای حسن مدنی در حال حاضر مدیر آموزش و عضو شورای سیاست‌گذاری انتشارات نظام مهندسی معدن و عضو هیأت مدیره‌ی انجمن مهندسی معدن است.

آقای فرهاد رحمانی فارغ التحصیل کارشناسی ارشد اکتشاف معدن از دانشگاه امیرکبیر (۱۳۷۵) است و مدیر اجرایی تولید پودرهای میکرونیزه‌ی ایران در تالکستان و کارشناس بوکسیت جاجرم بوده و از ۱۱ سال پیش تاکنون به عنوان کارشناس ارشد صنایع معدنی در دفتر صنایع معدنی وزارت صنایع و معادن مشغول به کار است.

چکیده

مسئله مخلوط‌سازی زغالسنگ گلندرود و طبس از مدت‌ها پیش مطرح شد و در این راستا آزمایش‌هایی در کارخانه‌ی ذوب آهن اصفهان انجام گرفت ولی نتایج رضایت‌بخش نبود. این آزمایش‌ها تنها به تکرار سعی و خطا به دست آوردن گزینه‌های مختلف (مخلوط زغالسنگ گلندرود با زغال‌های وارداتی و سایر زغالسنگ‌های ایران) متکی بود. بنابراین تصمیم گرفته شد که با ارائه‌ی یک مدل ریاضی، هم از تکرار آزمایشات و صرف هزینه‌های گزاف پرهیز شود و هم مخلوط بهینه زغالسنگ‌های گلندرود و طبس به دست آید. با این هدف، ابتدا داده‌های موجود جمع‌آوری و پس از پردازش داده‌ها، مدل توزیع و میانگین مشخصات زغال (خاکستر، رطوبت، مواد فرار و گوگرد) برای زغالسنگ‌های گلندرود و طبس محاسبه شد. به منظور مخلوط‌سازی زغال‌ها، برنامه‌ریزی خطی برای تعیین مخلوط بهینه‌ی مورد استفاده قرار گرفت و تابع هدف به صورت ماکزیمم‌سازی کنسانتره خروجی از کارخانه زغالشویی در نظر گرفته شد. قبل از تنظیم مدل، آزمایش‌های تجزیه‌غریبالی، تجزیه فراکسیونی و فلوتاسیون انجام گرفت و با استفاده از نتایج حاصله مخلوط‌های بهینه به دست آمد. پنج گزینه از بین ۲۷ گزینه بدست آمده از حل مدل ریاضی به عنوان مخلوط‌های بهینه معرفی و از بین این پنج گزینه، سه گزینه به عنوان بهترین مخلوط‌های زغالسنگ‌های گلندرود و طبس پیشنهاد شد.

یکی از موارد حساس در تعیین ظرفیت کوره بلند، ویژگی‌های زغالسنگی است که برای تهیه‌ی کک مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سوی دیگر استفاده از یک نوع زغالسنگ با کیفیت بالا برای تولید کک مرغوب، صرفه اقتصادی ندارد. امروزه سعی بر این است که با مخلوط‌سازی زغالسنگ‌های ارزان قیمت (خاکستر زیاد و کک شونده‌ی کم) با زغالسنگ‌های با کیفیت بالا (دارای خاکستر و گوگرد کم و خاصیت کک شونده‌ی خوب) نه تنها ککی با کیفیت مناسب تهیه کنند بلکه ظرفیت کوره‌ی بلند را نیز افزایش دهند.

زغالسنگ گلندرود خاصیت کک شونده‌ی بالایی ندارد ولی گوگرد و خاکستر آن پائین است و بر عکس زغالسنگ طبس دارای کک شونده‌ی خوب و گوگرد و خاکستر بالا است [۲]. به منظور بررسی امکان مخلوط‌سازی زغالسنگ‌های گلندرود و طبس، در مرحله‌ی اول، بررسی‌های آماری برای تعیین مدل توزیع مشخصات زغال ضروری به نظر می‌رسد زیرا با تعیین مدل توزیع رطوبت، مواد فرار، خاکستر و گوگرد می‌توان میانگین این مشخصات را در محدوده مورد بررسی محاسبه کرد.

برای انجام این بررسی، از لایه‌های ۲۵، ۳۰ و ۳۱ منطقه گلندرود، به دلیل در دسترس بودن ماده معدنی و از لایه C₁ پروده ۲ طبس، به دلیل پایداری، ضخامت و قابلیت کک دهی

خوب آن استفاده شده است [۱].

۲- نتایج بررسی‌های آماری

براساس بررسی‌های آماری الف- میانگین مشخصات مورد نظر با توجه به مدل توزیع آن‌ها در لایه‌های ۲۵، ۳۰ و ۳۱ گلندرود به شرح جدول ۱ بدست آمد.

۳- رده‌بندی زغالسنگ‌ها

نتایج حاصل از پتروگرافی لایه‌های زغالی مورد نظر نشان داد که لایه‌های ۲۵، ۳۰ و ۳۱ گلندرود جزو زغال‌های گازدار و گازدار چرب و لایه C₁ طبس در رده زغال‌های کک شو و کک شو چرب قرار می‌گیرند.

۴- انتخاب مخلوط مناسب به کمک برنامه‌ریزی خطی

۴-۱- تعیین تابع هدف

برای تعیین مخلوط بهینه زغالسنگ‌های مناطق گلندرود و طبس از برنامه‌ریزی خطی برای تعریف مدل ریاضی استفاده شده است [۳].

تابع هدف، ماکزیم‌سازی کنسانتره خروجی با در نظر گرفتن محدودیت‌های مشخص شده است. برای تنظیم مدل ریاضی براساس تابع هدف یاد شده، ابتدا تجزیه غربالی و آزمایش با محلول سنگین و فلوتاسیون بر روی نمونه‌های گرفته شده از لایه‌های مورد نظر انجام گرفت.

جدول ۱- مدل توزیع و میانگین مشخصات فیزیکی و شیمیایی لایه‌های مورد بررسی

شماره لایه	لایه ۲۵ گلندرود		لایه ۳۰ گلندرود		لایه ۳۱ گلندرود		لایه C ₁ پروده ۲ طبس	
	مدل توزیع	میانگین	مدل توزیع	میانگین	مدل توزیع	میانگین	مدل توزیع	میانگین
مشخصات								
رطوبت درصد	طبیعی	۱/۴۴	طبیعی	۱/۲۳	طبیعی	۱/۵۶	طبیعی	٪۸۵
خاکستر درصد	لگاریتمی	۲۱/۹	لگاریتمی	۲۹	لگاریتمی	۲۶/۷	لگاریتمی	۳۱/۳
مواد فرار درصد	لگاریتمی سه متغیره	۴۳/۰۲	لگاریتمی سه متغیره	۴۳/۴۳	لگاریتمی سه متغیره	۴۳/۱۳	لگاریتمی سه متغیره	۲۴/۳
گوگرد درصد	لگاریتمی سه متغیره	۰/۷۴	لگاریتمی سه متغیره	۰/۷۴	لگاریتمی سه متغیره	۰/۷۴	لگاریتمی سه متغیره	۱/۴۳
ضریب انعکاس درصد	---	۸۱	---	۸۲	---	۸۲	---	۹۵
ضریب پلاستومتری میلیمتر	---	۵	---	۶	---	۶	---	۱۷

آزمایش‌ها نشان داد که بهترین محیط برای تغلیظ زغال لایه‌های ۲۵، ۳۰ و ۳۱ گلندرود محیطی با وزن مخصوص نسبی ۱/۵۰-۱/۴۰ و برای زغال لایه C₁ پروده ۲ طبس محیطی با وزن مخصوص نسبی ۱/۴۵-۱/۴۰ است. مدل ریاضی با استفاده از نتایج به دست آمده از تجزیه ی غربالی و آزمایش با محلول‌های سنگین و براساس تابع هدف ماکزیمم کنسانتره خروجی از کارخانه زغالشویی با ظرفیت ۱۰۰ تن در ساعت و محدودیت‌های خاکستر، رطوبت، گوگرد، مواد فرار، پلاستومتری و درصد ضریب انعکاس تنظیم شد.

محدودیت‌های یاد شده براساس مقادیر مجاز و مقادیر خارج از حد متعارف زغال شارژ و کارخانه ذوب آهن اصفهان در نظر گرفته شد.

۲-۴- تنظیم مدل ریاضی براساس تابع هدف ماکزیمم‌سازی کنسانتره از کارخانه ی زغالشویی

در تمام عملیات زغالشویی، تأمین کنسانتره ماکزیمم در محدوده ی کیفیت تعریف شده زغالشویی اهمیت دارد. از این رو تابع هدف مناسب، دستیابی به کنسانتره ماکزیمم است (بخش شناور)

$$\sum_{i=1}^n \delta_i X_i \rightarrow \text{Max} \quad (1)$$

که در آن X_i زغال‌های لایه i (مربوط به معادن زغالسنگ گلندرود و طبس) برای مخلوط (تن در ساعت) و δ بخش شناور حاصله و n تعداد لایه‌های زغال است. برای هر لایه می‌توان یک بونکر زغال اختصاص داد.

مدل در اثر محدودیت‌های زیر محدود می‌شود:

الف- محدودیت اول

این محدودیت بیان‌کننده مقدار کل زغال‌های منتقل شده از بونکرهاست و باید معادل ظرفیت اسمی کارخانه زغالشویی باشد (ظرفیت کارخانه زغالشویی ۱۰۰ تن بر ساعت در نظر گرفته شده است).

$$\sum_{i=1}^n X_i = Q \quad (2)$$

ب- محدودیت دوم

خاکستر بخش شناور (سبک) در مخلوط، نباید از خاکستر مشخص شده به وسیله کارخانه ذوب آهن تجاوز کند (A₀ کارخانه).

$$\sum_{i=1}^n X_i \delta_i A_i \leq A_0 \sum_{i=1}^n X_i \delta_i \quad (3)$$

که در آن A_i خاکستر بخش شناور زغال‌ها از i امین

بونکر است.

ج- محدودیت سوم

گوگرد بخش شناور در مخلوط نباید از مقدار گوگرد بخش شناور مخلوط کارخانه بیشتر شود (S₀ کارخانه).

$$\sum_{i=1}^n X_i \delta_i S_i \leq S_0 \sum_{i=1}^n X_i \delta_i \quad (4)$$

د- محدودیت چهارم

درصد انعکاس و پتیرینیت زغال نباید کمتر از حد مجاز (۸۵٪) باشد:

$$\sum_{i=1}^n R_i \delta_i \leq R_0 \sum_{i=1}^n X_i \delta_i \quad (5)$$

ه- محدودیت پنجم

درصد مواد فرار زغالسنگ باید در حد متعارف کارخانه مصرف‌کننده زغالسنگ برای تهیه کک متالورژی باشد:

$$\sum_{i=1}^n Vmi X_i \delta_i \leq Vmi \sum_{i=1}^n X_i \delta_i \quad (6)$$

مدل ریاضی با توجه به تابع هدف مشخص شده در محدودیت‌های تعریف شده تنظیم و سپس حل شد و گزینه‌های مختلف براساس حد مجاز و مقادیر خارج از حد متعارف شارژ کارخانه‌های ذوب آهن اصفهان به دست آمد.

نتیجه‌گیری

با توجه به تولید معادن، میزان ذخیره و ظرفیت کارخانه زغالشویی طبس (طراحی شده به وسیله شرکت آدام) پنج مخلوط بهینه گزینه‌های شماره ۵، ۱۰، ۱۴، ۱۷ و ۲۴ (جدول ۳) از بین گزینه به دست آمده به منظور مخلوط‌سازی زغالسنگ گلندرود و طبس معرفی شد.

به منظور تعیین دقت کار و صحت و درستی مدل ریاضی، از لایه‌های مورد نظر نمونه برداری مجدد صورت گرفت و به آزمایشگاه طبس منتقل شد. پس از آنالیز نمونه‌های زغالسنگ گلندرود مشخص شد که این نمونه‌ها به دلیل خاکستر و گوگرد پایین نیاز به تغلیظ ندارند بنابراین در مخلوط‌های معرفی شده از نمونه‌های تغلیظ نشده زغالسنگ گلندرود استفاده شد. ۵ گزینه معرفی شده با نسبت‌های محاسبه شده به وسیله مدل ریاضی تهیه و آزمایشات مربوطه بر روی آنها انجام گرفت. تمامی گزینه‌ها دقیقاً معرف مخلوط بهینه و مطابق با پیش‌بینی‌های مدل ریاضی بودند.

از بین این پنج گزینه، گزینه ۵ با داشتن ماکزیمم کنسانتره

جدول ۲ - تعدادی از گزینه‌ها که براساس تابع هدف ماکزیم‌سازی کنسانتره خروجی از کارخانه زغالشویی ارائه شده‌اند

ملاحظات	گوگرد مجاز (%)	خاکستر مجاز (%)	ماکزیم کنسانتره (%)	لايه ۳۱ (%)	لايه ۳۰ (%)	لايه ۲۵ (%)	نام لايه	شماره كزيته
نمونه زغال خالص (AC۱-%۱۱/۱)	۱	۱۰	۷۹/۱۱	۵	۲۵	۳۰	گزینه ۱	
نمونه زغال خالص (AC۱-%۱۱/۱)	۱	۱۰	۷۷/۲۴	۱۰	۲۵	۲۵	گزینه ۲	
نمونه زغال خالص (AC۱-%۱۱/۱)	۱	۱۰	۷۷	۵	۲۵	۲۵	گزینه ۳	
نمونه زغال خالص (AC۱-%۱۱/۱)	۱	۱۰	۷۴/۸۸	۵	۲۵	۲۰	گزینه ۴	
نمونه زغال خالص (AC۱-%۱۱/۱)	۱	۱۰	۷۴/۴۶	۵	۲۵	۱۹	گزینه ۵	
نمونه زغال خالص (AC۱-%۱۵)	۱	۱۰	۸۶/۸۶	۱۰	۳۴	۱۶	گزینه ۶	
نمونه زغال خالص (AC۱-%۱۵)	۱	۱۰	۸۶/۶۱	۱۰	۳۲	۱۷	گزینه ۷	
نمونه زغال خالص و لایه‌های میانی (AC۱-%۱۱/۱)	۱/۲۸	۱۰/۴۵	۵۳/۵	۲۰	۱۵	۱۵	گزینه ۸	
نمونه زغال خالص و لایه‌های میانی (AC۱-%۱۱/۱)	۱/۲۸	۱۰/۴۵	۵۳	۱۵	۱۵	۱۵	گزینه ۹	
نمونه زغال خالص و لایه‌های میانی (AC۱-%۱۱/۱)	۱/۲۸	۱۰/۴۵	۵۳	۱۰	۱۵	۱۵	گزینه ۱۰	
نمونه زغال خالص و لایه‌های میانی (AC۱-%۱۱/۱)	۱	۱۰	۵۴	۳۴	۱۵	۱۵	گزینه ۱۱	
نمونه زغال خالص و لایه‌های میانی (AC۱-%۱۱/۱)	۱	۱۰	۵۹	۴۸	۱۵	۱۵	گزینه ۱۲	

جدول ۳- پنج گزینه معرفی شده برای مخلوط سازی زغالسنگ های گلندرود و طبس

نام لایه شماره گزینه	لایه ۲۵٪	لایه ۳۰٪	لایه ۳۱٪	پرونده ۲ طبس (%)	ماکزیم کنسانتره (%)	ماکزیم پلاستومتری (mm)	خاکستر (%) مجاز	گوگرد (%) مجاز
گزینه ۵	۱۹	۲۵	۵	۵۱	۷۴/۴۶	---	۱۰	۱
گزینه ۱۰	۱۵	۱۵	۱۰	۶۰	۵۳	---	۱۰/۴۵	۱/۲۸
گزینه ۱۴	۱۰	۱۳	۱۰	۶۷	---	۱۳/۲۳	۱۱/۵	۱/۲
گزینه ۱۷	۱۰	۱۵	۱۰	۶۵	---	۱۳	۱۱/۵	۱/۴
گزینه ۲۴	۱۰	۱۰	۱۰	۷۰	---	۱۳/۶	۱۱/۵	۱/۴

انعطافی که در تنظیم آن وجود دارد هر لحظه می توان توسط یک اپراتور، بار خروجی کارخانه زغالشویی را تنظیم کرد. برنامه ریزی خطی می تواند به عنوان یک ابزار ارزشمند در تعیین مخلوط بهینه راهگشای تازه ای در صنعت فولاد کشور باشد.

بدین ترتیب می توان بدون صرف زمان زیاد و آزمایش های پرهزینه، بهترین مخلوط ها را مشخص کرد. همچنین می توان با استفاده از معادن زغالسنگ موجود در کشور به منظور تهیه مخلوط های مناسب که نیازمندی های کیفی کارخانه ذوب آهن اصفهان را نیز تأمین کند، ککی مرغوب و مناسب تهیه کرد.

یعنی ۷۴/۴۹٪ (مخلوط دارای ۱۹٪ لایه ۲۵، ۲۵٪ لایه ۳۰، ۳۰٪ لایه ۳۱، ۳۱٪ لایه ۳۱ گلندرود و ۵٪ لایه C₁ پرونده ۲ طبس) و خاکستر ۱۰/۳٪ و گوگرد ۰/۹٪، مواد فرار ۲۸/۸۶٪ و پلاستومتری ۱۲، گزینه ۱۴ (مخلوط دارای ۱۰٪ لایه ۲۵، ۱۳٪ لایه ۳۰، ۱۰٪ لایه ۳۱ گلندرود و ۶۷٪ لایه C₁ پرونده ۲ طبس) با خاکستر ۱۲٪، گوگرد ۱/۱۲٪، مواد فرار ۲۷٪ و پلاستومتری ۱۴ و گزینه ۲۴ (مخلوط دارای ۱۰٪ لایه ۲۵، ۱۰٪ لایه ۳۰، ۱۰٪ لایه ۳۱ گلندرود و ۷۰٪ لایه C₁ پرونده ۲ طبس) با خاکستر ۱۱/۳٪، گوگرد ۱/۰۷، مواد فرار ۲۶/۶٪ و پلاستومتری ۱۴ بهترین مخلوط های بهینه اند. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که مدل ریاضی ساخته شده می تواند مخلوط های بهینه را دقیقاً معرفی کند و با قابلیت

فهرست منابع به ترتیب استفاده در متن

[۱] طرح اکتشافی گلندرود (۱۳۷۴)، دفتر فنی - واحد زمین شناسی

[2] H. Shariatnia (1994), Geological characteristics of the Parvadeh region of the Tabas coal-bearing basin, central Iran, Canadian Society of Petroleum Geologists, Memori 17, P. 427-509

[3] Feasibility study report (1991), Volume I (Executive Summary), Adam Consulting Engineers

[4] K.RAJA and Kotur S.Narasimhan (1994), Blending of coals for coking
Journal of Mines, Metals & Fuels, May-June

[5] M. Ger Shon (1980), Computerized approaches to coal blending, Mining engineering, December.

[۶] خرمی خسرو و گوگوشویلی، تیمور (۱۳۷۱)، بهینه سازی مخلوط زغالسنگ برای کک سازی، سلسله مباحث کانسار، معدن و فلز ۱۲۳

[7] Skerl Gary E. (1980), Optimization of coal blending for coke making, Steel technology international, 44-48

[8] D.B. Jamison and R.C. Bryan (1990), Geostatistical approach to blending sodium in coal, Mining Engineering, Sep.,

[۹] مدنی - حسن (۱۳۷۳)، میانی زمین آمار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر واحد تفرش

[۱۰] شرکت زغالسنگ البرز مرکزی (۱۳۶۴)، گزارش زمین شناسی مربوط به عملیات شناسایی و پی جویی در شرق و مرکز البرز ایران

Designing the Optimum Belending of Tabas and Galand- Roud Coals for Coke Producing

Hassan Madani; MSc

Farhad Rahmani

Mining Dept. Amir kabir university of Technology

Hafez are No 424- Tehran, IRAN

Tell: +98)21 6419619 Fax: +98) 216413969

of coal in these mins is so that can not be used alone for coke Producing, Hence it was decided to study the quality of mixture of these coals as a new idea. In this regard, the belending process of the coals were studied by linear progaming method. maximising the recovery of concentrated blended coal was selected as the goal function. Based on different percentages of the coal seams of the these two mines, 27 alternatives were studied, among them five were selected as optimum mixture.