

مدل سازی تاثیر اندازه دريچه خروجی کنسانتره بر کارآیی مارپیچ کارخانه زغالشویی زرند

سید محمد جواد کلینی

استادیار فرآوری مواد معدنی، بخش معدن دانشگاه تربیت مدرس Koleini@Modares.ac.ir صمد بنیسی

دانشیار فرآوری مواد معدنی، بخش معدن دانشگاه شهید باهنر کرمان محمود عبداللهی

دانشیار فرآوری مواد معدنی، بخش معدن دانشگاه تربیت مدرس مهدی هادی پناه

دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

یکی از کارآمدترین مدارها برای بازیابی ذرات کوچکتر از ۱ میلیمتر زغالسنگ، استفاده از مارپیچ و فلوتاسیون است. در پیچ انتهایی مارپیچ دو دریچه خروجی که سطح ناو را به سه بخش تقسیم می کند، وجود دارد. یکی از مشکلات مارپیچ نحوه تنظیم دستی این دریچه ها است. به علت وقت گیر بودن تنظیم دستی دریچه کنسانتره برای رسیدن به راندمان و درصد خاکستر مورد نظر می توان از مدل سازی برای پیش بینی راندمان و درصد خاکستر کنسانتره تولیدی در اندازه دریچه های مختلف کنسانتره استفاده کرد. برای محاسبه درصد خاکستر کنسانتره و راندمان در اندازه دهانه کنسانتره مورد نظر کافی است تا ضریب توزیع مربوط به آن اندازه دریچه و درصد وزنی خوراک شناور شده و درصد خاکستر مربوط به هر محدوده دانسیته در دسترس باشد. با استفاده از این اطلاعات می توان درصد بازیابی شده و درصد خاکستر در هر محدوده دانسیته را محاسبه کرده و سپس راندمان کلی و درصد خاکستر کنسانتره را پیش بینی نمود. به این ترتیب به کمک این روش امکان تنظیم دریچه های جداکننده مارپیچی با توجه به خصوصیات خوراک و محصول مورد نیاز کارخانه وجود دارد. با بکارگیری مدل پیشنهادی برای پیش بینی راندمان و خاکستر در اندازه دهانه کنسانتره ۸ سانتیمتر مارپیچ کارخانه زغالشویی زرند، به ترتیب خطای ۰/۳۶٪ و ۳/۴٪ به همراه داشت.

کلمات کلیدی: مارپیچ، اندازه دریچه خروجی کنسانتره، مدل سازی

Modeling Effect Of Concentrate Port Size On The Performance Of Spirals In The Zarand Coal Washing Plant

Abstract

One of the efficient circuits to recover coal particles finer than 1 mm is the spiral-flotation circuit. In the last turn of spirals two ports divides the area of the launder into three sections. Modeling could be used to predict yield and concentrate ash content at a given concentrate port position. In order to achieve this, it is necessary to have the distribution coefficient of a given port position along with the percent floated feed and the ash percent of each density range. With the proposed model one could adjust the port positions to arrive at a desired product for any given feed. Application of the proposed model to predict the yield and concentrate ash content for concentrate port size of 8 cm resulted in only 0.36% and 3.4% error in yield and ash prediction.

Keyword: Spiral, Concentrate port size, Modeling

۱- مقدمه

از ماریچ در کارخانه زغالشویی زرنند برای بازیابی بخش ریز دانه (۱۵۰-۱۰۰۰ میکرون) استفاده می شود. از جمله مشکلات این جداکننده تنظیم دستی دریچه های خروجی آن می باشد. برای رسیدن به راندمان و خاکستر مورد نظر باید فاصله دریچه کنسانتره ماریچ در بهترین حالت قرار داشته باشد. به علت وقت گیر بودن تنظیم دستی دریچه کنسانتره می توان از مدل سازی برای پیش بینی راندمان و خاکستر کنسانتره تولیدی از ماریچ در اندازه های مختلف دریچه کنسانتره استفاده کرد. برای این منظور منحنی ضریب توزیع برای تمام اندازه دهانه کنسانتره ماریچ رسم شد و مدل های مختلفی جهت یافتن بهترین مدل مورد بررسی قرار گرفت. مدل های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

شاخص مناسب برای پیدا کردن ضرایب مدل مجموع مربعات خطا در نظر گرفته شد و با تغییر دادن ثابتهای مدل، مجموع مربعات خطاها کمینه گردید. مقدار مجموع مربعات خطاها (SS) از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$SS = \sum_{i=1}^m (f_i(x) - y_i)^2 \quad (1)$$

که در این معادله m تعداد نقاط آزمایشی و y_i اعداد توزیع بدست آمده در آزمایشگاه و $f_i(x)$ توزیع بدست آمده از مدل می باشد. برای انتخاب مناسب ترین مدل انحراف برآزش (D_f) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد. در حالت کلی مدلی که دارای انحراف برآزش کمتری باشد به عنوان مناسبترین مدل انتخاب شد.

$$D_f = \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [F(x_i) - y_i]^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

شماره	مرجع	رابطه
۱	[۱]	$f(x) = \{1 - \exp[1.0986 (x_{50} - x) / Ep]\}^{-1}$ Ep=(x75-x25)/2 x دانسیته و x50 دانسیته جدایش
۲	[۲]	$y = 100 \{t_2 - \arctan[k(x - c)]\} (t_2 - t_1)$
۳	[۲]	$y = 100 [a + cTgh [k(x - x_0)]]$ $tgh(u) = [\exp(u) - \exp(-u)] / [\exp(u) + \exp(-u)]$
۴	[۲]	$y = 100 [a + ctgh [k(x - x_0)] + bx]$
۵	[۳]	$P = \frac{a}{E} e^{-b(d - d_{50})^2 / E}$ ضریب توزیع (P) و خطای احتمال (E) و دانسیته (d) و دانسیته جدایش (d50)
۶	[۴]	$t(x) = t_1 + \frac{t_u - t_1}{1 + [\frac{t_u - 0.5}{0.5 - t_1}][\frac{x - x_0}{x_{50} - x_0}]^n}$ t _u , t ₁ توزیعهای اولیه و نهایی می‌باشند.
۷	[۵]	$P = \frac{100}{1 + \exp(\frac{1.099 (\rho_{50} - \rho)}{Ep})}$
۸	[۶]	$R = [100 (0.5 - 0.5 \tanh(z_3))]$ $z_3 = b_s \left(\frac{g}{SGS} - 1 \right)$, $\tanh(z_3) = \frac{\exp(2z_3) - 1}{\exp(2z_3) + 1}$
۹	[۷]	$P = 1 - \exp \left\{ -0.963 / \left(\frac{SG}{SG_{50}} \right)^n \right\}$
۱۰	[۸]	$y(x) = 100 - 50 \exp \left(\frac{x - x'}{z} \right)$ if $x < x'$ $y(x) = 50 \exp \left(\frac{x' - x}{z} \right)$ if $x > x'$ $z = - \frac{Ep}{\ln(0.5)}$

جدول ۱- مدل‌های مطالعه شده برای برازش منحنی‌های توزیع

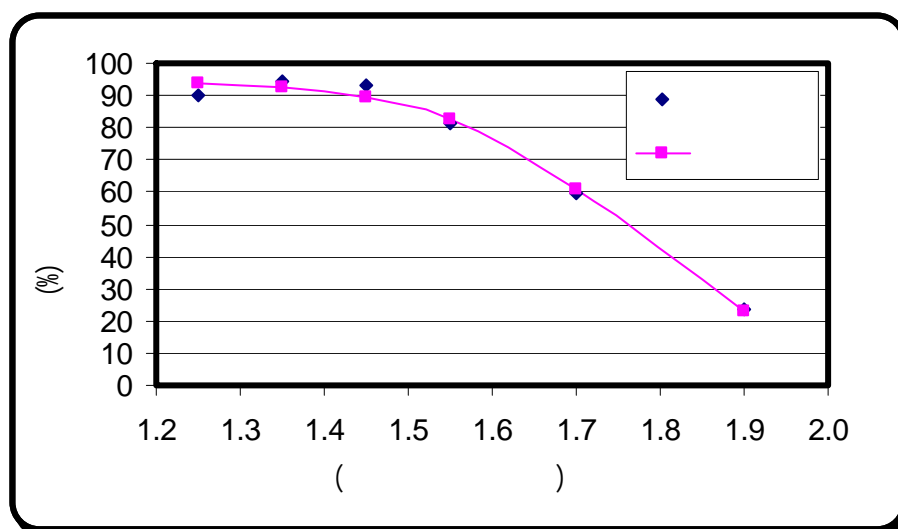
۲- روش تحقیق

برای انجام عملیات نمونه برداری از ماریچ در حالت‌های مختلف قرار گیری فاصله دهانه کنسانتره از دیواره به صورت زیر عمل شد. در هر حالت از خوراک، کنسانتره و باطله (مخلوط باطله و میانی) نمونه برداری انجام گرفت. برای حذف نوسان بین دو حالت قرارگیری درجه کنسانتره، یک فاصله زمانی ۲۰ ثانیه ای در نظر گرفته شد. بر روی نمونه ها آنالیز غرق و شناورسازی در دانسیته های ۱/۳، ۱/۴، ۱/۵، ۱/۶ و ۱/۸ (گرم بر سانتیمتر مکعب) انجام شد و منحنی های ضریب توزیع برای تمام اندازه دهانه های کنسانتره رسم گردید. با توجه به خطاهای نمونه برداری، تقسیم نمونه، توزین و خاکستر سنجی نیاز به تصحیح منحنی ضریب توزیع بود. برای تصحیح منحنی های ضریب توزیع از روابط جدول ۱ استفاده شد و ضریب توزیعهای برازش شده برای تمام درجه ها بدست آمد. برای رسیدن به بهترین مدل باید مجموع مربعات خطا حداقل می شد. برای این منظور از نرم افزار صفحه گسترده Excel استفاده شد. با مشخص شدن مدل مناسب و با توجه به خصوصیات خوراک امکان محاسبه درصد بازیابی در هر دانسیته و راندمان کلی و دیگر پارامترها فراهم گردید.

به منظور ارزیابی مدل ارائه شده نتایج پیش بینی شده توسط مدل، با نتایج حاصل از یک نمونه برداری دیگر مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳- ارائه نتایج

هدف از مدل سازی در این تحقیق، پیش بینی راندمان و خاکستر کنسانتره تولیدی از ماریچ در اندازه دهانه های مختلف کنسانتره با توجه به خصوصیات خوراک ورودی به ماریچ بود. مراحل انجام مدل سازی برای اندازه دهانه کنسانتره ۷ سانتیمتر به عنوان نمونه توضیح داده می شود. منحنی های ضریب توزیع برای تمام اندازه دهانه های کنسانتره رسم شد که برای اندازه درجه ۷ سانتیمتر در جدول ۲ آمده است. با توجه به خطاهای نمونه برداری، تقسیم نمونه، توزین و خاکستر سنجی برای تصحیح داده ها از مدل برای بدست آوردن ضریب توزیع استفاده شد.



شکل ۱- منحنی ضریب توزیع عملیاتی و تصحیح شده برای اندازه دهانه ۷ سانتیمتر

با توجه به شاخص کمترین مجموع مربعات خطا و انحراف برازش، فرمول ۳ از جدول ۱ انتخاب گردید.

$$Y=100 \times [a+c \tanh(k(X-X_{50}))] \quad (3)$$

که در آن

Y : ضریب توزیع؛ a و c و k : ضرایب فرمول؛ X : دانسیته اسمی؛ X_{50} : دانسیته جدایش می باشد.

جدول ۲- تعیین ضریب توزیع تصحیح شده و خطای احتمال جدایش برای اندازه دهانه ۷ سانتیمتر کنسانتره

خطای احتمال جدایش	ضریب توزیع تصحیح شده (%)	دانسیته (g/cm^3)
14/50	93/87	1/25
4/46	92/59	1/35
14/88	89/57	1/45
1/87	82/88	1/55
1/86	61/01	1/70
0/33	22/93	1/90
37/90	مجموع مربعات	
2/51	خطای برازش	

همانطور که مشاهده می شود مجموع مربعات خطا برابر ۳۷/۹ و خطای برازش برابر ۲/۵۱ بدست آمد. ضریبهای a ، c و k برای اندازه دهانه کنسانتره ۷ سانتیمتر به ترتیب ۰/۴۹، ۰/۴۶ و ۴/۵۴- بدست آمد.

با افزایش اندازه دهانه درجه کنسانتره دانسیته جدایش (SG_{50}) افزایش می یابد، چون ذرات سنگین تر که به سمت ناو باطله سرازیر شدند با افزایش اندازه دهانه کنسانتره به کنسانتره راه می یابند و در نتیجه ذراتی که احتمال ۵۰٪ راه یابی به کنسانتره را دارند، دارای دانسیته بالاتری خواهند بود. همچنین با افزایش اندازه دهانه کنسانتره خطای احتمال جدایش کاهش می یابد، چون کارایی جدایش افزایش یافته و شیب منحنی ضریب توزیع بیشتر می شود.

نظر به اینکه در تمام اندازه درجه ها خطای احتمال جدایش و انحراف برازش کمترین مقدار را دارند لذا رابطه ۳ به عنوان رابطه مناسب برای تصحیح منحنی ضریب توزیع برای تمام اندازه دهانه کنسانتره انتخاب شد. ضرایب رابطه (a, c, k) و خطای احتمال جدایش (E_p) برای اندازه های مختلف دهانه کنسانتره در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳- ضرایب رابطه تصحیح منحنی ضریب توزیع و خطای احتمال جدایش برای اندازه های مختلف دهانه کنسانتره

اندازه دهانه کنسانتره (سانتیمتر)						ضریب های رابطه ضریب توزیع
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	
0/5	0/48	0/48	0/49	0/47	0/43	a
0/45	0/48	0/45	0/46	0/69	0/24	c
-۷/۲۶	-۴/۷۱	-5/82	-4/54	-1/58	-4/52	k
0/09	0/15	0/13	0/15	0/24	0/32	E_p

جدول ۴ روش پیش بینی راندمان و خاکستر کنسانتره را با توجه به خصوصیات خوراک ورودی برای اندازه دهانه ۷ سانتیمتر نشان می دهد.

جدول ۴- پیش بینی راندمان و خاکستر کنسانتره برای اندازه دهانه ۷ سانتیمتر

وزن بازیابی × خاکستر	درصد وزنی بازیابی شده	درصد خاکستر	درصد وزنی خوراک شناور شده	ضریب توزیع (%)	دانسیته (g/cm ³)
1/07	31/30	3/43	33/34	93/87	1/30
1/54	21/23	7/27	22/93	92/59	1/40
2/74	16/09	17/00	17/96	89/57	1/50
1/75	6/24	28/02	7/52	82/88	1/60
1/69	4/17	40/46	6/84	61/01	1/80
1/74	2/62	66/52	11/40	22/93	2/00
10/53	81/64	مجموع			
	۱۲/۹	درصد خاکستر کنسانتره			

برای محاسبه درصد خاکستر و راندمان در اندازه دهانه کنسانتره مورد نظر کافی است تا ضریب توزیع مربوط به آن اندازه دریاچه و درصد وزنی خوراک شناور شده و درصد خاکستر مربوط به هر محدوده دانسیته مشخص باشد. با استفاده از این اطلاعات می توان درصد بازیابی شده و درصد خاکستر در هر محدوده دانسیته را محاسبه کرده و سپس راندمان کلی و درصد خاکستر کنسانتره را پیش بینی نمود. به این ترتیب به کمک این روش امکان تنظیم دریاچه های جداکننده ماریچی با توجه به خصوصیات خوراک و محصول مورد نیاز کارخانه وجود دارد.

جهت اعتبار سنجی این روش و تعیین میزان خطای پیش بینی مجدداً یک سری نمونه از ماریچ در اندازه دهانه های مختلف گرفته شد و سپس مقدار راندمان و درصد خاکستر کنسانتره محاسبه گردید. با استفاده از روش ارائه شده نیز با توجه به ضرایب بدست آمده از نمونه برداری اول، ضریب توزیع محاسبه و سپس راندمان و درصد خاکستر کنسانتره محاسبه گردید. جدول ۵ نتایج بدست آمده از آزمایش و نتایج پیش بینی شده از مدل را برای اندازه دهانه های مختلف کنسانتره نشان می دهد.

جدول ۵- مقایسه راندمان و درصد خاکستر کنسانتره عملیاتی با مقدار پیش بینی شده از مدل برای تمام اندازه دهانه های کنسانتره

اندازه دهانه کنسانتره (سانتیمتر)	پیش بینی شده		عملیاتی	
	راندمان (%)	خاکستر کنسانتره (%)	راندمان (%)	خاکستر کنسانتره (%)
۵	55/37	13/26	52/14	13/39
۶	74/13	12/89	72/75	13/43
۷	81/64	12/90	79/5	13/5
۸	82/5	13/21	82/2	13/68
۹	85/13	13/72	85/15	14/23
۱۰	85/59	13/33	85/36	14/34

کمترین خطا برای اندازه دهانه کنسانتره ۸ سانتیمتر بدست آمد (جدول ۶). حداکثر خطای مدل در پیش بینی راندمان ۶/۲٪ (به علت نزدیکی به دیواره کنسانتره) و در پیش بینی درصد خاکستر ۷٪ (به علت نزدیکی به دیواره باطله) می باشد اما در بهترین

حالت پیش بینی راندمان و درصد خاکستر به ترتیب ۰/۳۶٪ و ۳/۴٪ خطا داشت. جدول 6 خطای مدل در پیش بینی راندمان و درصد خاکستر برای اندازه دهانه های مختلف کنسانتره را نشان می دهد.

جدول ۶- خطای مدل در پیش بینی راندمان و درصد خاکستر برای اندازه دهانه های مختلف کنسانتره

اندازه دهانه کنسانتره (سانتیمتر)	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
خطای مدل در پیش بینی راندمان	۶/۱۹	۱/۹	۲/۶۹	۰/۳۶	۰/۰۲	۰/۲۷
خطای مدل در پیش بینی خاکستر	۰/۹۷	۴/۰۲	۴/۴۴	۳/۴۴	۳/۵۸	۷/۰۴

۴- نتیجه گیری

۱- مدلی با سه ضریب و به شکل زیر جهت پیش بینی ضریب توزیع مناسب تشخیص داده شد.

$$Y=100 \times [a+c \tanh(k(X-X_{50}))]$$

خطای این مدل برای تمام اندازه دریاچه ها کمتر از ۷ درصد بدست آمد.

۲- با افزایش اندازه دهانه دریاچه کنسانتره، دانسیته جدایش (SG₅₀) افزایش یافت که دلیل آن راهیابی ذرات سنگین تر به کنسانتره بود. این بدین معنی بود که دانسیته ذراتی که احتمال راهیابی آنها به ناو کنسانتره ۵۰٪ بود، افزایش یافت.

۳- حداکثر خطای مدل ارائه شده در پیش بینی راندمان ۶/۲٪ و در پیش بینی درصد خاکستر ۷٪ بدست آمد.

۴- کمترین خطای پیش بینی در اندازه دهانه دریاچه کنسانتره ۸ سانتیمتر بدست آمد که مقادیر آنها برای راندمان و درصد خاکستر به ترتیب ۰/۳۶٪ و ۳/۴٪ بدست آمد.

۵- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه شهید باهنر کرمان، مدیریت و مسئولین واحد تغلیظ کارخانه زغالشویی زرنند و مدیریت مرکز تحقیقات زغالسنگ تشکر و قدردانی می شود.

۶- مراجع

- [1] Ferrara, G.; Bevilacqua, P.; 1995; "Relationship Between Apparent and Actual Partition Curves of Gravity Separation Processes"; Proceedings of the XIX IMPC, SME, Vol. 2, P.P. 131-138.
- [2] Reid, K.J.; Lumaixi, Shengui, Z.; 1985; "Coal Cleaning Distribution Curve Simulation"; International Journal of Mineral Processing, 14.
- [3] Jowett, A.; 1986; "An Appraisal of Partition Curves for Coal-Cleaning Processes"; International Journal of Mineral Processing, 16.
- [4] Tamillmani, M.; Kapur, P.C.; 1986; "A Heuristic Model of The Tromp Curve"; International Journal of Mineral Processing, 18.
- [5] Baguley, P.J.; Napier-Munn, T.J.; 1996 "Mathematical Model of the Dense Medium Drum"; Mineral Processing , Extr. Metall., 105, January-April.
- [6] Leonard, J.W.; 1979 "Coal Preparation"; 4th edn., The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc., New York.
- [7] Kohmuench, N.; 2000; "Improving Efficiencies in Water-Based Separators Using Mathematical Analysis Tools"; Ph.D. Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic.
- [8] Wills, B.A.; 1997; "Mineral Processing Technology"; 6th Edn., Butterworth Heinemann Publisher.