ارزیابی عملکرد واحد واسطه سنگین کارخانه زغالشویی زرند

غلامعباس لورک آقا[1*]، صمد بنیسی[2]، حسن حاجی امین شیرازی[3] و مهدی یوسف الهی[4]

۱-کارشناس ارشد فرآوری مواد معدنی، کارخانه زغالشویی زرند

۲-دانشیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- استادیار بخش مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۴-کارشناس ارشد مرکز تحقیق و توسعه ، کارخانه زغالشویی زرند

E-mail: Lorak@Hemmat.ir , Banisi@mail.uK.ac.ir

چکیده

تقریبا بیش از نیمی از زغالسنگهای جهان توسط روش ثقلی فرآوری می شوند. در میان روشهای ثقلی، روش واسطه سنگین بدلیل داشتن ظرفیت و کارایی جدایش بالا از اهمیت خاصی برخوردار است.

در کارخانه زغالشویی زرند بخش ابعادی **mm** ۴۰۰-۱۰+ به روش واسطه سنگین فرآوری می شود. مدار واسطه سنگین کارخانه از دو جداکننده سری تشکیل شده است. مطابق طرح اولیه کارخانه، دانسیته در جداکننده های اول و دوم به ترتیب برابر **g/cm**^{3} ۱/۸ و ۱/۴۵ می باشد. از جداکننده اول باطله و از جداکننده دوم کنسانتره ومحصول میانی حاصل می شود. عموماً کارایی جدا کننده های ثقلی با استفاده از منحنی های توزیع بدست می آید. منحنی توزیع رسم درصد وزنی راه یافته به کنسانتره بر حسب تابعی از وزن مخصوص می باشد. پارامتر معرف عملکرد جداکننده های ثقلی، خطای احتمال می باشد که در حقیقت شیب بین نقاط ۲۵ و ۷۵ درصد در منحنی توزیع می باشد. نتایج این بررسی نشان داد که در کارخانه زغالشویی زرند خطای احتمال در جداکننده های اول و دوم واسطه سنگین به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۳ می باشد.

واژه های کلیدی: واسطه سنگن، منحنی توزیع، خطای احتمال، ضریب توزیع

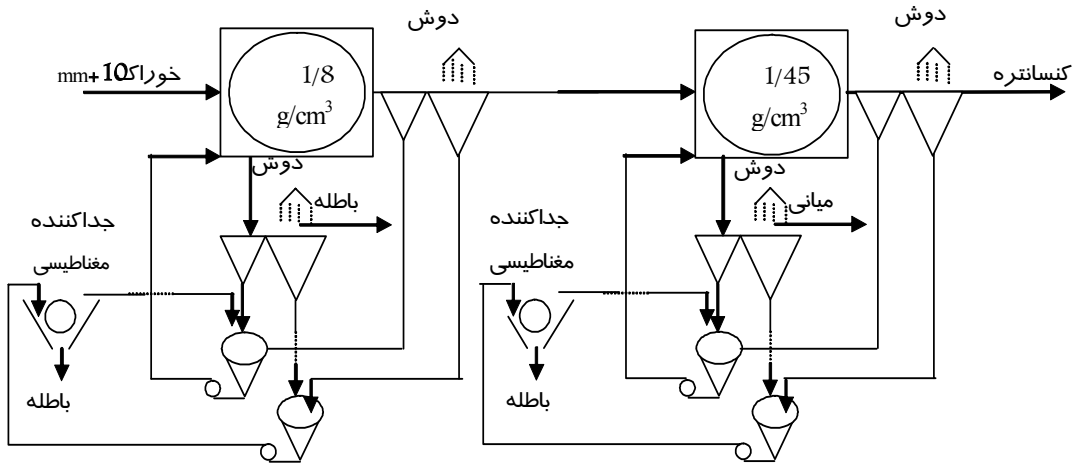
مقدمه

روش واسطه سنگین به عنوان یکی از روشهای ثقلی در سال ۱۸۵۸ توسط آقای **Henry Bessmer** به ثبت رسید. اولین کارخانه در سال ۱۹۲۱ برای شستشوی آنتراسیت تأسیس شد و در سال ۱۹۳۸ از مگنتیت به

*کرمان، زرند، کارخانه زغا لشویی، غلامعباس لورک آقا تلفن: ۰۳۴۲-۴۲۲۰۰۹۹

عنوان واسطه، به صورت اقتصادی استفاده شد[۱]. روشهای پرعیار کنی ثقلی روشهایی هستند کـه بـه وسـیله آنها می‌توان مخلوطی از ذرات با ابعاد، شکل و جرم مخصوص مختلف را به کمک نیروی ثقل، نیروی گریـز از مرکز و دیگر نیروها به کمک جریان سیال به خصوص آب (و یا هوا) از یکدیگر جدا ساخت. اگر چه این روشها بر اساس جرم مخصوص به روشهای ثقلی معروف می‌باشند ولی طبقه‌بندی شـکل و ابعـاد نیـز نقـش بسیار مهمی را در این روشها ایفا می‌کند[۲]. مدار واحد واسطه سنگین کارخانه زغالشویی زرند

مدار کارخانه زغالشویی زرند از دو جداکننده استوانه‌ای به صورت سری تشکیل شـده اسـت کـه طبـق طـرح اصلی کارخانه بایستی دانسیته جدایش در جداکننده اول برابر ۱/۸ گرم بر سانتی متـر مکعـب و دانسـیته در جداکننده دوم ۱/۴۵ باشد بدین طریق از جـدا کننـده اول باطلـه و از جـدا کننـده دوم محصـولات میـانی و کنسانتره بدست می‌آید (شکل ۱). واسطه مورد استفاده در این کارخانه پودر مگنتیت می‌باشد[۳].



شکل ۱- مدار واحد واسطه سنگین کارخانه زغالشویی زرند[۳]

جداکننده‌های واسطه سنگین در این کارخانه از نوع استوانه‌ای می‌باشند و همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود بعد از هر جداکننده، سرندهای آبکشی و شستشو قرار دارد. واسطه‌ای که همراه با مواد معدنی از هر جداکننده خارج می‌شود ابتدا وارد سرندهای آبکشی می‌شود و از آنها عبور کرده و به مخزنهای با دانسیته تنظیم شده، می‌رود و از آنجا مجدداً به جداکننده برگشت داده می‌شود و واسطه‌ای که به مواد معدنی می‌چسبد در قسمت دوم سرندها (سرندهای شستشو) به وسیله آب شسته می‌شود و به مخزن رقیق شده (ناتنظیمی) فرستاده می‌شود. سپس از آنجا به جداکننده‌های مغناطیسی پمپ می‌شود. در جداکننده‌های

مغناطیسی مگنتیت بازیابی شده و به مخزن تنظیمی برگشت داده می‌شود. جداکننده‌های مغناطیسی از نوع شدت میدان پایین می‌باشند و جهت چرخش آنها خلاف جهت ورود جریان می‌باشد.

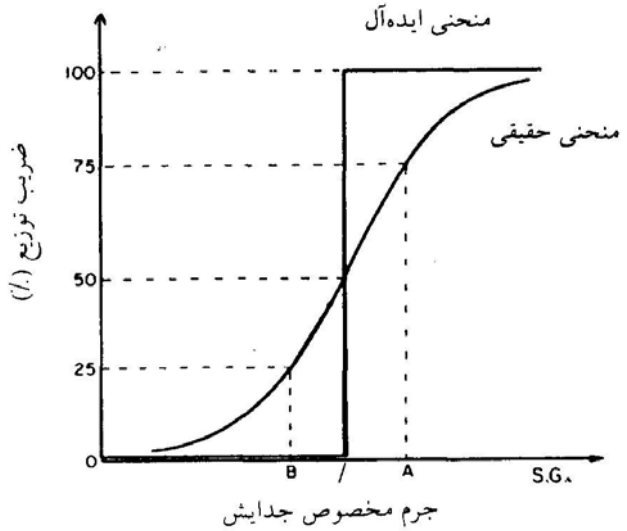
در کارخانه زغالشویی زرند تاکنون تحقیق مدونی که به طور خاص درباره عملکرد مدار واسطه سنگین باشد، وجود ندارد. بر اساس طرح اولیه کارخانه مقدار خطای احتمال (**Ep**) برای جداکننده‌های واسطه سنگین در دانسیته g/cm^3 ۱/۴۵ برابر ۰/۰۴ و در دانسیته g/cm^3 ۲/۰۰ برابر ۰/۰۵ می‌باشد[۳].
در تحقیقی که در مورد کارخانه زغالشویی زرند انجام گرفته است فقط گزارش شده است که هیچ مقدار معنی‌داری از محصول کنسانتره در محصول میانی و باطله مخلوط نمی‌گردد و در ادامه گزارش شده است که بدلیل کم بودن ظروف غرق و شناورسازی نمی‌توان در مورد خطای احتمال اظهار نظر کرد[۴].

تئوری

منحنی توزیع

درصدی از بار اولیه با چگالی مشخص که به بخش غرق شده (یا شناور شده) منتقل می‌شود، ضریب توزیع نام دارد. منحنی تغییرات ضریب توزیع نسبت به چگالی، منحنی توزیع نام دارد[۵] (شکل۲).

عملکرد وسایل ثقلی با استفاده از منحنی توزیع بررسی می‌شود. برای یک وسیله مشخص و یک خوراک مشخص یک گروه از منحنیهای توزیع وجود دارد، که هر کدام دارای یک جرم مخصوص جدایش می‌باشند[۶]. بنابراین مشخص کردن منحنیهای توزیع برای کنترل فرآیندهای جدایش ثقلی اهمیت حیاتی دارد، که می‌تواند تصحیح مناسب را برای کنترل فرآیند مشخص کند، تا امکان شبیه‌سازی و پیشگویی نتایج فراهم شود[۷].
به عبارت دیگر منحنی توزیع رسم درصد وزنی خوراک راه‌یافته به کنسانتره (یا باطله) **f (ρ)** بر حسب تابعی از وزن مخصوص(**ρ**) می‌باشد [۶].
اسامی دیگر منحنی توزیع، منحنی **TROMP** ، منحنی خطا، منحنی ناحیه‌بندی و منحنی بازیابی می‌باشد[۱]. این منحنی به اندازه ذرات و نوع جداکننده بستگی دارد و مستقل از عملیات غرق و شناورسازی می‌باشد[۸].



شکل۲- منحنی توزیع(محور افقی وزن مخصوص کانی ها و محور عمودی بازیابی کانی ها با دانسیته های مختلف در محصول غرق شده می باشد)[۲]

الف) پارامترهای موثر در منحنی توزیع

تقریباً در تمامی جداکننده‌ها، جدایش ایده‌آل وجود ندارد و مقداری از مواد به اشتباه تقسیم می‌شوند. پارامترهای زیر در اشتباه تقسیم شدن ذرات تاثیر دارند[۸].

- هندسه وسایل جداکننده
- مکانیزم و تنظیم‌های ماشین
- ترکیب و نرخ خوراک و محصولات تولیدی
- خصوصیات رئولوژیکی واسطه
- دانسیته نسبی جدایش

علاوه بر این زمان موجود برای جدایش یک ذره و سرعت ته‌نشینی ذره نیز در مقدار ضریب توزیع موثر می‌باشد.

ب) روش بدست آوردن منحنی توزیع

زمانی که ضریب توزیع در مقابل میانگین دانسیته هر بخش رسم می‌شود، منحنی توزیع بدست می‌آید[۸].
برای بدست آوردن منحنی توزیع موارد زیر لازم می‌باشد[۱].

- بازیابی وزنی کنسانتره
- آزمایشهای غرق و شناور سازی کنسانتره و باطله

بازیابی وزنی کنسانتره را می‌توان به وسیله توزین مستقیم یا به وسیله معادلات موازنه جرم بدست آورد.

با توجه به بازیابی وزنی و همچنین داده‌های غرق و شناورسازی محصولات(غرق شده و شناور شده)، می‌توان خوراک را بازسازی کرد. نتایج را مطابق روش زیر و جدول ۱ بایستی تهیه کرد[۲].

ستون بدون شماره – بخشهای جرم مخصوص (دانسیته در آزمایشات غرق و شناورسازی کنسانتره و باطله)

ستون اول – درصد وزن شناور شده (درصد وزنی کانی ها با دانسیته های مختلف در محصول شناور شده)

ستون دوم – درصد وزن غرق شده (درصد وزنی کانی ها با دانسیته های مختلف در محصول غرق شده)

ستون سوم و چهارم – درصد وزن بخش شناور و غرق شده نسبت به بار اولیه (ستون ۱ یا ۲ ضرب در درصد وزنی محصول شناور شده یا غرق شده در این مثال ستون ۳ برابر (۱۰۰ /(۸۲/۶)× ستون ۱))

ستون پنجم – بار اولیه بازسازی شده (توزیع دانسیته کانیها در بار ورودی) (ارقام ستون ۳ با ستون ۴ جمع می‌شود)

ستون ششم – جرم مخصوص اسمی (میانگین حداقل و حداکثر جرم مخصوص ذرات هر بخش)

ستون هفتم – ضریب توزیع (ستون پنجم/ ستون چهارم × ۱۰۰)

دانسیته نسبی اولین بخش و آخرین بخش با توجه به خوراک و تجربیات شخصی بدست می‌آید.

جدول ۱ : ارزیابی جدایش زغالسنگ – شیل به کمک محلولهای سنگین [۹]

جرم مخصوص جدایش (g/cm^3)	(۱) محصول شناور شده (٪)	(۲) محصول غرق شده(٪)	(۳) بار شناور شده به اولیه(٪)	(۴) بار غرق شده به اولیه(٪)	(۵) بار بازسازی شده(٪)	(۶) جرم مخصوص اسمی	(۷) ضریب توزیع(٪) (محصول غرق شده)
-۱/۳	۸۳/۳۴	۱۸/۱۵	۶۸/۸۳	۳/۱۵	۷۱/۹۸	-	۴/۳۹
۱/۴-۱/۳	۱۰/۵	۱۰/۸۲	۸/۶۷	۱/۸۹	۱۰/۵۶	۱/۳۵	۱۷/۸
۱/۵-۱/۴	۳/۳۵	۹/۶۴	۲/۷۷	۱/۶۸	۴/۴۵	۱/۴۵	۳۷/۷۵
۱/۶-۱/۵	۱/۷۹	۱۳/۳۳	۱/۴۸	۲/۳۲	۳/۸	۱/۵۵	۶۱/۰۵
۱/۷-۱/۶	۰/۳	۸/۳۷	۰/۲۵	۱/۴۶	۱/۷۱	۱/۶۵	۸۵/۳۸
۱/۸-۱/۷	۰/۱۶	۵/۸۵	۰/۱۳	۱/۰۲	۱/۱۵	۱/۷۵	۸۸/۷
۱/۹-۱/۸	۰/۰۷	۵/۰۵	۰/۰۶	۰/۸۸	۰/۹۴	۱/۸۵	۹۳/۶۲
۲/۰-۱/۹	۰/۰۷	۴/۳۴	۰/۰۶	۰/۷۵	۰/۸۱	۱/۹۵	۹۲/۵۹
+۲/۰	۰/۴۲	۲۴/۴۵	۰/۳۵	۴/۲۵	۴/۶	-	۹۲/۳۹
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۸۲/۶	۱۷/۴	۱۰۰	-	-

*درصد وزنی کنسانتره در این مثال برابر ۸۲/۶ ٪ است.

ج) حد استقلال منحنی توزیع

نشان داده شده است که منحنی توزیع در جدایش با واسطه‌سنگین، جیگ، میز لرزان، مخروط چانس و چند جداکننده دیگر تا حد زیادی از خوراک مستقل می‌باشد. منحنیهای توزیع برای بخشهای ابعادی مختلف خوراک متفاوت می‌باشند و با کاهش اندازه ذرات شیب قسمت خطی منحنی (شکل ۱) کم می‌شود و منحنی به صورت منحنی افقی در می‌آید[۱].

د) سطح خطا (EA)

از آنجا که منحنی توزیع برای جدایش کامل به تمام مواد سنگین‌تر از دانسیته نسبی جدایش که به باطله راه‌یافته اند و به تمام مواد سبکتر از دانسیته جدایش که به کنسانتره راه‌یافته‌اند اشاره می‌کند، منحنی توزیع باید یک تابع پله‌ای باشد(شکل۱). سطح واقعی بین این منحنی جدایش کامل و منحنی توزیع واقعی را سطح خطا می‌نامند[۱].

سطح خطا معیار معتبری از دقت جدایش برای منحنیهای توزیع است. سطح خطای معمولی (**EA**) به صورت زیر مشخص می‌شود.

$$EA = \int_{0}^{\rho_S} [100 - f(\rho)]d\rho + \int_{\rho_S}^{\rho_l} f(\rho)d\rho \qquad (۱)$$

f(ρ) درصد راه‌یافته به کنسانتره (شناور شده) در هر بخش می‌باشد و ρ_s دانسیته جدایش و ρ_l حداکثر دانسیته می‌باشد.

سطح خطای نرمال شده به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$GEA = \int_{0}^{1} (100 - f(x))dx + \int_{1}^{x_1} f(x)dx \qquad , x = \frac{\rho}{\rho_s} \qquad (۲)$$

مقدار **GEA** مستقل از جرم مخصوص جدایش می‌باشد، بنابراین برای یک وسیله و خوراک خاص، ثابت می‌باشد. همچنین رابطه بین **EA** و **GEA** به صورت زیر می‌باشد[۶].

$$EA = GEA * \rho_s \qquad (۳)$$

ه) خطای احتمال (Ep)

معمولاً منحنیهای توزیع در بین ضرایب توزیع ۲۵ و ۷۵ درصد به صورت خطی می‌باشند. شیب این قسمت از منحنی یک معیار جدایش می‌باشد و خطای احتمال **Ep** به صورت ساده زیر تعریف می‌شود.(به طور ساده در شکل ۱ خطای احتمال برابر (۲/(**A-B**)) می‌شود).

$$Ep=0.5[\Phi(25)-\Phi(75)] \quad (4)$$

خطای احتمال تابعی از جرم مخصوص جدایش می‌باشد، خطای احتمال نرمال شده به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$GEP=0.5[\theta(25)-\theta(75)] \quad (5)$$

Φ:دانسیته مربوط به هر ضریب توزیع و **θ** نرمال شده **Φ** می‌باشد.

فقط یک مقدار **GEP**برای یک دستگاه مشخص و یک خوراکی که در یک بخش ابعادی مشخص می‌باشد، وجود دارد. رابطه زیر بین **Ep** و **GEP** ارائه شده است.

$$Ep=GEP*\rho_s \quad (6)$$

و) ضریب نقص Im

وقتی که نتیجه یک آنالیز بر حسب یک معیار مرکزی مانند **SGS** و یک معیار پراکندگی مانند **Ep** بیان می‌شود. معمولاً یک معیار نسبی برای بیان تغییرات معیار پراکندگی نسبت به تغییرات معیار مرکزی محاسبه می‌گردد[۱].

معیار نسبی قطعی، ضریب تغییراتی است که به صورت تقسیم معیار پراکندگی بر معیار مرکزی تعریف می‌شود و به نام ضریب نقص **Im** معروف است. روابط ارائه شده به صورت زیر می‌باشد.

$$Im=Ep/(SGS-1) \quad \text{برای جیگ} \quad (7)$$

$$Im=Ep/SGS \quad \text{برای واسطه سنگین} \quad (8)$$

ز) منحنی توزیع ظاهری

منحنی توزیع هم از سیستم کنترل دانسیته و هم از فاصله دانسیته‌های انتخاب شده برای آنالیز نمونه‌ها تاثیر می‌پذیرد. بنابراین در مواردی که برای تحلیل عملکرد یک دستگاه نمی‌توان از مایعات سنگین استفاده کرد و مجبور هستیم از سوسپانسیونها استفاده کنیم این مساله خیلی مهم است. استفاده از دامنه‌های بزرگ دانسیته منجر به تولید منحنی توزیع ظاهری به جای منحنی توزیع واقعی خواهد شد[۷].

ح) تاثیر پهنای فواصل دانسیته

اگر فواصل دانسیته‌ای$Dx=(x_{i+1}-x_i)$ باشد. بین تابع توزیع ظاهری$y^*(x_i , x_{i+1})$،که یک تابع ناپیوسته می‌باشد، و تابع توزیع حقیقی$y(x)$،که یک تابع پیوسته می‌باشد، رابطه زیر وجود دارد[۷].

$$y^*(x_i, x_{i+1}) = \frac{\int_{x_i}^{x_{i+1}} y(x) f(x) dx}{\int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x) dx} \qquad (۹)$$

که **f(x)** توزیع فراوانی دانسیته کانه خوراک می‌باشد.

اگر توزیع فراوانی دانسیته خوراک ثابت باشد معادله ۹ به صورت زیر تبدیل می‌شود[۷].

$$y^*(x_i, x_{i+1}) = \frac{\int_{x_i}^{x_{i+1}} y(x) dx}{x_{i+1} - x_i} \qquad (۱۰)$$

فواصل دانسیته‌ای که برای آزمایشات انتخاب می‌شود معمولا به صورت ضریبی از **Ep** انتخاب می‌شود. یعنی **Dx=n.Ep** و **n=۰،۱،۲, ...** هر چه **Dx** کوچکتر باشد، منحنی توزیع بدست آمده به حالت حقیقی نزدیکتر است.

در صورتی که E^*p برابر خطای احتمال ظاهری باشد n^* و **r** به صورت زیر تعریف می‌شوند[۷].

$$r = E^*p/Ep \quad , \quad n^* = (x_{i+1} - x_i)/E^*p \qquad (۱۱)$$

همچنین معادله زیر بین **r** و n^* ارائه شده است.

$$r = ۱ - ۰,۰۶۹۲۱ n^* + ۰,۰۵۶۱۲۵ n^{*۲} \qquad (۱۲)$$

پس می‌توان با آنالیزهای غرق و شناورسازی ابتدا **Dx** و E^*p را بدست آورد و با توجه به معادلات ۱۱ و ۱۲، **Ep** را محاسبه کرد.

ط) خطاهای موجود در منحنی توزیع

۱) انحراف برازش

این انحراف، معیاری از اختلاف بین منحنی برازش داده شده و نقاط آزمایشگاهی می‌باشد. این انحراف به صورت زیر تعریف می‌شود[۱۰]:

$$D_f = \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} [F(x_i) - y_i]^2 \right\}^{1/2} \qquad (۱۳)$$

m: تعداد نقاط آزمایشگاهی، x_i و y_i وزن مخصوص و ضریب توزیع در نقاط می‌باشند.

۲) انحراف واقعی

این یک معیاری از اختلاف بین منحنی توزیع مطلق یا واقعی و منحنی برازش شده می‌باشد. اگر منحنی توزیع واقعی توسط تابع **R(x)** نشان داده شود، سپس انحراف واقعی به صورت زیر تعریف می‌شود[۱۰]:

$$D_r = \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} [R(x_i) - F(x_i)]^2 \right\}^{1/2} \qquad (۱۴)$$

انحراف واقعی مهمترین معیار برای ارزیابی منحنی‌های توزیع برازش داده شده می‌باشد. انحراف واقعی کوچکتر، یعنی منحنی توزیع بهتر برازش داده شده است. متاسفانه این انحراف هرگز شناخته نشده است بدلیل اینکه منحنی توزیع واقعی (**R(x)**) ناشناخته است.

۳) خطای آزمایشی

خطاهای آزمایشی غیر قابل اجتناب می‌باشند و در اندازه‌گیری وزن مخصوص و توزیع پدید می‌آیند و از نمونه‌برداری، غرق و شناورسازی و روشهای عیار سنجی نتیجه می‌شوند.

اگر انحراف توزیع(δ_p) ریشه میانگین مربع اختلافات بین مقادیر توزیع واقعی و مقادیر اندازه‌گیری شده باشد، برابر است با[۱۰]:

$$\delta_p = \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} [R(x_i) - y_i]^2 \right\}^{1/2} \qquad (۱۵)$$

بدلیل اینکه **R(x)** ناشناخته می‌باشد، این یک مقدار ناشناخته است. همچنین اگر وزن مخصوص در یک نقطه **x** باشد و وزن مخصوص اندازه‌گیری شده **x+Δx** باشد، انحراف وزن مخصوص(δ_{sg}) به صورت زیر تعریف می‌شود[۱۰].

$$\delta_{sg} = \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} [R(x_i) - R(x_i + \Delta x)]^2 \right\}^{1/2} \qquad (۱۶)$$

معمولا نقاط x_i , y_i مربوط به اطلاعات آزمایشگاهی شامل یک خطای توزیع و یک خطای وزن مخصوص می‌باشند و شکل معمول انحراف آزمایش برابر است با[۱۰]:

$$\delta = \left\{ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} [y_i - R(x_i + \Delta x_i)]^2 \right\}^{1/2} \qquad (۱۷)$$

این انحرافات اهمیت کنترل کردن دستگاهها را نشان می‌دهند. برای مثال اگر انحراف وزن مخصوص ۰/۰۱ باشد انحراف توزیع معادلش بزرگتر از ۱ درصد می‌شود و این اهمیت کنترل کردن دقت وزن مخصوص را نشان می‌دهد[۱۰].

اگر انحراف برازش بزرگتر از ۲ درصد باشد، یا مدل انتخاب شده نامناسب می‌باشد و یا خطای اطلاعات بزرگ می‌باشد. اگر هیچ مدلی انحراف برازش کمتری نداشت مشخص است که خطای آزمایشگاهی بزرگ بوده و داده‌های آزمایشگاهی بایستی بررسی شوند[۱۰].

تعیین حداقل مقدار نمونه

حداقل مقدار نمونه برای زغالسنگ طبق رابطه تجربی زیر بدست می‌آید:

$$M=52.4 * d \qquad (18)$$

که **M** وزن نمونه بر حسب کیلوگرم و **d** قطر متوسط دامنه ابعادی مورد نظر بر حسب **Cm** می‌باشد[۱۲].
رابطه دیگری نیز به قرار زیر مورد استفاده قرار گرفته است:

$$M = 10Dd_{95}^{3} \qquad (19)$$

که در آن **M** مقدار نمونه (**g**)، **D** چگالی متوسط زغالسنگ (**g/cm**^{3}) و d_{95} اندازه‌ای که ۹۵٪ مواد از آن کوچکتر می‌باشند(**cm**)، است. از اینرو با افزایش اندازه ذره مقدار نمونه کلی افزایش می‌یابد[۱۱].

روش ارزیابی کارایی واحد واسطه سنگین

الف) محاسبه بازیابی وزنی

در این واحد به دلیل مشکلات عملیاتی نمونه‌گیری از خوراک این واحد در حین کار امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین برای بدست آوردن بازیابی وزنی کنسانتره، در زمانهای مساوی کل جریانهای کنسانتره و باطله جمع‌آوری شدند و پس از توزین آنها بازیابی وزنی کنسانتره بدست آمد.

ب) آزمایشات غرق و شناورسازی کنسانتره و باطله

۱) تعیین حداقل مقدار نمونه

با توجه به رابطه ۱۸ و با توجه به اندازه متوسط ۵۵ میلی متر برای این واحد مقدار نمونه‌ای برابر ۲۸۸ کیلوگرم برای کنسانتره و همین مقدار هم برای باطله بدست می‌آید[۱۳]. همچنین با توجه به رابطه۱۹ و با توجه به d_{95} معادل ۱۰۰ میلی متر برای این واحد و با در نظر گرفتن دانسیته متوسط **g/cm**^{3} ۱/۳۵ برای کنسانتره و **g/cm**^{3} ۲/۲ برای باطله و وجود ۷ محیط غرق و شناور سازی به ترتیب مقدار حداقل نمونه‌ای

معادل ۹۴/۵ و ۱۵۴ کیلوگرم برای کنسانتره و باطله بدست آمد. این حداقل مقدار نمونه می‌باشد[۱۳]. مقدار نمونه برای هر جریان ۲۸۸ کیلوگرم انتخاب گردید.

۲) تعیین فواصل دانسیته برای ظروف غرق و شناورسازی

باتوجه به اینکه طبق طرح کارخانه مقدار خطای احتمال (E_p) برابر با ۰/۰۵ برای این واحد در نظر گرفته شده است[۳].فاصله دانسیته‌ها با توجه به رابطه زیر بدست می‌آید[۷]:

$$D_x = n * E_p \qquad ,n = 1,2,... \qquad (۲۰)$$

با توجه به محدودیتهایی که برای تهیه مایعات سنگین وجود دارد و با توجه به هزینه آنها مقدار **n=۲** انتخاب گردید و ظروف غرق و شناورسازی با دانسیته‌های ۱/۳، ۱/۴، ۱/۵، ۱/۶، ۱/۷، ۱/۸ (گرم بر سانتیمتر مکعب) برای ارزیابی کارایی این واحد انتخاب گردید.

نتایج

با توجه به اینکه در شروع این تحقیق در جداکننده دوم عمل جدایش انجام نمی شد و این جداکننده مانند یک کانال عمل می کرد (دانسیته در جداکننده اول برابر ۱/۴۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و در جداکننده دوم بزرگتر از این مقدار بود) این امکان به وجود آمد که کارایی در جداکننده اول در دو دانسیته مختلف(۱/۴۵ و ۱/۷ گرم بر سانتیمتر مکعب) بدست آید.(دلیل کار نکردن این جداکننده دانه بندی مگنتیت ورودی بود که با تغییر دانه بندی مگنتیت این مشکل برطرف گردید[۱۴].

بعد از نمونه برداری از جریانهای کنسانتره و باطله در مورد هر دو جداکننده و محاسبه بازیابی وزنی(درصد وزنی کنسانتره) نمونه ها تحت آنالیزهای غرق و شناور سازی قرار گرفت و ضرایب توزیع محاسبه گردید. (جدول ۲)

جدول۲ : ضرایب توزیع کنسانتره برای جداکننده های واسطه سنگین

	ضریب توزیع محصول شناور شده در دانسیته های مختلف							بازیابی وزنی٪
	-۱/۳	۱/۳-۱/۴	۱/۴-۱/۵	۱/۵-۱/۶	۱/۶-۱/۷	۱/۷-۱/۸	+۱/۸	
جداکننده اول (۱/۴۵ g/cm^3)	۹۸/۶۵	۹۳/۱۲	۳۸/۰۴	۶/۳۴	۱/۴	۰/۳۷	۰/۰۴	۳۸
جداکننده اول (۱/۷ g/cm^3)	۱۰۰	۹۹/۸۸	۹۹/۶۲	۹۹/۳۰	۸۴/۰۷	۳۸/۵۵	۰/۶۷	۵۱
جداکننده دوم (۱/۴۵ g/cm^3)	۹۹/۴۳	۹۷/۰۸	۵۵/۹	۱۱/۳۸	۱/۵۵	۱/۲۴	۱/۰۲	۷۶

داده های جدول فوق بایستی توسط یک مدل ارائه شوند. این داده ها با مدلهای مختلفی برازش داده شده اند و بهترین مدل (مدلی که کمترین انحراف برازش را دارد) انتخاب گردیده است[۱۴]. ضرایب توزیع آزمایشی و داده های بدست آمده از مدل در جدول۳ نمایش داده شده است.

همانگونه که از جدول۳ پیداست ضریب نقص در دو جداکننده برابر ۰/۰۳ می باشد و خطای احتمال در دانسیته ۱/۴۵ گرم بر سانتی متر مکعب در هر دو جداکننده برابر ۰/۰۴ و در دانسیته ۱/۷ برابر ۰/۰۵ است.

منحنی های توزیع مربوط به دو جداکننده نیز در شکلهای ۳ و۴ نمایش داده شده است.

در یک جداکننده در عمل خطای احتمال بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۸ می‌باشد[۲]. بنابراین با توجه به نتایج فوق نتیجه می‌شود که جدایش در هر دو جداکننده بصورت کارا انجام می‌شود. همچنین بهترین مدل برای شبیه‌سازی کار جداکننده‌های واسطه سنگین به صورت زیر می‌باشد[۱۴].

جداکننده اول

$$y = 100\,[0.57 - 0.48\ \mathrm{tgh}\,[15.53\,(x - x_0)] - 0.04\,x] \qquad (۲۱)$$

جداکننده دوم

$$y = 100\,[0.52 - 0.50\ \mathrm{tgh}\,[12.73\,(x - x_0)] - 0.01\,x] \qquad (۲۲)$$

که در این معادلات **y** ضریب توزیع , **x** دانسیته و .**x** دانسیته جدایش است.

همچنین با توجه به معدلات ۲۱ و ۲۲ مقدار خطای احتمال برای هر دو جداکننده در دانسیته ۱/۴۵ برابر ۰/۰۴ و در دانسیته ۱/۷ برابر ۰/۰۵ بدست آمد. این خطای احتمال بدست آمده، خطای احتمال ظاهری می‌باشد. برای بدست آوردن خطای احتمال واقعی با توجه به رابطه ۱۲ و با داشتن مقدار D_X= ۰/۱ داریم:

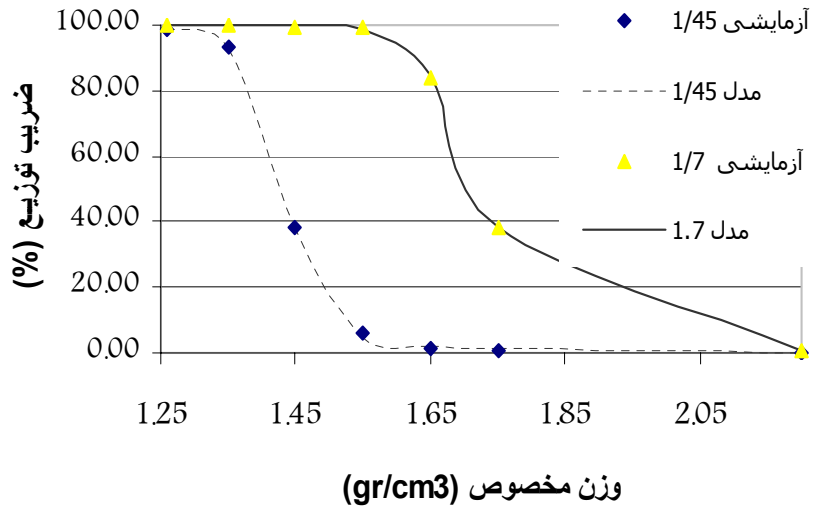
دانسیته ۱/۴۵ Ep=۰/۰۳ و r=۱/۱۸ سپس n^*=(۰/۱)/(۰/۰۴)=۲/۵

دانسیته ۱/۷ Ep=۰/۰۵ و r=۱/۰۹ سپس n^*=(۰/۱)/(۰/۰۵)=۲

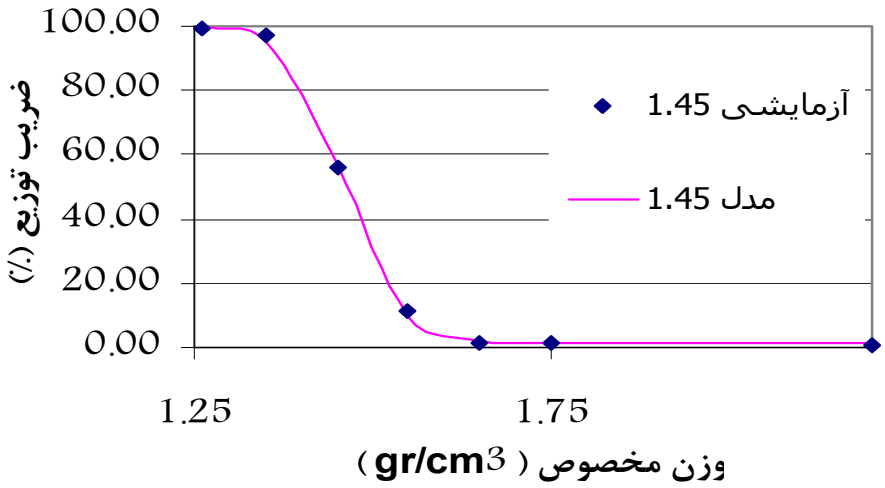
در این آزمایشات با توجه به استفاده از کلرید روی برای آزمایشات غرق و شناور سازی دقت این آزمایشات ۱۰۰ درصد در نظر گرفته می‌شود و بنابراین تاثیر دقت ظروف در نظر گرفته نمی‌شود.

جدول۳ : ضرایب توزیع آزمایشی و مدل برای جداکننده های مختلف

جرم مخصوص	جداکننده اول (۱/۴۵)		جداکننده اول(۱/۷)		جداکننده دوم (۱/۴۵)	
	آزمایشی	مدل	آزمایشی	مدل	آزمایشی	مدل
-۱/۳	۹۸/۶۵	۹۹/۱۷	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۴۳	۱۰۰
۱/۴-۱/۳	۹۳/۱۲	۹۲/۴۷	۹۹/۸۸	۱۰۰	۹۷/۰۸	۹۵/۳۷
۱/۵-۱/۴	۳۸/۰۴	۳۸/۳۸	۹۹/۶۲	۱۰۰	۵۵/۹	۵۶/۵۹
۱/۶-۱/۵	۶/۳۴	۴/۷۶	۹۹/۳۰	۹۸/۶۷	۱۱/۳۸	۱۰/۲۷
۱/۷-۱/۶	۱/۴	۲	۸۴/۰۷	۸۴/۲۵	۱/۵۵	۲/۰۴
۱/۸-۱/۷	۰/۳۷	۱/۴۹	۳۸/۵۵	۳۸/۵	۱/۲۴	۱/۳۱
+۱/۸	۰/۰۴	۰	۰/۶۷	۰/۶۸	۱/۰۲	۱/۲۵
SGS		۱/۴۳		۱/۷۳		۱/۴۶
Ep		۰/۰۴		۰/۰۵		۰/۰۴
Im		۰/۰۳		۰/۰۳		۰/۰۳
انحراف برازش		۰/۸۵		۰/۴۲		۰/۹۹



شکل۳ : منحنی های توزیع مربوط به جداکننده اول



شکل۴ : منحنی های توزیع مربوط به جداکننده دوم

نتیجه‌گیری

۱) بررسی کارایی جداکننده‌های واسطه سنگین نشان می‌دهد که خطای احتمال ظاهری (E^*p) در این جداکننده‌ها به ترتیب ۰/۰۵ و۰/۰۴می‌باشد و خطای احتمال حقیقی (Ep) برابر ۰/۰۵ و ۰/۰۳ است.

۲) مقایسه خطای احتمال بدست آمده برای این جداکننده با خطای احتمال در نظر گرفته شده در طرح کارخانه برای این جداکننده‌ها (۰/۰۵ و۰/۰۴) نشان می‌دهد که کارایی این جداکننده‌ها بالا می‌باشد.

۳) برازش داده‌های توزیع بدست آمده از جداکننده‌های واسطه سنگین کارخانه زغالشویی زرند با مدلهای مختلف و با توجه به کمترین انحراف برازش نشان می‌دهد که برای شبیه‌سازی کار این واحد بایستی برای دو جداکننده روابط زیر را درنظر گرفت.

$$y = 100\,[0.57 - 0.48\ \mathrm{tgh}\,[15.53\,(x - x_0)] - 0.04\,x]$$

جداکننده اول

$$y = 100\,[0.52 - 0.50\ \mathrm{tgh}\,[12.73\,(x - x_0)] - 0.01\,x]$$

جداکننده دوم

قدردانی

بدینوسیله از مسئولین شرکت زغالسنگ کرمان خصوصا مدیر عامل محترم جناب آقای مهندس کاشیگر تشکر نموده و برای ایشان آرزوی موفقیت روزافزون را دارم.

مراجع

۱) LEONARD, J.W. : *Coal Preparation*, ٤th edn., The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers Inc., New York, ۱۹۷۹.

۲) رضایی، بهرام : تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (پر عیار سازی ثقلی)، انتشارات دانشگاه هرمزگان، بندر عباس، ۱۳۷۷.

۳) KHARKOV : *Technical Project for Construction of the Washability Plant No.۱ (IRAN), Explanatory Report* , Zarand, Kerman, ۱۹۷۰.

٤) سام، عباس و همکاران (مترجم) : بررسی فنی کارخانه زغالشویی زرند توسط شرکت AMCL کانادا، واحد انتشارات مرکز تحقیق و توسعه شرکت زغالسنگ کرمان، زرند، ۱۳۸۰.

۵) نعمت‌اللهی، حسین :*کانه‌آرایی*،چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران،۱۳۷۵.

۶) GOTTFRIED, S. : A Generalization of Distribution Data for Characterizing The Performance of Float-Sink Coal Cleaning Devices, International Journal of Mineral Processing ۵, Amsterdam, Netherlands, ۱۹۷۸.

۷) FERRARA, G., BEVILACQUA, P. : Relationship Between Apparent and Actual Partition Curves of Gravity Separation Processes, Proceedings of the XIX IMPC, SME, New York, American, Vol. ۲, P.P. ۱۳۱-۱۳۸،۱۹۹۵.

۸) BURT, R. : Gravity Concentration Technology, Developments in Mineral Processing, Vol ۵, Elsevier Science Publishers B.V, Amsterdam, Netherlands, ۱۹۸٤.

۹) WILLS, B. A. : Mineral Processing Technology , ۶th Edn., Butterworth Heinemann Publisher, Britain, ۱۹۹۷.

۱۰) REID, K.J., Lumaixi, Shenggui, Z. : Computer Relibility Analysis of Coal-Cleaning Distribution Curves, International Journal of Mineral Processing,۱٤, Amsterdam, Netherlands, ۱۹۸۵.

۱۱) Atesok, G. And Arsnal, C. : Sampling of Coal, in Coal, ed. O. Kural, ۲۰۷, Istanbul, ۱۹۹٤.

۱۲) OSBORNE, D.G : Coal Preparation Technology, Vol. ۱, Graham & Trotman Limited, Jakarta, Indonesia, ۱۹۸۸.

۱۳) کازرانی‌نژاد، رضا : تعیین شاخص شستشوپذیری زغالسنگهای کرمان، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، بخش مهندسی معدن، خرداد، ۱۳۸۱.

۱٤) لورک آقا، غلامعباس : ارزیابی عملکرد واحد واسطه سنگین کارخانه زغالشویی زرند، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، بخش مهندسی معدن، آبان، ۱۳۸۱.