بهینه سازی مواد شیمیایی مصرفی درفلوتاسیون ستونی به روش تاگوچی

همتی چگنی،محسن[۱] - عبدالهی، محمدرضا[۲]
کارخانه زغالشویی پرورده طبس، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس

چکیده

فلوتاسیون زغالسنگ کارآمدترین روش برای فرآوری زغال ریز دانه (کوچکتر از ۰/۵ میلیمتر) است. در این آزمایش هدف بهینه سازی مصرف کلکتور و کف ساز در مدار کارخانه زغالشویی طبس بود. سه پارامتر نوع زغال، کف ساز و کلکتور هر یک در سه سطح مورد مطالعه قرار گرفت. ۲۷ آزمایش برای یک طرح کامل نیاز بود. به منظور کم کردن تعداد آزمایشات از طرح تاگوچی استفاده شد. برای هر سطح سه نمونه در نظر گرفته شد که تعداد ۹ آزمایش انجام شد. مقدار بهینه کف ساز ۱۲۵ گرم بر تن ، کلکتور ۵۹۰ گرم بر تن و از بین سه نوع زغال مورد آزمایش زغال نوع ۲ بالاترین راندمان را در بر داشت.

کلمات کلیدی: زغال، فلوتاسیون ستونی، کلکتور، کف ساز، تاگوچی

Optimization of Coal Flotation reagents consumption by Tagochi approach

Hemati Chegeni. M - Abdolahi. M

Abstract

Flotation is the most efficiency approach for fine coal preparation. Tag of this paper was to optimize the Frother and Collector consumption in Tabas Coal factory. Three parameters as coal type, Frother, collector was researched. 27 runs was needed for full factorial test. Tagochi design of experiment was used for reduce the number of runs. There were three levels for each parameters so the 9 runs were taken apart. Coal from 2nd mine, 125 gr/ton for Frother, 590 gr/ton for collector was the optimize amount for the best yield.

Key word: Coal, Column Flotation, Collector, Frother, Tagochi

۱) کارشناس ارشد فرآوری مواد معدنی، M_h_chegeni@yahoo.com
۲) دانشجوی کارشناسی مهندسی معدن reza_f83@yahoo.com

مقدمه

فلوتاسیون مواد معدنی یکی از تاثیر گذارترین روشهای فراوری مواد معدنی در صنایع می باشد. از تکنیک هایی که در فرایند فلوتاسیون زغال در دو دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است، فلوتاسیون ستونی می باشد که نسبت به روشهای مکانیکی در کاهش خاکستر و پیریت موفق تر بوده است. از دیگر مزایای فلوتاسیون ستونی می توان به بازیابی بهتر، هزینه های عملیاتی کمتر و کنترل بهتر فرایند اشاره نمود. ارتفاع ستون، میزان هوادهی، آب شستشو، تناژ و درصد جامد بار ورودی، میزان مواد شیمیایی، جرم مخصوص پالپ و عمق کف از جمله پارامترهای عملیاتی موثر در این روش است[۱]. در معدن زغالسنگ پروده طبس، به دلیل ماهیت زغال موجود در منطقه و تولید نرمه زیاد در هنگام استخراج، بخش فلوتاسیون در کارخانه زغالشویی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این بخش ۶ سلول فلوتاسیون ستونی جهت فرآوری ذرات کوچکتر از ۰/۵ میلیمتر مورد استفاده قرار می گیرند. قطر ستونهای مزبور ۴/۳ متر و ارتفاع آنها ۸ متر است.

حدود ۴۰ درصد از خوراک ورودی به کارخانه (۱۲۰ تن بر ساعت) در مدار فلوتاسیون فرآوری می شود. مواد شیمیایی مورد استفاده در بخش فلوتاسیون کلکتور و کف ساز می باشد که از گازوییل به عنوان کلکتور و ازMIBC به عنوان کف ساز استفاده می شود. مقدار کلکتور و کف ساز از موثرترین پارامترها در راندمان فلوتاسیون می باشد. محل تزریق کلکتور در همان ابتدای مدار بعد از دانه بندی می باشد ومحل تزریق کف ساز در داخل تقسیم کننده خوراک به سلولها در بخش فلوتاسیون می باشد. با توجه به تغییرات میزان مصرف مواد شیمیایی در ماههای مختلف و به منظور افزایش راندمان در بخش فلوتاسیون، آزمایشاتی جهت بهینه سازی مواد شیمیایی بر روی سه نوع خوراک مختلف که خوراک ورودی کارخانه ترکیبی از آنها می باشد جداگانه انجام شد. در همین راستا با استفاده از طراحی آزمایش تاگوچی آزمایشات انجام شد وپس از تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده، مقدار بهینه برای هر کدام مشخص شد.

بحث

پس از نمونه گیری کامل از سه لایه متفاوت زغالی، نمونه های گرفته شده به طور جداگانه سرند شد و ابعاد زیر ۰/۵ میلیمتر آن برای تست فلوتاسیون آماده گردید. از آنجا که، هدف بهینه سازی کلکتور وکف ساز بود، آزمایشات کف ساز در سه سطح و کلکتور نیز در سه سطح مختلف انجام شد.

بنا بر این مجموع آزمایشات شامل سه متغیر و هر سه متغیر در سه سطح بود. تعداد کل آزمایشات شامل ۲۷ آزمایش شد. به منظور کم شدن تعداد آزمایشات از طرح های آزمایشات صنعتی استفاده گردید که از بین این طراحی ها از طرح آزمایش L9 تاگوچی که مناسب ترین نوع برای آزمایشات بود استفاده شد[۲]. از آنجا که L9 تاگوچی برای چهار فاکتور در سه سطح استفاده می شود، از ستون D که فاکتور خاصی را در بر نمی گیرد برای تخمین واریانس و انحراف معیار استفاده گردید. طرح تاگوچی در جدول (۱) آمده است.

در طراحی آزمایش تاگوچی ستون A نماینده سه لایه مربوط به سه معدن قرار داده شد. ستون B نماینده مقدار کف ساز و ستون C نماینده مقدار کلکتور می باشد. از ستون D نیز به منظور تخمین واریانس استفاده گردید. اولین سطوح برای کف ساز مقادیر ۴۲، ۸۳ و ۱۲۵ گرم به ازای هر تن خوراک ورودی و برای سطوح کلکتور مقادیر ۱۴۴، ۲۱۷ و ۲۹۰ گرم به ازای هر تن فید ورودی در نظر گرفته شد.(جدول ۲) زمان جمع آوری کف از سطح سلول ۳۰ ثانیه انتخاب شد.

بر اساس نتایج بدست آمده از جدول (۲) مشخص گردید دامنه انتخابی برای مقادیر کلکتور و کف ساز در اولین آزمایشات بهینه سازی، نامناسب بوده است. لذا سری دوم آزمایشات با مقادیرنزدیک به میانگین مصرف ماهیانه این مواد در بخش فلوتاسیون طرح ریزی شد. مقادیر استفاده شده کف ساز وکلکتور در جدول (۳) آمده است. برای مشخص نمودن زمان جمع آوری کف از سطح سلول زمانهای مختلف آزمایش شد که در زمان ۶۰ ثانیه بارزترین نتایج به دست آمد. در زمان های بیشتر نتایج بسیار نزدیک به هم بود که قابل آنالیز نبود. دلیل این امر این بود که ذرات زغال در زمانهای بالا فرصت کافی برای شناور شدن را بدست می آوردند .

آنالیز آزمایشات

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

از آنجایی که کف ساز مصرفی در کارخانه از نوع MIBC و کلکتور مصرفی نیز گازوییل بود، لذا همین مواد شیمیایی در آزمایشات استفاده شد تا دقیقا شرایط مدل آزمایشگاهی برابر با شرایط کارخانه باشد. نتایج راندمان آزمایشات در شرایط مختلف در نمودارهای ۱، ۲ و ۳ به ترتیب برای کف ساز، کلکتور و نوع زغال آمده است. ضمنا بر روی انواع کف ساز در آزمایشگاه فقط جهت مقایسه تست زده شد که بهترین راندمان مربوط به MIBC بود که نتایج این آزمایش در نمودار (۴) آمده است.

اولین آنالیز با بررسی تاثیر تغییرات کف ساز بر راندمان شروع می شود.

فرض های مورد نظر در این آزمایش عبارت است از

$$H_0 : \mu_{200} = \mu_{125}$$
$$H_a : \mu_{200} \langle \mu_{125}$$

که در آن μ_{200} مقدار راندمان در حضور ۲۰۰ گرم بر تن خوراک ورودی به فلوتاسیون، کف ساز و μ_{125} مقدار راندمان در حضور ۱۲۵ گرم بر تن کف ساز است.

مقدار شاخص اختلاف بین سطح با لا و پایین هر آزمایش از رابطه زیر بدست می آید.

$$\left|\bar{x}_{up} - \bar{x}_{down}\right|^* = t_\alpha \times s \times \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{1}{N}}$$

α: سطح مخاطره مورد قبول در این آزمایش ۵ درصد در نظر گرفته شد.

S : انحراف معیار آزمایشات که از روی ستون D تخمین زده می شود.

N : تعداد نمونه های مورد آزمایش برای هر سطح

واریانس بدست آمده از ستون D برابر ۲/۲۹ می باشد. انحراف معیاربرابر ۱/۵۱ می باشد. تعداد نمونه ها برای هر سطح سه نمونه است ومقدار خطای احتمالی ۵ درصد در نظر گرفته شده است. بنابراین مقدار آماره توزیع t بر طبق جدول برای درجه آزادی ۴ برابر ۲/۱۳۲ است.

$$\left|\bar{x}_{up} - \bar{x}_{down}\right| = 2.132 \times 1.51 \times \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}} = 2.628$$

با توجه به نتایج به دست آمده مقدار اختلاف راندمان در حضور ۱۲۵ گرم بر تن و ۲۰۰ گرم بر تن کف ساز برابر است با

$$45.47 - 39.66 = 5.81$$

به عبارت دیگر با اطمینان ۹۵ درصد کاهش کف ساز از ۲۰۰ گرم بر تن به ۱۲۵ گرم بر تن سبب افزایش راندمان می شود.

در مورد مقادیر ۱۲۵ گرم بر تن و ۳۰۰ گرم بر تن نیز فرض های اولیه عبارتند از

$$H_0 : \mu_{300} = \mu_{125}$$
$$H_a : \mu_{300} \langle \mu_{125}$$

مقدار اختلاف راندمان در این مقادیر بر اساس نمودار برابر است با

$$45.47 - 41.06 = 4.41$$

که این مقدار نشان دهنده بهبود در راندمان در اثر تغییر مقدار کف ساز از ۳۰۰ گرم بر تن به ۱۲۵ گرم بر تن با اطمینان ۹۵ درصد است.

در مورد مقدار کلکتور مصرفی نیز این فرض ها مورد بررسی قرار گرفت.

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

1)

$H_0 : \mu_{433} = \mu_{590}$

$H_a : \mu_{433} \langle \mu_{590}$

2)

$H_0 : \mu_{750} = \mu_{590}$

$H_a : \mu_{750} \langle \mu_{590}$

در این آزمایشات μ_{433} ، μ_{590} و μ_{750} به ترتیب نشان دهنده راندمان آزمایش در حضور ۴۳۳ ، ۵۹۰ و ۷۵۰ گرم کلکتور بر تن خوراک ورودی به فلوتاسیون است. مقدار شاخص در مورد این آزمایشات نیز با سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۲/۶۲۸ می باشد. در مورد فرض های اول و دوم مقدار اختلاف راندمان به ترتیب برابر است با

1)

$44.03 - 41.32 = 2.71$

2)

$44.03 - 40.85 = 3.18$

بنابر نتایج آزمایشات اختلاف راندمان بدست آمده در اثر تغییر در مقدار کلکتور در هر دو مورد بیش از مقدار شاخص می باشد. بنابر این در مورد کلکتور نیز با اطمینان حداقل ۹۵ درصد مقدار ۵۹۰ گرم بر تن بهترین راندمان را در بر دارد.
در مورد نوع زغال نیز این آزمایشات اجرا شد. فرض های مورد نظر عبارت است از:

1)

$H_0 : \mu_{\min e1} = \mu_{\min e2}$

$H_a : \mu_{\min e1} \langle \mu_{\min e2}$

2)

$H_0 : \mu_{\min e2} = \mu_{\min e3}$

$H_a : \mu_{\min e3} \langle \mu_{\min e2}$

در این آزمایشات $\mu_{\min e1}$ ، $\mu_{\min e2}$ و $\mu_{\min e3}$ به ترتیب برابر راندمان فلوتاسیون با زغال نوع ۱، نوع ۲ و نوع ۳ است. مقدار شاخص برای این آزمایشات با سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۲/۶۲۸ است و مقدار اختلاف راندمان در اثر تغییر نوع زغال برای هر آزمایش به ترتیب برابر است با:

1)

$50.61 - 49.34 = 1.27$

2)

$50.61 - 26.25 = 24.36$

همانطور که از نتایج بر می آید با اطمینان حداقل ۹۵ درصد زغال نوع ۲ از زغال نوع ۳ راندمان بالاتری دارد. از آنجا که در مورد زغال های نوع ۱ و ۲، مقدار شاخص بیش از اختلاف راندمان بدست آمده است، این نتیجه را در مورد اختلاف زغال نوع ۱ و زغال نوع ۲ نمی توان بیان کرد. در این خصوص چنانچه سطح اطمینان کمتری مورد مطالعه قرار گیرد مقدار آماره t با اطمینان ۸۰ درصد و درجه آزادی ۴ برابر است با ۰/۹۴. مقدار شاخص برابر است با:

$$\left|\bar{x}_{ap} - \bar{x}_{shrew}\right|^* = 0.94 \times 1.51 \times \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}} = 1.159$$

پس با اطمینان حداقل ۸۰ درصد می توان اعلام کرد که زغال نوع ۲ بهتر از زغال نوع ۱ می باشد.

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

نتیجه گیری

در توجیه این نتایج قابل ذکر است:

۱) که مصرف کف ساز به منظور ایجاد حبابهای پایدار در فلوتاسیون می باشد. بهترین مقدار کف ساز زمانی است که فقط یک لایه از مولکولهای کف ساز بر سطح هر حباب جذب شود. در صورت مصرف بیشتر کف ساز، سبب جذب چند لایه مولکولهای کف ساز بر سطح حباب می گردد. تعدد لایه های مولکولی کف ساز اثر یکدیگر را خنثی کرده و بر پایداری حباب تاثیر منفی می گذارد. در این آزمایشات ۱۲۵ گرم بر تن کف ساز مقدار بهینه مصرف می باشد[۳].

۲) هر چند که زغال به طور طبیعی تقریبا آبگریز است اما با خردایش در ابعاد ریز سبب شکستن پیوندهای کربنی و ایجاد سطوح باردار در گوشه های آن می شود. وظیفه کلکتور خنثی نمودن سطوح باردار در مقابل واکنش با آب و افزایش آبگریزی زغال می باشد. افزودن بیش از حد کلکتور سبب چسبیدن مولکولهای کلکتور به هم و تشکیل میسل می شود. تشکیل این میسلها مانع از جذب کلکتور بر روی سطح زغال می شود. در صورتی که مقدار کلکتور کمتر از حد بهینه باشد نمی توان گوشه های باردار و آبدوست سطح زغال را پوشش داده و زغال را آبگریز نمود. بنا براین راندمان کاهش می یابد[۳].

۳) در مطالعات پتروگرافی صورت گرفته در باره زغال مشخص گردیده است که زغال از ۴ نوع لیتوتیپ تشکیل شده است. استاپ لیتوتیپ ها را به صورت جدول (۴) معرفی می کند[۴]. آنچه که مشخص است در زغال نوع ۲ مقدار ویترین و کلارین بیشتر از انواع دیگر زغال می باشد. بنابراین درجه زغال شدگی بیشتر و سختی آن کمتر از انواع دیگر می باشد. خواص شناوری و فلوتاسیون در مورد ویترین بیشتر از لیتوتیپ های دیگر می باشد. همین امر سبب گردیده است که راندمان فلوتاسیون در مورد زغال نوع ۲ بیشتر از انواع دیگر زغال باشد[۳].

منابع:

[1] : J.A. Finch, G.S.Dobby, Column Flotation, 1990, 11-47.
[2] : D.C.Montgomery, Design and analysis of experiments, johan wiley&Sons, New York,1991.
[۳] : نعمت اللهی، حسین. کانه آرایی. ۱۳۸۴، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم (۵۹۹-۶۵۰)
[۴] : رضایی، بهرام. تکنولوژیی زغالشویی. ۱۳۸۰، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

جدول (۱) طراحی آزمایش L9 تاگوچی[۱]

A	B	C	D
-۱	-۱	-۱	-۱
-۱	۰	۰	۰
-۱	+۱	+۱	+۱
۰	-۱	۰	+۱
۰	۰	+۱	-۱
۰	+۱	-۱	۰
+۱	-۱	+۱	۰
+۱	۰	-۱	+۱
+۱	+۱	۰	-۱

جدول (۲) آزمایشات طراحی شده سری اول

A	B	C	D	راندمان
Mine 1	۴۲	۱۴۴	-۱	۰
Mine 1	۸۳	۲۱۷	۰	۸/۳۹
Mine 1	۱۲۵	۲۹۰	+۱	۲/۴۸
Mine 2	۴۲	۲۱۷	+۱	۰
Mine 2	۸۳	۲۹۰	-۱	۰
Mine 2	۱۲۵	۱۴۴	۰	۳/۴۰
Mine 3	۴۲	۲۹۰	۰	۰
Mine 3	۸۳	۱۴۴	+۱	۰/۷۵
Mine 3	۱۲۵	۲۱۷	-۱	۰

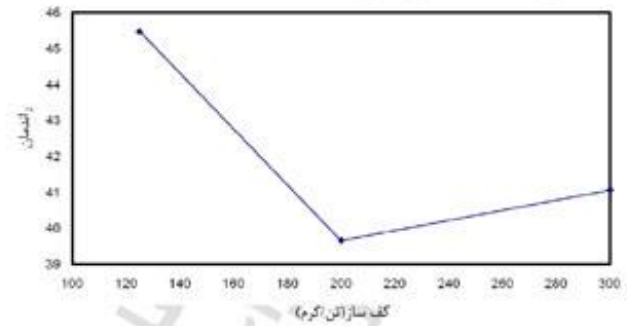
جدول (۳) آزمایشات طراحی شده سری دوم

A	B	C	D	راندمان
Mine 1	۱۲۵	۴۳۳	-۱	۵۱/۲۳
Mine 1	۲۰۰	۵۹۰	۰	۴۷/۹۲
Mine 1	۳۰۰	۷۵۰	+۱	۴۸/۸۶
Mine 2	۱۲۵	۵۹۰	+۱	۵۷/۷۳
Mine 2	۲۰۰	۷۵۰	-۱	۴۶/۲۱
Mine 2	۳۰۰	۴۳۳	۰	۴۷/۸۹
Mine 3	۱۲۵	۷۵۰	۰	۲۷/۴۷
Mine 3	۲۰۰	۴۳۳	+۱	۲۴/۸۴
Mine 3	۳۰۰	۵۹۰	-۱	۲۶/۴۳

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir

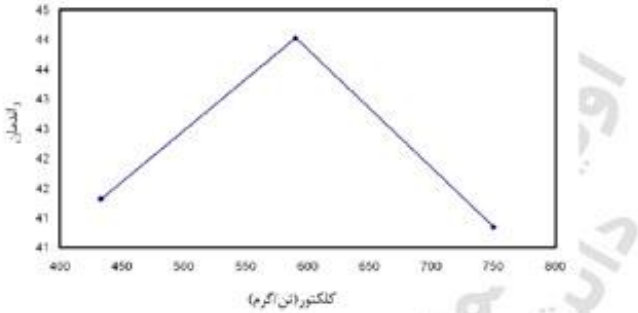
جدول (۴) خواص پتروگرافی بر اساس تقسیم بندی استاپ[۴]

نوع لیتوتیپ	خواص ظاهری	جرم مخصوص (gr/cm3)	خاکستر (٪)	مواد فرار (٪)	کربن ثابت (٪)	ارزش حرارتی (Btu/lb)	سختی نسبی
ویترین	سیاه براق	۱/۳	۰/۵-۱	۳۵/۱	۶۴/۸	۱۴۴۳۸	۲
کلارین	لایه ای- ترکیبی از پلدهای روشن وتیره	۱/۳	۰/۵-۲	۴۰/۳	۵۹/۷	۱۴۶۰۰	۳
دورین	تیره وفاقد نور عوری-لایه بندی ضعیف	۱/۴۵-۱/۲۵	۱-۵	۵۳/۸	۴۶/۲	۱۵۳۷۱	۷/۵
فوزین	مشابه زغال چوب	نوع نرم ۱/۴۵-۱/۳۵ نوع سخت ۱/۶ وبه بالا	۵-۱۰	۶/۵	۹۰/۵	۱۵۶۳۲	۱

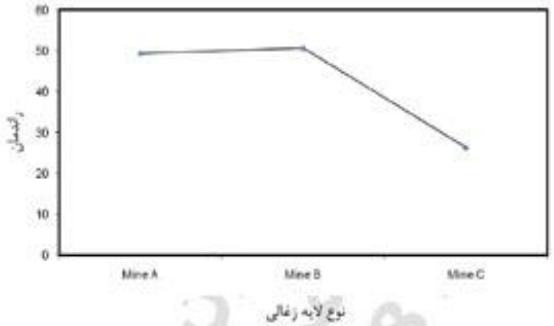


نمودار(۱) تاثیر مقدار کف ساز MIBC بر راندمان

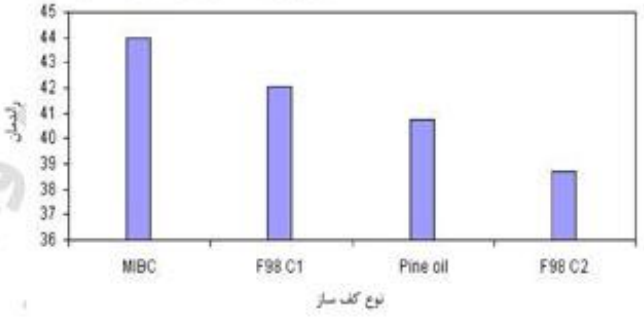
استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir



نمودار(۲) تاثیر مقدار کلکتور گازوییل بر راندمان



نمودار(۳) تاثیر نوع زغال بر راندمان فلوتاسیون



نمودار(۴) تاثیر نوع کف ساز بر راندمان فلوتاسیون

استان یزد، شهرستان طبس، میدان دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، دبیرخانه همایش
تلفن: ۳۲- ۴۲۳۶۱۲۹ (۰۳۵۳) دورنگار: ۴۲۳۶۱۳۳ (۰۳۵۳)
وب سایت همایش: www.hamayesh-tabas.ir