

بررسی آزمایشگاهی پارامترهای موثر بر کارایی میز لرزان در جدایش زغالسنگ

غلامرضا سعیدی^۱؛ پرویز مظفریⁱⁱ

چکیده

میز لرزان یکی از موثرترین وسایل پرعیارسازی ثقلی است که در زغالشویی برای فراوری بخش ابعادی ۰/۱۵-۹/۵ میلیمتر بکار می‌رود. در این تحقیق تاثیر پارامترهای شیب طولی و عرضی و همچنین تاثیر فرکانس نوسانات میز بر کارایی میز لرزان بررسی شد. در این راستا ۱۶ آزمایش تک متغیره برای تعیین این پارامترها به انجام رسید و محدوده بهینه برای شیب عرضی ۳-۴ درجه، شیب طولی ۰/۵-۰ درجه و فرکانس نوسانات میز ۲۴۰-۲۶۰ سیکل بر دقیقه بدست آمد. با توجه به این که احتمال تاثیر متقابل بین پارامترهای مورد آزمایش وجود داشت، طرح آزمایش هادامارد سه متغیره بر روی این پارامترها پیاده و آزمایش‌های مربوط انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که بین پارامترها تاثیر متقابل وجود دارد و مقدار بهینه برای شیب عرضی ۳ درجه، برای شیب طولی صفر درجه و برای فرکانس نوسانات میز ۲۶۰ سیکل بر دقیقه و کارایی جدایش برای هر یک از پارامترهای فوق به ترتیب ۶۴/۲، ۵۵/۵۵ و ۴۷/۵۵ درصد بدست آمد.

کلمات کلیدی

میز لرزان، میز لرزان ویلفلی، زغالسنگ، طرح آزمایش هادامارد.

Investigation on Effective Parameters in Efficiency of Shaking Table for Coal Separation

Gh.Saeedi; L.Rezazadeh; P. Mozafari

ABSTRACT

Shaking table is one of the most effective devices for gravity concentration which is used in coal washing for the particles sized from 0.15 to 9.5 mm. In this research, some parameters were determined such as longitudinal tilt, slide tilt and frequency which affect efficiency of shaking table. 16 one - parameter tests were carried out in order to determine the aforementioned parameters. Therefore, the optimum range of longitudinal tilt, slid tilt and frequency obtained were 0 to 0.5 degree, 3 to 4 degree and 240 to 260 cycle per minute respectively. Since there may exist interactive effects among these parameters, a three-parameter Hdamard experimental design was carried out on the optimum range of above parameters. Results of this experiment show that interactive effects exist between these parameters, and optimum rate of the longitudinal tilt, slide tilt and frequency are 0 degree, 3 degree and 260(rpm) respectively. Separation efficiency for these parameters obtained were 64.2%, 55.5% and 47.55%, respectively.

KEYWORDS

Shaking table, Willfly Shaking table, coal, Hdamard experimental design.

ⁱ دانشجوی دوره دکتری استخراج معدن؛ دانشکده معدن و متالورژی؛ دانشگاه امیرکبیر: saeedirashk@yahoo.com. تلفن: ۶۴۵۴۲۹۴۱

ⁱⁱ کارشناس ارشد فراوری مواد معدنی کارخانه زغالشویی زرنند: Mozaffari@hemmat.ir

باطله خوراک استفاده شد. دانسیته این ماده با آزمایش حجم سنجی ۲/۵ گرم بر سانتیمترمکعب بدست آمد. خاکستر این ماده نیز ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. برای انجام آزمایش‌ها از نمونه‌های ۱ کیلوگرمی از مخلوطی از زغالسنگ و کوارتز به نسبت وزنی ۷ به ۳ که خاکستری در حدود ۳۴/۶ درصد تولید می‌کرد استفاده شد. هدف از انتخاب نمونه‌ها حذف اثر اندازه و تا حدودی اثر شکل در انجام آزمایش‌ها بود.

برای اجتناب از آزمایش‌های پر هزینه و زمانبر خاکستر سنجی، ماده با ارزش و باطله هر یک از نمونه‌های کنسانتره و باطله میز مربوط به هر آزمایش به روش غرق و شناور سازی توسط محلول سنگین کلرید روی با دانسیته ۱/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب از هم جدا شد و با توزین کردن مقدار غرق یا ماده بی ارزش و شناور یا ماده با ارزش در محصول کنسانتره یا باطله میز و در نظر گرفتن خاکستر مربوط به هر بخش مقدار خاکستر محصولات مختلف میز به صورت محاسبه‌ای تعیین گردید.

در تمام آزمایشها مقادیر پارامترهای زیر ثابت نگهداشته شده بود.

جدول (۱): مقادیر پارامترهای ثابت آزمایش‌ها.

دامنه نوسان میز	دبی جامد خوراک	دبی آب شستشو	درصد جامد
۸ mm	۱۰۰۰ gr/min	۱۰۰۰ cc/min	۲۳ %

۳- شاخص کارایی جدایش

در این تحقیق برای بیان یک شاخص بعنوان کارایی جدایش از رابطه زیر که توسط اسونسون^۱، فیرس^۲ و نیکل^۳ در سال ۱۹۸۷ ارائه شده است، استفاده شد [۴]:

$$E = R \frac{t}{c} \quad (1)$$

که در آن E کارایی جدایش، R بازیابی وزنی مواد غیر خاکستر، t خاکستر باطله و c خاکستر کنسانتره است. همچنین داریم:

$$R = \frac{C_c}{C_c + C_T} \quad (2)$$

که در آن C_c و C_T بترتیب وزن مواد غیر خاکستر یا زغالسنگ در محصول کنسانتره و باطله میز است. با توجه به رابطه (۲)، در حالت ایده ال که بازیابی زغالسنگ در جریان کنسانتره ۱۰۰ درصد و بازیابی باطله در جریان باطله ۱۰۰ درصد است مقدار عددی کارایی جدایش در حالت ایده ال به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$E = 1 * \frac{1}{6.5} \quad (3)$$

میز لرزان موثرترین وسیله پرعیارسازی ثقلی است که در شستشوی زغالسنگهایی با دانه بندی بین ۰/۱۵ تا ۹/۵ میلیمتر با دقت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. تکامل تدریجی میزهای لرزان به سال ۱۸۶۰ بر می‌گردد. که برای اولین بار از نوارهای پیوسته (نوارهای بدون انتها) به کمک لایه نازکی از آب برای جدایش کانی‌ها استفاده می‌شد. میزهای لرزان ابتدا برای پرعیارسازی مواد مختلف معدنی ساخته شدند اما بتدریج برای شستشوی زغالسنگ نیز بکار گرفته شدند [۲].

در کارخانه‌های زغالشویی ایران عمدتاً از جیگ و فلوتاسیون برای شستشوی زغالسنگ استفاده شده است. محدوده ابعادی ۱/۶ تا ۱ میلیمتر در این گونه وسایل به خوبی فراوری نمی‌شود. و در باطله فلوتاسیون کارخانه‌های زغالشویی میزان قابل توجهی از این ذرات با مشخصات بار اولیه وجود دارد. هدف از انجام این تحقیق بررسی پارامترهای موثر بر کارایی میز لرزان در شستشوی زغالسنگ در این محدوده بوده است [۳].

۲- وسایل و روش کار

الف- وسایل و مواد

۱- مقدار ۱۰ کیلوگرم نمونه زغالسنگ با دانسیته کمتر از ۱/۴ گرم بر سانتیمتر مکعب و در محدوده ابعادی ۱-۰/۸ میلیمتر
۲- باطله خالص با دانسیته ۲/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب
۳- میز لرزان آزمایشگاهی (نوع ویلفلی، ابعاد میز ۱۲۹×۶۴ cm، ابعاد دستگاه ۲×۲/۵×۱m، جنس فایبرگلاس ضد سایش، الکتروموتور تک فاز ۰/۷۵ km).

۴- تغذیه کننده مناسب برای میز

۵- کمپاس برای تعیین شیبهای طولی و عرضی

۶- ترازوی آزمایشگاهی با دقت بالا

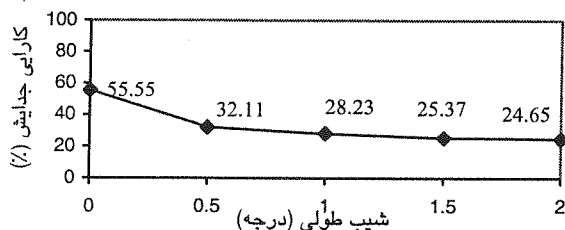
۷- محلول کلرید روی برای جدایش محصولات به روش غرق و شناورسازی

ب- روش کار

از آنجاکه هدف از این تحقیق بررسی کارایی میز در جدایش زغالسنگ بود، برای آزمایش ۱۰ کیلوگرم نمونه زغالسنگ که در دانسیته کمتر از ۱/۴ گرم بر سانتیمترمکعب شناور شده و در بازه ابعادی ۱-۰/۸ میلیمتر دانه بندی شده بود به عنوان کنسانتره موجود در بار اولیه میز استفاده شد. خاکستر نمونه زغالسنگ با آزمایش خاکسترسنجی ۶/۵ درصد بدست آمد. از کوارتز دانه بندی شده در بازه ۱-۰/۸ میلیمتر نیز به عنوان

۴-۳- تعیین محدوده بهینه شیب طولی

برای بررسی اثر شیب طولی بر کارایی جدایش، پنج آزمایش در پنج شیب طولی مختلف به انجام رسید و با استفاده از رابطه (۱)، کارایی جدایش برای این آزمایش‌ها محاسبه شد. با توجه به شکل (۳) محدوده بهینه برای شیب طولی ۰ تا ۰/۵ درجه است.



شکل (۳): تاثیر شیب طولی بر کارایی جدایش در میز لرزان.

۵- بحث

۵-۱- تاثیر شیب عرضی بر کارایی جدایش

باتوجه به شکل (۱) محدوده بهینه برای شیب عرضی بین ۳ تا ۴ درجه است. در شیب‌های پایین به دلیل ثابت بودن آب شستشو امکان جدایش لایه های مختلف مواد که براساس دانسیته لایه بندی شده‌اند، وجود ندارد و بنابراین مواد به خوبی از هم جدا نشده اند. در شیب ۵ درجه نیز به دلیل زیاد بودن شیب میز سرعت انتقال مواد در جهت عرض خیلی زیاد شده و در نتیجه باعث انتقال بخشی از مواد سنگین به محدوده مواد سبک در لبه پایین میز شده است. افزایش شیب عرضی فقط زمانی مفید است که آب شستشو به اندازه کافی موجود نباشد. در آن صورت برای انتقال لایه های سبک مواد از سطح میز در جهت عرض به طرف لبه پایینی میز افزایش شیب عرضی می‌تواند کمک کننده باشد.

۵-۲- تاثیر فرکانس بر کارایی جدایش

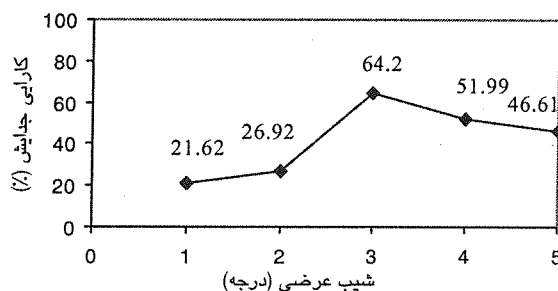
شکل (۲) تاثیر تغییر فرکانس نوسانات میز را بر کارایی جدایش میز نشان می‌دهد. با توجه به شکل، با افزایش تعداد نوسانات کارایی جدایش پایین آمده است. از آنجا که اندازه ذرات نمونه نسبتا بزرگ است بنابراین افزایش فرکانس برای این ابعاد به طور معمول مناسب نمی‌باشد. مشاهدات عینی نیز نشان داد که با افزایش فرکانس سرعت تخلیه مواد در جهت طول زیاد شده و اختلاط کنسانتره و باطله زیاد می‌شود. در فرکانس‌های پایین سرعت انتقال مواد بر روی میز پایین تر بوده و در نتیجه زمان ماند مواد بر روی میز بیشتر بوده بنابراین مواد برای جدایش فرصت بیشتری داشته‌اند.

برای تعیین کارایی جدایش در آزمایش‌ها، کارایی جدایش بدست آمده با تقسیم بر کارایی جدایش ایده ال به صورت درصدی از کارایی جدایش ایده ال بیان می‌شود.

۴-۶- ارائه یافته ها

۴-۶-۱- تعیین محدوده بهینه شیب عرضی

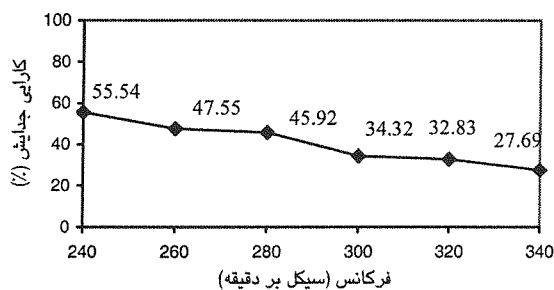
برای بدست آوردن تاثیر شیب عرضی پنج آزمایش مختلف با شیب‌های مختلف با ثابت نگهداشتن سایر پارامترهای دستگاه انجام و با استفاده از رابطه (۱) کارایی جدایش برای این آزمایش‌ها محاسبه شد. شکل (۱) تاثیر شیب عرضی را بر کارایی جدایش نشان می‌دهد. با توجه به شکل محدوده بهینه برای شیب عرضی بین ۳ تا ۴ درجه است.



شکل (۱): تاثیر شیب عرضی بر کارایی جدایش در میز لرزان.

۴-۶-۲- تعیین محدوده بهینه فرکانس نوسانات

برای بدست آوردن اثر فرکانس نوسانات میز بر کارایی جدایش با ثابت نگهداشتن سایر پارامترهای میز شش آزمایش در شش فرکانس مختلف انجام شد و با استفاده از رابطه (۱)، کارایی جدایش برای این آزمایش‌ها محاسبه گشت. در این آزمایش مقدار شیب عرضی در بهترین حالت خود یعنی در حالت ۳ درجه قرار داده شد. شکل (۲) تاثیر تغییر فرکانس نوسانات میز را بر کارایی جدایش میز نشان می‌دهد. با توجه به شکل محدوده بهینه برای فرکانس نوسانات میز ۲۴۰-۲۶۰ سیکل بر دقیقه است.



شکل (۲): تاثیر فرکانس بر کارایی جدایش در میز لرزان.

۵-۳- تاثیر شیب طولی بر کارایی جدایش

با توجه به شکل (۳) محدوده بهینه برای شیب طولی ۰ تا ۰/۵ درجه است. معمولاً شیب طولی باید در میز در کمترین مقدار ممکن نگهداشته شود تا جریان آب شستشو بر روی میز یکنواخت بوده و آب در جهت شیب عرضی میز جریان داشته باشد با افزایش شیب طولی کارایی جدایش کاهش پیدا می کند: چرا که با افزایش شیب طولی بخشی از آب شستشو به جای جریان یافتن در عرض میز در طول میز جاری می شود و در نتیجه مواد در پشت موانع روی میز فرصت لایه بندی نداشته و در جهت طول میز در فاصله بین موانع به طرف لبه تخلیه میز حرکت کنند. بنابراین در این حالت اختلاط محصولات مختلف میز بالا خواهد بود.

۶- طرح آزمایش هادامارد برای تعیین مقادیر

بهینه

با توجه به آزمایش‌های قبلی انجام شده، دامنه بهینه برای پارامترهای شیب عرضی، شیب طولی و فرکانس به شرح جدول (۲) است. برای بدست آوردن بهترین شرایط عملیاتی بر اساس سه پارامتر اندازه گیری شده شیب عرضی، شیب طولی و فرکانس نوسانات میز طرح آزمایش هشت تایی هادامارد انجام شد. سطوح بالا و پایین آزمایشها بر اساس طرح هادامارد مطابق جدول (۲) در نظر گرفته شد.

جدول (۲): سطوح پارامترهای آزمایش در طرح هادامارد

پارامتر آزمایش	واحد	
	بالا	پایین
شیب عرضی	درجه	۳
شیب طولی	درجه	۰
فرکانس نوسانات	سیکل در دقیقه	۲۴۰

بر اساس ماتریس هادامارد هشت آزمایش به انجام رسید و کارایی جدایش برای هر آزمایش محاسبه شد. مقادیر پارامترها در هشت آزمایش مطابق جدول (۲) است.

جدول (۳): مقادیر پارامترهای هر آزمایش

شماره آزمایش	شیب عرضی (درجه)	شیب طولی (درجه)	فرکانس نوسانات (cpm)
۱	۴	۰	۲۴۰
۲	۴	۰/۵	۲۴۰
۳	۴	۰/۵	۲۶۰
۴	۳	۰/۵	۲۶۰
۵	۴	۰	۲۶۰
۶	۳	۰/۵	۲۴۰

۷	۳	۰	۲۶۰
۸	۳	۰	۲۴۰

همچنین برای تعیین واریانس آزمایش‌ها، سه آزمایش جداگانه با مقادیر متوسط ۳/۵ درجه، ۰/۲۵ درجه و ۲۵۰ سیکل بر دقیقه (cpm) بترتیب برای شیب عرضی، شیب طولی و فرکانس انجام شد. اولین آزمایش قبل از اجرای آزمایش‌های اصلی، دومین آزمایش بعد از اجرای ۴ آزمایش اصلی و سومین آزمایش در پایان آزمایش‌های اصلی به انجام رسید. در نهایت کارایی جدایش برای سه آزمایش محاسبه شد. جدول (۴) نتایج این سه آزمایش را نشان می‌دهد. در جدول (۵) نیز نتایج هشت آزمایش آمده است.

جدول (۴): نتایج آزمایش‌های انجام شده برای تعیین واریانس

شماره آزمایش	۱	۲	۳
کارایی جدایش (%)	۳۴/۲۶	۳۴/۴۲	۳۲/۹۲

جدول (۵): نتایج آزمایش‌های طرح هادامارد

آزمایش	کارایی جدایش (%)
۱	۳۸/۹۶
۲	۲۹/۸۶
۳	۴۰/۸۲
۴	۳۷/۷۴
۵	۲۳/۸۸
۶	۳۲/۰۳
۷	۵۲/۷۴
۸	۵۰/۱۱

مقدار واریانس آزمایش‌ها با توجه به جدول (۴) و روابط (۴) و (۵)، برابر با ۰/۲۴۹۹ بدست آمد.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1} \quad (4)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5)$$

اگر حرف A نماینده شیب عرضی، حرف B نماینده متغیر شیب طولی و حرف C نماینده فرکانس نوسانات باشد. نتایج هر آزمایش در ستون مربوط به متغیرها یک به یک ضرب شده و جمع جبری هرستون محاسبه و با تقسیم بر عدد ۴، تاثیر مربوط به آن ستون که متناظر با یک متغیر است بدست می‌آید (جدول ۶). عدد ۱ در ستون اول و سطر ۱۰ این جدول بمعنی آن است که هر سه متغیر در سطح پایین در نظر گرفته شده اند. وقتی یک متغیر با سطح بالا انجام می‌شود با حرف خودش (مثلاً برای متغیر A با حرف a) نشان داده شده است. برای سطح پایین متغیر A با عدد ۱ نشان داده می‌شود و حاصل ضرب آنها ترکیب نهایی آزمایش را برای متغیرهای

۳-۳- تعیین سطح بهینه فرکانس نوسانات

$$\left| \bar{x}_H - \bar{x}_L \right|^C = |0.80| \geq \left| \bar{x}_H - \bar{x}_L \right|^* = 0.54 \quad (10)$$

با توجه به شاخص مقایسه تغییر در فرکانس نوسانات میز موثر بوده و سطح بالای آن از سطح پایین آن بهتر است. به عبارتی فرکانس ۲۶۰ سیکل بر دقیقه فرکانس بهینه می‌باشد. بررسی و مقایسه تاثیرات متقابل با شاخص مقایسه نشان می‌دهد که تاثیر متقابل بین پارامترها بارز است و این پارامترها تاثیر متقابل بر روی همدیگر دارند.

۳-۴- تعیین کارایی جدایش برای مقادیر بهینه

طرح آزمایش هادامارد بر روی محدوده بهینه پارامترها اجرا شد و مقادیر بهینه پارامترها برای شیب عرضی و طولی بترتیب ۳ و صفر درجه و مقدار بهینه فرکانس ۲۶۰ سیکل بر دقیقه بدست آمد. با توجه به این مقادیر و شکل های (۱)، (۲) و (۳) کارایی جدایش برای مقادیر بهینه شیب عرضی، شیب طولی و فرکانس نوسانات میز بترتیب ۶۴/۲، ۵۵/۵۵ و ۴۷/۵۵ درصد بدست آمد.

۷- نتایج

الف- محدوده بهینه برای پارامترهای شیب طولی، شیب عرضی و فرکانس به ترتیب ۰-۵/۰-۰ درجه ۳-۴ درجه و ۲۶۰-۲۴۰ سیکل بر دقیقه بدست آمد.

ب- با توجه به نتایج طرح هادامارد پارامترهای مورد آزمایش بر روی همدیگر تاثیر متقابل دارند.

ج- طرح آزمایش هادامارد بر روی محدوده بهینه پارامترها انجام شد و مقادیر بهینه پارامترها برای شیب عرضی و طولی بترتیب ۳ و صفر درجه و مقدار بهینه فرکانس ۲۶۰ سیکل بر دقیقه بدست آمد.

د- کارایی جدایش برای مقادیر بهینه شیب عرضی، شیب طولی و فرکانس نوسانات میز بترتیب ۶۴/۲، ۵۵/۵۵ و ۴۷/۵۵ درصد حاصل شد.

مقدار شاخص مقایسه نیز برای سطح خطای ۵٪ = σ از رابطه (۶) به صورت زیر محاسبه می‌شود [۶]:

$$\left| \bar{x}_H - \bar{x}_L \right| = t_{\alpha} \sigma \sqrt{\left(\frac{1}{n_H} + \frac{1}{n_L} \right)} \quad (6)$$

که در آن x_L و x_H به ترتیب سطوح بالا و پایین آزمایش ها، t_{α} مقدار توزیع t برای سطح اطمینان σ ، σ انحراف معیار آزمایش ها، n_L و n_H بترتیب تعداد آزمایش‌های انجام شده برای سطوح بالا و پایین آزمایش ها. در نتیجه مقدار شاخص مقایسه برابر است با:

$$\left| \bar{x}_H - \bar{x}_L \right| = 1.53 * 0.5 \sqrt{\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)} = 0.54 \quad (7)$$

حال برای تعیین حالت بهینه سطوح آزمایش‌ها باید متوسط تاثیر اصلی هر پارامتر و متوسط تاثیر متقابل پارامترها با شاخص مقایسه شود. در صورتی که قدر مطلق تاثیر اصلی هر پارامتر یا تاثیر متقابل هر یک از ترکیب پارامترها از قدر مطلق مقدار شاخص بزرگتر باشد، به معنای آن است که تغییر در پارامتر مورد نظر بر کارایی جدایش تاثیر گذاشته است. در غیر این صورت سطح بالا و پایین پارامتر مورد نظر از لحاظ آماری در تولید نتیجه کلی یکسان بوده اند. در ادامه تصمیم‌گیری چنانچه مقدار تاثیر منفی باشد به این معنا است که سطح پایین پارامتر از سطح بالای پارامتر بهتر بوده است، و گرنه سطح بالای پارامتر مورد آزمایش بهتر بوده است. مقایسه نتایج در ادامه آمده است.

۳-۴-۱- تعیین سطح بهینه شیب عرضی

$$\left| \bar{x}_H - \bar{x}_L \right|^A = |-10.02| \geq \left| \bar{x}_H - \bar{x}_L \right|^* = 0.54 \quad (8)$$

در نتیجه برای شیب عرضی می‌توان نتیجه گرفت که سطح پایین شیب عرضی از سطح بالای آن بهتر است و بنابراین شیب عرضی ۳ درجه بهتر است.

۳-۴-۲- تعیین سطح بهینه شیب طولی

$$\left| \bar{x}_H - \bar{x}_L \right|^B = |-6.06| \geq \left| \bar{x}_H - \bar{x}_L \right|^* = 0.54 \quad (9)$$

با توجه به مقایسه انجام شده تغییر در کارایی جدایش در نتیجه تغییر شیب طولی موثر بوده و سطح پایین شیب طولی از سطح بالای آن بهتر و به عبارتی شیب طولی صفر درجه، شیب طولی بهینه است.

جدول (۶): محاسبه متوسط تاثیرات اصلی و متقابل پارامترهای مورد آزمایش

متغیر	A	B	C	-AB	-BC	ABC	-AC	ترکیب آزمایش ها
شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
۱	۳۸/۹۶	-۳۸/۹۶	-۳۸/۹۶	۳۸/۹۶	-۳۸/۹۶	۳۸/۹۶	۳۸/۹۶	a
۲	۲۹/۸۵	۲۹/۸۵	-۲۹/۸۵	-۲۹/۸۵	۲۹/۸۵	-۲۹/۸۵	۲۹/۸۶	ab
۳	۴۰/۸۳	۴۰/۸۳	۴۰/۸۳	-۴۰/۸۳	-۴۰/۸۳	۴۰/۸۳	-۴۰/۸۳	abc
۴	-۳۷/۷۳	۳۷/۷۳	۳۷/۷۳	۳۷/۷۳	-۳۷/۷۳	-۳۷/۷۳	۳۷/۷۳	bc
۵	۲۳/۸۸	-۲۳/۸۸	۲۳/۸۸	۲۳/۸۸	۲۳/۸۸	-۲۳/۸۸	-۲۳/۸۸	ac
۶	-۳۳/۰۳	۳۳/۰۳	-۳۳/۰۳	۳۳/۰۳	۳۳/۰۳	۳۳/۰۳	-۳۳/۰۳	b
۷	-۵۲/۷۴	-۵۲/۷۴	۵۲/۷۴	-۵۲/۷۴	۵۲/۷۴	۵۲/۷۴	۵۲/۷۴	c
۸	-۵۰/۱۱	-۵۰/۱۱	-۵۰/۱۱	-۵۰/۱۱	-۵۰/۱۱	-۵۰/۱۱	-۵۰/۱۱	۱
مجموع	-۴۰/۱۰	-۲۴/۲۴	۳/۲۱	-۳۹/۹۳	-۲۸/۱۳	۲۴/۰۰	۱۱/۴۴	
تاثیر	-۱۰/۰۲	-۶/۰۶	۰/۸۰	-۹/۹۸	-۷/۰۳	۶/۰۰	۲/۸۶	

۹- زیر نویسها

- ^۱ Swanson
^۲ Firth
^۳ Nicol

۸- مراجع

- [۱] مظفری، پرویز؛ بررسی راههای کاهش خاکستر کنسانتره مدار جیگ کارخانه زغالشویی زرنده، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی فرآوری مواد معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی، ۱۳۸۳.
- [۲] رضایی، بهرام؛ "تکنولوژی فرآوری مواد معدنی" (پرعیارسازی ثقی)، انتشارات دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ۱۳۷۷.
- [۳] اسکندری، محمود؛ افزایش کارایی مدار فلوتاسیون کارخانه زغالشویی زرنده، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی فرآوری مواد معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی، ۱۳۸۱.
- [۴] Schulz, N.F, *Separation Efficiency*, SME, New York, American, Vol . 247, PP.8487,1970 .
- [۵] Montgomery, B.C, John Wily and Sons, Design and analysis of experiment, New York, 1991
- [۶] مشکاتی، علی؛ "طرح ریزی و تحلیل آزمایش‌های" دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۳.
- [۷] Richard, O.B.; *Gravity Concentration Technology*, Developments in Mineral Processing, Vol 5, Elsevier Science Publishers, 1984
- [۸] Weiss, N.L.; *Mineral Processing Handbook*, SME., New York, American, Vol. I, pp. 4-32-4-39 1985