شبیه سازی حالت پایدار هیدروسیکلون در صفحه گسترده Excel

مهدی ایران نژاد[۱]*، اکبر فرزانگان[۲] و سید محمد رضویان [۳]

۱- عضو هیأت علمی، دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی ،دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

[۱]**E-mail:iranajad@yahoo.com**

[۲]**E-mail:A.Farzanegan@kashanu.ac.ir**

چکیده

مدلسازی ریاضی و شبیه سازی رایانه ای، روشهای مؤثر و مفیدی جهت طراحی، تحلیل، بهینه سازی و کنترل خودکار عملیات واحد مختلف می باشند که در صنایع فرآوری مواد معدنی اخیراً گسترش فراوانی یافته است. با توجه به اینکه طبقه بندی مواد دانه ای از زیرفرآیندهای مهم در مسیرهای فرآوری به شمار می رود، مدلسازی و شبیه سازی هیدروسیکلون ها که بیشترین کاربرد را در طبقه بندی دارند، حایز اهمیت است. در این مقاله سعی شده است تا به کمک صفحه گسترده اکسل (Excel) یک برنامه شبیه سازی برای هیدروسیکلون ارایه شود. مدلی که در این شبیه ساز مورد استفاده قرار گرفته است، مدل شناخته شده پلیت (Plitt) برای هیدروسیکلون است. پارامترهای مدل پلیت شامل حد جدایش تصحیح شده، تیزی (دقت) جدایش، تقسیم جریان بین سرریز و ته ریز و افت فشار می باشند. همچنین مقادیر ثابتی که بر اساس آنها این متغیرها تعیین می شوند شامل قطر، دهانه ورودی، ته ریز و سرریز هیدروسیکلون و همچنین ویژگیهای بار ورودی می باشد. مدل رایج پلیت مستقل از توزیع اندازه خوراک بود به همین خاطر این مدل توسط فلینتاف (Flintoff) و همکارانش در سال ۱۹۸۷ اصلاح و ارایه شد و برای دقت بیشتر، ضرایب کالیبراسیون به روابط محاسبه پارامترها اضافه شد. از مزایای این شبیه ساز، قابلیت و سادگی کاربرد صفحه گسترده نسبت به نرم افزارهای تخصصی (که عمدتاً تحت سیستم عامل DOS هستند) می باشد. همچنین دسترسی و آشنایی اغلب کاربران به محیط اکسل، دسترسی آسان و سریع به داده ها جهت اصلاح یا تغییر شرایط عملیاتی، بررسی نحوه عملکرد هیدروسیکلون و ارایه داده های محصول به شکل جدول و نمودار جهت بررسی و تحلیل سریعتر و بهتر، از دیگر مزایای این شبیه ساز می باشد.

واژه های کلیدی: هیدروسکلون، شبیه سازی، مدل سازی، صفحه گسترده اکسل

---

*- تهران- دانشگاه امیر کبیر (پلی تکنیک)- دانشکده معدن، متالورژی و نفت

شماره تماس: ۰۹۱۲۲۱۸۵۱۰۳

۱-مقدمه

۱-۱- اهمیت موضوع

امروزه اهمیت و کاربرد شبیه سازی و مدل سازی فرآیندها و تجهیزات صنعتی بر کمتر کسی پوشیده است. گسترش صنایع در عصر حاضر و افزایش هزینه های موجود از جمله انرژی و همچنین رقابت شدید برای تهیه محصولی با کیفیت بالا و برآورد نیاز بازار، سبب شده است تا مهندسان فرآوری همواره به دنبال یافتن شیوه‌هایی جهت بهینه سازی فرآیندهای تولید باشند. یکی از بهترین و ارزان‌ترین روش برای نیل به چنین هدفی شبیه سازی رایانه‌ای فرآیند می‌باشد. از طرف دیگر امروزه ابزار سخت افزاری و نرم افزاری مورد نیاز برای شبیه‌سازی با سرعت چشمگیری گسترش یافته و با هزینه و زمان اندکی در اختیار کاربران قرار می گیرد. این عوامل باعث شده است که متخصصان هر رشته سعی کنند با ارایه مدلهای ریاضی مناسب و آشنایی با نرم افزارهای رایانه ای متناسب با رشته خود، فرآیندها و تجهیزات کاربردی پرهزینه و پر انرژی را شبیه سازی نموده و در اختیار شرکت‌ها قرار دهند. در همین راستا از چند دهه گذشته متخصصان رشته فرآوری مواد معدنی و رشته های مرتبط با آن در سراسر دنیا فعالیت وسیعی را برای شبیه‌سازی تجهیزات و فرآیندهای مختلف آغاز نموده‌اند و به تبع آن، مدل ها و نرم‌افزارهایی نیز به بازار ارایه شده اند که به صورت تجاری و رایگان در دسترس کاربران قرار دارند. هر یک از این نرم افزارها دارای مزایا و کاستی های مختلفی می باشند. به نظر می رسد فعالیت های لازم در جهت شبیه سازی کارخانه‌های فرآوری در کشور ما کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو پرداختن به این موضوع برای بهینه‌سازی برخی از این تجهیزات که در مقیاس صنعتی بسیار پر هزینه می‌باشند و مقدار زیادی انرژی نیز مصرف می کنند، می تواند بسیار حایز اهمیت باشد.

از دستگاههایی که در اکثر کارخانه های فرآوری مواد کاربرد فراوان دارد و شناخت نحوه عملکرد آن برای بالا بردن بهره‌وری تولید در کارخانه بسیار حایز اهمیت است، هیدروسیکلون می باشد. در این مقاله سعی بر آن است تا فعالیت انجام شده توسط نویسندگان این مقاله برای شبیه سازی این وسیله ارایه شود.

۱-۲- معرفی هیدروسیکلون

هیدروسیکلون وسیله ای است که به شکل ظرفی استوانه ای– مخروطی می باشد. مواد معمولا به صورت مخلوط جامد و آب از طریق دهانه ورودی و از مسیر لوله‌ای که مماس بر بخش استوانه ای در قسمت فوقانی آن است به داخل هیدروسیکلون جریان می یابند. به این لوله اصطلاحاً دهانه ورودی می گویند. سطح فوقانی بخش استوانه ای توسط درپوشی مسدود است که از مرکز آن در امتداد محور ظرف لوله ای نصب شده است که تا عمقی کمی پایین تر از محل ورود مواد به داخل این بخش امتداد یافته است. این لوله سرریز هیدروسیکلون نامیده می شود و دارای مقطع قابل تغییری می‌باشد که به آن هدایت کننده گرداب (vortex

finder) گفته می شود. در قسمت تحتانی ظرف یعنی در انتهای بخش مخروطی نیز استوانه‌ای با قطر قابل تغییر پیش بینی شده است که ته ریز هیدروسیکلون (apex) نامیده می شود[۱].

طبقه بندی در هیدروسیکلون به صورت غیر مستقیم و به کمک آب انجام می شود. بار اولیه تحت فشار از مسیر دهانه ورودی به طور مماسی وارد هیدروسیکون شده و سپس حرکت دورانی به خود می گیرد. چون پالپ در حال دوران است در مرکز آن خلأ ایجاد گردیده و سپس توسط هوا پر می شود. این بخش ستون هوا نامیده شده و از مسیر دهانه ته ریز به هوای خارج مرتبط است. ذرات موجود در پالپ ورودی به داخل هیدروسیکلون، تحت نیروهای مختلفی قرار می گیرند که مهمترین آنها دو نیروی گریز از مرکز و مقاومت سیال می باشند. جهت نیروی گریز از مرکز از داخل به سمت دیواره ها است که طی آن ذرات درشت و با جرم مخصوص زیاد تحت تأثیر این نیرو واقع شده و به سمت دیواره ها حرکت می کند و در امتداد جداره مخروطی به سمت دهانه ته ریز هدایت شده و سپس از آن خارج می شود. جهت نیروی مقاومت سیال از خارج به داخل است و ذرات را با سرعت ته نشینی کم به محور مرکزی هیدروسیکلون هدایت می کند و از طریق دهانه سرریز خارج می سازد[۲]. برای بررسی بازدهی هیدروسیکلون ها از منحنی توزیع ترامپ[۱] استفاده می شود. در این منحنی محور افقی نشان دهنده ابعاد ذرات بر حسب میکرون و محور قایم ضریب توزیع (درصدی از بار اولیه که به ته ریز وارد شده است) می‌باشد. حد جدایش معادل اندازه‌ای است که ۵۰ درصد ذرات با آن اندازه از ته ریز هیدروسیکلون خارج می‌شوند[۳]. پارامترهای مؤثر در بازدهی هیدروسیکلون شامل قطر هیدروسیکلون، قطر دهانه سرریز و ته ریز، فشار پالپ، رقت پالپ و غیره می باشد که در طراحی مدل باید مدنظر قرار گیرند.

۲- ابزار شبیه سازی

۲-۱- انواع مدل های کاربردی برای شبیه سازی هیدروسیکلون

مدلسازی دارای مفاهیم مختلفی است. در ارتباط با نمایش ریاضی فرآیندهای فیزیکی، مدلسازی می تواند به صورت های گوناگونی انجام گیرد. به طور کلی مدل ها به سه گروه بنیادی[۲]، تجربی[۳] و پدیده‌شناختی طبقه‌بندی می‌گردند. در زمینه مدلسازی هیدروسیکلون از نیم قرن گذشته فعالیت های گسترده ای در هر

[۱] Tromp

[۲] Fundamental

[۳] Empirical

سه نوع مدل صورت گرفته است. امروزه توجه به سوی مدلهای بنیادی با توجه به دقت آنها افزایش یافته است. به عنوان مثال بر اساس روش های دینامیک سیا لات محاسباتی (CFD) مدلهایی برای توصیف عملکرد هیدروسیکلون توسعه یافته‌اند. هرچند مدلهای بنیادی نسبت به مدلهای دیگر از دقت بالاتری برخوردارند، ولی به علت روابط پیچیده نیاز به صرف زمان بسیار دارند، به همین دلیل مدلهای دیگر که نسبت به مدل های بنیادی از روابط ساده تری برخوردارند، همچنان مورد توجه هستند. ضمن اینکه بعضی از مدل های تجربی در مقایسه با مدل های جدید دقت بالایی را نیز دارا می‌باشند، به همین دلیل در این شبیه سازی از روابط تجربی و شناخته شده پلیت[۱] به عنوان مدل ریاضی هیدروسیکلون استفاده شده است.

۲-۲-مدل پلیت

در سال ۱۹۷۶ میلادی پلیت مدل هیدروسیکلون خود را بر اساس داده های آزمایشگاهی بسیار فراوان و گسترده ارایه نمود. این مدل عملکرد هیدروسیکلون ها را با استفاده از چهار معادله تجربی توصیف می کند. در این مدل شاخص های اصلی عملکرد هیدروسیکلون حد جدایش تصحیح شده، تقسیم جریان بین سرریز و ته ریز، تیزی یا دقت جدایش و افت فشار می‌باشند. این پارامترها بر حسب متغیرهای عملیاتی و طراحی هیدروسیکلون محاسبه می شوند[۳].

لازم به ذکر است که پلیت برای به دست آوردن روابط اولیه خود برای افت فشار، تقسیم جریان بین سرریز و ته ریز، تعداد ۲۹۷ داده جمع آوری نمود که این داده ها از آزمایشاتی به دست آمده بودند که در آنها تنها از آب به عنوان فاز مایع استفاده شده است. مقادیر حد جدایش تصحیح شده برای همه این داده ها قابل دسترس نبود و تنها تعداد ۱۷۹ داده برای محاسبه آن به کار رفت. همچنین تنها ۱۶۲ آزمایش با نقاط داده‌ی کافی بالا و پایین حد جدایش تصحیح شده برای رسم منحنی طبقه بندی کامل مورد استفاده قرار گرفت تا به کمک آن رابطه تیزی جدایش حاصل شود. با تغییر شرایط عملیاتی مانند تغییر مواد موجود در بار اولیه، پلیت به این نتیجه رسید که عملکرد هیدروسیکلون مستقل از ویژگیهای بار اولیه است. سپس پلیت توانست ادعا کند که عملکرد هیدروسیکلون با دقت قابل قبول و مناسبی حتی بدون داده های آزمایشگاهی نیز قابل پیش بینی است. این ادعا برجسته ترین خصوصیت مدل پلیت بود[۵].

در شکل اولیه مدل، پلیت دو رابطه را برای محاسبه حد جدایش تصحیح شده ارایه نمود که در یک مورد با در نظر گرفتن تأثیر ویژگیهای بار اولیه و در دیگری بدون در نظر گرفتن این تأثیر بود. رابطه زیر مقدار حد جدایش تصحیح شده را با تأثیر ویژگیهای بار اولیه نشان می دهد[۵].

---

[۱] Plitt

$$d_{50c} = \frac{50.5 D_c^{0.46} D_i^{0.6} D_o^{1.21} \exp(0.08 C_V^P / F_{50}^{0.52})}{D_u^{0.71} h^{0.38} Q^{0.45} (\rho_s - \rho_l)^{0.5}} \qquad (۱)$$

در این رابطه D_c، D_i، D_o، D_u و h به ترتیب قطر داخلی هیدروسیکلون در پایین لوله (جمع کننده) گرداب، قطر داخلی ورودی ،قطر داخلی سرریز، قطر داخلی ته ریز و ارتفاع آزاد هیدروسیکلون می باشد که همه آنها بر حسب سانتیمتر در رابطه به کار می روند. همچنین C_v^p درصد حجمی جامد بار ورودی، Q آهنگ جریان حجمی ورودی بر حسب لیتر بر دقیقه و ρ_l, ρ_s به ترتیب معادل چگالی ذرات جامد و مایع بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب است. همچنین در این رابطه F_{50} معادل اندازه دهانه سرندی بر حسب میکرون است که ۵۰٪ بار اولیه از آن عبور می کند. همچنین رابطه پلیت بدون در نظر گرفتن تأثیر بار اولیه به صورت زیر است:

$$d_{50c} = \frac{50.5 D_c^{0.46} D_i^{0.6} D_o^{1.21} \exp(0.08 C_V^P)}{D_u^{0.71} h^{0.38} Q^{0.45} (\rho_s - \rho_l)^{0.5}} \qquad (۲)$$

پلیت اظهار داشت که تأثیر تجزیه اندازه بار اولیه قابل توجه نیست و در وضعیت معمولی می توان از آن صرف نظر نمود. شکل رایج مدل پلیت که توسط فلینتاف[۱] و همکارانش در سال ۱۹۸۷ ارایه شده است به اندازه بار اولیه بستگی ندارد[۵].

پارامترهای اصلی که در مدل پلیت به کار می روند، به صورت روابط زیر محاسبه می شوند[۵]:

$$d_{50c} = F_1 \frac{39.7 D_c^{0.46} D_i^{0.6} D_o^{1.21} \eta^{0.5} \exp(0.063 C_V^P)}{D_u^{0.71} h^{0.38} Q^{0.45} \left[\frac{\rho_s - 1}{1.6}\right]^k} \qquad (۳)$$

$$m = F_2 1.94 \left(\frac{D_c^2 h}{Q}\right)^{0.15} \exp\left(\frac{-1.58 s}{1+s}\right) \qquad (۴)$$

[۱] Flintoff

$$P = F_3 \frac{1.88Q^{1.8}\exp(0.0055C_V^P)}{D_c^{0.37}D_i^{0.94}h^{0.28}(D_u^2+D_o^2)^{0.87}} \quad (۵)$$

$$S = F_4 \frac{[3.29]^{*}\rho_P^{0.24}(D_u/D_o)^{3.31}h^{0.54}(D_u^2+D_o^2)^{0.36}\exp(0.0054C_V^P)}{D_c^{1.11}P^{0.24}} \quad (۶)$$

در این روابط d_{50c} حد جدایش تصحیح شده بوده که معادل اندازه ای (بر حسب میکرون) است که احتمال وارد شدن ذره ای با آن اندازه به جریانهای سرریز یا ته ریز هیدروسیکلون به دلیل طبقه بندی حقیقی یکسان است. تیزی (دقت) جدایش، m، نشان دهنده خوبی یا چگونگی عملکرد هیدروسیکلون در جداکردن ذرات ریز و درشت از یکدیگر است. بر این اساس هیدروسیکلونی با تیزی جدایش بزرگتر از ۳ دارای جدایش دقیق است. افت فشار، P، پارامتر دیگری است که برای طراحی سیستم انتقال با یک ظرفیت معین یا تعیین ظرفیت برای هیدروسیکلون های موجود، مورد نیاز است. همچنین این پارامتر برای محاسبه تقسیم جریان لازم است. واحد افت فشار بر حسب kPa می باشد. تقسیم جریان، S، مقدار بدون بعدی است که نسبت آهنگ جریان حجمی ته ریز به سر ریز را نشان می دهد[۳]. از آنجایی که فلینتاف و همکارانش در روابط خود بار اولیه را دخالت ندادند، به جای آن از ضرایب F_1 تا F_4 برای کالیبراسیون مدل استفاده نمودند. با توجه به موارد قبل، به منظور تجزیه و تحلیل فرآیند و شبیه سازی، پلیت رابطه زیر را ارایه کرد[۳]:

$$R_i = R_f + (1-R_f)\left[1-\exp\left(-0.693(x_i/d_{50c})^m\right)\right] \quad (۷)$$

که در آن، R_f، معادل بازیابی مایع به ته ریز هیدروسیکلون و x_i اندازه ذره مشخصه برای طبقه اندازه iام است. بازیابی مایع به ته ریز هیدروسیکلون با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$R_f = \frac{\frac{S}{(1+S)} - \frac{R_s C_V^P}{100}}{1-\frac{C_V^P}{100}} \quad (۸)$$

R_s بازیابی قسمت جامد خوراک به ته ریز هیدروسیکلون است که از رابطه زیر محاسبه می گردد:

* ضریب این رابطه در مقاله مرجع برابر ۱۸/۶۲ در نظرگرفته شده که در اینجا مقدار تصحیح شده آن توسط نویسندگان (۳/۲۹) آورده شده است

$$R_s = \frac{\sum R_i m_i}{\sum m_i} \qquad (۹)$$

که در آن m_i مقدار جامد خوراک در طبقه اندازه iام است. ملاحظه می شود که روابط ۸،۷ و ۹ به هم مرتبط بوده و فرآیند محاسبه آنها یک رابطه تکراری است که در شبیه سازی با در نظر گرفتن یک مقدار اولیه برای یکی از مقادیر و ایجاد یک حلقه تکرار مناسب، مقادیر Ri , Rf بر اساس ملاک توقف الگوریتم تکرار محاسبه می شوند. در شبیه سازی، مدل پلیت می تواند برای پیش بینی دانه بندی جریان های ته ریز و سرریز هیدروسیکلون و آهنگ جریان آنها بر اساس هندسه هیدروسیکلون و آهنگ جریان خوراک ورودی مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۳- محیط اکسل

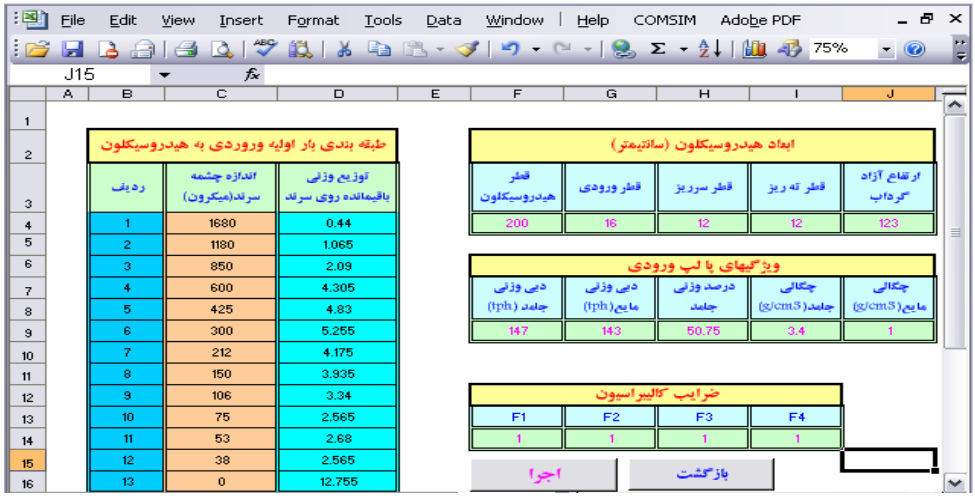
اکسل از مجموعه نرم افزارهای مایکروسافت آفیس[۱] می باشد که مورد استفاده فراوان در زمینه‌های مختلف قرار گرفته است. اکسل از پر کاربردترین صفحه گسترده های دنیاست که از تواناییهای بسیار بالایی برخوردار است. اکسل تنها یک برنامه محاسباتی ساده نیست که فقط برای انجام عملیات ریاضی، آماری و ترسیم داده‌ها به کار رود، بلکه به وسیله این محیط می توان عملیات پیچیده مانند پردازش داده ها با استفاده از توابع ریاضی از پیش آماده شده و ماکروهای نوشته شده توسط کاربر را انجام داد[۶]. از ویژگیهای محیط اکسل می توان به دسترسی راحت آن، کاربری آسان، دسترسی به توابع ریاضی و آماری از پیش آماده، ایجاد توابع جدید توسط کاربر از طریق ایجاد ماکروها و انجام محاسبات تکراری به صورت خودکار و دستی اشاره نمود. اکسل قابلیت تحلیل آماری داده ها، ترسیم انواع نمودارها و امکان ایجاد ارتباط با برنامه‌های دیگر را نیز دارا می‌باشد. همه این موارد باعث انتخاب محیط اکسل به عنوان یک محیط شبیه سازی در این پروژه گردید.

۳- چگونگی کار با شبیه ساز

برای استفاده از این شبیه ساز که COMSIM نامگذاری شده است، با توجه به مدل به کار رفته نیاز به واردکردن داده های اولیه مدل توسط کاربر می باشد. به همین دلیل پس از اجرای برنامه کاربر با صفحه ای روبه رو می‌شود که از وی تعداد طبقات سرندی مورد نظر را دریافت می‌کند. پس از دریافت تعداد طبقات، صفحه ای مانند شکل ۱ گشوده می شود که اطلاعات لازم برای مدل را دریافت می‌نماید.

---

[۱] Microsoft Office



طبقه بندی بار اولیه ورودی به هیدروسیکلون

ردیف	اندازه چشمه سرند(میکرون)	توزیع وزنی باقیمانده روی سرند
1	1680	0.44
2	1180	1.065
3	850	2.09
4	600	4.305
5	425	4.83
6	300	5.255
7	212	4.175
8	150	3.935
9	106	3.34
10	75	2.565
11	53	2.68
12	38	2.565
13	0	12.755

ابعاد هیدروسیکلون (سانتیمتر)

قطر هیدروسیکلون	قطر ورودی	قطر سرریز	قطر ته ریز	ارتفاع آزاد گرداب
200	16	12	12	123

ویژگیهای پالپ ورودی

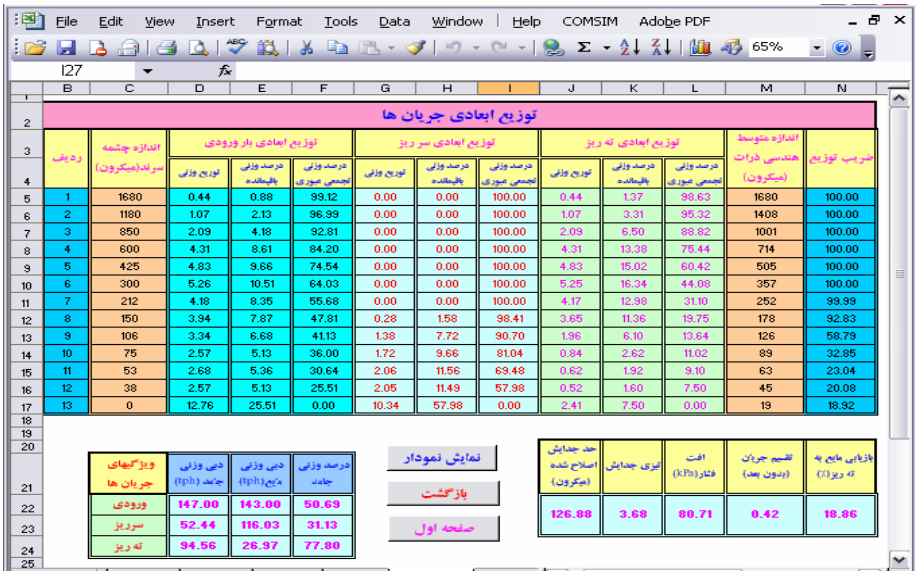
دبی وزنی جامد (tph)	دبی وزنی مایع(tph)	درصد وزنی جامد	چگالی جامد(gr/cm3)	چگالی مایع(gr/cm3)
147	143	50.75	3.4	1

ضرایب کالیبراسیون

F1	F2	F3	F4
1	1	1	1

اجرا | بازگشت

شکل ۱- صفحه داده های اولیه لازم برای شبیه ساز



توزیع ابعادی جریان ها

ردیف	اندازه چشمه سرند(میکرون)	توزیع ابعادی بار ورودی: توزیع وزنی	درصد وزنی باقیمانده	درصد وزنی تجمعی عبوری	توزیع ابعادی سر ریز: توزیع وزنی	درصد وزنی باقیمانده	درصد وزنی تجمعی عبوری	توزیع ابعادی ته ریز: توزیع وزنی	درصد وزنی باقیمانده	درصد وزنی تجمعی عبوری	اندازه متوسط هندسی ذرات (میکرون)	ضریب توزیع
1	1680	0.44	0.88	99.12	0.00	0.00	100.00	0.44	1.37	98.63	1680	100.00
2	1180	1.07	2.13	96.99	0.00	0.00	100.00	1.07	3.31	95.32	1408	100.00
3	850	2.09	4.18	92.81	0.00	0.00	100.00	2.09	6.50	88.82	1001	100.00
4	600	4.31	8.61	84.20	0.00	0.00	100.00	4.31	13.38	75.44	714	100.00
5	425	4.83	9.66	74.54	0.00	0.00	100.00	4.83	15.02	60.42	505	100.00
6	300	5.26	10.51	64.03	0.00	0.00	100.00	5.25	16.34	44.08	357	100.00
7	212	4.18	8.35	55.68	0.00	0.00	100.00	4.17	12.98	31.10	252	99.99
8	150	3.94	7.87	47.81	0.28	1.58	98.41	3.65	11.36	19.75	178	92.83
9	106	3.34	6.68	41.13	1.38	7.72	90.70	1.96	6.10	13.64	126	58.79
10	75	2.57	5.13	36.00	1.72	9.68	81.04	0.84	2.62	11.02	89	32.85
11	53	2.68	5.36	30.64	2.06	11.56	69.48	0.62	1.92	9.10	63	23.04
12	38	2.57	5.13	25.51	2.05	11.49	57.98	0.52	1.60	7.50	45	20.08
13	0	12.76	25.51	0.00	10.34	57.98	0.00	2.41	7.50	0.00	19	18.92

ویژگیهای جریان ها	دبی وزنی جامد (tph)	دبی وزنی مایع(tph)	درصد وزنی جامد
ورودی	147.00	143.00	50.69
سرریز	52.44	116.03	31.13
ته ریز	94.56	26.97	77.80

نمایش نمودار | بازگشت | صفحه اول

بازیابی مایع به ته ریز(٪)	تقسیم جریان (بدون بعد)	افت فشار(kPa)	شری جدایش	حد جدایش اصلاح شده (میکرون)
18.86	0.42	80.71	3.68	126.88

شکل۲- صفحه پاسخ شبیه ساز

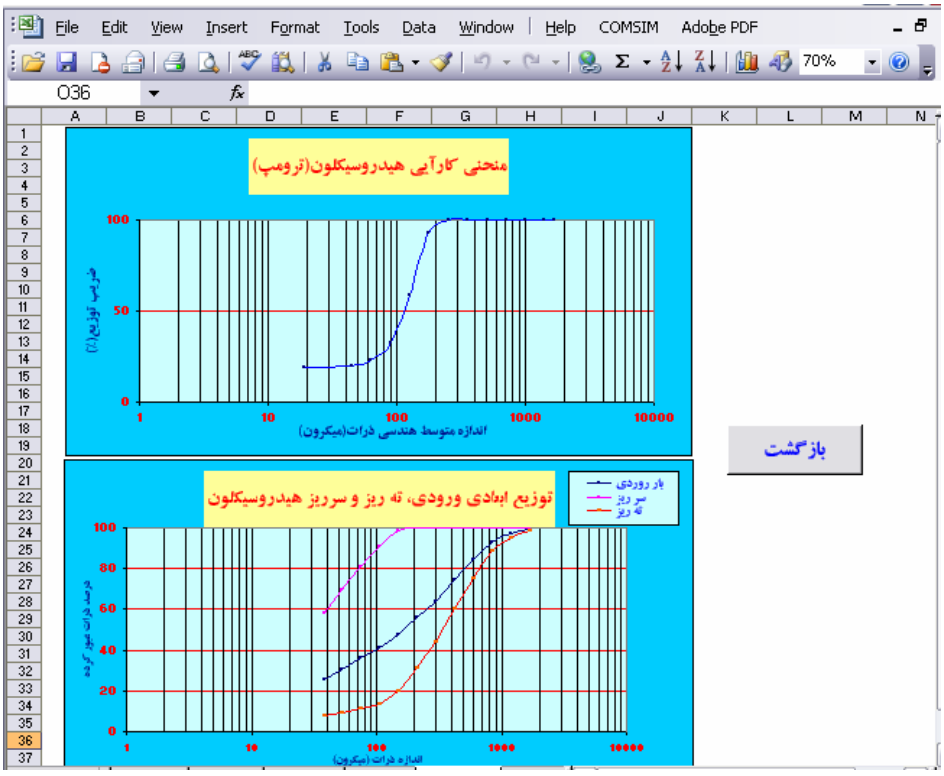
همانگونه که در شکل ۱ دیده می‌شود، اطلاعات لازم در این صفحه مشخص شده است که باید توسط کاربر در محل های تعیین شده وارد شود. مقادیر مورد نظر داده‌ها باید بر اساس واحدهای خواسته شده از سوی برنامه وارد گردد تا پاسخ صحیح از شبیه‌ساز دریافت شود. پس از وارد نمودن اطلاعات و اطمینان از صحیح بودن آنها، با فشردن کلید "اجرا" یا فشردن کلیدهای <Ctrl+H> صفحه پاسخ ظاهر می شود. شکل ۲ تصویری از این صفحه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ در صفحه پاسخ، توزیع ابعادی در سه نوع وزنی باقیمانده بر روی سرند، درصد وزنی باقیمانده بر روی سرند و درصد وزنی تجمعی عبور کرده از سرند برای هر سه جریان بار ورودی، ته ریز و سرریز و ضریب توزیع هیدروسیکلون در جدولی مشخص شده اند. همچنین در جدول دیگر اطلاعات مربوط به ویژگیهای پالپ سه جریان شامل آهنگ جامد، آهنگ مایع و درصد جامد درج شده است. در جدول دیگر نیز پارامترهای مدل پلیت مشاهده می شود. با توجه به جداول موجود مقایسه سه جریان ورودی، ته ریز و سرریز به راحتی قابل بررسی است. به علاوه شبیه ساز این قابلیت را داراست که بتوان به صورت نموداری نیز داده ها را ارزیابی نمود. برای این کار با فشردن کلید "نمایش نمودار" این قابلیت در اختیار کاربر قرار می گیرد. در شکل ۳ نمونه ای از صفحه نمایش نمودار ارایه شده است. در این شکل دوتصویر نموداری مشاهده می شود که یکی منحنی کارآیی هیدروسیکلون و دیگری توزیع ابعادی سه جریان ورودی، سرریز و ته ریز را نشان می دهد. همچنین می توان علاوه بر بررسی کارآیی هیدروسیکلون، حد جدایش را نیز از روی منحنی ضریب توزیع به دست آورد.

۴- کاربرد و نتیجه گیری

با توجه به اهمیت شبیه سازی، نرم افزاری که معرفی شد به کمک رابطه تجربی پلیت عملکرد هیدروسیکلون را که یک وسیله رایج طبقه بندی ذرات بر اساس اندازه آنهاست، پیش بینی می کند. در زیر توانایی ها و کاربردهای این شبیه ساز ارایه شده است.

- مهمترین توانایی شبیه ساز COMSIM، تغییر شرایط اولیه و به دنبال آن مشاهده تغییرات حاصل در نتیجه و محصول می‌باشد که می‌تواند کاربر را در یافتن بهترین شرایط عملیاتی کمک کند و به طور کلی این شبیه‌ساز می‌تواند در مطالعات بهینه‌سازی مدارهای خردایش به کار گرفته شود.
- این شبیه ساز به گونه ای طراحی شده است که قابلیت "تصدیق داده های" ورودی را دارد. یعنی در صورت وارد نمودن داده اشتباه یا نامفهوم، پیغامی مبنی بر اشتباه بودن داده ظاهر می شود و تا هنگامی که داده ورودی اصلاح نشود، داده‌های بعدی دریافت نمی شوند.
- علاوه بر بهینه سازی، می توان برای طراحی اولیه هیدروسیکلون نیز از این شبیه ساز استفاده نمود. بر این اساس با توجه به بار اولیه موجود و محصول مورد نیاز، می توان ابعاد لازم برای هیدروسیکلون را پیش بینی نمود.

_ با توجه به محیط اکسل تغییر شرایط بسیار ساده و در دسترس است، به خصوص در مقایسه با شبیه سازهایی که تحت محیط DOS اجرا می شوند، مانند BMCS [۳]، این قابلیت بیشتر به چشم می‌خورد و همچنین این شبیه‌ساز قادر است به‌راحتی داده‌های ورودی و خروجی برنامه را به صورت تصویری نشان دهد که در مقایسه با برنامه BMCS می‌تواند در تعبیر و تفسیر داده‌های ورودی و نتایج شبیه‌سازی کمک فراوانی را در اختیار کاربر قرار دهد.



شکل ۳- صفحه نمایش نمودار کارآیی هیدروسیکلون

مراجع

[۱] نعمت اللهی، حسین، (۱۳۸۱) ،"کانه آرایی"، جلد اول، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران.

[۲] رضایی، بهرام، (۱۳۷۶)، "تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (خردایش و طبقه بندی)"، چاپ اول، انتشارات موسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور.

[۳] فرزانگان، اکبر(۱۳۸۲)، "جزوه درسی مدلسازی و کنترل"، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران.

[۴] Herbst,J., Rajamani,R.K., Mular,A.and Flintoff,B.,(۲۰۰۲),"Mineral Processing Plant/Circuit Simulators:an Overview", *in*: Mineral Processing Plant Design,Practice and Control,Vol. ۱ Mular,A.L. et al, pp.۳۸۳-۴۰۳, SME-AIME, New York.

[۵] Nageswararao,K., Wiseman D.M., Napier-Munn T.J.,(۲۰۰۴), "Two Empirical Hydrocyclon Models Revisited", Elsevier, Journal of Minerals Engineering, Vol ۱۷, pp.۶۷۱-۶۸۷.

[۶] ایونس، کتی، ترجمه: محمد حسن مهدوی،۰(۱۳۸۲) "راهنمای جامع Excel ۲۰۰۰"،۰انتشارات آصال.