

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی تجربی و مدل سازی فرایند استخراج بی کربنات پتاسیم از  
پلی آمید

از:

رشید ارشادی فارسانی

استاد راهنما:

دکتر بهروز عباسی سورکی

شهریور ۱۳۹۲

دانشکده فنی

گروه مهندسی شیمی

گرایش مهندسی شیمی پیشرفته

بررسی تجربی و مدل سازی فرایند استخراج بی کربنات پتاسیم از پلی آمید

از

رشید ارشادی فارسانی

استاد راهنما

دکتر بهروز عباسی سورکی

اساتید مشاور

دکتر جواد صیاد امین

مهندس سید هادی سیدی

شهریور ۱۳۹۲

به نام خالق یکتایی که با نظم آفرید تا از آن علم تولید کنیم

تقدیم به

مادرم

منظر عشق، فداکاری و گذشت

و

پدرم

الگوی تلاش، پشتکار و شرافت

نخستین پاس به پیشگاه حضرت دوست که هر چه هست از اوست...

بسی شایسته است که از زحمات دلسوزانه و راهنمایی های کارساز و سازنده ی استاد فریخته، جناب آقای دکتر عباسی تقدیر و تشکر نمایم. با اتقان و یکران از مساعدت های بی شائبه ی اساتید محترم جناب آقای دکتر صیاد امین و جناب آقای مهندس سیدی و کارشناس محترم گروه سرکار خانم مهندس علنیراده. همچنین از دوستان خوبم آقایان مهندس وارد آبلنار و امامی و شمالی و اهللی خواجگاه ۳۱۷ بلوک هفت نیز که حضورشان باعث دلگرمی اینجانب بود، تقدیر می نمایم.

در خاتمه پاس به پیشگاه عزیزانی که از سر اغاض رخصت بردن نامشان را به مانداند که اگر حضور ایشان نبود، راه به جایی نمی بردم.

نامشان ز فرمه نیمه شب مستان باد

تا نگویند که از یاد فراموشاند

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه .....	۱
۱-۱- فرآیند استخراج جامد - مایع در صنایع غذایی و زیستی .....	۶
۲-۱- فرآیند استخراج جامد - مایع برای مواد آلی و غیر آلی .....	۶
۳-۱- آماده سازی جامد برای استخراج .....	۷
۳-۱-۱- مواد آلی و غیر آلی .....	۷
۳-۱-۲- مواد گیاهی و حیوانی .....	۷
۴-۱- روشهای مختلف استخراج از جامد .....	۸
۴-۱-۱- استخراج از جامد در محل .....	۹
۴-۱-۲- استخراج از جامد به صورت توده ای .....	۹
۴-۱-۳- مخازن نفوذ .....	۹
۴-۱-۴- نفوذ در ظروف بسته .....	۹
۴-۱-۵- استخراج از جامد به صورت صافی فشاری .....	۹
۴-۱-۶- ظروف به هم زن .....	۱۰
۵-۱- سرعت استخراج .....	۱۰
۵-۱-۱- اندازه ذره .....	۱۱
۵-۱-۲- حلال .....	۱۱
۵-۱-۳- دما .....	۱۲
۵-۱-۴- آشفته‌گی سیال .....	۱۲

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۲	۶-۱- انواع دستگاه های استخراج جامد - مایع .....
۱۲	۱-۶-۱- استخراج در بستر ثابت .....
۱۳	۲-۶-۱- استخراج در بستر متحرک .....
۱۴	۳-۶-۱- استخراج جامد - مایع در مخازن همزن دار .....
۱۵	۷-۱- تجهیزات لیچینگ .....
۱۶	۱-۷-۱- استخراج کننده ناپیوسته .....
۱۷	۲-۷-۱- استخراج کننده پیوسته .....
۲۰	۲- پیشینه تحقیق .....
۲۵	۳- تئوری .....
۲۶	۱-۳- استخراج از جامد در بستر ثابت .....
۲۶	۳-۱-۱- ترکیب مفاهیم سرعت و تعادل .....
۲۷	۳-۱-۱-۱- فاز سیال .....
۲۹	۳-۱-۱-۲- فاز جامد .....
۲۹	۳-۱-۱-۳- مدل سازی ریاضی .....
۳۲	۳-۱-۲- تبدیل به زیرلایه های بستر سیال شده .....
۳۵	۳-۲- استخراج ناپیوسته در ظرف همزن دار .....
۳۵	۳-۲-۱- مدل سازی با استفاده از ضریب انتقال جرم حجمی .....
۳۶	۳-۲-۲- نفوذ در محلول مخلوط شده با حجم محدود از ذرات استوانه ای شکل .....

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۸	۳-۳- محاسبه ضریب نفوذ موثر .....
۴۱	۴- مواد و روش ها .....
۴۲	۱-۴- معرفی مواد .....
۴۲	۱-۴-۱- بسپار یا پلیمر .....
۴۲	۱-۴-۱-۱- انواع بسپار .....
۴۲	۱-۴-۱-۲- دسته بندی بسپارها .....
۴۳	۱-۴-۲- تاریخچه پلی آمید .....
۴۴	۱-۴-۳- پلی آمیدها .....
۴۷	۱-۴-۴- هیدرولیز پلی آمیدها .....
۴۷	۱-۴-۶- خصوصیات کلی الیاف پلی آمید .....
۴۸	۱-۴-۷- روش تهیه پلی آمید .....
۴۸	۱-۴-۷-۱- وسایل و مواد مورد نیاز برای تولید در صنعت .....
۴۸	۱-۴-۷-۲- روش تهیه .....
۴۹	۱-۴-۷-۳- کاربردها .....
۴۹	۱-۴-۷-۴- معایب و مزایا .....
۵۰	۱-۴-۸- پتاسیم بی کرینات .....
۵۰	۱-۴-۸-۱- کاربردها .....
۵۲	۲-۴- استخراج از جامد در بستر ثابت .....



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۴- استخراج از ذرات پلیمری متخلخل در ظرف همزندانر .....	۵۳
۴-۴- ضریب نفوذ موثر (De) و غلظت تعادلی (qe) .....	۵۵
۴-۴-۱- غلظت تعادلی .....	۵۵
۴-۴-۲- ضریب نفوذ موثر .....	۵۶
۵- نتیجه گیری و پیشنهادات .....	۵۷
۵-۱- تعیین معادله غلظت تعادلی .....	۵۸
۵-۲- تعیین معادله ضریب نفوذ موثر .....	۶۱
۵-۳- استخراج در بستر ثابت .....	۶۶
۵-۴- استخراج در ظرف همزندانر .....	۶۹
۵-۵- پیشنهادات .....	۷۵
منابع .....	۷۶

## فهرست جدول ها

صفحه

عنوان

۵۲	جدول (۱-۴) خواص فیزیکی نایلون .....
۶۹	جدول (۱-۵) گزارش خطای RMSE مدل های بستر ثابت در سه دمای متفاوت .....
۷۱	جدول (۲-۵) گزارش خطای RMSE مدل نفوذ در حجم محدود و تاثیر ضریب تفکیک در سه دمای متفاوت .....
۷۳	جدول (۳-۵) ضریب انتقال جرم حجمی در سه دمای مختلف .....
۷۴	جدول (۴-۵) گزارش خطای RMSE مدل های ظرف همزن دار در سه دمای متفاوت .....

## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) یک نمونه از استخراج کننده بستر ثابت چقدر قند .....	۱۳
شکل (۲-۱) تجهیزات استخراج از یک بستر متحرک .....	۱۴
شکل (۳-۱) شمایی از سیستم غیر همسواستخراج جامد - مایع .....	۱۵
شکل (۴-۱) تانک پاچوکا .....	۱۷
شکل (۵-۱) جریان غیرهم جهت در سیستم شانک .....	۱۷
شکل (۶-۱) استخراج کننده روتوسل .....	۱۹
شکل (۱-۳) برشی دیفرانسیلی از ستون بستر .....	۲۸
شکل (۲-۳) الگوریتم حل معادلات استخراج از بستر ثابت به روش ترکیب مفاهیم سرعت و تعادل .....	۳۱
شکل (۳-۳) یکی از لایه های ستون بستر ثابت .....	۳۲
شکل (۴-۳) الگوریتم حل معادلات استخراج از بستر ثابت به روش تبدیل به زیرلایه های بستر سیال شده .....	۳۴
شکل (۱-۴) فرمول ساختاری پلی آمید .....	۴۵
شکل (۲-۴) نواحی بلوری پلی آمید .....	۴۵
شکل (۳-۴) فعل و انفعال پلی آمید با آب .....	۴۶
شکل (۴-۴) واکنش پلیمریزاسیون تراکمی .....	۴۷
شکل (۵-۴) ساختار نایلون ۶,۶ .....	۴۷
شکل (۶-۴) ساختار کاپرولاکتام .....	۴۸
شکل (۷-۴) ساختار نایلون ۶ .....	۴۸
شکل (۸-۴) ساختار کولار .....	۴۹
شکل (۹-۴) ساختار فضایی نایلون .....	۵۰
شکل (۱۰-۴) دستگاه استخراج جامد - مایع استفاده شده در پروژه و حالت بستر ثابت آن .....	۵۴

## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل (۴-۱۱) الکترومگنت استفاده شده در آزمایش	۵۵
شکل (۴-۱۲) هدایت سنج برای محاسبه میزان هدایت الکتریکی محلول	۵۶
شکل (۴-۱۳) کالیبراسیون غلظت های متفاوت بر اساس هدایت الکتریکی آن در سه دمای مختلف	۵۶
شکل (۴-۱۴) محلول ها با سه غلظت متفاوت، قرار گرفته در شیکر برای بدست آوردن غلظت تعادلی	۵۷
شکل (۴-۱۵) ظروف قرار گرفته در شیکر برای بدست آوردن غلظت در زمان های مشخص جهت محاسبه ضریب نفوذ	۵۸
شکل (۵-۱) برازش غلظت تعادلی بر حسب دما و غلظت محلول	۶۰
شکل (۵-۲) لگاریتم غلظت بدون بعد بی کربنات پتاسیم در ذرات پلی آمید بعنوان تابعی از زمان در دمای $30^{\circ}\text{C}$ و غلظت محلول $0/05 \text{ (gr/mL)}$	۶۱
شکل (۵-۳) لگاریتم غلظت بدون بعد بی کربنات پتاسیم در ذرات پلی آمید بعنوان تابعی از زمان در دمای $30^{\circ}\text{C}$ و غلظت محلول $0/10 \text{ (gr/mL)}$	۶۱
شکل (۵-۴) لگاریتم غلظت بدون بعد بی کربنات پتاسیم در ذرات پلی آمید بعنوان تابعی از زمان در دمای $30^{\circ}\text{C}$ و غلظت محلول $0/20 \text{ (gr/mL)}$	۶۲
شکل (۵-۵) لگاریتم غلظت بدون بعد بی کربنات پتاسیم در ذرات پلی آمید بعنوان تابعی از زمان در دمای $40^{\circ}\text{C}$ و غلظت محلول $0/10 \text{ (gr/mL)}$	۶۲
شکل (۵-۶) لگاریتم غلظت بدون بعد بی کربنات پتاسیم در ذرات پلی آمید بعنوان تابعی از زمان در دمای $40^{\circ}\text{C}$ و غلظت محلول $0/20 \text{ (gr/mL)}$	۶۳
شکل (۵-۷) لگاریتم غلظت بدون بعد بی کربنات پتاسیم در ذرات پلی آمید بعنوان تابعی از زمان در دمای $40^{\circ}\text{C}$ و غلظت محلول $0/30 \text{ (gr/mL)}$	۶۳
شکل (۵-۸) لگاریتم غلظت بدون بعد بی کربنات پتاسیم در ذرات پلی آمید بعنوان تابعی از زمان در دمای $50^{\circ}\text{C}$ و غلظت محلول $0/10 \text{ (gr/mL)}$	۶۴
شکل (۵-۹) لگاریتم غلظت بدون بعد بی کربنات پتاسیم در ذرات پلی آمید بعنوان تابعی از زمان در دمای $50^{\circ}\text{C}$ و غلظت محلول $0/20 \text{ (gr/mL)}$	۶۴

## فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل (۵-۱۰) لگاریتم غلظت بدون بعد بی کربنات پتاسیم در ذرات پلی آمید بعنوان تابعی از زمان در دمای $50^{\circ}\text{C}$ و غلظت محلول $0/30$ (gr/mL).....	۶۵
شکل (۵-۱۱) برازش معادله ضریب نفوذ موثر با تابعیت دما و غلظت محلول.....	۶۵
شکل (۵-۱۲) نتایج مدل سازی با زیر لایه های مختلف و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی در دمای $30^{\circ}\text{C}$ .....	۶۶
شکل (۵-۱۳) نتایج مدل سازی با زیر لایه های مختلف و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی در دمای $40^{\circ}\text{C}$ .....	۶۶
شکل (۵-۱۴) نتایج مدل سازی با زیر لایه های مختلف و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی در دمای $50^{\circ}\text{C}$ .....	۶۷
شکل (۵-۱۵) مقایسه دو روش ارائه شده با نتایج آزمایشگاهی در دمای $T=30^{\circ}\text{C}$ .....	۶۷
شکل (۵-۱۶) مقایسه دو روش ارائه شده با نتایج آزمایشگاهی در دمای $T=40^{\circ}\text{C}$ .....	۶۸
شکل (۵-۱۷) مقایسه دو روش ارائه شده با نتایج آزمایشگاهی در دمای $T=50^{\circ}\text{C}$ .....	۶۸
شکل (۵-۱۸) مقایسه نتایج حاصل از روش دوم با در نظر گرفتن K و صرف نظر از آن در دمای $30^{\circ}\text{C}$ .....	۶۹
شکل (۵-۱۹) مقایسه نتایج حاصل از روش دوم با در نظر گرفتن K و صرف نظر از آن در دمای $40^{\circ}\text{C}$ .....	۷۰
شکل (۵-۲۰) مقایسه نتایج حاصل از روش دوم با در نظر گرفتن K و صرف نظر از آن در دمای $50^{\circ}\text{C}$ .....	۷۰
شکل (۵-۲۱) برازش خط راست برای محاسبه $K_{La}$ در دمای $30^{\circ}\text{C}$ .....	۷۱
شکل (۵-۲۲) برازش خط راست برای محاسبه $K_{La}$ در دمای $40^{\circ}\text{C}$ .....	۷۲
شکل (۵-۲۳) برازش خط راست برای محاسبه $K_{La}$ در دمای $50^{\circ}\text{C}$ .....	۷۲
شکل (۵-۲۴) مقایسه نتایج روش اول با روش دوم (با ضریب تفکیک) در دمای $30^{\circ}\text{C}$ .....	۷۳
شکل (۵-۲۵) مقایسه نتایج روش اول با روش دوم (با ضریب تفکیک) در دمای $40^{\circ}\text{C}$ .....	۷۳
شکل (۵-۲۶) مقایسه نتایج روش اول با روش دوم (با ضریب تفکیک) در دمای $50^{\circ}\text{C}$ .....	۷۴

## فهرست علائم اختصاری

علامت اختصاری	واحد	توضیحات
A	$Cm^2$	سطح مقطع بستر
$A_p$	$Cm^2$	سطح خارجی ذرات جامد
C	$\frac{gr\ KHCO_3}{Lit\ water}$	غلظت فاز مایع
$D_e$	$\frac{Cm^2}{min}$	ضریب نفوذ موثر
H	Cm	طول بستر
$K_{La}$	1/min	ضریب انتقال جرم حجمی
L	Cm	طول ذرات استوانه ای شکل
N	-----	تعداد ذرات جامد
n	-----	تعداد زیرلایه ها
Q	$\frac{Cm^3}{min}$	دبی جریان مایع
q	$\frac{gr}{gr\ KHCO_3 - free\ solid}$	غلظت فاز جامد
$q_e$	$\frac{gr}{gr\ KHCO_3 - free\ solid}$	غلظت تعادلی فاز جامد
$q_0$	$\frac{gr}{gr\ KHCO_3 - free\ solid}$	غلظت اولیه فاز جامد
r	Cm	شعاع ذرات استوانه ای شکل
R	$\frac{gr}{Cm^2 \cdot min}$	سرعت لیچینگ
T	°C	دما
t	min	زمان
$u_0$	$\frac{Cm}{min}$	سرعت مایع در بستر
<b>حروف یونانی</b>		
$\rho_p$	$\frac{gr}{Lit}$	چگالی ذرات
$\epsilon$	-----	تخلخل بستر

### بررسی تجربی و مدل سازی فرایند استخراج بی کربنات پتاسیم از پلی آمید

رشید ارشادی فارسانی

استخراج از جامد یکی از پرکاربردترین و قدیمی ترین فرآیندهای جداسازی در مهندسی شیمی می باشد که به روشهای گوناگون صورت می پذیرد. در این تحقیق از یک بستر ثابت و همچنین ظرف همزن دار ناپیوسته جهت استخراج بیکربنات پتاسیم از ذرات متخلخل استوانه ای شکل پلی آمید به وسیله آب مقطر به عنوان حلال استفاده شده است. برای استخراج در بستر ثابت، از دو روش ترکیب مفاهیم سرعت و تعادل و روش تبدیل بستر ثابت به زیرلایه های کوچکتر بستر سیالی استفاده شده است. مقایسه نتایج مدل ارائه شده با داده های تجربی نشان داد که روش اول با میزان خطای RMSE میانگین ۰/۰۲۴۱ از دقت کمتری در مقایسه با روش دوم با خطای میانگین ۰/۰۰۹۵ برخوردار است. همچنین در این مطالعه تعداد لایه های مناسبی که فرض بستر سیالی استفاده شده در روش دوم را دقیق تر می کند نیز بدست آمده است. جهت مدل سازی فرایند استخراج در ظرف همزن دار ناپیوسته نیز دو روش ارائه شده است که شامل مدل استفاده از ضریب انتقال جرم حجمی و مدل نفوذ در حجم محدود از محلول می باشد. در مدل نفوذ در حجم محدود ضریب تفکیک بیکربنات پتاسیم بدست آمده و با حالت توزیع مساوی آن در فاز مایع و جامد، که در تحقیقات دیگر استفاده شده، مقایسه شده است. نتایج نشان داد که در روش استخراج در ظرف همزن دار ناپیوسته، مدل دوم (با در نظر گرفتن ضریب تفکیک) دارای خطای میانگین ۰/۰۸۷۵ است که در مقایسه با مدل اول با خطای میانگین ۰/۳۳۰۴ دقیق تر است. همچنین در این تحقیق ضریب نفوذ موثر و غلظت تعادلی بیکربنات پتاسیم مورد نیاز در مدل های مذکور به روش تجربی بدست آمده است.

**واژه های کلیدی:** مدل سازی، استخراج از جامد، بستر ثابت، ظرف همزن دار، ضریب نفوذ موثر، بی کربنات پتاسیم

فصل اول

# مقدمه



در بسیاری موارد، مواد غذایی، زیستی، آلی و غیر آلی به صورت یک مخلوط در فاز جامد موجود می باشند. برای جداسازی یک جزء نامطلوب از فاز جامد می توان از تماس فاز جامد با حلال مایع استفاده نمود. وقتی که دو فاز با هم در تماس هستند یک یا چند جزء حل شونده تمایل دارند از فاز جامد به فاز مایع نفوذ کنند که در نتیجه یک جداسازی بین اجزاء بوجود می آید. این جداسازی جامد - مایع<sup>۱</sup> یا لیچینگ<sup>۲</sup> نام دارد. در فرآیند استخراج جامد - مایع وقتی جزء نامطلوب توسط حلال آب از فاز جامد جدا می شود به فرآیند اصطلاحاً شستشو<sup>۳</sup> گویند (موسویان، ۱۳۹۱).

عمل استخراج از جامد که جزء روشهای غیر مستقیم می باشد، عبارت است از حل شدن انتخابی یک یا چند جزء از یک مخلوط جامد که در تماس با یک محلول مایع قرار گرفته است. صنایع فلزی بیشترین استفاده کننده عملیات استخراج از جامد می باشند. موارد دیگر کاربرد آن استخراج روغن از دانه های روغنی و تهیه محصولات دارویی می باشد. ماده حل شونده موجود در محلول جامد در محیط حلال پخش می شود. ممکن است یکی از دو جز از جامدی که استخراج شده یا جامدات نامحلول و یا هر دوی آنها به عنوان محصول با ارزش باشند. جز تشکیل دهنده محلول ممکن است جامد یا مایع بوده از نظر شیمیایی با موادی آمیخته شده باشد دارای جذب سطحی بوده و از نظر مکانیکی در ساختار ریز ماده نامحلول نگه داشته شود. روش مورد استفاده برای استخراج توسط جز محلول جامد نامحلول ممکن است بزرگ و خلل و فرج دار بوده که بافت سلولی آن دارای دیواره سلولی نفوذ پذیر انتخابی یا سطح فعال است. روش مورد استفاده برای استخراج توسط جز محلول موجود، توزیع آن در سراسر جامد، ماهیت جامد و اندازه ذرات تعیین می شود. (Brawn, 1956)

لیچینگ یا حل سازی فرآیندی است که در آن سنگ معدن و یا مواد برگشتی و ضایعات صنعتی حاوی عنصر با ارزش توسط یک حلال مناسب بصورت محلول در آمده و یون های حاصل از انحلال در مرحله بعد مورد استفاده قرار می گیرند. ناخالصی های حل شده در حین فرآیند لیچینگ یک کنسانتره، در فرآیندهای مختلف هیدرومتالورژیکی از آن جدا می شود. عموماً فرآیند حل سازی و لیچینگ مواد معدنی و یا ضایعات صنعتی به یکی از روش های انحلال درجا، انحلال توده ای یا انباشته ای، انحلال مخزنی یا حوضچه ای، انحلال متلاطم، انحلال توسط میکرو اورگانیزم ها و الکترولیچینگ صورت می گیرد. یکی از روشهای رایج انحلال، روش انحلال متلاطم می باشد. این روش برای ذرات بسیار ریز مورد استفاده قرار می گیرد، سنگ معدن مورد نظر تا دانه بندی ۱۰۰ - ۷۵ میکرون خرد شده و سپس در یک محیط متلاطم قرار می گیرد. زمان انحلال در این روش به علت ریز بودن ذرات و افزایش سطح تماس ذرات با محلول لیچینگ بسیار کوتاه است. در برخی از فرآیندهای لیچینگ متلاطم برای بالا بردن میزان انحلال فشار محیط لیچینگ را افزایش می دهند و درجه حرارت انحلال را

<sup>1</sup> Solid-Liquid Extraction

<sup>2</sup> Leaching

<sup>3</sup> Washing

## مقدمه

به حدود ۲۳۰-۱۷۰ درجه سانتیگراد می‌رسانند. گرمای مورد نیاز در داخل اتو کلاو توسط بخار تامین می‌شود. در صورتی که واکنش‌های گرمازا باشند نیازی به سیستم گرمایش نیست.

معمولاً بهتر است عمل استخراج در درجه حرارت بالا صورت پذیرد، زیرا:

۱- با افزایش دما، حلالیت حل شونده در حلال افزایش می‌یابد که این عمل باعث افزایش غلظت نهایی محلول مادر می‌شود.

۲- با افزایش دما، ویسکوزیته مایع کاهش و نفوذپذیری آن افزایش می‌یابد که هر دو عامل باعث افزایش سرعت استخراج می‌شود.

اما برای موادی مانند چغندر قند، دمای بالا باعث تخریب شیمیایی جامد می‌شود. بنابراین عملیات را نباید در دمای بالا انجام داد.

در عمل استخراج، انتخاب نوع دستگاه به حالت فیزیکی جامد و مشکلات و هزینه حمل و نقل آن بستگی دارد.

ذرات درشت در بسترهای ثابت، توسط روشهای نفوذ و ذرات ریز توسط همزن در جامد پخش می‌شوند.

در عملیات استخراج، اگر جامد توده قابل نفوذ تشکیل دهد، می‌توان حلال را از بستر جامدات بدون همزن عبور داد و اگر جامد غیر قابل نفوذ باشد، جامد در حلال پخش می‌شود.

اگر جز حل شده به طور یکنواخت در جامد پخش شود ماده نزدیک سطح ابتدا حل شده و ساختار متخلخل جامد را ترک می‌کند. سپس حلال از لایه خارجی نفوذ کرده، قبل از اینکه بتواند به جز حل شده ی بعدی برسد فرآیند به طور افزایش یافته‌ای سخت تر شده و سرعت استخراج افت خواهد کرد. اگر جز حل شده، نسبت زیادی از جامد را تشکیل دهد و ساختار متخلخل فوراً تجزیه شود و به یک پسماند نامحلول برسد دسترسی حلال به جز حل شده مانعی نخواهد داشت (Brawn, 1956).

سیال خروجی از یک مرحله لیچینگ اساساً سرریز و جامدات تر، زیرریز نامیده می‌شود. کاهش غلظت ماده حل شده در بخش مایع اغلب همراه با ۲ یا چند مرحله شست و شوی جریان غیر هم جهت انجام می‌شود. محصولات فرآیند در جریان سرریز نهایی، محصول استخراجی نامیده می‌شود که شامل مقداری حلال و مقدار بیشتری جز حل شده است و جریان زیرریز نهایی، جامدات استخراجی یا جامدات شسته شده نامیده می‌شوند که با مقداری حلال باقیمانده همراه است. فرآورش اضافی برای محصول استخراجی و جامدات شسته شده برای بازیابی حلال، ضروری است (Brown, 1956).

به طور کلی فرآیند می‌تواند در سه بخش در نظر گرفته شود. اولاً تغییرات فاز جز حل شده ای که در حلال حل می‌شود ثانیاً نفوذ آن از طریق حلال به لایه خارجی ذرات جامد و ثالثاً انتقال جز حل شده از محلول در تماس با ذرات، به توده

## مقدمه

اصلی محلول. هر کدام از این فرآیندها می توانند سرعت استخراج را محدود کند. اگر چه فرآیند اول معمولاً آن قدر به سرعت رخ می دهد که تأثیر چندانی روی سرعت کل ندارد.

در بعضی حالات، ماده حل شده در بسترهای ایزوله ی کوچکی در یک ماده که برای حلال نفوذناپذیر است مانند پخش طلا در سنگ ، پخش می شود. در چنین مواردی ماده خرد می شود به طوری که همه ماده حل شده در معرض حلال قرار می گیرد. اگر جامد ساختار سلولی داشته باشد به طور کلی استخراج کم می شود زیرا دیواره سلولی یک مقاومت اضافی را ایجاد می کند. به عنوان مثال در استخراج شکر از چغندر قند دیواره های سلولی نقش مهمی را در ممانعت از استخراج اجزای نامطلوب با وزن مولکولی نسبتاً بالا ایفا می کنند. بنابراین چغندر قند باید در باریکه درازی تهیه شود به طوری که نسبت کوچکی از سلول ها گسیخته شوند. لیچینگ به طور وسیع در صنایع متالورژیکی، محصولات طبیعی و صنایع غذایی استفاده می شود.

بعضی کاربردهای صنعتی لیچینگ عبارت است از:

الف- حذف مس از سنگ معدن با اسید سولفوریک

ب- بازیابی طلا از سنگ معدن با محلول سدیم سیانید

پ- استخراج شکر از چغندر قند با آب گرم

ت- استخراج جوهر مازو از پوست درخت با آب

ث- حذف کافئین از قهوه سبز توسط  $CO_2$

همه فرآیندهای استخراج یک سری مراحل را شامل می شود که عملکرد بعضی از آن ها پیچیده تر است و به صورت زیر تقسیم می شود:

الف) حلال با ذرات جامدی که مورد استخراج قرار خواهد گرفت تماس داده می شود

ب) حلال از میان بستر ذرات جامد نفوذ می کند

پ) جز حل شده ی روی سطح جامد به آسانی به وسیله حلال شسته می شود

ت) اجزاء حل شدنی موجود در ذرات جامد به تدریج در حلال حل می شود. جز حل شده ی موجود از بین منافذ جامد به بیرون ذرات نفوذ می کند

ث) جز حل شده در سطح ذره به لایه ی ساکن حلال در تماس با ذره نفوذ می کند

ج) جز حل شده ی غلیظ مجاور با ذرات جامد، با توده ی محلول اصلی مخلوط می شود

چ) مجموعه نهایی (حلال شامل جز حل شده) از بستر ذرات جامد زهکشی شده و برای فرآیند بعدی آماده می شود

ح) ماده ی جامد استفاده شده از فرآیند حذف می شود

در فرآیندهای استخراج، درجه ی استخراج جز حل شده به شدت به غلظت حلال و مقدار جز حل شده ی موجود بستگی دارد وقتی که حلال تازه است و مقدار زیادی از جز حل شده در دسترس وجود دارد درجه زیادی از استخراج وجود خواهد داشت. برعکس وقتی که حلال محتوی جزء حل شده ی زیادی است و جز حل شدنی در جامد کم است ( جامد مصرف شده ) می توان به نقطه ای رسید که امکان هیچ استخراج خالصی وجود ندارد و تعادل حاصل می شود (McCabe and Smith, 1956).

دو روش واضح وجود دارد که حالت تعادل می تواند اتفاق بیفتد:

الف) حلال می تواند با جزء حل شونده اشباع شود به طوریکه با وجود مقداری جز حل شونده در دسترس برای استخراج هیچ انتقال خالصی از جز حل شونده به حلال وجود ندارد. ممکن است استخراج در این مورد با افزایش دما افزایش یابد که حلال می تواند حل شونده ی بیشتری را جذب کند. متناوباً غلظت حل شونده در حلال می تواند به وسیله افزودن حلال تازه کاهش یابد. توجه کنید که اگر حلال اشباع شود افزایش غلظت جزء حل شدنی در جامد به وسیله ی افزودن جامدهای تازه، بر استخراج تأثیری نخواهد داشت.

ب) وقتی که محتوای جزء حل شونده ماده ی جامد کم است و ممکن است به نقطه ای برسد که غلظت جز حل شدنی در سطح ذرات با غلظت توده ی اصلی حلال برابر شود در نتیجه هیچ انتقال خالصی از جز حل شدنی به حلال صورت نمی گیرد. در این مورد تغییر دما تأثیر کمی خواهد داشت. به منظور استخراج بیشتر جزء حل شده، ایجاد یک اختلاف غلظت ضروری خواهد بود. افزودن حلال تازه غلظت را در توده ی اصلی حلال کاهش خواهد داد و بنابراین اختلاف غلظتی ایجاد می شود که امکان انتقال جزء حل شده از ذرات جامد به توده ی اصلی حلال، به وسیله ی اسمز را فراهم می کند. به عنوان جایگزین، افزایش محتوای جزء حل شونده با افزودن جامدهای تازه به فرآیند، غلظت جزء حل شونده در تماس با حلال را