



دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی شیمی

پایان نامهٔ تحصیلی برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

شبیه سازی لاندر و ته نشین کننده های واحد استخراج با حلال مجتمع مس
سرچشمه به روش دینامیک سیالات محاسباتی

استاد راهنما:

دکتر علی محبی

استادان مشاور:

دکتر امیر صرافی

دکتر عطاالله سلطانی

مؤلف:

روح الله صادقی

شهریور ۱۳۸۸

تشکر و قدر دانی

((ان اشکر الناس لله اشکرهم للناس))

((شاکرترین مردم نسبت به خدا حق شناس ترین آنها نسبت به مردم است)) رسول

اکرم(ص)

سپاس و ستایش خداوندی را سزاوار است که عشق به آموختن را در انسان به ودیعه نهاد. عشقی که رسالت بر انگیز است. رسالتی انبیا گونه، شکرگذار، هستم که در این راه یاریم نمود و از او می خواهم که مرا در جهت بکارگیری آموخته هایم در راه ثواب مدد فرماید. اکنون که این پژوهش به زیور چاپ آراسته می گردد بر خود لازم می دانم تا مطابق سنت حسنه سپاسگزاری، والاترین مراتب سپاس خویش را به محضر استادان فرزانه که در طول تحصیل همواره افتخار شاگردی آنان را داشته و مرا مرهون الطاف و عنایت خالصانه خود قرار داده اند اعلام دارم. اما کدامین قلم در ادای حق استاد قادر خواهد بود و کدامین زبان است که در بیان اجر فرهیختگان علم پرور، اظهار عجز ننماید. از اینرو بر خود لازم می دانم از استاد فرزانه ؛ جناب آقای دکتر علی محبی که با راهنمای های سودمند و تذکرات عالمانه اش همواره فراراه پژوهش حاضر بودند و همچنین از آقایان دکتر امیر صرافی و دکتر عطاءالله سلطانی که مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند و آقایان دکتر محمد رهنما و دکتر حسن هاشمی پور رفسنجانی که مسئولیت داوری آنرا پذیرا شدند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

تقدیم به:

پدر و مادر بزرگوارم، آنان که وجودم برایشان همه رنج،
وجودشان برایم همه مهر، توانشان رفت تا به توانایی برسم و
موهایشان سپید گشت تا رویم سپید ماند، آنان که فروغ نگاهشان
، گرمی کلامشان و روشنی رویشان، سرمایه های جاودانه روی
من است، آنان که راستی قامت در شکستگی قامتشان تجلی
یافت.

چکیده

در این مطالعه یک شبیه سازی سه بعدی برای آنالیز الگوی جریان و اثر پیکت فنس ها در عملکرد لاندر و ته نشین کننده های واحد استخراج با حلال مجتمع مس سرچشمه انجام شده است. این شبیه سازی با در نظر گرفتن مدل دو فاز اولرین-اولرین همراه با مدل MUSIG که بر اساس یک موازنه جمعیتی برای در نظر گرفتن بهم آمیختن قطرات و از بین رفتن قطرات انجام شده است. در این مطالعه الگوی جریان در ته نشین کننده ، چگونگی جدایش فازها، اثر پیکت فنس ها در عملکرد ته نشین کننده ، افت فشار روی پیکت فنس ها و تعداد پیکت فنس ها، ساختار پیکت فنس ها، نوع پیکت فنس و توزیع اندازه قطرات مورد بررسی قرار گرفته است. برای این شبیه سازی ابتدا ابعاد سیستم، خواص فیزیکی و توزیع اندازه قطرات بدست آمد و سپس به شبیه سازی سیستم که در دو مرحله انجام شد پرداخته شده است. در مرحله اول لاندر ته نشین کننده و سپس خود ته نشین کننده شبیه سازی شد. نتایج با داده های تجربی بدست آمده از ته نشین کننده های مجتمع مس سرچشمه مطابقت خوبی داشت .

نتایج شبیه سازی نشان می دهد که با قرار دادن پیکت فنس ها در لاندر توزیع جریان در بخش های مختلف لاندر یکنواخت و جریان های چرخشی از بین می رود، بنابراین جدا سازی فازی بهتر انجام می شود. همچنین با افزایش تعداد ردیف های پیکت فنس ها، از طرفی جدا سازی را بهبود می بخشد و از طرف دیگر باعث افزایش افت فشار می شود.

شبیه سازی ته نشین کننده نشان داد که باند دیسپرژن تا انتهای ته نشین کننده ادامه دارد و بردارهای سرعت در این باند بیشتر در جهت طول ته نشین کننده می باشند. با قرار دادن یک پیکت فنس در ته نشین کننده باند دیسپرژن تا حد زیادی از بین می رود و بردارهای سرعت در تمام جهات منتشر می شوند و اندازه قطرات افزایش می یابد. با افزایش یک ردیف پیکت فنس باند دیسپرژن تقریباً از بین می رود و جدایش فازها بهتر صورت می گیرد. کاهش فاصله پیکت فنس ها باعث ایجاد جریان چرخشی شدید در بین دو ردیف پیکت فنس می شود که جداسازی را مختل می کند. افزایش نسبت سطح بسته پیکت فنس ها به سطح باز آنها باعث ایجاد جریان های چرخشی پشت پیکت فنس ها می شود که این جریان های چرخشی تا انتهای ته نشین کننده ادامه پیدا می کند. پیکت فنس های مکعب مستطیلی دارای کارایی بهتر نسبت به پیکت فنس های استوانه ای می باشند. پیکت فنس های استوانه ای با استوانه های هم جهت نسبت به پیکت فنس های استوانه ای با استوانه های غیر همجهت دارای افت فشار کمتر هستند ولی کارایی آنها یکسان است.

کلمات کلیدی:

ته نشین کننده، دینامیک سیالات محاسباتی، استخراج با حلال، پیکت فنس

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱) آشنایی با معدن مس سرچشمه
۳	۲-۱) استخراج با حلال
۵	۳-۱) اهداف پایان نامه
۶	فصل دوم: مبانی نظری موضوع
۷	۱-۲) مخلوط کننده- ته نشین کننده
۹	۲-۲) جدا سازی فازها و ترکیب قطرات
۱۰	۱-۲-۲) نازک شدن فیلم مایع
۱۱	۲-۲-۲) ضخامت فیلم بحرانی و پاره شدن آن
۱۲	۳-۲-۲) عامل مؤثر روی ترکیب شدن قطرات
۱۲	۱-۳-۲-۲) اندازه قطرات
۱۳	۲-۳-۲-۲) نیرو های خارجی
۱۳	۳-۳-۲-۲) خواص فیزیکی
۱۴	۴-۳-۲-۲) مواد جامد
۱۴	۳-۲) پرو فایل های ته نشینی و ترکیب شدن
۱۸	۴-۲) طراحی فرآیند ته نشین کننده
۱۹	۵-۲) دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و بهینه سازی
۲۲	۶-۲) معادلات حاکم لاندر و ته نشین کننده
۲۲	۱-۶-۲) معادلات پیوستگی
۲۲	۲-۶-۲) معادلات مومنتوم
۲۷	۳-۶-۲) انتخاب ضریب دراگ، لیفت و توربالانسی
۳۰	فصل سوم: مروری بر تحقیقات گذشته
۳۴	فصل چهارم: روش تحقیق
۳۵	۱-۴) هندسه سیستم
۳۹	۲-۴) شرایط عملیاتی
۴۱	۳-۴) خواص فیزیکی
۴۳	۴-۴) روش حل معادلات حاکم
۴۳	۱-۴-۴) نرم افزار و سخت افزار مورد استفاده
۴۶	۲-۴-۴) روش مجزا سازی و الگوریتم حل

عنوان

۴-۴-۳ شبکه محاسباتی

صفحه

۴۶

۴۸	فصل پنجم: نتایج و بحث
۴۹	۱-۵) توزیع اندازه قطرات و خواص فیزیکی
۵۴	۲-۵) تعیین شرایط مرزی
۵۵	۳-۵) تعیین پارامترهای مدل MUSIG
۵۶	۴-۵) وابستگی محاسبات به شبکه محاسباتی
۵۷	۵-۵) مقایسه داده های شبیه سازی با داده های تجربی
۵۸	۶-۵) شبیه سازی لاندر
۵۸	۱-۶-۵) شبیه سازی لاندر بدون پیکت فنس
۵۹	۲-۶-۵) شبیه سازی لاندر با پیکت فنس
۶۵	۷-۵) شبیه سازی ته نشین کننده
۶۵	۱-۷-۵) شبیه ته نشین کننده بدون پیکت فنس
۶۸	۲-۷-۵) شبیه سازی ته نشین کننده با پیکت فنس های مکعب مستطیلی
۶۹	۱-۲-۷-۵) شبیه سازی لاندر با یک ردیف پیکت فنس
۷۱	۲-۲-۷-۵) بررسی مکان پیکت فنس در عملکرد ته نشین کننده
۷۴	۳-۲-۷-۵) اثر تعداد پیکت فنس ها و فاصله آن ها در عملکرد ته نشین کننده
۷۷	۴-۲-۷-۵) توزیع اندازه قطرات در ته نشین کننده
۸۰	۵-۲-۷-۵) اثر نسبت C/O در جدایش فازی
۸۲	۳-۷-۵) شبیه سازی ته نشین کننده با پیکت فنس های استوانه
۸۵	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۶	۱-۶) نتیجه گیری
۹۰	۲-۶) پیشنهادات برای کارهای آینده
۹۱	منابع
۹۸	پیوست

۴۰	جدول (۱-۴) HLB برای مواد مختلف
۵۲	جدول (۱-۵) - تابعیت کشش سطحی با دما برای دو واحد E_1 و S
۵۴	جدول (۲-۵) - دانسیته و ویسکوزیته دینامیکی برای محلول آبی و آلی (E_1 و S)
۵۶	جدول (۳-۵) - اندازه قطرات در ورودی لاندر
۵۶	جدول (۴-۵) - اندازه قطرات در ورودی ته نشین کننده
۵۷	جدول (۵-۵) - زمان محاسبات
۵۸	جدول (۶-۵) - مقایسه داده های تجربی با داده های شبیه سازی برای کسر حجمی فاز آبی در خروجی بالا در لاندر
۵۸	جدول (۷-۵) - مقایسه داده های تجربی با داده های شبیه سازی برای کسر حجمی فاز آلی در نقاط مختلف در ته نشین کننده
۶۲	جدول (۸-۵) - کسر حجمی فاز آبی در خروجی بالا و افت فشار متوسط پیکت فنس ها
۷۴	جدول (۹-۵) - افت فشار روی پیکت فنس ها و کسر حجمی فاز آلی در خروجی بالایی
۷۶	جدول (۱۰-۵) - افت فشار روی پیکت فنس ها و کسر حجمی فاز آلی در خروجی بالایی
۷۸	جدول (۱۱-۵) - مختصات نقاط برای بررسی توزیع اندازه قطرات
۸۴	جدول (۱۲-۵) - افت فشار و کسر حجمی فاز آلی در خروجی بالایی برای انواع پیکت فنس

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۴	شکل (۱-۱) - استخراج با حلال مس بصورت چرخه ای
۷	شکل (۱-۲) - واحد مخلوط کننده - ته نشین کننده
۹	شکل (۲-۲) - اثر پیکت فنس ها روی باند مخلوط
۱۱	شکل (۳-۲) - مراحل اصلی تشکیل وریزش فیلم بین قطرات
۱۵	شکل (۴-۲) - ترکیب قطره - فصل مشترک و قطره - قطره
۱۷	شکل (۵-۲) - a سطح ارتفاع های ته نشینی، ترکیب شدن ولایه ی متراکم فشرده، b تغییر ارتفاع سطح های ته نشینی، ترکیب شدن ولایه ی متراکم فشرده با زمان
۳۶	شکل (۱-۴) - هندسه ته نشین کننده
۳۷	شکل (۲-۴) - ابعاد لاندر
۳۸	شکل (۳-۴) - ابعاد ته نشین کننده
۴۰	شکل (۴-۴) - میکروسکوپ مجهز به دوربین متصل به کامپیوتر
۴۱	شکل (۵-۴) - دستگاه اندازه گیری کشش سطحی
۴۲	شکل (۶-۴) - دستگاه اندازه گیری ویسکوزیته
۴۲	شکل (۷-۴) - لوله U شکل دستگاه اندازه گیری ویسکوزیته
۴۴	شکل (۸-۴) - ارتباط بین نرم افزار های مختلف در ANSYS CFX
۴۶	شکل (۹-۴) - شبکه محاسباتی در لاندر
۴۹	شکل (۱۰-۴) - شبکه محاسباتی در ته نشین کننده
۴۹	شکل (۱-۵) - تصویر قطرات آبی پایدار شده در محلول آلی
۵۰	شکل (۲-۵) - توزیع اندازه قطرات ورودی به لاندر واحد E_1
۵۰	شکل (۳-۵) - توزیع اندازه قطرات ورودی به ته نشین کننده E_1
۵۱	شکل (۴-۵) - توزیع اندازه قطرات ورودی به لاندر واحد S
۵۱	شکل (۵-۵) - توزیع اندازه قطرات ورودی به ته نشین کننده S
۵۲	شکل (۶-۵) - توزیع اندازه قطرات ورودی به لاندر واحد E_2
۵۳	شکل (۷-۵) - رابطه خطی بین کشش بین سطحی و دما برای واحد E_1
۵۳	شکل (۸-۵) - رابطه خطی بین کشش بین سطحی و دما برای واحد S
۵۷	شکل (۹-۵) - نمودار باقیمانده ها
۵۹	شکل (۱۰-۵) - الگوی جریان در لاندر بدون پیکت فنس
۵۹	شکل (۱۱-۵) - کانتور های کسر حجمی فاز آلی بدون پیکت فنس
۶۰	شکل (۱۲-۵) - هندسه پیکت فنس ها
۶۰	شکل (۱۳-۵) - هندسه پیکت فنس های بکار رفته در شبیه سازی لاندر
۶۱	شکل (۱۴-۵) - الگوی جریان در لاندر با یک پیکت فنس
۶۱	شکل (۱۵-۵) - کانتور های کسر حجمی فاز آلی با یک پیکت فنس
۶۲	شکل (۱۶-۵) - الگوی جریان در لاندر با دو پیکت فنس و بدون مانع
۶۳	شکل (۱۷-۵) - کانتور های کسر حجمی فاز آلی با دو پیکت فنس بدون مانع

عنوان

صفحه

- ۶۳ شکل (۱۸-۵) - الگوی جریان در لاندربا یک پیکت فنس و بدون مانع
- ۶۴ شکل (۱۹-۵) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی - با یک پیکت فنس بدون مانع
- ۶۴ شکل (۲۰-۵) - الگوی جریان در لاندربا دو پیکت فنس و بدون مانع
- ۶۵ شکل (۲۱-۵) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی با دو پیکت فنس بدون مانع
- ۶۶ شکل (۲۲-۵) - الگوی جریان در ته نشین کننده در ارتفاع $y=0/2m$
- ۶۶ شکل (۲۳-۵) - الگوی جریان در ته نشین کننده در ارتفاع $y=0/45m$
- ۶۷ شکل (۲۴-۵) - الگوی جریان در ته نشین کننده در ارتفاع $y=0/75m$
- ۶۸ شکل (۲۵-۵) - الگوی جریان در ته نشین کننده در $z=4/5m$
- ۶۸ شکل (۲۶-۵) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی در $z=4/5m$
- ۶۹ شکل (۲۷-۵) - ابعاد پیکت فنس ها در ته نشین کننده
- ۷۰ شکل (۲۸-۵) - الگوی جریان در ته نشین کننده با یک ردیف پیکت فنس ($x_1 = 1/75 m, z=4/5m$)
- ۷۰ شکل (۲۹-۵) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی با یک ردیف پیکت فنس ($x_1 = 1/75 m$)
- ۷۱ شکل (۳۰-۵) - کسر حجمی فاز آلی بر حسب ارتفاع ته نشین کننده قبل و بعد پیکت فنس ها
- ۷۱ شکل (۳۱-۵) - کسر حجمی فاز آلی بر حسب ارتفاع در انتهای ته نشین کننده ($x_1 = 9/0 m$)
- ۷۲ شکل (۳۲-۵) - الگوی جریان در ته نشین کننده با یک ردیف پیکت فنس ($x_1 = 3/55 m, z=4/5m$)
- ۷۲ شکل (۳۳-۵) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی با یک ردیف پیکت فنس ($x_1 = 3/55 m, z=4/5m$)
- ۷۲ شکل (۳۴-۵) - الگوی جریان در ته نشین کننده با یک ردیف پیکت فنس ($x_1 = 7/95 m$)
- ۷۳ شکل (۳۵-۵) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی با یک ردیف پیکت فنس ($x_1 = 7,95 m$)
- ۷۳ شکل (۳۶-۵) - نمودار کسر حجمی بر حسب ارتفاع در انتهای ته نشین کننده در مکان های مختلف پیکت فنس در ته نشین کننده
- ۷۵ شکل (۳۷-۵) - الگوی جریان در ته نشین کننده با دو ردیف پیکت فنس ($D = 1/3 m, x_1 = 1/75 m, z=4/5 m$)
- ۷۵ شکل (۳۸-۵) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی با دو ردیف پیکت فنس ($D = 1/3 m, x_1 = 1/75 m, z=4/5 m$)
- ۷۵ شکل (۳۹-۵) - مقایسه نمودار کسر حجمی بر حسب ارتفاع ته نشین کننده برای دو ردیف پیکت فنس در مقابل یک ردیف پیکت فنس
- ۷۶ شکل (۴۰-۵) - الگوی جریان در ته نشین کننده با دو ردیف پیکت فنس ($D = 0/6 m, x_1 = 1/75 m, z=4/5 m$)
- ۷۶ شکل (۴۱-۵) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی با دو ردیف پیکت فنس ($D = 0/6 m, x_1 = 1/75 m, z=4/5 m$)
- ۷۷ شکل (۴۲-۵) - نمودار کسر حجمی بر حسب ارتفاع ته نشین کننده برای فواصل متفاوت بین پیکت فنس ها (D)
- ۷۷ شکل (۴۳-۵) - مکان نقاط برای بررسی توزیع اندازه قطرات
- ۷۸ شکل (۴۴-۵) - توزیع اندازه قطرات در نقاط (۱) و (۲)
- ۷۹ شکل (۴۵-۵) - توزیع اندازه قطرات در نقطه (۳)
- ۷۹ شکل (۴۶-۵) - توزیع اندازه قطرات در نقطه (۴)
- ۸۰ شکل (۴۷-۵) - توزیع اندازه قطرات در نقطه (۵)
- ۸۱ شکل (۴۸-۵) - الگوی جریان در ته نشین کننده با یک ردیف پیکت فنس با نسبت $C/O=4$ ($x_1 = 1/75 m, z=4/5 m$)
- ۸۱ شکل (۴۹-۵) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی با یک ردیف پیکت فنس با نسبت $C/O=4$ ($x_1 = 1/75 m, z=4/5 m$)
- ۸۱ شکل (۵۰-۵) - نمودار کسر حجمی بر حسب ارتفاع ته نشین کننده برای نسبت های متفاوت C/O در انتهای ته نشین کننده
- ۸۲ شکل (۵۱-۵) - پیکت فنس های استوانه ای

عنوان

صفحه

- شکل (۵-۵۳) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی برای پیکت فنس های استوانه ای غیر همجهت ($X_1 = 1/75 \text{ m}, z=4/5 \text{ m}$)
- شکل (۵-۵۴) - الگوی جریان در ته نشین کننده با پیکت فنس های استوانه ای همجهت ($X_1 = 1/75 \text{ m}, z=4/5 \text{ m}$)
- شکل (۵-۵۵) - کانتورهای کسر حجمی فاز آلی برای پیکت فنس های استوانه ای همجهت ($X_1 = 1/75 \text{ m}, z=4/5 \text{ m}$)
- شکل (۵-۵۶) - مقایسه نمودار کسر حجمی فاز آلی بر حسب ارتفاع در انتهای ته نشین کننده ($X = 9/10 \text{ m}$) برای انواع پیکت فنس
- شکل (۶-۱) - ابعاد پیکت فنس ها در لاندر
- شکل (۶-۲) - ابعاد پیکت فنس ها در ته نشین کننده

فهرست علائم و نشانه ها

- A_p : سطح تصویر شده قطرات [m^2]
 A_{hs} : مساحت افقی ته نشین کننده [m^2]
 B_B : شدت تولید قطره بخاطر از بین رفتن [$1/(m^3.s)$]
 B_c : شدت تولید قطره بخاطر ترکیب شدن [$1/(m^3.s)$]
 C_d : ضریب دراگ [-]
 C_L : ضریب لیفت [-]
 C_{TD} : ضریب پراکندگی توربالانسی [-]
 C_μ : ثابت در مدل توربالانسی $k - \varepsilon$ [-]
 $C_{1\varepsilon}$: ثابت در مدل توربالانسی $k - \varepsilon$ [-]
 $C_{2\varepsilon}$: ثابت در مدل توربالانسی $k - \varepsilon$ [-]
 D_B : شدت از بین رفتن قطرات بخاطر از بین رفتن [$1/(m^3.s)$]
 D_C : شدت از بین رفتن قطرات بخاطر ترکیب شدن [$1/(m^3.s)$]
 d_i : قطر گروه اندازه ای i [m]
 d_s : قطر میانگین [m]
 E_o : عدد اتوو ($E_o = \frac{g\Delta\rho d_s^2}{\sigma}$) [-]
 F^{buo} : نیروی شناوری [N/m^3]
 F^{drag} : نیروی دراگ [N/m^3]
 F^{Lift} : نیروی لیفت [N/m^3]
 F^{td} : نیروی توربالانسی [N/m^3]
 f_i : کسر گروه اندازه ای i [-]
 g : سرعت مشخصه شکست قطرات [$1/s$]
 g : شتاب جاذبه [m/s^2]
 h_{dis} : ضخامت پایدار باند دیسپرژن [m]
 h_c : ارتفاع ترکیب شدن [m]
 h_s : ارتفاع ته نشینی [m]
 h_f : ارتفاع بین ناحیه ته نشینی و ترکیب شدن [-]
 k : انرژی جنبشی توربالانسی [m^2/s^2]
 N : تعداد گروه های اندازه ای [-]

n_i : دانسیته عددی قطرات [$1/m^3$]
 p : فشار [Pa]
 Q : سرعت مشخصه ترکیب قطرات [m^3/s]
 R_{ni} : فلاکس قطرات در مختصات خارجی [m/s]
 Re : عدد رینولدز [-]
 S_m : ترم منبع بخاطر نیروهای حجمی [-]
 S_i : ترم منبع بخاطر نرخ انتقال جرم به گروه اندازه ای i [$kg/(m^3.s)$]
 T : دما [$^{\circ}C$]
 t : زمان [s]
 t_f : زمان کامل شدن جداسازی فازها [s]
 t_i : زمان پایان ته نشینی [s]
 U_c : سرعت برداری فاز پیوسته [m/s]
 U_d : سرعت برداری فاز پراکنده [m/s]
 U_{rel} : سرعت نسبی بین فازها [m/s]
 V_{fr} : جریان حجمی مخلوط [m^3/s]
 V_{spe} : جریان حجمی ویژه [$m^3/(m^2.h)$]
 X_N : فلاکس قطرات در مختصات داخلی [m/s]

حروف یونانی

α_c : کسر حجمی فاز پیوسته [-]
 α_d : کسر حجمی فاز پراکنده [-]
 α_{di} : کسر حجمی گروه اندازه ای i [-]
 α_{dm} : ماکزیمم کسر حجمی قابل دسترس برای فاز پراکنده [-]
 δ_k : ثابت در مدل توربالانسی [$k - \varepsilon$]
 ε : نرخ افت توربالانسی [m^2/s^3]
 μ_c : ویسکوزیته فاز پراکنده [Pa.s]
 μ_d : ویسکوزیته فاز پیوسته [Pa.s]
 μ_m : ویسکوزیته فاز مخلوط [Pa.s]
 ρ_o : دانسیته مرجع [kg/m^3]
 ρ_c : دانسیته فاز پیوسته [kg/m^3]
 ρ_c : دانسیته فاز پراکنده [kg/m^3]
 σ : کشش بین سطحی [N/m]

فصل اول

مقدمه

۱-۱- آشنایی با معدن مس سرچشمه

معدن مس سرچشمه در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان و ۵۰ کیلومتری جنوب رفسنجان و در ناحیه مرکزی رشته کوه زاگرس قرار گرفته است. معدن مس سرچشمه یکی از بزرگترین مجتمع های صنعتی معدنی جهان محسوب می گردد و بزرگترین تولید کننده مس ایران می باشد. ذخیره زمین شناسی معدن بالغ بر یک میلیارد و دویست میلیون تن سنگ سولفوری با عیار متوسط ۰،۷ درصد برآورد گردیده است. معدن مس سرچشمه از دیدگاه زمین شناسی بر روی کمربند جهانی مس قرار داشته و پهنه گسترش آن از جنوب خاوری تا شمال باختری به صورت یک محدوده بیضوی با ابعاد ۱۲۰۰×۲۳۰۰ متر و ژرفای ۱۶۱۲ متر می باشد. ساختار معدنی در این منطقه بصورت چندبافتی (پروفیری) بوده و نوع سنگ منطقه از نوع گرانودیوریت و زمان تشکیل آن حدود ۲۵ میلیون سال پیش می باشد. بخش های تولیدی مجتمع مس سرچشمه شامل معدن، تغلیظ، ذوب، پالایشگاه و ریخته گری ها و لیچینگ می باشند. کارخانه مس سرچشمه دارای ظرفیت تولید سالانه ۱۴ هزار تن ورق کاتد مس می باشد. مس کاتدی دارای ابعادی برابر ۹۴ سانتی متر در ۹۱ سانتی متر و در ۹ میلی متر، وزنی بین ۷۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم و درجه خلوصی معادل با ۹۹/۹۸ درصد است و متقاضیان فراوانی در اقصی نقاط جهان دارد.

یکی از مراحل مهم تولید مس در واحد لیچینگ^۱ فرایند استخراج مایع- مایع می باشد. استخراج مایع- مایع که، استخراج با حلال^۲ نیز نامیده می شود فرآیندی است که اجزای یک محلول را به وسیله توزیع آن در دو مایع غیر قابل حل در یکدیگر جدا می کند [۱]. این فرآیند کاربردهای صنعتی زیادی در زمینه شیمی آلی دارد که به عنوان مثال می توان به کاربرد آن در صنایع پتروشیمی و دارو سازی اشاره نمود. در چند دهه اخیر این روش در استخراج فلزاتی مانند مس، کبالت و روی بسیار بکار رفته است. بطور کلی فرآیندهای هیدرومتالورژی شامل سه مرحله لیچینگ، استخراج با حلال و الکترووینینگ^۳ می باشند. درتولید مس به روش هیدرومتالورژی کانیهای اکسید شده مس از قبیل کربنات ها، اکسیدها، هیدروسلیکات ها و سولفاتها بکار می رود. حدود ۲۰ درصد از تولید مس جهان با استفاده از روش های هیدرومتالورژی تولید می شود و پیش بینی می شود که تولید با این روش به سرعت افزایش پیدا کند.

^۱ - Leaching

^۲ - Solvent extraction

^۳ - Electrowinning

۱-۲- استخراج با حلال

استخراج با حلال یک فرآیند تعادلی است که برای تغلیظ و بالا بردن خلوص محلول رقیق حاصل از مرحله لیچینگ تا اینکه بتواند در مرحله الکترووینینگ قابل استفاده شود. غلظت مس خروجی از مرحله استخراج با حلال به حدود ۴۵ gr/l می رسد که در این غلظت، الکتروود کاتد در مرحله الکترووینینگ می تواند تشکیل شود [۲]. در مرحله استخراج با حلال یون فلزی از فاز آبی به عنوان یک ترکیب کمپلکس به فاز آلی انتقال می یابد. ترکیب کمپلکس وقتی تشکیل می شود که یون فلزی با حلال (فاز آلی) ترکیب شود که این ترکیب غیر قابل حل در آب (فاز آبی) است. در مرحله عاری سازی^۴ یون فلزی استخراج شده از فاز آلی به فاز آبی (الکتروولیت) منتقل می شود. فرآیندهای دیگر که در این مرحله وجود دارند احیا و شستشو می باشند. در مرحله احیا حلال به حالت اولیه خود با همان تأثیر اولیه بر می گردد. عملیات احیا سازی معمولاً بوسیله فیلتراسیون و تصفیه خاکی^۵ انجام می شود [۳] و مرحله شستشو برای حذف ناخالصی های فاز آبی^۶ در فاز آلی استفاده می شود. در مواقعی که دما به زیر صفر می رسد بدلیل کریستالیزاسیون ذرات جامد ناخالصی بوجود می آیند که در جریان های فرآیندی مشکل ساز می شوند [۲]. بر طبق مطالعات انجام شده توسط و تادورس و وینکاند^۷ [۴]، فریبرگ و یانگ^۸ [۵] ذرات جامد ممکن است به حالت پایداری در محلول برسند و جداسازی را مختل کند. بنابراین در طراحی باید تأثیر ناخالصی ها را در نظر گرفت. فرآیند استخراج با حلال معمولاً بصورت پیوسته است و بصورت سری در دو یا سه مرحله استخراج و یک یا دو مرحله عاری سازی می باشد که بازده هر مرحله تقریباً ۹۰٪ است [۳]. استخراج مس به روش چرخه ای^۹ انجام می شود. بدین صورت که فاز آبی از فرآیند های لیچینگ و فاز آلی^{۱۰} از مرحله عاری سازی وارد مخلوط کننده^{۱۱} مرحله استخراج می شود و بعد از

⁴ - Stripping stage

⁵ - Clay treatment

⁶ - pregnant leach solution

⁷ - Tadros, T.F. and Vincent, B

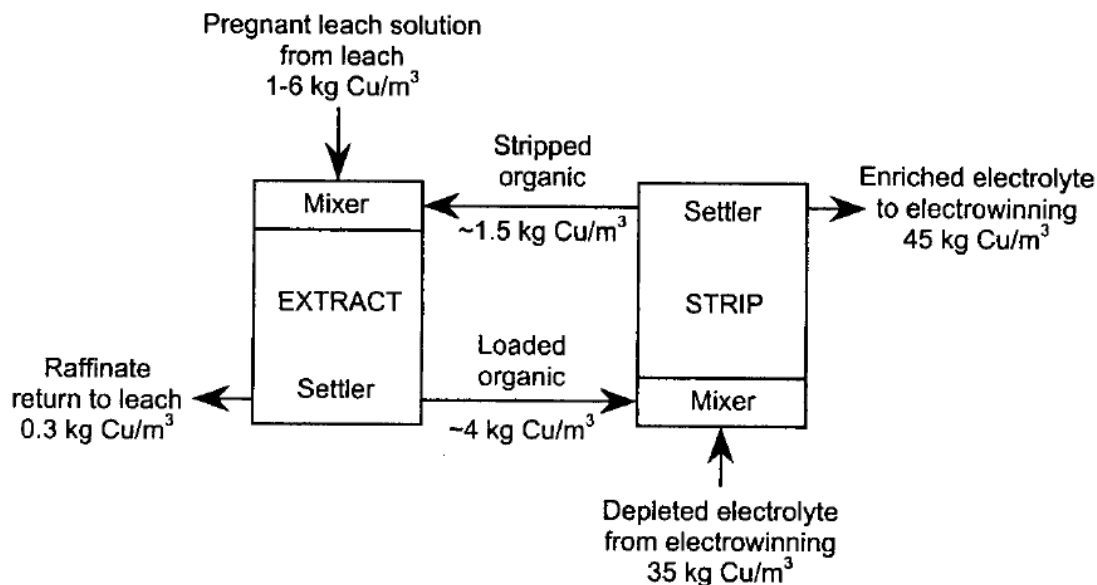
⁸ - Friberg, S.E. and Yang, J

⁹ - Solvent extraction circuit

¹⁰ - Extractant

¹¹ - Mixer

مخلوط شدن فازها در ته نشین کننده^{۱۲} از هم جدا می شوند (شکل ۱-۱) سپس فاز آبی^{۱۳} که مس از آن جدا شده است به مرحله لیچینگ باز می گردد و فاز آلی که حاوی فلز مس است وارد مخلوط کننده مرحله عاری سازی می شود.



شکل (۱-۱) - استخراج با حلال مس بصورت چرخه ای [۶].

در این مرحله یون مس از فاز آلی به فاز آبی^{۱۴} که از مرحله الکترووینینگ می آید، انتقال می یابد. بعد از مخلوط شدن و جداسازی، فاز آلی عاری از یون مس و الکترولیت که حاوی یون مس است بدست می آید. الکترولیت دوباره به مرحله الکترووینینگ بر می گردد که در آنجا مس بصورت خالص بدست می آید و فاز آلی عاری از یون مس به مخلوط کننده مرحله استخراج بر می گردد که در آنجا دوباره چرخه شروع می شود.

تعادل در استخراج به pH بستگی دارد. در مرحله استخراج اگر غلظت اسید سولفوریک در فاز آبی آنقدر پایین بیاید که pH بین $1/8$ تا $2/5$ قرار گیرد، فاز آلی می تواند حاوی یون مس شود. در مرحله احیا سازی غلظت اسید سولفوریک باید بالا باشد (حدوداً 180 gr/l) تا تعادل منتقل شود [۷ و ۸ و ۹ و ۱۰].

عملکرد ته نشین کننده ها در فرآیند استخراج با حلال تا حد زیادی به توزیع جریان خوراک بر می گردد که اثر زیادی روی الگوی جریان در ته نشین کننده دارد. ایده آل ترین حالت وقتی است که خوراک در

¹² -Settler

¹³ - Raffinate

¹⁴ - Electrolyte

کل عرض و عمق ته نشین کننده [۱۳] توزیع شود که باعث بوجود آمدن جریان قالبی در ته نشین کننده می شود که مناسبترین الگوی جریان می باشد. زیرا الگوی جریان قالبی از بوجود آمدن ادی های بزرگ و جریان های چرخشی که عملکرد فرآیند را مختل می کنند، جلوگیری می کند. همچنین میلر [۱۳] بیان کرد برای جلوگیری از بوجود آمدن جریان چرخشی، خوراک باید در میانه عمق ته نشین کننده وارد شود زیرا اگر در نیمه بالایی خوراک وارد شود باعث ایجاد جریان برگشتی در نیمه پایینی می شود و اگر در نیمه پایینی وارد شود باعث ایجاد جریان برگشتی در نیمه بالایی می شود. بوسیله فهمیدن فرآیند در ته نشین کننده و قرار دادن ابزارهای مانند بافل ها و پیکت فنس ها^{۱۵} می توان عملکرد ته نشین کننده را تا حدود زیادی بهبود بخشید با این ابزار می توان از تولید ادی های بزرگ و کوچک و جریان چرخشی که از مشخصه های ته نشین کننده های با مقیاس صنعتی است جلوگیری کرد و همچنین با این ابزار می توان توزیع خوراک و سیستم ترکیب بهتری داشته باشیم. یکی دیگر از پارامترهای مؤثر روی عملکرد ته نشین کننده توزیع اندازه قطرات می باشد. توزیع قطرات در ته نشین کننده به مخلوط کننده و خواص فیزیکی سیالات در ته نشین کننده بستگی دارد.

۱-۳- اهداف پایان نامه :

هدف از این پایان نامه استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی برای مطالعه رفتار مخلوط الگوی جریان، طراحی و انتخاب پیکت فنس ها در لاندرو و ته نشین کننده واحد E_1 استخراج با حلال مجتمع مس سرچشمه می باشد. در این مطالعه سعی بر این است که در ابتدا با بدست آوردن اطلاعاتی از واحد مانند ابعاد سیستم، شرایط عملیاتی، خواص فیزیکی سیالات مورد استفاده و توزیع اندازه قطرات، بوسیله دینامیک سیالات محاسباتی به شبیه سازی واحد پرداخته شود. سیال های فرآیندی مس و فاز دیسپرژن تشکیل شده آنقدر تاریک است که مشاهده الگوی جریان واز بین رفتن دیسپرژن بطور دقیق امکان پذیر نیست. بنابراین برای درک بهتر این پدیده ها از دینامیک سیالات محاسباتی که هم ارزان وهم سریع است و هم می تواند از بعضی آزمایشات فیزیکی در آزمایشگاه یا در طرح پایلوت جلوگیری کند در بهینه کردن عملکرد ته نشین کننده استفاده می شود.

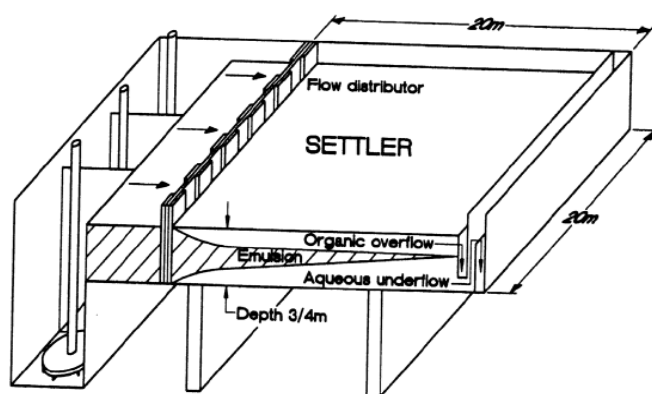
¹⁵ -Picket fences

فصل دوم

مبانی نظری موضوع

۱-۲- مخلوط کننده-ته نشین کننده

در اولین مرحله از یک فرآیند مخلوط کننده-ته نشین^{۱۶} کننده معمولی (شکل ۱-۲) فاز آبی و آلی داخل مخلوط کننده پمپ می شوند تا یک دیسپرز^{۱۷} یکنواخت بدست آید و قطراتی به اندازه کافی کوچک تشکیل شود تا انتقال جرم افزایش یابد. در هر حال باید از مخلوط شدن اضافی جلوگیری شود زیرا باعث می شود که قطرات بیش از حد ریز شوند و منجر به تولید یک محلول امولسیون^{۱۸} پایدار شود که به دو فاز مایع مجزا تبدیل نمی شوند و همچنین باید از ورود هوا جلوگیری کرد. زیرا ورود هوا باعث افزایش تشکیل کِراد^{۱۹} و اکسید شدن فاز آلی می شود. کِراد یک جامد امولسیون پایدار است و هنگامی تشکیل می شود که ذرات خیلی ریز و جامد مانند خاک و سیلیکات ها از فاز آبی در فصل مشترک آلی و آبی جمع شوند [۱۱]. از طرفی دیگر فاز آبی دارای ناخالصی هایی مانند کلراید، آهن، منگنز، یا نیترات است که باعث بوجود آمدن مشکلات عملیاتی می شوند [۱۲].



شکل (۱-۲)- واحد مخلوط کننده-ته نشین کننده [۱۰].

تمام این مسایل وقتی که نوع پره و تعداد واحدهای مخلوط کننده و سرعت نوک پره انتخاب می شود باید به حساب آید. بر طبق مطالعات جنکینز^{۲۰} و همکارانش [۳] زمان اقامت برای تولید یک مخلوط

¹⁶ - Mixer-settler

¹⁷ - دیسپرز (Dispersion) یک مخلوط است که فاز بصورت ناپیوسته در فاز پیوسته دیگری پخش شده است. در واحد استخراج با حلال قطرات یک مایع به اندازه های $100 \mu m$ تا $2mm$ در یک مایع دیگری پخش شده اند.

¹⁸ - وقتی اندازه قطرات کمتر از $50 \mu m$ باشد دیسپرز امولسیون نامیده می شود که پایدار است و فازها نمی توانند از هم جدا شوند.

¹⁹ - Crud

²⁰ - Jenkins