Archive of SID

METALLURGICAL ENGINEERING
The Journal of Iranian Metallurgical and Materials Engineering Society

Summer 2017, Volume 20, number 2

Research Paper

Computational Fluid Dynamic Simulation of fluid flow in settler of solvent extraction process

***Eskandar keshavarz Alamdari[1], Delaram Mansourian[2]**

1- Professor, AmirKabir University of technology, Tehran, Iran.
2- PhD Student, Iran University of Science And technology, Tehran, Iran.

Citation: keshavarz Alamdari E, Mansourian D . Computational Fluid Dynamic Simulation of fluid flow in settler of solvent extraction process. Metallurgical Engineering 2017: 20(2) 90-97 http://dx.doi.org/ 10.22076/me.2017.50845.1103

doi : **http://dx.doi.org/ 10.22076/me.2017.50845.1103**

ABSTRACT

Mixer- settlers are widely used for solvent extraction process in industry. The aims of this project are simulation of fluid flow and optimizing the operational conditions of settler in solvent extraction process. Designing and meshing of settler geometry is done by Gambit software. Then, in order to simulate the fluid flow, the meshed designed imported to Ansys Fluent software. Simulation results were verified before simulation. Effect of Inlet volumetric on phase separation investigated. The effect of geometry of picket fences was investigated by the presence of cubic, cylindrical picket fences, picket fences with 5 corner cross section and half cylindrical picket fences. A few extra plates of picket fences were located near the entrance of settler. Phase separation in presence of two and three rows of picket fences investigated. Results indicate that by reducing the inlet volumetric rate, increasing the number of rows, putting extra plates of picket fences in front of entrance and decreasing the closed to open surface ratio to 2, separation improves.

Keywords: solvent extraction, settler, picket fence, simulation of fluid flow

* ***Corresponding Author*:**
Eskandar keshavarz Alamdari, PhD
Address: School of Metallurgy & Materials Engineering, AmirKabir University of technology, Tehran, Iran.
Tel: +98 (21) 64542971
E-mail: alamdari@aut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مهندسی متالورژی
مقاله پژوهشی
تابستان ۱۳۹۶ . دوره ۲۰ . شماره ۲

شبیه‌سازی دینامیک محاسباتی سیال در محفظه‌ی جداکننده‌ی فرآیند استخراج حلالی

*اسکندر کشاورز علمداری[۱]، دل‌آرام منصوریان[۲]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
۲- دانشجوی دکتری مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

میکسر- ستلرها در صنعت متالورژی برای انجام فرآیند استخراج حلالی استفاده می‌شوند. اهداف این تحقیق، شبیه‌سازی جریان سیال و بهینه‌سازی شرایط عملیاتی ستلر در فرآیند استخراج حلالی مس است. طراحی و مش‌بندی ستلر در نرم‌افزار گمبیت انجام شد. سپس مش‌بندی وارد نرم‌افزار انسیس فلوئنت شد. ابتدا داده‌های تجربی با داده‌های شبیه‌سازی صحت سنجی شدند. تأثیر سرعت ورودی سیال بر جدایش فازی بررسی شد. تأثیر هندسه‌ی پیکت‌فنس‌ها نیز بر میزان جدایش فاز آلی و آبی مطالعه شد، بدین منظور جدایش دو فاز در حضور چهار پیکت‌فنس استوانه‌ای، مکعب مستطیلی ، با سطح مقطع پنج ضلعی و نیمه استوانه‌ای شبیه‌سازی شد. صفحات پیکت‌فنس اضافی در قسمت ورودی سیال قرار گرفتند. جدایش فازی در حضور دو و سه ردیف پیکت‌فنس مکعب با نسبت‌های مختلف سطح بسته به باز پیکت‌فنس‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس سه ردیف پیکت‌فنس با فاصله‌ی ۱ و ۲/۷۵ متر از یکدیگر با دو ردیف پیکت‌فنس با همین فاصله مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با کاهش سرعت ورودی سیال، اضافه کردن دو یا سه ردیف پیکت‌فنس، اعمال چند صفحه پیکت‌فنس اضافی در جلوی ورودی و کاهش نسبت سطح بسته به باز پیکت‌فنس‌ها، جدایش فازی افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: استخراج حلالی، ستلر، پیکت‌فنس، شبیه‌سازی جریان سیال

۱. مقدمه

استخراج حلالی به صورت وسیعی در بسیاری از زمینه‌ها مانند صنایع پتروشیمی، داروسازی و هیدرومتالورژی استفاده می‌شود. استخراج مایع-مایع فرآیندی برای جداسازی اجزا بوسیله‌ی توزیع آنها بین دو مایع امتزاج‌ناپذیر است. این روش برای بازیابی کانی‌های پیچیده و فلزات غیر آهنی استفاده می‌شود [۱]. استفاده از تجهیزات میکسر- ستلرها یک روش راحت برای انجام فرآیند استخراج حلالی در صنعت هیدرومتالورژی است. مزایای اصلی این تجهیزات عبارتند از: عملیات و نگه‌داری آسان، شروع ساده و باردهی عملیاتی قوی. عملکرد میکسرها فراهم کردن یک مخلوط مناسب و پراکنده‌سازی تا درجه‌ی مورد انتظار است [۲]. بعد از اختلاط کامل، مخلوط همگن فازها وارد محفظه‌ی ستلر می‌شود تا بر اساس نیروی ثقل از یکدیگر جدا شوند.

سالیوان [۱] و همکارانش در سال ۱۹۹۹ نشان دادند که چگونگی توزیع سیال ورودی تأثیر بسیار زیادی بر جدایش دو فاز از یکدیگر دارند [۳]. نتایج آنها نشان می‌دهد که شرایط بهینه سیال در ستلر با توزیع یکنواخت در عرض ستلر به دست می‌آید. میلر [۲] گزارش داده است که عملکرد جدایش در ستلر می‌تواند ۳۰ تا ۵۰% بوسیله‌ی بهبود توزیع سیال ورودی افزایش یابد [۴]. هرگونه پیشرفت در فهم هیدرودینامیک‌ها و الگوی جریان در واحد میکسر-ستلر، سبب طراحی کارآمد تجهیزات میکسر ستلر خواهد شد که توسط شبیه‌سازی محاسباتی دینامیک سیال [۳] انجام می‌شود. دینامیک محاسباتی سیال راهی آسان برای مطالعه‌ی جریان داخلی و بررسی تأثیر طراحی در الگوی جریان با جزئیات فراهم می‌کند. یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای کنترل توزیع جریان ورودی استفاده از پیکت‌فنس‌ها است. پیکت‌فنس‌ها صفحاتی هستند که به صورت عمودی در جلوی حرکت سیال قرار می‌گیرند و توزیع جریان را کنترل می‌کنند. نتایج کار کانکاپا [۴] نشان داده است که عدم توزیع مناسب سیال ورودی سبب ایجاد جریان‌های بازگشتی و کاهش جدایش فازی خواهد شد [۵]. لین و همکاران الگوی جریان در ستلر

1. Sullivan et al (1999)

2. Miller (2006)

3. CFD

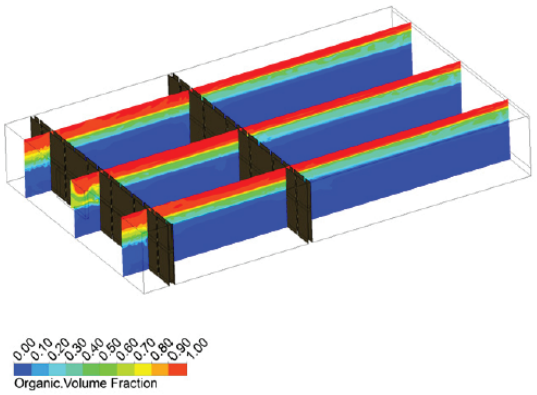
4. Kankappa

* نویسنده مسئول:
دکتر اسکندر کشاورز علمداری
نشانی: تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی.
تلفن: ۶۴۵۴۲۹۷۱ (۲۱) ۹۸+
پست الکترونیکی: alamdari@aut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

را مطالعه کردند، کسر حجمی فاز آلی بر صفحات عمودی در این تحقیق در شکل ۱ نشان داده شده است. واضح است که سیال به صورت مخلوطی از دو فاز آبی و آلی وارد ستلر شده و به در ادامه به دو فاز آلی در بالا و یک فاز آبی در پایین تقسیم می‌شود [۶]. نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که با استفاده از حداقل دو ردیف پیکت‌فنس می‌توان جریان را یکنواخت‌تر گسترده کرد .همچنین، تأیید شده است که بدون پیکت‌فنس‌ها سرعت پاشش آب به‌گونه‌ای می‌شود که تا فاصله دوری از ورودی ستلر نیز ادامه دارد [۷]. بوسیله‌ی دینامیک محاسباتی سیال، نه تنها آزمایش‌های تجربی مورد نیاز نیست، بلکه هزینه‌های عملیاتی را نیز کاهش می‌دهد. یک مدل دینامیک محاسباتی سیال در میکسر-ستلر نیازمند انتخاب کیفیت مش‌بندی مناسب، مدل چرخش پروانه و مدل اغتشاش است. انتخاب اینها تأثیر چشم‌گیری بر دقت شبیه‌سازی و حجم محاسبات خواهد داشت و زمانی اهمیت بیشتری دارند که محاسبات محفظه‌های بزرگ با تعداد بسیار زیاد شبکه، به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد [۸]. بیش از نیمی از مس جهان از طریق فرآیند استخراج حلالی تولید می‌شود. در استخراج حلالی مس در تجهیزات میکسر ستلر، فاز باردار آبی در کنار یک عامل استخراج کننده در مخلوط آلی محلول قرار می‌گیرد. فاز آلی باردار بعداً وارد میکسر ستلر رهاسازی می‌شود [۹] در این تحقیق تمرکز بیشتر بر تأثیر هندسه و چیدمان محفظه‌ی ستلر بر جدایش فازها است بدین منظور برای مثال جدایش فازها با حضور هندسه‌های مختلفی از پیکت فنس‌ها بررسی شدند و چند صفحه پیکت فنس اضافی جلوی ورودی قرار گرفتند که در تحقیقات قبلی مشاهده نشده است. اهداف این تحقیق بدین شرح است: شبیه‌سازی جریان، بررسی عوامل تأثیرگذار بر جدایش فازها و بهینه‌سازی شرایط عملیاتی ستلر مجتمع مس سرچشمه. تعداد دبی‌های ورودی و نسبت‌های سطح بسته به باز مختلف که در محفظه‌ی ستلر مجتمع مس سرچشمه‌ی کرمان در این تحقیق بررسی شدند، نسبت به مطالعات قبلی بیشتر هستند.



شکل ۱. کسر حجمی فاز آلی در صفحات عمودی در طول ستلر [۶]

۲. روش تحقیق

جمع‌آوری معادلات

معادلات انرژی

در مواردی که جریان‌ها دچار گرمایش یا سرمایش شوند، جریان‌های غیر همدما وجود داشته باشد، و یا واکنش‌های گرماگیر یا گرمازا در رآکتور انجام شود، معادلات انرژی نیز باید محاسبات لحاظ شود تا بتوان به پیشبینی دقیقی از رفتار سیال دست یافت، چون دما در شرایط عملیاتی تجهیزات جداکننده در کارخانه مس سرچشمه‌ی کرمان ثابت است، از بررسی و شبیه سازی معادلات انتقال حرارت خودداری شد.

معادلات پیوستگی

این معادله قانون بقای جرم را بصورت زیر بیان می کند:

معادله ۱.

$$\int \rho V.n\hat{}\, d\Gamma = 0$$

که در آن Γ سطح محدود کننده حجم مورد نظر، ρ چگالی، V بردار سرعت و n^ بردار یکه قائم بر سطح n^ می‌باشد.

معادلات حرکت

این معادله قانون دوم نیوتن را بصورت زیر بیان می کند :

معادله ۲.

$$\rho\left[\nabla(\alpha UU)\right] = -\alpha\nabla P + (\mu + \mu t)\nabla^2(\alpha U) + S_{Mc}$$

که در آن μ، μt، P و S ویسکوزیته‌ی دینامیک، ویسکوزیته‌ی اغتشاشی، فشار و ترم منبع هستند. U بردارهای سرعت معدل زمانی است. مدل اغتشاشی k-ε برای محاسبه‌ی ویسکوزیته‌ی اغتشاشی استفاده شد. که k و ε انرژی کینتیکی اغتشاشی و سرعت از بین رفتن انرژی اغتشاشی هستند. و معادلات انتقال مرتبط به صورت زیر است:

معادله ۳.

$$\rho[\, u\partial(\alpha k)/\partial x + v\partial(\alpha k)/\partial y + w\partial(\alpha k)/\partial z] =$$
$$\Delta\,[\alpha\,(\mu + \mu t/\delta k)\,\Delta k] + 2\alpha\mu t E_{ij}E_{ij} - \alpha\rho\varepsilon$$

طراحی و مش‌بندی هندسه ستلر

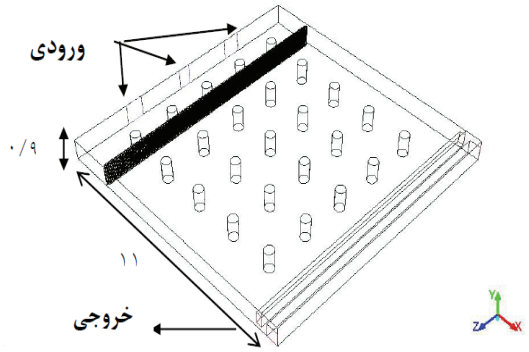
هندسه‌ی ستلر به طور کامل در نرم‌افزار گمبیت[5] طراحی و مش‌بندی شده است. نوع مش ایجاد شده تتراهدرال با فواصل ۰/۰۶ متر است. تصویر شماره‌ی ۲ شکل طراحی شده‌ی کامل هندسه‌ی ستلر مجتمع مس سرچشمه را نشان می‌دهد.

میکسر و ستلر به کار رفته در مجتمع مس سرچشمه دستگاه منحصر به فردی است که فقط برای این مجتمع مورد

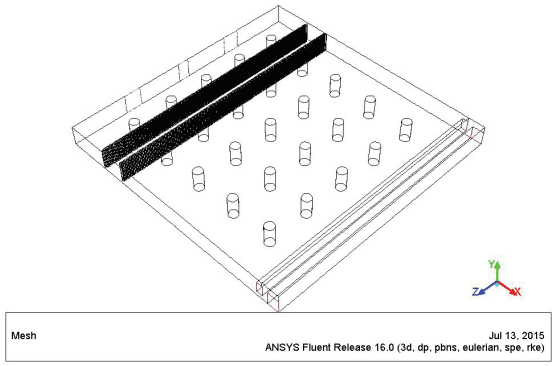
5. Gambit

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. هندسه‌ی ستلر طراحی شده در نرم‌افزار گمبیت



شکل ۳. ستلر مجتمع مس سرچشمه با دو ردیف پیکت‌فنس با فاصله‌ی یک متر از یکدیگر

استفاده قرار گرفته است و با سایر نمونه‌های جهانی متفاوت است. این در حالی است که در سیستم‌های متداول جهانی، فرآیند جدایش طراحی شده به صورت تک طبقه‌ای پیوسته انجام می‌شود. در مس سرچشمه بعد از اختلاط در میکسر مخلوط فاز آلی و آبی بر روی یک لندر (سرریز) می‌ریزد. جریان ابتدا آرام شده و سپس محلول که حاوی دو مخلوط فازی از انتهای لندر به طبقه زیرین سر ریز می‌شود. سرریز شدن مجدد باعث اختلاط دوباره‌ی فازهای نسبتاً جدا شده می‌شود، بنابراین یکی از اهداف پروژه، تحقیق تأثیر هندسه و نحوه‌ی چیدمان پیکت‌فنس‌ها بر روی جدایش دو فاز آلی و آبی است به نحوی که حداقل تداخل فازهای آلی و آبی به وجود بیاید. شماره‌ی ۳ شکل تصویر دیگری از هندسه‌ی ستلر مجتمع مس سرچشمه را که در نرم‌افزار گمبیت طراحی شده نشان می‌دهد که دارای دو ردیف پیکت‌فنس با فاصله‌ی ۱ متر از یکدیگر است.

فرآیند محاسبات

بعد از مش‌بندی، طراحی رسم شده در نرم‌افزار گمبیت وارد نرم‌افزار انسیس فلوئنت شد. خواص فیزیکی دو فاز از مقاله‌ی صادقی و همکاران که در ستلر مجتمع مس سرچشمه تحقیق

جدول ۱. خواص فیزیکی فاز آلی و آبی [۴]

دانسیته فاز آلی Kg/m3	دانسیته فاز آبی Kg/m3	ویسکوزیته‌ی دینامیک فاز آلی pa.s	ویسکوزیته‌ی دینامیک فاز آبی pa.s
۸۰۱	۱۱۰۰	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۲۳

کردند، برداشته شده است که در جدول شماره‌ی ۱ آورده شده است.

شرایط به صورت یکنواخت[6] در نظر گرفته شده است. فشار به صورت هیدرواستاتیک اعمال شد. خروجی به صورت فشار[7] و ورودی به صورت سرعت[8] تنظیم شده‌اند. مقدار تنش سطحی ۲۶/۱ $mN.m^{-1}$ در نظر گرفته شد. میزان دقت نتایج شبیه‌سازی به مقدار باقیمانده به 10^{-3} رسید. مدل دو فازی اویلری به صورت پراکنده[9] و مدل ویسکوز $K-\varepsilon$ برای پیدا کردن ویسکوزیته‌ی دینامیک اعمال شدند. مطابق با شرایط عملیاتی ستلر مجتمع مس سرچشمه فاز پیوسته، فاز آلی تعیین شد. فاز گسسته فاز آبی که به صورت قطرات کروی پراکنده با ماکزیمم و مینیمم قطر به ترتیب ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۰۱ متر تعیین شد. نرخ به هم پیوستن و شکستن قطرات از توابع تعیین شده‌ی خود نرم‌افزار انتخاب شد.

صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی

به منظور صحت‌سنجی داده‌های شبیه‌سازی، نتایج کار با داده‌های تجربی ستلر مجتمع مس سرچشمه که در مقاله‌ی آقای صادقی آورده شده است مقایسه شده است. این داده‌ها در فاصله‌ی ۱/۵ متری در عرض و درفاصله‌ی طولی مختلف x و ارتفاعات متفاوت با کار قبلی مقایسه شده اند. سرعت ورودی مخلوط دو فاز ۱۱۰۰ متر مکعب بر ساعت است. نسبت حجمی فاز آلی به آبی مطابق با شرایط عملیاتی ۰/۹۵ در نظر گرفته شد. مدل‌های مولتی فاز[10] و ویسکوز $K-\varepsilon$ اعمال شد.

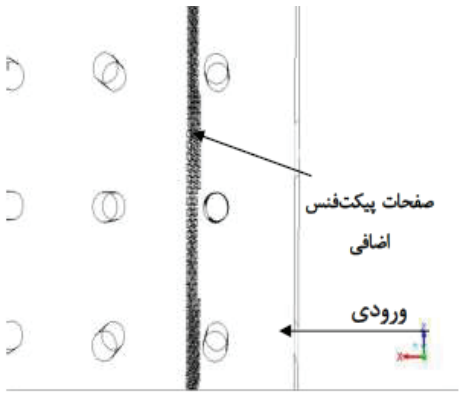
بررسی عملکرد پیکت‌فنس‌ها

پیکت‌فنس‌ها نقش بسیار مهمی در توزیع سیال ورودی به محفظه‌ی ستلر و در نتیجه جدایش دو فاز از یکدیگر دارند. رفتار دو ردیف پیکت‌فنس در مقابل یک ردیف پیکت‌فنس مورد مطالعه قرار گرفت. فاصله‌ی دو ردیف از پیکت‌فنس‌ها برابر ۱ و ۲/۵ متر تعیین شد. بعد از بررسی دو ردیف پیکت‌فنس، رفتار سه ردیف پیکت‌فنس نیز مورد بررسی قرار گرفت. فاصله‌ی سه ردیف پیکت‌فنس از یکدیگر برابر ۱ و ۲/۷۵ متر از یکدیگر

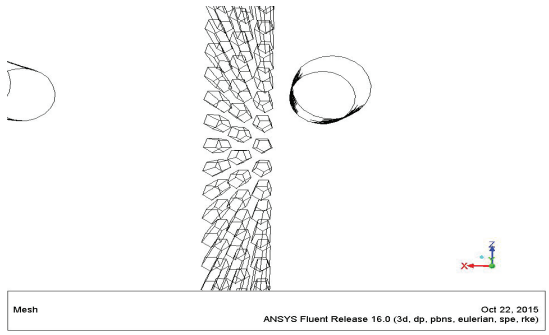
6. Steady state
7. Pressure outlet
8. Velocity
9. Dispersed
10. Multiphase

www.SID.ir

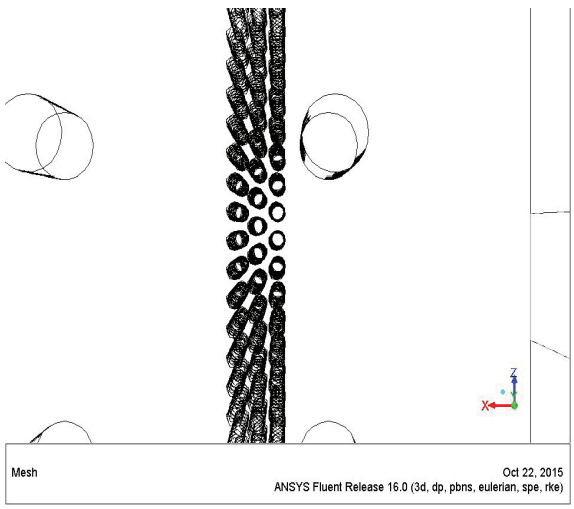
Archive of SID



شکل ۴. قرار گرفتن چند صفحه پیکت‌فنس اضافی جلوی ورودی‌ها



شکل ۵. پیکت‌فنس با سطح مقطع ۵ ضلعی



شکل ۶. پیکت‌فنس استوانه‌ای

در نظر گرفته شد. سرعت ورودی سیال ۱۱۰۰ متر مکعب بر ساعت و کسر حجمی فاز آلی ورودی ۰/۴۸۷ تعیین شد.

از آنجایی که گرادیان سرعت سیال در ورودی زیاد است لذا صفحات پیکت‌فنس اضافه‌تری در قسمت ورودی‌ها مطابق شکل ۴۳ قرار داده شد تا تأثیر آن بر جدایش دو فاز بررسی شود. سرعت ورودی ۱۱۰۰ متر مکعب بر ساعت و نسبت حجمی فاز آلی بر آبی ۰/۹۵ تعیین شد.

هندسه‌ی پیکت‌فنس‌ها نقش بسیار مهمی در توزیع سیال در محفظه‌ی ستلر و کاهش سرعت سیال ورودی دارند. به منظور بررسی اثر شکل پیکت‌فنس‌ها، جدایش دو فاز در حضور سه مدل پیکت‌فنس استوانه‌ای، مکعب مستطیلی با طول ۰/۱ متری و پیکت‌فنس با سطح مقطع ۵ ضلعی مطابق شکل ۵ و ۶ بررسی شد.

یکی از عوامل بسیار مهم در نحوه‌ی توزیع سیال ورودی درون محفظه‌ی ستلر نسبت سطح بسته به باز پیکت‌فنس‌ها است. به منظور بررسی این عامل ابتدا نسبت C/O برابر با ۲ که هندسه‌ی اصلی محفظه‌ی ستلر مس سرچشمه است، در نظر گرفته شد و سپس نسبت‌های سطح بسته به باز ۰/۵، ۱ و ۴ هم مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی اثر سرعت ورودی سیال بر جدایش دو فاز

یکی از عوامل مهم تأثیرگذار در جدایش دو فاز، سرعت ورودی مخلوط دو فاز به محفظه‌ی ستلر است. به منظور بررسی این عامل، سرعت‌های اولیه‌ی ۵۹۸، ۳۵۶، ۱۷۸، ۳۵ متر مکعب بر ساعت برای نسبت حجمی ثابت فاز آلی به آبی برابر با ۰/۹۵ بررسی شدند.

۳. نتایج و بحث

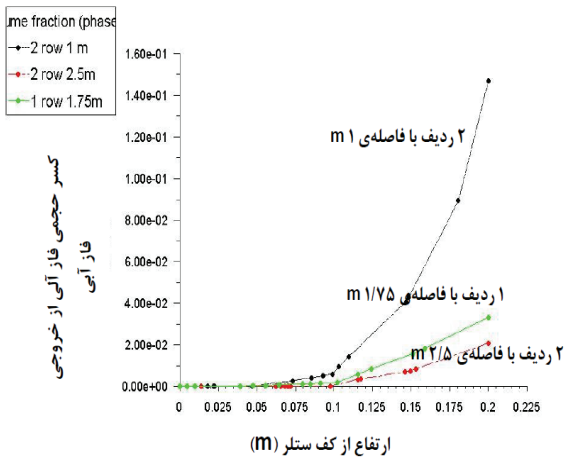
صحت‌سنجی داده‌ها

جدول شماره‌ی ۲ نتایج شبیه‌سازی را با داده‌های تجربی ستلر مجتمع مس سرچشمه مقایسه می‌کند که اختلاف قابل قبول است.

بررسی اثر پیکت‌فنس‌ها

بررسی دو ردیف پیکت‌فنس با فاصله‌ی ۱ و ۲/۵ متر از یکدیگر

شکل ۷ کسر حجمی فاز آلی را برای یک ردیف پیکت‌فنس، دو ردیف پیکت‌فنس با فاصله‌ی ۱ متر و دو ردیف پیکت‌فنس



شکل ۷. کسر حجمی فاز آلی بر حسب ارتفاع در فاصله‌ی ۱۰ متری از ورودی ستلر (محل خروجی فاز آبی) برای یک ردیف، دو ردیف پیکت‌فنس با فاصله‌ی یک متر از یکدیگر و دو ردیف پیکت‌فنس با فاصله‌ی ۲/۵ متر از یکدیگر

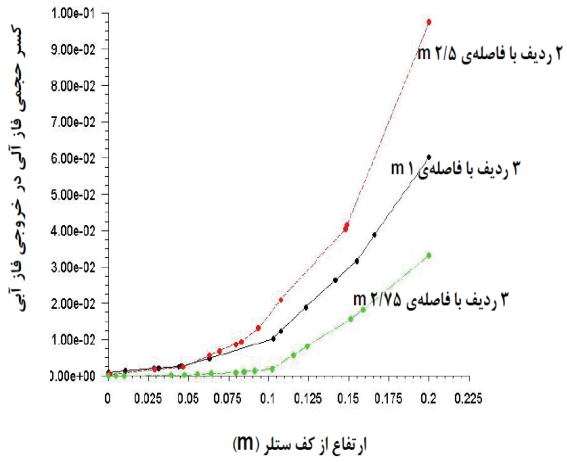
www.SID.ir

Archive of SID

با فاصله‌ی ۲/۵ متر نشان می‌دهد. شکل ۷ نشان می‌دهد که با اعمال ردیف دوم پیکت‌فنس با فاصله‌ی ۱ متر از یکدیگر کسر حجمی فاز آلی در محل خروجی فاز آبی به نسبت یک ردیف پیکت‌فنس با فاصله‌ی ۱/۷۵ متری از ورودی، افزایش چشم‌گیری دارد که به معنای کاهش جدایش فازی به دلیل ایجاد جریان‌های گردابی در فاصله‌ی کم یک متری بین ردیف‌های پیکت‌فنس است، زیرا فاصله‌ی یک متری بین دو ردیف پیکت‌فنس کم بوده است که جریان‌های گردابی بین آنها ایجاد شده و سبب کاهش جدایش شده است. اما با افزایش فاصله‌ی دو ردیف پیکت‌فنس به ۲/۵ متر از یکدیگر به دلیل حذف جریان‌های گردابی بین دو ردیف کسر حجمی فاز آلی در خروجی فاز آبی، حتی به نسبت یک ردیف کاهش پیدا می‌کند که این موضوع اثر مثبت ردیف دوم پیکت‌فنس‌ها را در جدایش فازی در فاصله‌ی مناسب از ردیف اول نشان می‌دهد. بنابراین برای تأثیر مثبت ردیف دوم پیکت‌فنس بایستی فاصله‌ی بهینه بین ردیف‌ها را بررسی کرد تا جریان‌های گردابی تشکیل نشود.

بررسی سه ردیف پیکت‌فنس با فواصل ۱ و ۲/۷۵ متری از یکدیگر

شکل ۸ کسر حجمی فاز آلی را در فاصله‌ی ۱۰ متری از ورودی ستلر تا ارتفاع ۰/۲ متری (محل خروجی فاز آبی) برای دو ردیف پیکت‌فنس با فاصله‌ی ۲/۷۵ متر از یکدیگر و سه ردیف پیکت‌فنس با فواصل ۱ و ۲/۷۵ متر از یکدیگر را نشان می‌دهد. شکل ۸ نشان می‌دهد که با اعمال ردیف سوم پیکت‌فنس با فاصله‌ی یک متر از یکدیگر به دلیل یکنواخت شدن و آرام‌تر شدن توزیع جریان، کسر حجمی فاز آلی نسبت به دو ردیف پیکت‌فنس کاهش پیدا می‌کند و جدایش بهتر می‌شود. با افزایش فاصله‌ی بین سه ردیف پیکت‌فنس به ۲/۷۵ متر، به دلیل کمتر شدن جریان‌های گردابی بین ردیف‌های

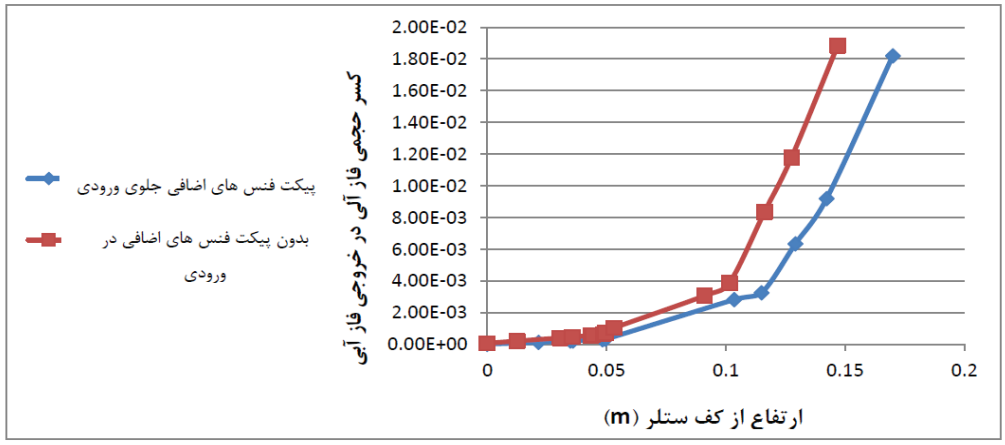


شکل ۸. کسر حجمی فاز آلی بر حسب ارتفاع در فاصله‌ی ۱۰ متری از ورودی ستلر (محل خروجی فاز آبی) برای سه ردیف پیکت‌فنس با فاصله‌ی ۱ متر از یکدیگر

پیکت‌فنس جدایش دو فاز از یکدیگر به طور چشم‌گیری بهبود پیدا می‌کند.

قرار گرفتن چند صفحه پیکت‌فنس اضافی جلوی ورودی

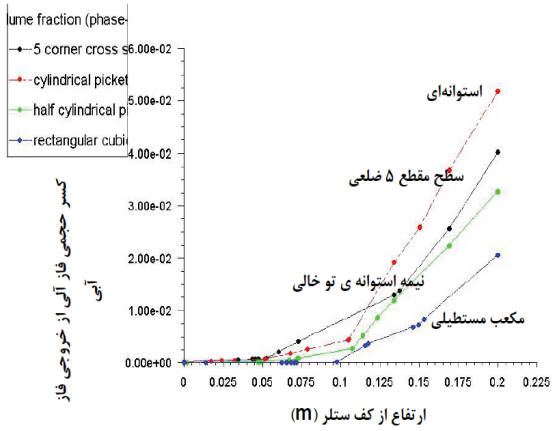
شکل ۹ کسر حجمی فاز آلی را برای پیکت‌فنس‌های اضافی در قسمت ورودی را در مقایسه با شرایط بدون این صفحات نشان می‌دهد. به دلیل گرادیان زیاد سرعت در قسمت ورودی ستلر و اغتشاش زیادتر به نسبت بقیه‌ی قسمت‌های آن، اگر صفحات اضافه‌تری در این قسمت‌ها قرار داده شود به اختلاط و یکنواخت‌تر شدن حرکت سیال کمک می‌کند و به همین دلیل جدایش دو فاز بهبود می‌یابد و شکل ۹ نیز کاملاً این موضوع را نشان می‌دهد که فاز آلی کمتری از قسمت فاز آبی خارج شده است و جدایش افزایش یافته است.



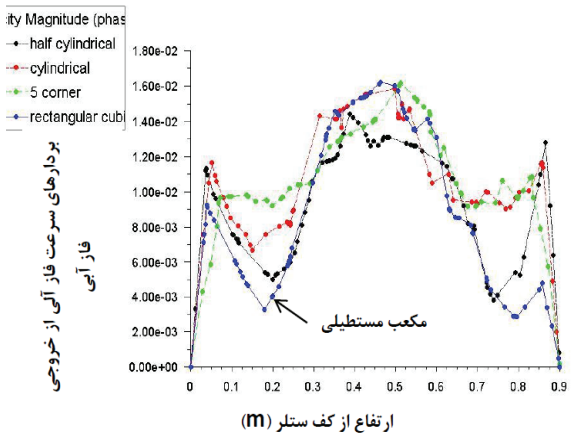
شکل ۹. کسر حجمی فاز آلی بر حسب ارتفاع در فاصله‌ی ۱۰ متری از ورودی ستلر (محل خروجی فاز آبی) برای پیکت‌فنس‌های اضافی در ورودی ستلر و مقایسه‌ی آن بدون پیکت‌فنس‌های اضافی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰. کسر حجمی فاز آلی در فاصله‌ی ۱۰ متری از ورودی ستلر تا ارتفاع ۰/۲ متری(محل خروجی فاز آبی) برای ۴ پیکت‌فنس استوانه‌ای (قرمز)، مکعب مستطیلی (آبی) و دارای سطح مقطع ۵ ضلعی (مشکی) و نیمه استوانه‌ی تو خالی (سبز)



شکل ۱۱. سرعت فاز آلی در فاصله‌ی ۱/۶۵متری از ورودی ستلر تا ارتفاع ۰/۹ متری برای چهار پیکت‌فنس استوانه‌ای (قرمز)، مکعب مستطیلی (آبی) و دارای سطح مقطع ۵ ضلعی (سبز) و نیمه استوانه‌ی تو خالی (مشکی)

بررسی هندسه‌ی پیکت‌فنس‌ها

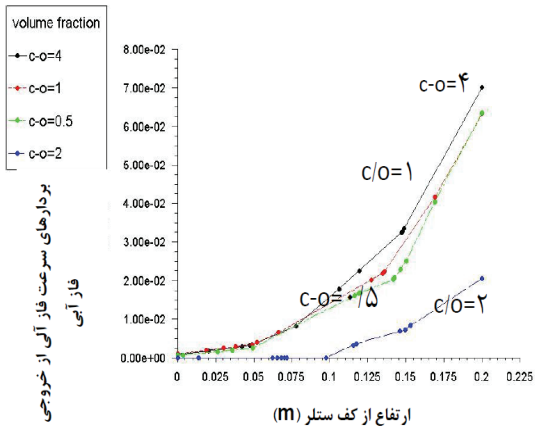
شکل ۱۰ کسر حجمی فاز آلی را در فاصله‌ی ۱۰ متری از ورودی ستلر تا ارتفاع ۰/۲ متری که محل خروجی فاز آبی است نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که بهترین جدایش مربوط به هندسه‌ی مکعب مستطیلی پیکت‌فنس است که هدر رفت فاز آلی از خروجی فاز آبی کمتر است. این بدان‌علت است که با پیکت‌فنس مکعب مستطیلی سرعت ورودی سیال بعد از پیکت‌فنس، بیشتر کاهش پیدا می‌کند. به معنای دیگر، پیکت‌فنس مکعب مستطیلی بیشتر جلوی شتاب سیال ورودی را با جریان گردابی کمتر می‌گیرد. بعد از آن پیکت‌فنس با سطح مقطع ۵ ضلعی است که به دلیل هندسه‌اش بیشتر از استوانه‌ای جلوی شتاب را می‌گیرد و جدایش آن بهتر است. نیم استوانه‌ی تو خالی نیز چون سیال در پشتش جمع می‌شود جلوی سرعت سیال را از استوانه‌ای و سطح مقطع پنج ضلعی بیشتر می‌گیرد و بنابراین جدایش آن بهتر است. شکل ۱۱ سرعت سیال را در فاصله‌ی ۱/۶۵ متری از ورودی قبل از پیکت‌فنس‌ها تا ارتفاع ۰/۹ متری ستلر نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در حضور پیکت‌فنس مکعب مستطیلی شکل (نمودار آبی) سرعت سیال کمتر است و بنابراین جدایش بیشتر صورت می‌گیرد.

بررسی نسبت سطح بسته به باز (C/O) پیکت‌فنس‌ها

شکل ۱۲ کسر حجمی فاز آلی را در فاصله‌ی ۱۰ متری از ورودی ستلر تا ارتفاع ۰/۲ متری که محل خروجی فاز آبی است نشان می‌دهد. این نمودار بیان می‌کند که با کاهش نسبت سطح بسته به باز پیکت‌فنس‌ها از ۴ به ۲ جدایش بهتر صورت گرفته است، حدود ۰/۰۵از کسر حجمی فاز آلی در خروجی فاز آبی کاهش پیدا کرده است. این بدان علت است که با کاهش این نسبت، جریان‌های گردابی پشت صفحات پیکت‌فنس که هیچگونه نقشی در جدایش دو فاز ندارند کمتر شده و سیال آرام‌تر و یکنواخت‌تر از فواصل بزرگتر بین پیکت‌فنس‌ها عبور می‌کند و به همین علت جدایش بهبود پیدا می‌کند. اما از طرف دیگر وقتی این نسبت باز هم کم کنیم تا به مقدار ۰/۵و ۱برسد، فاصله‌ی بین پیکت‌فنس‌ها به حدی زیاد می‌شود که دیگر پیکت‌فنس نقش خود را در کاهش سرعت از دست می‌دهد و سیال از فاصله‌ی زیاد بین پیکت‌فنس‌ها بدون اینکه سرعتش کاهش پیدا کند عبور می‌کند و جدایش کمتر صورت می‌گیرد.

اثر سرعت ورودی سیال

برای بررسی میزان جدایش دو فاز کسر حجمی فاز آلی تا ارتفاع ۰/۲ متری در فاصله‌ی ۱۰ متری که دقیقاً محل خروج فاز آبی است حاصل شد که در شکل ۱۳ نشان داده می‌شود.



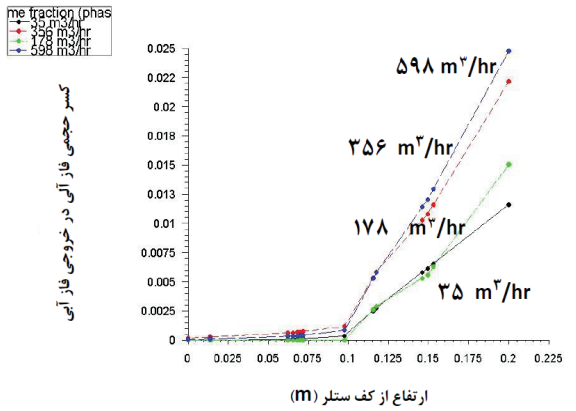
شکل ۱۲. کسر حجمی فاز آلی در فاصله‌ی ۱۰ متری از ورودی ستلر تا ارتفاع ۰/۲ متری (محل خروجی فاز آبی) برای نسبت‌های c/o ۲، ۴، ۱ و ۰/۵

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. مقایسه‌ی نتایج شبیه‌سازی را با داده‌های تجربی اندازه‌گیری شده در تحقیق قبلی [۴]

ارتفاع از کف ستلر (متر)	X=8 m			X= 6 m			X= 4 m		
	خطا%	داده‌ی شبیه‌سازی	داده‌ی تجربی	خطا%	داده‌ی شبیه‌سازی	داده‌ی تجربی	خطا%	داده‌ی شبیه‌سازی	داده‌ی تجربی
۰/۰۵	۱۴	۰/۰۴	۰/۰۴۷	۱۰	۰/۰۸۱	۰/۰۹	۱۹	۰/۰۹	۰/۱۱۲
۰/۳۵	۷	۰/۵	۰/۴۶۷	۱۸	۰/۲۹	۰/۳۵۵	۶,۴	۰/۲۵	۰/۲۳۵



شکل ۱۳. کسر حجمی فاز آلی بر حسب ارتفاع در فاصله‌ی ۱۰ متری از ورودی ستلر تا ارتفاع ۰/۲ متری (محل خروجی فاز آبی) برای سرعت‌های ورودی مختلف.

این شکل نشان می‌دهد که با کاهش سرعت به دلیل اینکه زمان بیشتری به مخلوط دو فاز داده می‌شود، جدایش دو فاز بهبود خواهد یافت.

۴. نتیجه‌گیری

۱. با قرار دادن ردیف دوم پیکت‌فنس و افزایش فاصله میان آنها از ۱ به ۲/۵ متر به دلیل کمتر شدن جریانات گردابی جدایش بهبود پیدا کرد. برای تأثیر مثبت ردیف دوم پیکت‌فنس بایستی فاصله‌ی بهینه بین ردیف‌ها را پیدا کرد تا جریان گردابی بین آنها تشکیل نشود.
۲. با قرار دادن ردیف سوم پیکت‌فنس در ستلر جدایش به نسبت دو ردیف بهبود پیدا کرد.
۳. با افزایش فاصله بین سه ردیف پیکت‌فنس به دلیل حذف جریان‌های گردابی بین ردیف‌ها جدایش بهبود پیدا می‌کند.
۴. با کاهش سرعت ورودی سیال به دلیل افزایش زمان جدایش بهبود پیدا کرد.
۵. با قرار دادن صفحات پیکت‌فنس اضافی در قسمت ورودی به دلیل کاهش سرعت سیال در محفظه و زمان بیشتر، جدایش افزایش پیدا کرد.

تقدیر و تشکر

از مجتمع مس سرچشمه کرمان برای کمک‌های نقدی برای انجام پروژه قدردانی می‌شود.

References

[1]. Huang Ying, Tanaka Mikiya, 2009. Analysis of continuous solvent extraction of nickel from spent electroless nickel plating baths by a mixer-settler, Journal of Hazardous Materials, 164, pp. 1228–1235.

[2]. M.O Shabani, Mazahert A., 2012.Computational fluid dynamics (CFD) simulation of liquid-liquid mixing in mixer settler, Archive of materials and metallurgy engineering, 57.

[3]. Miller G., 2006. Design of Mixer–settlers to Maximize Performance, Proceedings ALTA Copper 10. Alta Metallurgical Services, Melbourne.

[4]. Sadeghi R., Mohebbi A., Sarrafi A., Soltani A., Salmanzadeh M., Daneshpajooh Sh., 2011, CFD simulation and optimization of the settler of an industrial copper solvent extraction plant: A case study, Hydrometallurgy, 106, pp. 148-158.

[5]. Kankaanpää, T., CFD procedure for studying dispersion flows and design optimization of the solvent extraction settler, Doctoral Thesis, Helsinki University of Technology, Finland, 2007.

[6]. Stanbridge, D., Sullivan, J., One Example of How Offshore Oil & Gas Industry Technology Can Be of Benefit to Hydrometallurgy. Proceedings 2nd Intl. Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. CSIRO, Melbourne, 1999.

[7]. Kankaanpää, T.;"Studying Solvent Extraction Settler Process by Using CFD. In: Schlesinger", M.E. (Ed.), Proceedings EPD Congress. TMS, 2005.

[8]. Mandar T., Lane G., 2009, CFD simulation of a solvent extraction pump mixer unit: evaluating large eddy simulation and rans based models, Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries, Melborn, Australia.

[9] R. Seecharran, solvent extraction of copper, Anglo American Corporation, 1980

www.SID.ir