

انتخاب قطر هیدروسیکلون با استفاده از فاکتور اصلاح شده جرم مخصوص ذرات جامد

محمد رنجبر^۱، عباس سام^{۲*}

۱- مربی دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی معدن؛ Email: m_ranjbar@mail.uk.ac.ir

۲- استادیار دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی معدن؛ Email: sam@mail.uk.ac.ir

(دریافت ۱۱ دی ۱۳۸۸، پذیرش ۱۲ آبان ۱۳۸۹)

چکیده

به طور معمول انتخاب هیدروسیکلون در یک مدار فراوری، بر طبق ضوابط و دستورالعمل‌هایی صورت می‌گیرد. اما انتخاب این وسیله در مدار فراوری زغالسنگ، به دلیل خصوصیات ذاتی زغالسنگ، پیچیدگی‌های خاصی دارد. در این تحقیق نقش فاکتور جرم مخصوص ذرات جامد مهم است. با مطالعه خصوصیات تهریز تیگنرهای ۱۸ متری کارخانه زغالشویی زرنند که بار اولیه هیدروسیکلون را تشکیل می‌دهد، فاکتور سوم طراحی هیدروسیکلون تصحیح و بر اساس آن، قطر هیدروسیکلون انتخاب شد. بر اساس نتایج، قطر پیشنهادی هیدروسیکلون تقریباً معادل ۳۷ سانتی‌متر به دست آمد.

کلمات کلیدی

هیدروسیکلون، فاکتورهای طراحی، زغالسنگ، کارخانه زغالشویی زرنند

* نویسنده مسئول و عهده‌دار مکاتبات

۱- مقدمه

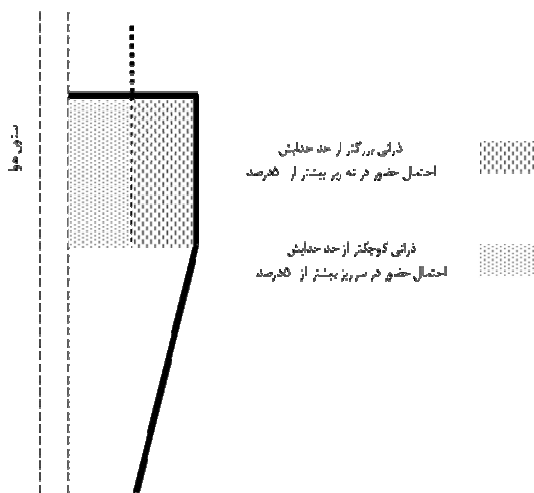
سال‌هاست که هیدروسیکلون به‌عنوان یک کلاسیفایر (طبقه بندی کننده) مناسب در صنایع مختلف به‌کارگرفته شده است. گستره ابعادی وسیع و همچنین عدم نیاز به مراقبت‌های هزینه بر، متخصصین را برآن داشت تا این وسیله را جایگزین وسایل بزرگ و هزینه‌بری مانند کلاسیفایر پارویی، کلاسیفایر مارپیچی در مدارکنند. امروزه هیدروسیکلون‌ها برای جدایش و طبقه‌بندی و یا تغییر درصد فازها در جریان‌های جامد- مایع و مایع- مایع استفاده می‌شوند [۱].

هیدروسیکلون وسیله‌ای استوانه‌ای- مخروطی است که پالپ حاوی ذرات در اندازه‌های متفاوت به طورمماسی وارد آن شده و طی حرکت دورانی پالپ و براساس نیروهای موثر (وزن، گریز از مرکز و مقاومت سیال) ذرات به دو دسته دانه‌درشت و دانه‌ریز تقسیم می‌شوند. مواد دانه‌ریز بیشتر تحت‌تاثیر نیروی مقاومت سیال قرارگرفته و به سمت مرکز هیدروسیکلون (منطقه کم‌فشار) حرکت کرده و از طریق لوله بالای هیدروسیکلون به خارج منتقل می‌شوند (سرریز). ذرات درشت سنگین بر اثر نیروی گریز از مرکز به سمت دیواره هیدروسیکلون هدایت شده و بر اثر نیروی وزن از طریق دهانه تعبیه شده در پایین هیدروسیکلون (apex)، خارج می‌شوند (ته‌ریز) [۲]. کیفیت طبقه‌بندی هیدروسیکلون به عواملی از قبیل خصوصیات هندسی و عملیاتی، به‌ویژه شرایط خوراک- دهی فاز جامد که شامل تناژ و درصد جامد خوراک و یا رقت پالپ است، بستگی دارد. توزیع اندازه ذرات محصول طبقه‌بندی شده، با تغییر این عوامل، تغییر می‌کند [۳]. برای انتخاب و طراحی ابعاد و تعداد هیدروسیکلون‌ها در یک مدار فرآوری، انجام آزمایش‌های مقدماتی و بررسی و تایید نتایج به کمک آزمایش‌های نیمه‌صنعتی الزامی است [۴]. همچنین به کمک جداول، روابط و نمودارهایی که از سوی سازندگان هیدروسیکلون‌ها ارائه می‌شود، می‌توان انتخاب اولیه را انجام داد. یکی از روش‌های انتخاب هیدروسیکلون، انتخاب بر اساس نوع استاندارد است. در هیدروسیکلون‌های استاندارد، بین ابعاد هندسی (قطر سیکلون، دهانه سرریز، ته ریز، سطح مقطع دهانه ورودی و ارتفاع آن) نسبت‌های مشخصی وجود دارد. قطر هیدروسیکلون از جمله عوامل اساسی آن بوده و سایر عوامل ذکر شده بر اساس قطر هیدروسیکلون تعیین می‌شوند. به‌عنوان مثال، قطر دهانه سرریز معادل ۰/۳۵، قطر ته‌ریز ۰/۱ تا ۰/۳ و قطر دهانه ورودی نیز ۰/۲۵ قطر هیدروسیکلون است [۵]. معمولاً سرریز هیدروسیکلون‌ها باید دانه‌بندی مشخصی داشته باشد که به‌طور معمول برحسب درصد عبور کرده از دهانه

مشخص (میکرون) بیان می‌شود (جدول ۱). در این جدول k ضریب مربوطه و O درصد توزیع ابعادی سرریز بر حسب درصد عبور کرده از سرند مشخص (بر حسب میکرون) است. حال حاصل‌ضرب ضریب مربوطه در اندازه چشمه سرند مورد نظر، حد جدایش عملیاتی هیدروسیکلون را به دست می‌دهد [۶]. همان‌طور که مشخص است حد جدایش در هیدروسیکلون اندازه‌های است که احتمال حضور ذراتی با این اندازه، در هر دو جریان سرریز و ته‌ریز یکسان (۰/۵ یا ۰/۵۰٪) است. با توجه به شکل ۱، با نزدیک شدن خط مرزی حد جدایش به دیواره هیدروسیکلون، احتمال حضور ذرات در ته‌ریز افزایش یافته و بالعکس با نزدیک شدن به ستون هوا احتمال حضور ذرات در سرریز افزایش خواهد یافت. با فرض حد جدایش هیدروسیکلون معادل d ، اگر خط مرزی مربوط به حد جدایش به سمت دیواره حرکت کند، در این صورت احتمال حضور ذراتی با اندازه d در سرریز که قبلاً ۰/۵ بوده، از ۰/۵ بیشتر خواهد شد. به‌طور مشابه اگر خط مرزی حد جدایش به سمت ستون هوا حرکت کند، احتمال حضور ذراتی با اندازه d به ته‌ریز که قبلاً ۰/۵ بوده است، از ۰/۵ بیشتر خواهد شد [۷] و [۸].

جدول ۱: تغییرات ضریب حد جدایش نسبت به توزیع دانه بندی [۶]

k	۰/۵۴	۰/۷۳	۰/۹۱	۱/۲۵	۱/۶۷	۲/۰۸	۲/۷۸
%O	۹۸/۸	۹۵	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰



شکل ۱: تحلیل فیزیکی حد جدایش

برای انتخاب هیدروسیکلون در شرایط عملیاتی (حالت غیر استاندارد) باید ضرایبی برای تصحیح و تبدیل شرایط استاندارد در معادلات لحاظ گردد تا بتوان از روابط و جداول ارائه شده

این روند برای تمام ظروف انجام شده، در نهایت ظرف آخر دو محصول، یکی مواد شناور شده و دیگری غرق شده نهایی را تولید می‌کند. مواد شناور شده به همراه مواد غرق شده در ظرف آخر را تحت عملیات آنالیز سرندهی قرار داده و از نتایج آن برای تخمین سهم ذرات با چگالی پایین و سهم ذرات با چگالی بالا استفاده می‌شود. با فرض این‌که بعد از انجام آنالیز، غرق و شناورسازی معین شد، چگالی‌های $\rho_{HM_1}, \rho_{HM_2}, \dots, \rho_{HM_r}$ بخش چگالی سبک و $\rho_{HM_n}, \rho_{HM_{n-1}}, \dots, \rho_{HM_{r+2}}, \rho_{HM_{r+1}}$ بخش چگالی سنگین نمونه باشند، می‌توان ضریب c_3 را برای هریکس به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\begin{aligned} \text{if } \sigma_s = \rho_{HM_1} &\Rightarrow (c_3)_1 = p_1 \\ \text{if } \sigma_s = \rho_{HM_2} &\Rightarrow (c_3)_2 = p_2 \\ &\dots \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{if } \sigma_s = \rho_{HM_r} \Rightarrow (c_3)_r = p_r$$

در مورد بخش چگالی سنگین نیز می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} \text{if } \sigma_s = \rho_{HM_{r+1}} &\Rightarrow (c_3)_{r+1} = p_{r+1} \\ \text{if } \sigma_s = \rho_{HM_{r+2}} &\Rightarrow (c_3)_{r+2} = p_{r+2} \\ &\dots \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{if } \sigma_s = \rho_{HM_n} \Rightarrow (c_3)_n = p_n$$

در این حالت می‌توان با ترکیب ضرایب در هر بخش، ضریب کلی دو بخش را محاسبه کرد:

$$\begin{aligned} l.d \Rightarrow (c_3)_l &= \alpha(p_1 + p_2 + \dots + p_r) \\ &= \alpha \sum_{i=1}^r p_i = c' \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} h.d \Rightarrow (c_3)_h &= (1 - \alpha)(p_{r+1} + p_{r+2} + \dots + p_n) \\ &= (1 - \alpha) \sum_{i=r+1}^n p_i = c'' \end{aligned} \quad (9)$$

در نهایت c_3 کلی که برای انجام محاسبات بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به صورت زیر است:

$$(c_3)_{Final} = c' + c'' = \left[\alpha \sum_{i=1}^r p_i \right] + \left[(1 - \alpha) \sum_{i=r+1}^n p_i \right] \quad (10)$$

انتظار می‌رود ضریب نهایی بزرگتر از ضریبی باشد که با قرار دادن یک عدد در معادله به دست می‌آید.

استفاده کرد. معادله مربوط به حد جدایش عملیاتی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$d_{50c(application)} = d_{50c(base)} \times C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n \quad (1)$$

که در این معادله C_1 ها ضرایب تصحیح هستند که مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر هستند:

$$C_1 = \left(\frac{53 - v}{53} \right)^{-1.43} \quad (2)$$

$$C_2 = 3.27(\Delta P)^{-0.28} \quad (3)$$

$$C_3 = \sqrt{\frac{1.65}{\sigma_s - \sigma_l}} \quad (4)$$

در این روابط C_1 ضریب تصحیح درصد حجمی جامد خوراک ورودی، C_2 ضریب تصحیح افت فشار، C_3 ضریب تصحیح چگالی جامد، v درصد حجمی جامد خوراک، ΔP افت فشار خوراک، σ_s چگالی جامد و σ_l چگالی سیال است [6]. در مورد زغال-سنگ باید به این نکته توجه شود که در حین شستشوی زغال مشاهده می‌شود، ذرات درشت زغال سبک‌ترند. به عبارت دیگر تغییرات وزن در آنها نسبت به اندازه، مقداری منفی است. این ناهمگونی مشکلات زیادی را در فرایند انتخاب هیدروسیکلون برای زغال به وجود خواهد آورد. به همین دلیل لازم است با تغییر ضرایب مربوطه و یا ارائه ضریب جدیدی بتوان شرایط را برای استفاده از نمودارها و جداول موجود مهیا کرد. از بین سه ضریب گفته شده می‌توان دریافت، با توجه به اختلاف بین چگالی در ابعاد مختلف، قرار دادن یک عدد در رابطه مربوط به معادله C_3 کار نادرستی خواهد بود. بنابراین نشان دادن چگالی مجموعه ذرات زغال موجود در پالپ با یک عدد و تحلیل بر مبنای آن به نتیجه‌ای نخواهد رسید. اما می‌توان با تقسیم خوراک به دو بخش چگالی، که با آنالیز غرق و شناورسازی به دست می‌آید، مشکل را حل کرد.

با فرض این‌که M گرم پالپ از خوراک ورودی به هیدروسیکلون برای انجام آنالیز غرق و شناور سازی تهیه شده است. چگالی محیط‌های ایجاد شده عبارتند از: $\rho_{HM_1}, \rho_{HM_2}, \dots, \rho_{HM_n}$ که ρ_{HM_i} چگالی محیط سنگین در ظرف i ام است. واضح است که:

$$\rho_{HM_n} > \rho_{HM_{n-1}} > \dots > \rho_{HM_2} > \rho_{HM_1} \quad (5)$$

نمونه ابتدا داخل سبک‌ترین محیط (محیطی با پایین‌ترین چگالی) ریخته شده و سپس موادی که سنگین‌تر از چگالی محیط بوده و "غرق شده‌اند" به محیط بعدی منتقل می‌شوند.

$$250 \times 1.25 = 1.13 \times 1.47 \times 2.17 \times d_{50c(base)}$$

$$d_{50c(base)} = 86.66 \mu m$$

در این رابطه بر اساس شرایط موجود، عدد ۱/۲۵ از جدول ۱ انتخاب شده است. با توجه به حد جدایش پایه قطر هیدروسیکلون به صورت زیر قابل محاسبه است [۱۰]:

$$d_{50c(base)} = 2.84 \times D^{0.66} \Rightarrow D^{cm} = 0.2 \times d_{50c(base)}^{1.51} \quad (11)$$

$$\Rightarrow D = 168.7 cm$$

کاملاً مشخص است که هیدروسیکلونی با این قطر ساخته نمی‌شود و به‌طور کلی استفاده از هیدروسیکلونی با این قطر از لحاظ عملیاتی با توجه به تناژ خوراک مورد نظر به هیچ وجه امکان‌پذیر نخواهد بود.

۳-۲- انتخاب قطر بر اساس روش تصحیح شده

با انجام آنالیز غرق و شناورسازی نمونه‌ای که از تهریز تیکتر برداشته شده است، جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است کل نمونه‌ای که تحت عملیات آنالیز غرق و شناورسازی قرار گرفته است، ۵۰/۵ گرم است. در این حالت با انجام محاسبات مربوط به درصد حضور ذرات با ابعاد مختلف در چگالی‌های مختلف، درصد حضور ذرات با ابعاد مختلف در چگالی‌های مختلف نسبت به کل نمونه قابل محاسبه است. قابل ذکر است که درصد ذرات با ابعاد مختلف در تهریز تیکتر مطابق جدول ۳ است. در این جدول $p(x)$ سهم ذرات با اندازه متوسط x را در کل نمونه نشان می‌دهد. بعد از انجام محاسبات می‌توان درصد حضور ذرات با ابعاد مختلف در چگالی‌های مختلف در خوراک ورودی را در شکل ۳ مشاهده کرد.

جدول ۲: نتایج آنالیز غرق و شناور سازی ته ریز تیکتر (بر حسب درصد)

محدوده ابعادی (میکرون)					محدوده چگالی
-۳۰۰	-۵۰۰	-۷۱۰	-۱۰۰۰	+۱۰۰۰	
+۱۵۰	+۳۰۰	+۵۰۰	+۷۱۰		
۶/۴۹	۶/۵۱	۹/۱۹	۹/۳۳	۲۱/۱۳	۱/۳ شناور
۲/۹۴	۴/۳۴	۴/۴	۳/۸	۶/۱۵	۱/۴ شناور
۲/۵	۲/۴۲	۲/۵	۱/۷۲	۱/۶	۱/۵ شناور
۱/۷۴	۱/۴۶	۱	۰/۷۶	۰/۶۴	۱/۶ شناور
۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۴	۰/۸	۰/۶۸	۱/۸ شناور
۴/۸۸	۳/۴۲	۱/۶۲	۰/۶۲	۰/۳۲	۱/۸ غرق

۲- روش تحقیق

در کارخانه زغالشویی زرنند به دلیل وجود تقریباً "۴۰٪ ذرات بالای ۵۰۰ میکرون در تهریز تیکتر با خاکستر متوسط ۱۴٪، و پایین بودن توانایی فلوتاسیون در بازایی این بخش ابعادی، تصمیم گرفته شد تا این جریان را به جای ارسال به مدار فلوتاسیون، به مدار هیدروسیکلون ارسال نموده که در نتیجه آن سرریز هیدروسیکلون به سمت بخش فلوتاسیون و ته-ریز آن به سمت مدار ماریچ فرستاده شود. با نمونه‌برداری از این جریان (ته ریز تیکتر) مشخص شد که درصد حجمی جامد آن به طور تقریبی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد است. برای انتخاب اندازه و تعداد هیدروسیکلون مورد نیاز، نمونه مورد نظر تحت عملیات آنالیز غرق و شناورسازی قرار گرفت. چگالی محیط‌های سنگین ایجاد شده به ترتیب عبارتند از: ۱/۳، ۱/۴، ۱/۵، ۱/۶ و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب. مواد شناور شده هر بخش به همراه بخشی از مواد که در محیط ۱/۸ غرق شده اند، تحت عملیات آنالیز سرندی قرار گرفتند. قابل ذکر است که ذرات کوچکتر از ۱۵۰ میکرون به دلیل زمان‌بر بودن آنالیز غرق و شناورسازی آن‌ها و همچنین به دلیل ایجاد تلاطم در محیط با هر مرحله جداسازی مواد شناور شده، قبل از انجام آنالیز غرق و شناورسازی با سرند ۱۵۰ میکرون شسته می‌شدند. همچنین هدف از نصب هیدروسیکلون در مدار، انتقال ۸۰٪ ذرات کوچک‌تر از ۲۵۰ میکرون به سرریز هیدروسیکلون بود [۹].

۳- ارائه یافته‌ها و تحلیل نتایج

۳-۱- انتخاب قطر بر اساس روش‌های موجود

با توجه به شرایط گفته شده جهت تناسب خصوصیات سرریز هیدروسیکلون با خوراک مدار فلوتاسیون، می‌توان هیدروسیکلون را انتخاب کرد. مطابق روش‌های موجود، ابتدا به محاسبه ضرایب تصحیح پرداخته و سپس با استفاده از روابط موجود قطر هیدروسیکلون را انتخاب نمود. با استفاده از روابط موجود، ضرایب تصحیح به شکل زیر به دست آمدند:

$$c_1 = \left(\frac{53 - 12.5}{53} \right)^{-1.43} = 1.43$$

$$c_2 = 3.27 \times (45)^{-0.28} = 1.13$$

$$c_3 = \sqrt{\frac{1.65}{1.45 - 1.1}} = 2.17$$

با توجه به ضرایب به دست آمده، حد جدایش پایه که بر اساس آن بتوان قطر هیدروسیکلون را انتخاب کرد، به صورت زیر محاسبه شد:

حال با داشتن این ضریب و ضرائب مربوط به افت فشار و درصد حجمی جامد خوراک که در زیر محاسبه می شود، می توان قطر مورد نظر برای هیدروسیکلون را انتخاب نمود.

$$C_1 = \left(\frac{53 - 12.5}{53} \right)^{-1.43} = 1.47$$

$$C_2 = 3.27(45)^{-0.28} = 1.13$$

حال با داشتن این مقادیر با استفاده از رابطه ۱ می توان حد جدایش پایه را محاسبه کرد:

$$250 \times 1.25 = 1.13 \times 1.47 \times 5.92 \times d_{50c(base)}$$

$$d_{50c(base)} = 31.77 \mu m$$

با توجه به این مقدار و نیز با استفاده از رابطه ۱۱، قطر هیدروسیکلون معادل ۳۷ سانتی متر محاسبه می شود. پس از نصب هیدروسیکلون در مدار، نتایج نشان داد سرریز هیدروسیکلون قبل از فرایند بهینه سازی، تقریباً ۶۵٪ ذرات زیر ۲۰۰ میکرون را به سمت مدار فلوتاسیون انتقال می دهد [۱۱].

جدول ۴: ضرایب تصحیح اولیه مربوط به چگالی

چگالی	۲/۲	۱/۷	۱/۵۵	۱/۴۵	۱/۳۵	۱/۲۲
فاکتور تصحیح اولیه	۱/۱۷	۱/۵۴	۱/۷۳	۱/۹۱	۲/۱۷	۲/۵۷

۴- نتیجه گیری

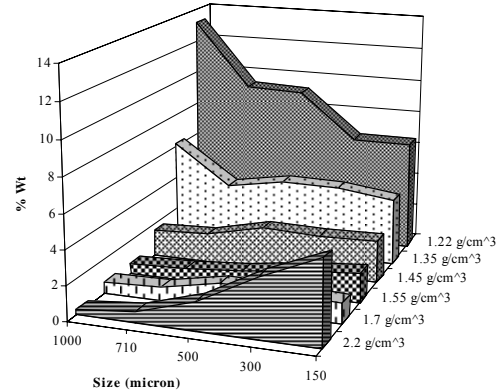
۱- یکی از فاکتورهای مهم در فرایند انتخاب هیدروسیکلون برای مدارهای فرآوری زغال سنگ، فاکتور تصحیح جرم مخصوص ذرات جامد است. تحلیل ها نشان می دهند در صورتی که از یک عدد به عنوان چگالی متوسط ذرات نمونه استفاده گردد، قطر به دست آمده برای هیدروسیکلون کاملاً "غیرواقعی خواهد بود.

۲- آزمایش ها نشان دادند، با توجه به خصوصیت ذاتی زغال سنگ، در یک بازه مشخص از چگالی، ذرات خوراک هیدروسیکلون با چگالی بالا نسبت به ذرات با چگالی پایین ابعاد ریزتری دارند.

۳- به منظور انتخاب هیدروسیکلون مناسب برای طبقه بندی زغال سنگ، با توجه به شرایط موجود تاثیر چگالی و سهم ذرات با چگالی بالا و پایین در فاکتور تصحیح جرم مخصوص اعمال گردید. به عبارت دیگر، خوراک ورودی به دو بخش چگالی بالا و پایین تقسیم شد و پس از آن با توجه به سهم هر بخش، فاکتور تصحیح محاسبه گردید. آزمایش ها نشان دادند که می توان خوراک

جدول ۳: سهم ذرات با ابعاد مختلف در کل نمونه

(۱۰۰۰) P	(۷۱۰) P	(۵۰۰) P	(۳۰۰) P	(۱۵۰) P
۲۲/۶	۱۷/۰۲	۲۰/۱۴	۱۹/۴۶	۲۰/۷۸



شکل ۲: درصد حضور ابعاد مختلف در چگالی های مختلف نسبت به کل نمونه

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود، با افزایش چگالی ذرات، سهم ذرات ریز در کل نمونه افزایش یافته است و بالعکس با کاهش چگالی ذرات سهم ذرات درشت در کل نمونه بیشتر شده است. این نتیجه دقیقاً همان مشکلی است که در فرایند انتخاب هیدروسیکلون برای زغال و یا هر ماده دیگری که این خاصیت را از خود نشان می دهد، وجود دارد. با محاسبات انجام گرفته می توان گفت تقریباً ۶۷ درصد از کل نمونه دارای چگالی کمتر از ۱/۴ هستند که این نکته به صورت تقریبی نیز از شکل ۳ مشخص است. سپس نمونه به دو بخش چگالی سبک و سنگین تقسیم شد:

$$L.d : \begin{cases} \rho_1 = 1.22 \\ \rho_2 = 1.35 \\ \rho_3 = 1.45 \end{cases} \quad H.d : \begin{cases} \rho_1 = 1.55 \\ \rho_2 = 1.7 \\ \rho_3 = 2.2 \end{cases}$$

که L.d و H.d به ترتیب بخش چگالی های سبک و سنگین هستند. محاسبه ضریب C_3 برای هر بخش چگالی در جدول ۴ آمده است. با استفاده از سهم به دست آمده برای ذرات سبک و سنگین در نمونه می توان با استفاده از رابطه ۱۰ مقدار نهایی ضریب تصحیح جرم مخصوص ذرات جامد در انتخاب هیدروسیکلون را به دست آورد:

$$C_{Final} = 0.67 \times (2.57 + 2.17 + 1.91) + 0.33 \times (1.73 + 1.54 + 1.17) = 5.92$$

[4] رضایی، بهرام؛ ۱۳۷۶؛ "تکنولوژی فراوری مواد معدنی: خردایش و طبقه‌بندی"، انتشارات موسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور، ۴۶۹-۴۶۴.

[5] Napier-Munn, T.J., et al.; 1999; "*Mineral Comminution Circuits: Their Operation and Optimization*", Published by Julius Kruttschnitt Mineral Research Center (JKMRC), pp, 318-322.

[6] Olson, T.J.; Turner, P.A.; 2002; "*Hydrocyclone Selection for Plant Design*", Proceedings of the Mineral Processing Plant Design, Practice and Operation (vol. 1), pp. 880-893.

[7] Kelly, E.G.; Spottiswood, D.J.; 1989; "*Introduction to mineral Processing*", pp. 213-216.

[8] Frachon, M.; Cilliers, J. J.; 1999; "*A general model for hydrocyclone partition curves*", Chemical Engineering Journal, vol. 73, pp. 53-59.

[9] رنجبر، محمد؛ ۱۳۸۷؛ "بهینه‌سازی عملکرد هیدروسیکلون های کارخانه زغالشویی زرنند"، پایانه نامه تحصیلی جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[10] Wills, B. A., Napier-Munn, T.J.; 2005; "*Mineral Processing Technology*", Seventh Edition, Elsevier Science & Technology Books, pp. 217-223.

[۱۱] سام، عباس؛ ۱۳۸۸، "طراحی، ساخت و نصب خوشه هیدروسیکلون، جهت نرمة گیری خوراک مدار ماریچ و بهینه‌سازی عملکرد آن، در کارخانه زغالشویی زرنند"، طرح پژوهشی: مجری: دانشگاه شهید باهنر کرمان، کارفرما: سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران.

ورودی به هیدروسیکلون را به دو محدوده با چگالی ۱/۴۵-۱/۲۲ و ۱/۴۵-۲/۲ گرم بر سانتی مترمکعب که به ترتیب بخش سبک و سنگین هستند، تقسیم نمود. همچنین مشخص شد که حدود ۶۷٪ از کل نمونه، دارای چگالی کمتر از ۱/۴ است.

۴- با توجه به محاسبات انجام شده، فاکتور تصحیح جرم مخصوص معادل ۵/۹۲ به دست آمد و با استفاده از آن هیدروسیکلونی با قطر ۳۷ سانتی متر جهت طبقه‌بندی تهریز تیکنرهای ۱۸ متری انتخاب گردید.

۵- قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران به سبب حمایت های مالی تقدیر به عمل می‌آورد.

منابع

[1] Zhao, Lixin, et al.; 2008; "*Experimental study of a hydrocyclone under cyclic flow conditions for fine particle separation*", Separation and Purification Technology, vol. 59, pp. 183-189.

[2] Davis, P.K.; Clendenin, H.B.; Peter, M.M.; 1984; "*Design characteristic of the hydrocyclone for the recovery of coal fines*", 2nd International Conference on Hydrocyclones.

[3] Matvienko, O.V.; Dueck, J.; 2006; "*Numerical study of the separation characteristics of a hydrocyclone under various conditions of loading of the solid phase*", Theoretical foundations of Chemical Engineering, vol.40, No. 2, pp. 203-208.