

بررسی اعتبار منحنی میر (M-curve) در مخلوط سازی انواع زغالسنگ خوراک کارخانه زغالشویی زرنند کرمان

حمیدرضا هابطی نژاد^۱، عباس سام^۲، اسماعیل جرجانی^۳

۱-habetinejad@yahoo.com-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن- فرآوری مواد معدنی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

۲- عضو هیات علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان(کرمان، بلوار جمهوری اسلامی، دانشکده فنی ومهندسی، بخش مهندسی

معدن) Sam@mail.uk.ac.ir

۳- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، esjorjani@yahoo.com

چکیده

هدف از این مقاله معرفی منحنی میر (Mayer-Curve) به عنوان پرکاربردترین منحنی قابلیت شستشوی زغالسنگ و تعیین اعتبار این روش در مخلوط سازی زغالسنگ خام خوراک کارخانه زغالشویی زرنند کرمان است. از آنجا که این روش با استفاده از جمع برداری و کشیدن مماس بر منحنی، شرایط بهینه و بهترین نسبت ترکیب را فراهم می کند، بررسی و تحلیل اینکه آیا با این روش بهترین نتیجه حاصل می شود، اهمیت فراوان دارد. تعیین اعتبار استفاده از این منحنی از طریق داده های واقعی بر روی خوراک کارخانه زغالشویی زرنند به جهت مخلوط سازی زغالسنگ انجام شده است. در تحقیق حاضر اعتبار مخلوط سازی با استفاده از منحنی های میر، از طریق مقایسه منحنی های حاصل از مخلوط سازی دستی و منحنی های حاصل از پیش بینی میر بر روی خوراک ورودی به کارخانه و نیز نحوه پیش بینی راندمان با استفاده از منحنی های میر مورد مطالعه قرار گرفته است. نسبت مخلوط سازی به جهت وضوح مثال ها ۵۰:۵۰ در نظر گرفته شده و جمع آوری نمونه ها، آماده سازی، آزمایش های غرق و شناور سازی و آنالیز خاکستر نمونه های حاصل، بر پایه استانداردهای ASTM انجام شده است. نتایج حاصل از آزمایش های انجام شده، حاکی از تایید و اعتبار قابل قبول منحنی های میر در زمینه مخلوط سازی دو نوع زغالسنگ خام است.

کلمات کلیدی: منحنی های میر، مخلوط سازی زغالسنگ، آزمایشهای غرق و شناور سازی.

Evaluation Of M-Curve Validity On Blending Of Zarand Coal Washery Plant Feeds

H. Habetinejad , A. Sam And E. Jorjani

Abstract

In this paper the validity of Meyer curve, as a usual method to determine coal washability, was evaluated on blending of raw coals are being feed to the Zarand coal washery plant. The results on hand blended samples were compared with those predicted by Meyer curves. Different samples from different seams were blended by hand in the 50:50 ratio and the sink and float tests were performed. The results on laboratory examined samples were in good agreement with Meyer curve results.

Keywords: Zarand coal; Meyer curve; Coal washability

خوراک ورودی به کارخانه های فرآوری زغال، عموماً از معادن ولایه های مختلف و متفاوت (از نظر تعداد و خصوصیات) تامین می شود. بنابر این، مخلوط سازی به منظور یکنواخت شدن زغال ورودی به کارخانه امری معمول و ضروری است. نحوه صحیح اختلاط و خصوصیات مناسب زغال بدست آمده، در کاهش هزینه ها و افزایش کارائی فرآیند، نقش بسزائی دارد. خصوصیت سنجی انواع زغالها، نسبت ترکیب آنها، خصوصیت سنجی زغال حاصل از اختلاط و از همه مهمتر، پیش بینی شرایط عملیاتی ترکیب زغالها در فرآیند فرآوری، عوامل مهم در برنامه ریزی صحیح و دقت تولید و کنترل فرآیند محسوب می شوند. روش های مختلف، از جمله استفاده از منحنی های قابلیت شستشوی زغال، کاربرد فراوانی در دستیابی به اطلاعات مورد نیاز در مخلوط سازی دارند.

منحنی میر به عنوان روشی در یافتن شرایط بهینه، نسبت اختلاط زغالهای مختلف ورودی به خط فرآوری جهت دستیابی به خاکستر مورد نظر و پیش بینی رفتار زغال، مورد استفاده قرار می گیرد. در سال ۱۹۵۰، میر روشی گرافیکی، مبتنی بر آزمایشهای غرق و شناور سازی در دانسیته ها مختلف و بر اساس درصد خاکستر بخش شناور شده و درصد وزنی تجمعی مواد معرفی کرد که تحت عنوان منحنی میر (M-Curve) شناخته شده است. در این منحنی، از عرض (y) برای درصد وزنی تجمعی و از طول (x) برای بیان میزان خاکستر استفاده شده است. به طور کلی این منحنی بیانگر اطلاعات گرافیکی است که می تواند در ارزیابی خصوصیات شستشو پذیری زغال سنگ مورد استفاده قرار گیرد [۲].

با استفاده از این منحنی ها ارائه اطلاعات چند نوع زغال خام بر روی یک دیاگرام و مقایسه خصوصیات شستشو پذیری آنها، به خصوص در دامنه های ابعادی مختلف زغال سنگ خام و یا برای اندازه های یکسان برای زغال های مختلف، مفید و دارای کاربرد است. از این رو منحنی میر به عنوان وسیله ای برای توسعه شاخص شستشو پذیری ارائه می شود [۳]. اعداد و شاخص های شستشو پذیری، عواملی جهت کمی کردن قابلیت اندازه گیری زغال تحویل شده برای شستشو هستند. از مشکلات این پارامترها می توان به پیچیدگی و کیفی بودن آنها و عدم وجود جملات ریاضی آشکار جهت تخمین دقیق قابلیت اندازه گیری شستشوی زغالسنگ اشاره نمود. پیشنهاد دادن یک شاخص شستشو پذیری نیازمند مدل سازی تعدادی از داده های قابلیت شستشو پذیری زغال به وسیله معادلات درجه سوم و استفاده از منحنی های مناسب جهت تخمین پارامترها است [۵]. منحنی های میر، از هنگام ارایه آنها توسط ایشان، برای محاسبات فرآیندهای زغالشویی مورد استفاده قرار گرفته اند و می توانند برای سایر روشهای تغلیظ نیز استفاده شوند.

مطالعات نشان می دهند که شکل بیان شده از تابع توزیع جرمی هنگامی که رابطه خاکستر- دانسیته مربوط به وزن مخصوصهای پائین باشد، به صورت غیر واقعی خواهد بود. به عبارتی، استفاده از منحنی میر در مورد نتایج شستشوی زغال برای دانسیته های جدایش کم ممکن است به طور مشخص بی دقت باشد. مشکلات مشابه ممکن است هنگامی که منحنی های میر برای سایر کانی ها به کار می رود، آشکار گردد [۵].

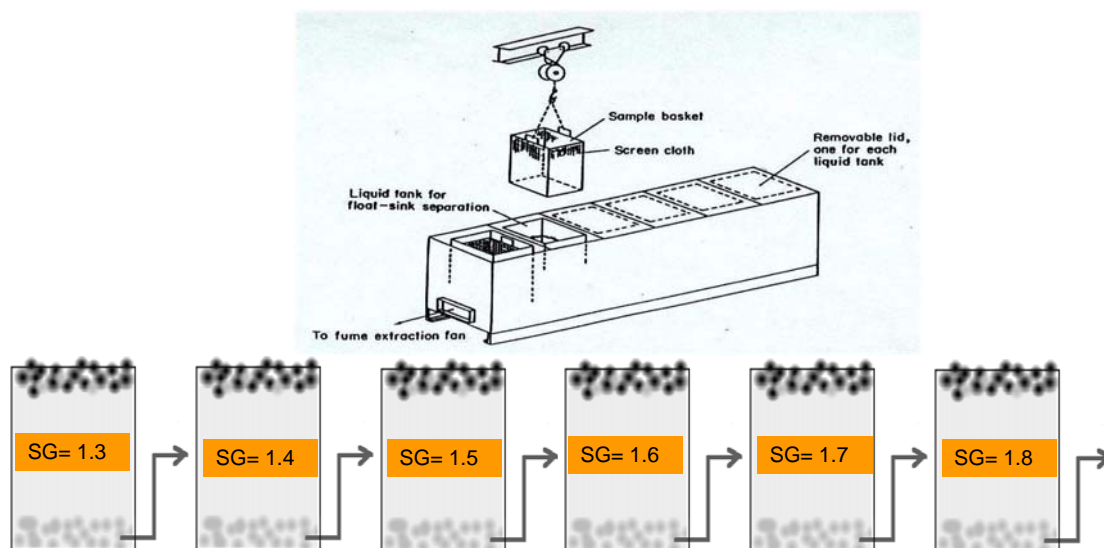
در این مقاله جنبه های اساسی تئوری مخلوط سازی توسط منحنی های میر برای فرآوری زغالسنگ مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین آزمایشهایی با نمونه های حاصل از مخلوط سازی زغالهای معادن مختلف زردکمران، جهت دست یابی به رفتار مخلوط سازی و مقایسه نتایج واقعی و نتایج پیش بینی شده توسط منحنی میر، انجام شده است.

۱- آزمایشهای غرق و شناور سازی

این آزمایشها بر اساس تقسیم نمونه به چند جزء بر اساس وزن مخصوص های مختلف می باشد که ارتباط مستقیم با خاکستر موجود و سایر خصوصیات زغال دارد. زغالهای درشتتر از ۱ میلیمتر، که مناسب برای شستشو با روشهای ثقلی است، به وسیله غوطه ور کردن متوالی در یک سری از مایعات سنگین با دانسیته های مختلف، به محصولات مختلف با وزن مخصوص های متفاوت، تفکیک می گردد. محدوده های وزن مخصوص بر اساس رابطه زیر بدست می آیند [۶]:

$$D_n = E_p \times n \quad (1)$$

که در آن E_p خطای احتمال و n بر اساس میزان دقت کاری، شرایط و هزینه ها تعیین می شود. در کارخانه زغالشویی زرد بر طبق طرح، خطای احتمال برابر 0.05 در نظر گرفته شده و با توجه به محدودیت های مایعات سنگین و هزینه آنها، n برابر ۲ انتخاب می شود ($D_n=0.1$). از این رو ظروف غرق و شناور سازی با دانسیته های $1/3$ ، $1/4$ ، $1/5$ ، $1/6$ و $1/8$ گرم بر سانتیمتر مکعب انتخاب شده اند (شکل ۱). دانسیته واسطه های مورد استفاده قبل و بعد از هر آزمایش با استفاده از کلرید روی تنظیم می گردد تا در اثر ورود و خروج مواد تغییر نکنند. باید توجه داشت که مقدار مواد برای آزمایش زیاد نباشد که باعث تداخل مواد غرق و شناور در یکدیگر شود.



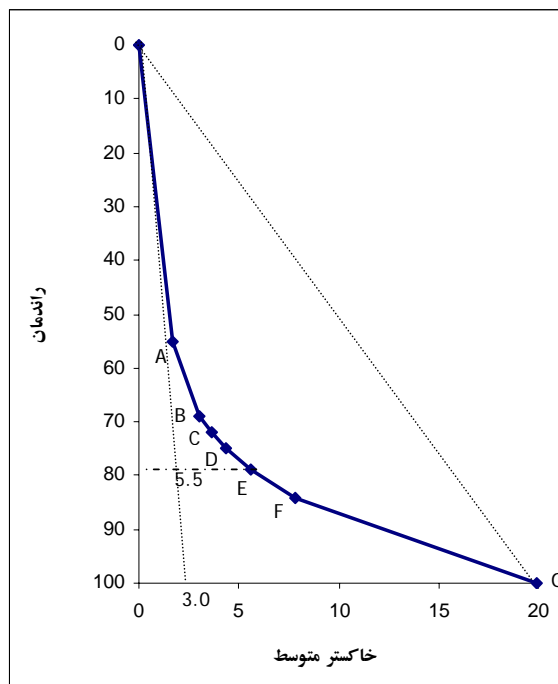
شکل ۱- روش انجام و ظروف آزمایش غرق و شناور سازی

۲- ساختار منحنی میر

محتوی خاکستر بخشهای متفاوت وزنی در آنالیز غرق و شناور سازی می تواند به محتوی خاکستر میانگین برای یک نمونه زغالسنگ جهت استفاده در منحنی مقدار متوسط، شکل ۱، تبدیل شود. این تبدیل به صورت گرافیکی و یا به شکل ساده تر با استفاده از مختصات نقاط مختلف در زوایای چند ضلعی نشان داده شده در شکل ۱ انجام می شود. در جدول ۱، ستونهای ۱ و ۲ شامل مقادیر تعیین شده در آنالیز غرق و شناور سازی هستند. ستون سوم از حاصلضرب مقادیر دو ستون اول و دوم و ستون ۴ مقادیر تجمعی ستون ۳ و ستون ۵ مقادیر تجمعی ستون ۱ را نشان می دهند. ستونهای ۴ و ۵ شامل مختصات نقاط A تا G در مقادیر متوسط چند ضلعی (شکل ۱) هستند. در هنگام محاسبات جدول ۱، تمامی اصول ریاضی جهت منحنی میر در نظر گرفته شده است. ذکر این نکته مهم است که در طول محاسبات برای منحنی های شستشو پذیری متداول، نیازمند ۶ ستون هستیم در حالی که محاسبات منحنی میر به ۳ ستون کاهش پیدا می کند. جهت تولید منحنی میر مقادیر ستون ۴ را باید تقسیم بر 100 ($1/65$ ، $3/05$ و غیره) نمود. انتخاب یک مقیاس سانتیمتر برای منحنی میر عاقلانه است. از این رو هر سانتیمتر، برابر با یک درصد محتوی خاکستر است. بنابر این مقادیر ستون ۴ تقسیم بر 100 شده و به صورت سانتیمتر ($1/65$ cm، $3/05$ و غیره) ارائه می شوند [۷].

جدول ۱- محاسبات رسم منحنی میر

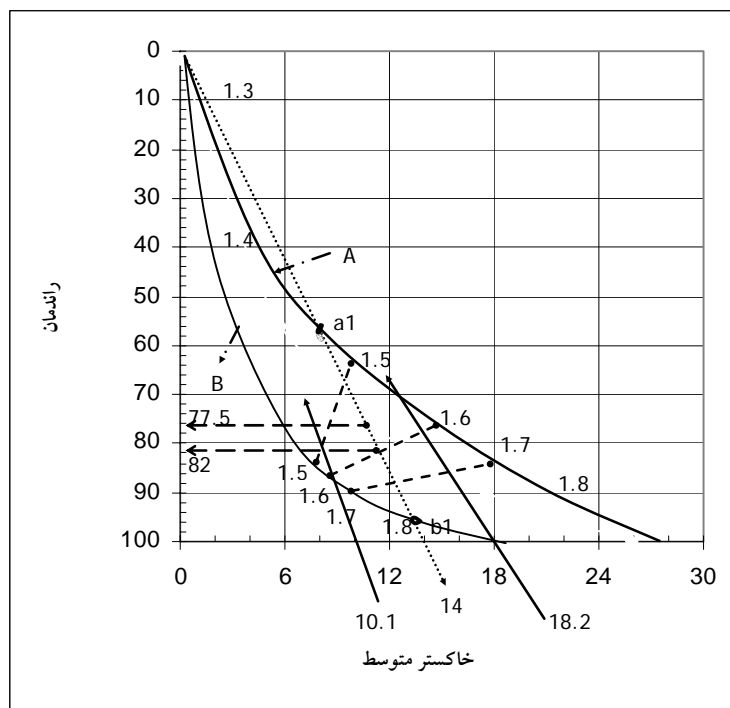
دانسیته	(a)وزن.٪	(b)خاکستر.٪	$a \times b$	$(a \times b) \sum$	$\sum a$	
	1	2	3	4	5	
-۱/۰۳	۵۵	۳	۱۶۵	۱۶۵	۵۵	A
۱/۳۰-۱/۴۰	۱۴	۱۰	۱۴۰	۳۰۵	۶۹	B
۱/۴۰-۱/۴۵	۳	۲۰	۶۰	۳۶۵	۷۲	C
۱/۴۵-۱/۵۰	۳	۲۴	۷۲	۴۳۷	۷۵	D
۱/۵۰-۱/۶۰	۴	۳۰	۱۲۰	۵۵۷	۷۹	E
۱/۶۰-۱/۸۰	۵	۴۶	۲۳۰	۷۸۷	۸۴	F
+۱/۸۰	۱۶	۵۷	۱۲۰۰	۱۹۸۷	۱۰۰	G



شکل ۲- دیاگرام میر (مقادیر متوسط) جهت تعیین محتوی خاکستر میانگین نمونه زغالسنگ.

۳- استفاده از منحنی میر جهت مخلوط سازی دو خوراک خام

شکل ۳ منحنی های میر دو نوع زغالسنگ خام را نشان می دهد. این دو نوع زغالسنگ به وسیله یک سیستم شستشو مستقل جهت رسیدن به محتوی خاکستر ۱۴٪ به طور جداگانه شسته شده اند. منحنی های A و B توسط خط خاکستر ۱۴٪ در نقاط a_1 و b_1 قطع شده اند. راندمان متعلق به این نقاط به ترتیب ۵۹٪ و ۹۶٪ است. با اعمال نسبت مخلوط $A:B=50:50$ برای دو نوع زغالسنگ خام خوراک، راندمان نهائی برابر با $0.77/5 = (0.96 + 0.59) \times 0.5$ بدست می آید. دانسیته های جدایش تنظیم شده در جدول ۲ نشان داده شده است. این مهم است که آیا راندمان نهائی $0.77/5$ با محتوی خاکستر ۱۴٪ می تواند در طول استفاده از M-curve افزایش یابد. جدول ۲ مقایسه نتایج حاصل از شستشو جداگانه در جرم مخصوص های مختلف و در نهایت مخلوط سازی و در حالت دوم مخلوط سازی با استفاده از منحنی میر را نشان می دهد [۷].



شکل ۳- منحنی های مربوط به مخلوط سازی دو زغالسنگ جهت رسیدن به بالاترین راندمان برای محتوی خاکستر مورد نیاز.

جدول ۲. مقایسه نتایج دو حالت مخلوط سازی.

- با ملاحظه این شرایط این سوال مطرح است که در کدام جرم مخصوص جدایش باید دو زغالسنگ خام خوراک شسته شوند تا در نسبت مخلوط ۵۰:۵۰ با محتوی خاکستر ۱۴٪، راندمان افزایش یابد؟ جهت ارائه پاسخ با استفاده از طرح منحنی میر (شکل ۳)، مراحل کار به ترتیب زیر است:
- ۱- نقاط دارای جرم مخصوص برابر (۱/۷، ۱/۶ و ۱/۵) در دو منحنی را به هم وصل می کنیم.
 - ۲- بر طبق نسبت ۵۰:۵۰ این خطوط را تقسیم بندی می کنیم.
 - ۳- این نقاط را به هم وصل کرده که بیانگر منحنی مخلوط دو زغالسنگ A و B است.
 - ۴- جرم مخصوص جدایش بر طبق منحنی جرم مخصوص مخلوط ۵۰:۵۰ تعیین می شود.
 - ۵- نتایج در جدول ۲ (حالت ۲) نشان داده شده است.

مقایسه بین دو روش (حالت‌های ۱ و ۲) و نتیجه های آنها، یک تفاوت اساسی را نشان می دهد. حالت ۱، راندمان شستشوی مخلوط ۵۰:۵۰ از دو نوع زغالسنگ شسته شده، در جرم مخصوص های متفاوت تا رسیدن به محتوی خاکستر میانگین ۱۴٪ را

	حالت ۱		حالت ۲	
جرم مخصوص جدایش	۱/۴۸	۱/۷۹	۱/۵۹۶	
راندمان/(جداگانه)	۵۹	۹۶	۷۷	۸۷
راندمان/(مخلوط ۵۰:۵۰)	۷۷/۵		۸۲	
محتوی خاکستر/(جداگانه)	۱۴	۱۴	۱۸/۲	۱۰/۱
محتوی خاکستر مخلوط زغالسنگ شسته شده (۵۰:۵۰)	۱۴		۱۴	
محتوی خاکستر باطله	۲۷/۴	۷۲	۳۷	۳۷

به مقدار ۷۷/۸٪ بدست می دهد. در حالت ۲، دو زغالسنگ دارای محتوی خاکستر متفاوت مخلوط و در یک جرم مخصوص

جدایش شسته و در نهایت محتوی خاکستر مطلوب (۱۴٪) با راندمان ۸۲٪ بدست می آید. بنابر این با ثابت ماندن محتوی خاکستر نهائی، راندمان شستشو ۴/۵٪ (۷۷/۵ - ۸۲) افزایش یافته است.

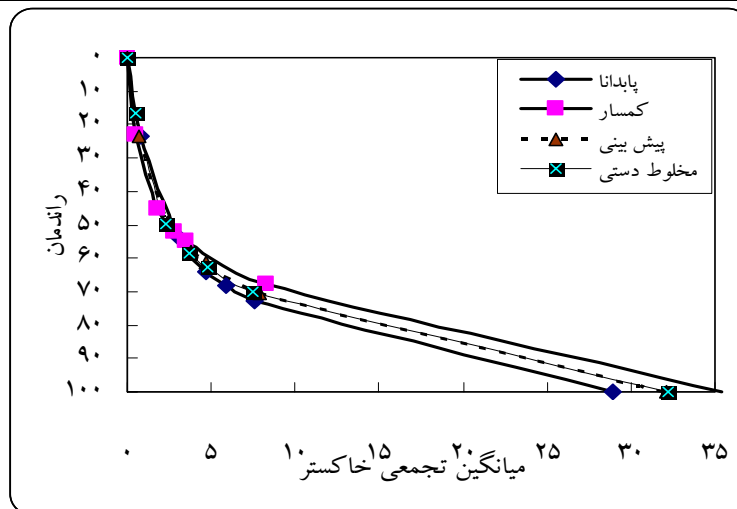
کاربرد قانون مخلوط سازی میر، در این حالت نتنها باعث افزایش راندمان، بلکه کیفیت زغالسنگ مخلوط شده را نیز بالا برده است. ذکر این نکته مهم ایت که اعتبار این متود به نسبت مخلوط ۵۰:۵۰ محدود نمی شود. نسبت مخلوط سازی در این حالت به طور اختیاری و جهت تسهیل کردن وضوح مثال و توجیح نیاز به کاربرد آن، انتخاب شده است [۷].

۴- روش تحقیق

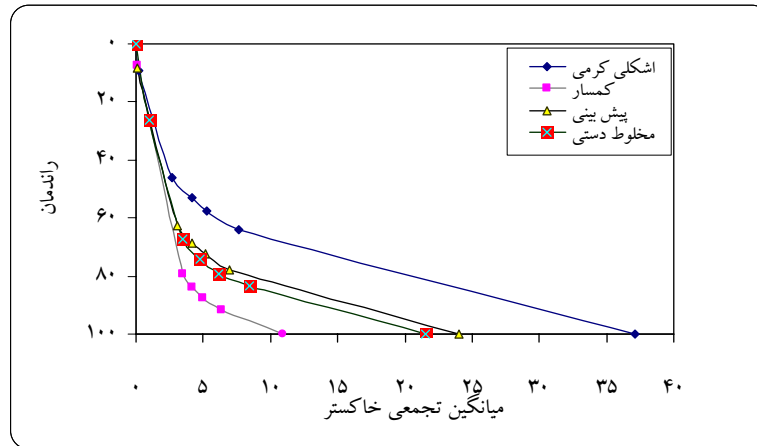
همانگونه که گفته شد استفاده از منحنی میر (M-Curve) جهت طراحی کارخانه و بهینه سازی فرآیند مخلوط سازی وابسته به انجام آزمایشات غرق و شناور سازی است. جهت انجام این آزمایشها نمونه های معرف معادن زغالسنگ خوراک کارخانه زغالشوئی زرد تهیه گردید. نمونه ها با سرندها ۱ میلیمتر سرندها و با روش تقسیم نمونه دو نمونه معرف هر معدن، یکی جهت انجام آزمایش غرق و شناور سازی و دیگری جهت مخلوط سازی با نمونه های سایر معادن، تهیه شده است. نمونه ها در پنج محیط با دانسیته های ۱/۳، ۱/۴، ۱/۵، ۱/۶ و ۱/۸ گرم بر سانتیمتر مکعب غرق و شناور سازی شده، اجزاء شناور خشک و خاکستر آنها تعیین شده و منحنی های میر مربوطه هر یک از معادن و مخلوط آنها رسم و مورد مقایسه قرار گرفته است. جدول ۲ نمونه ای از داده های حاصل از آزمایشات غرق و شناور سازی مرتب شده با روش میر مربوط به مخلوط دستی نمونه ها را نشان می دهد. شکلهای ۴ تا ۷ منحنی های میر هر یک از معادن و مقایسه منحنی های میر حاصل از مخلوط دستی نمونه ها و پیش بینی میر را نشان می دهند.

جدول ۲- نمونه نتایج آنالیز غرق و شناور سازی مربوط به مخلوط دستی زغال معادن پابدانا و کمسار

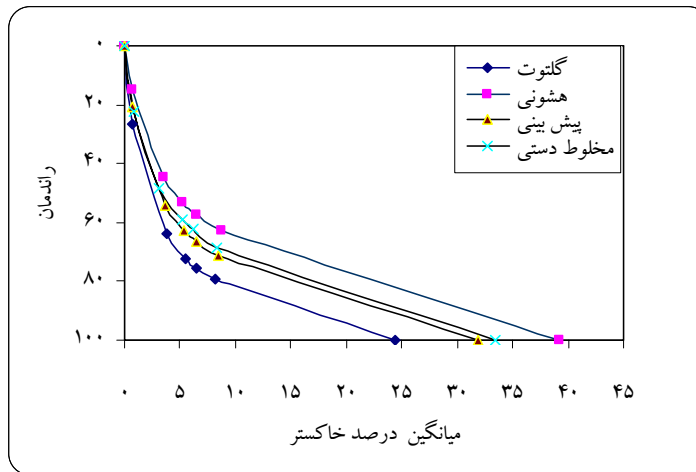
وزن مخصوص (g/cm ³)	وزن(٪)	خاکستر(٪)	وزن تجمعی(٪)	درصد خاکستر از کل	درصد تجمعی خاکستر از کل
-۱/۳	۲۱/۸۰	۴/۴۶	۲۱/۸۰	۰/۹۷	۰/۹۷
- ۱/۴	۳۳/۱۰	۹/۶۱	۵۴/۹۱	۳/۱۸	۴/۱۵
- ۱/۵	۱۱/۴۰	۲۳/۰۱	۶۶/۳۱	۲/۶۲	۶/۷۸
- ۱/۶	۴/۰۵	۳۴/۷۸	۷۰/۳۷	۱/۴۱	۸/۱۹
-۱/۸	۸/۱۶	۴۴/۷	۷۸/۵۳	۳/۶۵	۱۱/۸۴
+۱/۸	۲۱/۴۷	۸۰/۴۴	۱۰۰	۱۷/۲۷	۲۹/۱۱



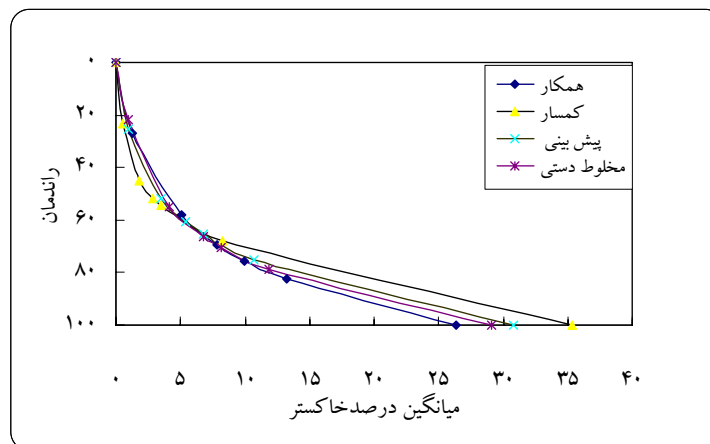
شکل ۴- منحنی میر معادن پابدانا، کمسار، مخلوط دستی و پیش بینی



شکل ۵- منحنی میر معادن اشکلی کرمی، کمسار، مخلوط دستی و پیش بینی



شکل ۶- منحنی میر معادن گلتوت، هشونی، مخلوط دستی و پیش بینی



شکل ۷- منحنی میر معادن گلتوت، هشونی، مخلوط دستی و پیش بینی

۴- نتایج و بحث

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می دهد که روش پیش بینی میر با دقت کافی می تواند برای مخلوط دو نمونه زغالسنگ مورد استفاده قرار گیرد. این نتیجه گیری بر اساس تطابق نزدیک دو منحنی میر (پیش بینی مخلوط دو نمونه با روش میر و مخلوط سازی دستی همان دو نمونه با نسبت ترکیب واحد و رسم منحنی میر) که در شکل‌های ۴ تا ۷ نشان داده شده است، قابل اثبات است. بنابراین، منحنی حاصل از مخلوط دو نمونه را می توان جهت پیش بینی مقادیر بهینه (خاکستر و راندمان)

به کار برد. رسم دقیق منحنی میر در این مقاله با استفاده از فرمول ارائه شده، باعث افزایش سرعت رسم (عدم استفاده از کاغذ استاندارد میر) و کاربردی تر شدن منحنی میر شده است. عدم تطبیق احتمالی برخی منحنی های میر حاصل از مخلوط سازی و پیش بینی میر می تواند به علت تنظیم نبودن دانسیته ظروف آزمایش غرق و شناورسازی، تنظیم نبودن نسبت ترکیب مخلوط دو نمونه و همچنین خطاهای سیستماتیک موجود باشد. از آنجا که معمولا خوراک کارخانه های زغالشویی از معادن مختلف با خصوصیات متفاوت تامین می شود، امکان رسم منحنی های میر حاصل از مخلوط دوتائی معادن به صورت عملی وجود ندارد، از این رو می توان با استفاده از داده های غرق و شناور سازی واحد های کنترل کننده و استفاده از پیش بینی میر به منحنی ترکیب حاصل از چندین معدن دست یافت و جهت مقایسه بهترین راندمان منطبق با خاکستر مورد درخواست کارخانه از آن سود برد. از طرفی همگن سازی بهینه خوراک کارخانه وابسته به تغییر نسبتهای تناژ ترکیب خوراک که تعیین این نسبتها و مدیریت خرید زغال از معادن با استفاده از پیش بینی میر به راحتی امکان پذیر است.

۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله لازم است از مدیریت و همکاران واحد تحقیق و توسعه شرکت معادن زغالسنگ کرمان که در انجام تحقیق حاضر یاری نموده اند، صمیمانه تشکر نمایند.

۶- مراجع

[۱] محمدی، مریم؛ (۱۳۸۱)؛ بررسی تاثیر ترکیب خوراک ورودی به کارخانه زغال شویی زرنند بر کارائی آن، پایان نامه

کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[2] Mayer, F.W; 1950; "A new curve showing middling composition", Gluekuf, No.86, P. 498-509

[3] Salama, A.I.A; 1991; "Grafical techniques for estimating the separation characteristics based on mass distribution", Coal Preparation, No.9, P. 51-63

[4] Salama, A.I.A; 1998; "Theretical aspects of parallel coal processing circuits optimization and M-curve", Int.J.Miner Process, No.27, P.171-187

[5] Salama, A.I.A; 1998; "Coal washability characteristics index utilizing the M-curve and CM-curve", Int.J.Miner Process, No.55, P.139-152

[6] G.J.Lyman; 1992; "Implication of use of Mayer curve for coal data", Trans, Instn Mine. Metall. (sect. C: Mineral Process. Extr. Metall)

[7] Venkatesan, Stan; "Use of M-Curve predicts washing properties of coal", Coal age operating handbook of preparation, Supplied by british library "The world's knowledge" p. 223-226