

# فرآیندهای هیدروشیمیایی

تألیف:

دکتر جواد مقدم

مجتهد یغمیری ستاری

محمدرضا اسکندریان

نیکان کتاب

زمستان ۹۳

|                      |                                                                                                 |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| عنوان و نام پدید آور | : جواد مقدم ۱۳۴۸-                                                                               |
| سرشناسه              | : فرایندهای هیدروشیمیایی / تألیف و گردآوری / جوادمقدم،<br>مجید پیغمبری ستاری، محمدرضا اسکندریان |
| مشخصات نشر           | : زنجان، نیکان کتاب، ۱۳۹۳.                                                                      |
| مشخصات ظاهری         | : ۲۶۴ ص. جدول، نمودار؛                                                                          |
| شابک                 | : ۹۷۸-۹۶۴-۱۹۶-۲۷۵-۵                                                                             |
| وضعیت فهرست نویسی    | : فیبا                                                                                          |
| یادداشت              | : کتابنامه: ص [ ۲۲۳ ] ۲۴۳-                                                                      |
| موضوع                | : متالورژی آبی                                                                                  |
| موضوع                | : متالورژی حرارتی                                                                               |
| موضوع                | : آبشویی                                                                                        |
| شناسه افزوده         | : مجید پیغمبری ستاری ۱۳۶۵-                                                                      |
| شناسه افزوده         | : محمدرضا اسکندریان ۱۳۶۴-                                                                       |
| رده بندی کنگره       | : ۱۳۹۳ ۴ الف ۷ م / TN ۶۸۸                                                                       |
| رده بندی دیویی       | : ۶۶۹/۰۲۸۳                                                                                      |
| شماره کتابشناسی ملی  | : ۳۶۲۶۴۱۵                                                                                       |



فرایندهای هیدروشیمیایی / دکتر جواد مقدم، مجید پیغمبری ستاری، محمدرضا اسکندریان

امور فنی: نیکان کتاب

طراحی جلد: م. رجبی - ر. کریمی

چاپ و صحافی: ولیعصر

چاپ اول: زمستان ۹۳

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۲۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۹۶-۲۷۵-۵

دفتر نشر:

زنجان، چهارراه سعدی، روبروی بانک پاسارگاد، کوچه باقری، ساختمان سپهر، واحد ۴

تلفکس: ۲-۳۳۳۳۵۵۴۱-۰۲۴ Email: [Nikan\\_ketab@yahoo.com](mailto:Nikan_ketab@yahoo.com)

## فهرست مطالب

عنوان

صفحه

پیشگفتار.....

### فصل نخست: کلیات

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| ۱-۱ مقدمه.....                                                        | ۵  |
| ۲-۱ مثال‌هایی از فرآیندهای هیدرومتالورژیکی.....                       | ۷  |
| ۱-۲-۱ لیچینگ سیانوری کانی‌های طلا.....                                | ۷  |
| ۲-۲-۱ لیچینگ تحت فشار کنسانتره‌های سولفیدی فلز روی.....               | ۹  |
| ۳-۲-۱ لیچینگ با کلرید آهن (III) برای کنسانتره‌های کمپلکس روی-سرب..... | ۱۱ |

### فصل دوم: سیستم‌های شیمیایی لیچینگ

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| ۱-۲ محیط‌های لیچینگ و واکنش‌ها.....       | ۱۵ |
| ۱-۱-۲ محیط‌های لیچینگ.....                | ۱۵ |
| ۲-۱-۲ واکنش‌های لیچینگ.....               | ۱۹ |
| ۳-۱-۲ شیمی محلول‌ها.....                  | ۲۱ |
| ۲-۲ تعادلات شیمیایی در سیستم‌های آبی..... | ۲۲ |
| ۱-۲-۲ ترمودینامیک شیمیایی.....            | ۲۲ |
| ۳-۲ تعادل محلول‌ها.....                   | ۲۵ |
| ۴-۲ تعادل حلالیت.....                     | ۲۶ |
| ۱-۴-۲ حلالیت گازها.....                   | ۲۶ |

|    |                                         |
|----|-----------------------------------------|
| ۲۸ | ۲-۴-۲ حلالیت جامدات.....                |
| ۳۷ | ۵-۲ تعادل اکسیداسیون- احیا.....         |
| ۳۷ | ۱-۵-۲ پتانسیل اکسیداسیون- احیا.....     |
| ۳۸ | ۲-۵-۲ منحنی های pH- $e_H$ (پوریکس)..... |

## فصل سوم: مکانیزم های لیچینگ و سینتیک آن

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| ۵۳ | ۱-۳ سینتیک الکتروشیمیایی..... |
| ۵۳ | ۲-۳ سینتیک بیوشیمیایی.....    |
| ۵۴ | ۳-۳ مکانیزم های لیچینگ.....   |
| ۵۴ | ۱-۳-۳ انحلال اکسیدها.....     |
| ۵۸ | ۲-۳-۳ انحلال سولفیدها.....    |

## فصل چهارم: قوانین سرعت واکنشهای شیمیایی

|    |                                                  |
|----|--------------------------------------------------|
| ۶۳ | ۱-۴ مقدمه.....                                   |
| ۶۴ | ۲-۴ واکنشهای همگن.....                           |
| ۶۴ | ۱-۲-۴ تعریف سرعت و درجه واکنش و مقدار تبدیل..... |
| ۶۷ | ۲-۲-۴ روابط سرعت واکنشهای منفرد.....             |
| ۷۲ | ۳-۴ واکنشهای غیر همگن.....                       |
| ۷۳ | ۱-۳-۴ معادلات سرعت برای مراحل جداگانه واکنش..... |
| ۷۹ | ۲-۳-۴ سرعت کل برای سیستم گاز-جامد-مایع.....      |
| ۸۲ | ۴-۴ مدل های سینتیکی برای واکنش ذرات جامد.....    |
| ۸۳ | ۱-۴-۴ مدل هسته متراکم.....                       |
| ۸۸ | ۵-۴ مخازن با همزن های مکانیکی.....               |
| ۸۹ | ۱-۵-۴ همزدن مکانیکی مایعات تک فازی.....          |
| ۸۹ | ۲-۵-۴ پره های همزن.....                          |

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| ۹۴ | ۶-۴ مکانیک سیالات                     |
| ۹۴ | ۱-۶-۴ تغلیظ‌کننده‌ها                  |
| ۹۷ | ۲-۶-۴ سرریز کردن مداوم با جریان معکوس |
| ۹۸ | ۳-۶-۴ ته نشینی در سیستم‌های پیوسته    |

## فصل پنجم: طراحی راکتورهای مخزنی همزن دار

|     |                                                 |
|-----|-------------------------------------------------|
| ۱۰۵ | ۱-۵ انواع راکتورها                              |
| ۱۰۵ | ۱-۱-۵ راکتور ناپیوسته                           |
| ۱۰۵ | ۲-۱-۵ راکتور مخزنی پیوسته همزن دار              |
| ۱۰۷ | ۳-۱-۵ راکتور پلاگ یا لوله‌ای                    |
| ۱۰۸ | ۲-۵ راکتورهای ایده‌آل منفرد برای واکنش‌های همگن |
| ۱۰۸ | ۱-۲-۵ معادلات بقا                               |
| ۱۱۰ | ۲-۲-۵ تأثیر حرارت                               |
| ۱۱۱ | ۳-۲-۵ راکتور بیج ایده‌آل مخزنی همزن دار         |
| ۱۱۴ | ۴-۲-۵ راکتور CSTR حالت پایای ایده‌آل            |
| ۱۱۷ | ۵-۲-۵ راکتور Plug-(Tubular)-Flow ایده‌آل        |
| ۱۲۰ | ۶-۲-۵ مقایسه اندازه راکتورهای منفرد             |
| ۱۲۱ | ۳-۵ سیستم‌های چند راکتوری                       |
| ۱۲۱ | ۱-۳-۵ CSTRهای با اندازه یکسان در حالت سری       |
| ۱۲۵ | ۲-۳-۵ CSTRهای سری با اندازه غیر برابر           |
| ۱۲۷ | ۳-۳-۵ انواع مختلف راکتورها در حالت سری          |
| ۱۲۹ | ۴-۳-۵ حالت خاصی از واکنشهای اتوکاتالیتیکی       |
| ۱۳۴ | ۴-۵ آنالیز تجربی راکتورهای غیرهمگن              |
| ۱۳۴ | ۱-۴-۵ تعیین سرعت لیچینگ تجربی                   |
| ۱۳۶ | ۲-۴-۵ روند طراحی                                |

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| ۱۳۷ | ۵-۵ راکتورهای غیر همدم       |
| ۱۳۷ | ۵-۶ طراحی راکتورهای غیر همگن |
| ۱۳۷ | ۵-۶-۱ توزیع زمان اقامت       |
| ۱۴۱ | ۵-۶-۲ مدل جریان جدایش یافته  |
| ۱۴۳ | ۵-۶-۳ طراحی راکتورهای لیچینگ |

## فصل ششم: خالص سازی محلولی

|     |                                            |
|-----|--------------------------------------------|
| ۱۴۹ | ۶-۱ مقدمه                                  |
| ۱۵۰ | ۶-۲ حذف و جداسازی یونهای فلزی              |
| ۱۵۲ | ۶-۲-۱ رسوب دهی                             |
| ۱۵۴ | ۶-۲-۲-۱ تولید ترکیبات نامحلول              |
| ۱۵۴ | ۶-۲-۲-۲ جداسازی یونهای فلزی به کمک یک حامل |
| ۱۵۷ | ۶-۳ استخراج حلالی                          |
| ۱۵۹ | ۶-۳-۱ قانون توزیع                          |
| ۱۶۲ | ۶-۳-۲ فاز آبی                              |
| ۱۶۵ | ۶-۳-۳ دسته بندی سیستم های استخراج حلالی    |
| ۱۷۳ | ۶-۳-۴ فرمول سازی فاز آلی                   |
| ۱۷۳ | ۶-۳-۵ استخراج کننده ها                     |

## فصل هفتم: استخراج کننده های کی لیٹ ساز

|     |                                             |
|-----|---------------------------------------------|
| ۱۹۰ | ۷-۱ استخراج کننده ها                        |
| ۱۹۰ | ۷-۱-۱ استخراج کننده های شامل تشکیل جفت یونی |
| ۱۹۶ | ۷-۱-۲ استخراج کننده های شامل انحلال         |
| ۱۹۹ | ۷-۱-۳ استخراج کننده های شامل $P=S$          |
| ۲۰۱ | ۷-۱-۴ استخراج با استخراج کننده های مختلط    |

|     |                                      |
|-----|--------------------------------------|
| ۲۰۱ | ۲-۷ عملیات کمی داده‌های استخراج      |
| ۲۰۵ | ۱-۲-۷ پتانسیل در مقابل pH            |
| ۲۱۰ | ۳-۷ پارامترهای دیگر فرآیند           |
| ۲۱۰ | ۱-۳-۷ ظرفیت بارگذاری                 |
| ۲۱۰ | ۲-۳-۷ تأثیر نسبت A/O (ایزوترم توزیع) |
| ۲۱۲ | ۳-۳-۷ تأثیر زمان تماس                |
| ۲۱۲ | ۴-۳-۷ تأثیر متغیرهای دیگر            |
| ۲۱۲ | ۵-۳-۷ جریان سلولی                    |
| ۲۱۳ | ۶-۳-۷ ایزوترم جریان سازی             |
| ۲۱۳ | ۷-۳-۷ تمیز کردن                      |
| ۲۱۵ | ۸-۳-۷ پیش تصفیه حلال                 |
| ۲۱۵ | ۴-۷ طراحی روند تماس چندمرحله‌ای      |
| ۲۱۵ | ۱-۴-۷ استخراج جریان متقابل           |
| ۲۲۱ | ۲-۴-۷ استخراج جریان متقاطع           |
| ۲۲۴ | ۵-۷ انتقال جرم و تماس دهنده‌ها       |
| ۲۲۴ | ۱-۵-۷ انتقال جرم بین فازی            |
| ۲۲۶ | ۲-۵-۷ تجهیزات تماس                   |
| ۲۲۷ | ۳-۵-۷ تماس دهنده‌ها                  |
| ۲۳۴ | مراجع و مأخذ                         |
| ۲۴۴ | ضمائم                                |

## پیشگفتار مؤلفین

فرایندهای هیدروشیمیایی یا هیدرومتالورژی شامل استخراج تر فلزات از محلول‌های حاصل از لیچینگ و تصفیه محلول‌ها می‌باشد. این فرایندها جایگزین بسیار مناسبی برای استخراج و بازیافت فلزات توسط روش‌های حرارتی (پیرومتالورژی) بوده است.

اهمیت حفظ محیط‌زیست گیاهی و جانوری مشوق محققین برای ابداع و نوآوری در زمینه فرایندهای هیدروشیمیایی بوده است. در این مسیر دانستن اصول شیمیایی و ترمودینامیکی و همچنین بررسی سینتیکی واکنش‌ها از ملزومات دانش فرآوری هیدروشیمیایی بوده است.

از آنجایی که در کشور عزیزمان ایران، صنایع هیدرومتالورژی فلزات روی و مس رواج یافته است و همچنین قسمت اعظم تکنولوژی هسته‌ای در بخش فرآوری هیدروشیمیایی از کانی‌ها و مواد اولیه معدنی قرار دارد، لزوم تألیف و گردآوری مطالب در این زمینه برای محققین و دانشجویان مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری در دانشگاه‌ها احساس شد. کتابی که پیش رو دارید، نتیجه سال‌ها تدریس و مطالعه در زمینه فرایندهای هیدروشیمیایی بوده است. در این کتاب سعی شده است با ذکر نکات اصلی و مثال‌های عملی فرایندهای هیدروشیمیایی معرفی گردیده و پارامترهای دخیل در هر بخش به تفصیل توضیح داده شود.

بی‌شک، اثر حاضر خالی از اشکال نیست، لذا از تمامی محققین در این زمینه مستدعی است که نظرات پیشنهادی خود را در مورد فصول کتاب و مطالب درج شده به اینجانبان ارسال فرمایند.

|                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| زندگی صحنه‌ی یکتای هنرمندی ماست | هر کسی نغمه خود خواند و از صحنه رود |
| صحنه پیوسته بجاست               | خرم آن نغمه که مردم بسپارند به یاد  |

جواد مقدم، مجید پیغمبری ستاری، محمدرضا اسکندریان

زمستان ۱۳۹۳