١١٤٦٥٥

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی فراوری مواد معدنی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی فراوری مواد معدنی

بازیابی نیکل از کیک فیلتر تولیدی کارخانه‌های لیچینگ روی به روش استخراج حلالی

نگارش:
پدرام اشتری

اساتید راهنما:
دکتر سید محمد جواد کلینی
دکتر داود مرادخانی

استاد مشاور:
دکتر محمود عبدالهی

۱۳۸۸/۳/۳۱

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

زمستان ۸۷

۱۱۴۶۳۵

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای پدرام اشتری پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان بازیابی نیکل از کیک فیلتریت تولیدی کارخانه های لیچینگ روی به روش استخراج حلالی در تاریخ ۱۳۸۷/۱۰/۱٦ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن - فرآوری موادمعدنی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر سید محمد جواد کلینی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر محمود عبدالهی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر احمد خدادادی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر سیدضیاءالدین شفائی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر احمد خدادادی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر داود مرادخانی	استادیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسان‌ها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باشد، باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌باشد.

نام و نام خانوادگی بهرام اثری

امضاء

تقدیم به

پدر و مادرم

که در طول زندگی از هیچ تلاشی برای موفقیتم فروگذار نبوده‌اند

و

خواهر و برادران عزیزم

که همواره پشتیبان من بوده‌اند.

تشکر و قدردانی:

در درجه اول پروردگار متعال را سپاس می‌گویم که توفیق اجرای این پایان نامه را تحت عنوان پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، عنایت فرمود. آرزو دارم این تحقیق و تحقیق‌های دیگری که انجام خواهم داد، بهانه‌ای برای کشف قدرت بی انتهای او باشد و حرکتی در جهت رضای او.

به حکم وظیفه و ادب باید از بزرگوارانی که در مراحل مختلف تحقیق، مرا یاری رساندند تشکر کنم:

از جناب آقایان

دکتر سید محمد جواد کلینی

و

دکتر داود مرادخانی

که راهنمایی این پایان نامه را به عهده داشتند و مشوق همیشگی من در طول انجام این پروژه بودند،

از جناب آقای

دکتر محمود عبدالهی

که زحمت مشاوره این این پایان نامه را به عهده داشتند،

و از جناب آقای مهندس بهنیان و تمامی دیگر کارکنان شرکت فلزات غیر آهنی که همواره برای بهتر انجام شدن این پروژه مرا یاری کردند.

چکیده

در کارخانه‌های الکترولیز روی ایران کیک فیلتر نیکل-کادمیم تولید می‌شود که حاوی حدود ۴۴٪ روی، ۱۵٪ کادمیم و ۴٪ نیکل می‌باشد. برای بازیابی فلزات موجود در این کیک، ابتدا کیک مذکور را با اسید سولفوریک حل کرده و سپس کادمیم آنرا با پودر روی سمنته می‌کنند. فیلتریت حاصل از مراحل قبل حدوداً حاوی ۱ g/L نیکل و ۲۰ g/L روی می‌باشد. امکان بازیابی نیکل از این فیلتریت و با روش استخراج حلالی بررسی شد.

بر اساس نتایج بدست آمده، استخراج انتخابی نیکل با استفاده از ترکیب‌های مختلفی از LIX984N با سینرجیست‌های D2EHPA و TBP میسر نشد. ولی با استفاده از D2EHPA تنها که در کروزین رقیق شده بود، روی و نیکل به طور همزمان در pH=۵/۲ استخراج و سپس نیکل به صورت انتخابی در ۳-pH=۲/۸ استریپ شد. مقادیر بهینه دما، نسبت فازها و غلظت استخراج کننده در مرحله استخراج همزمان به ترتیب دمای محیط، ۱/۱ و ۴۰٪ حجمی تعیین شدند. با استفاده از طرح آزمایش فاکتوریل کامل، تاثیر عامل‌های pH و نسبت O/A بر فرایند استریپ انتخابی نیکل از فاز آلی بارگیری شده با نیکل و روی بررسی شد. مقادیر بهینه pH و O/A به ترتیب برابر ۲/۸ و ۳/۱ تعیین شدند. دمای استریپ برابر ۴۰ درجه سانتیگراد تنظیم گردید. راندمان‌های استخراج و استریپ نیکل از محلول در حالت بهینه به ترتیب ۹۳ و ۹۵٪ بدست آمدند.

کلمات کلیدی:

استخراج حلالی، نیکل، روی، D2EHPA

پیشگفتار

نیکل از جمله فلزات مهم و استراتژیکی است که امروزه کاربرد وسیعی را در صنایع مختلف پیدا کرده و در واقع این تنوع کاربردی ناشی از خواص متنوع فیزیکی و شیمیایی آن می‌باشد. مهمترین کاربرد این فلز در صنایع آلیاژسازی و آبکاری است و امروزه با ظهور صنعت سوپرآلیاژها این فلز جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. لذا با توجه به کمبود منابع اولیه نیکل در طبیعت و بالا بودن قیمت آن در بازارهای جهانی، محققین درصدد تسهیل روش‌های تولید آن از منابع فرعی و پسماندهای صنایع مختلف برآمده‌اند.

در کشور ما ایران، تاکنون توجه جدی در راستای احداث کارخانه‌های مربوط به نیکل صورت نگرفته و لذا معمولاً نیاز صنایع به این فلز، از طریق واردات تامین شده است. بنابراین با توجه به کمبود منابع اولیه آن در کشور، در سال‌های اخیر، تحقیق در راستای تولید نیکل به عنوان یک محصول جانبی از صنایع مختلف، امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در این تحقیق با بررسی و مطالعه تحقیقات صورت گرفته و با انجام آزمون‌های آزمایشگاهی شرایط بهینه فرایند استخراج حلالی انجام شد.

فصل اول به معرفی فلز نیکل و منابع آن اختصاص داده شده است.

فصل دوم ضمن مروری بر منابع، به بررسی سیستم استخراج حلالی نیکل در محیط‌های مختلف و استخراج‌کننده‌های مورد استفاده، برخی فرایندهای صنعتی و تحقیقات صورت گرفته موجود پرداخته شده است.

در فصل سوم روش پژوهش، مواد مصرفی و نحوه انجام آزمایش‌ها ارائه شده است.

فصل چهارم نیز به نتایج حاصل در آزمایش‌ها و بحث‌های مربوط اختصاص داشته و در فصل پایانی نتیجه‌گیری و پیشنهادها آمده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل۱ دیباچه ۱

۱-۱. مشخصات عمومی نیکل ۲

۱-۱-۱. تاریخچه ۲

۱-۱-۲. مشخصات نیکل ۳

۱-۱-۲-۱. مشخصات شیمیایی نیکل ۳

۱-۱-۲-۲. مشخصات فیزیکی نیکل ۵

۱-۲. کانی‌های نیکل ۶

۱-۳. ذخایر و منابع نیکل ۷

۱-۳-۱. منابع اولیه ۷

۱-۳-۲. منابع ثانویه ۹

۱-۴. مصارف عمده نیکل ۱۱

۱-۵. بررسی قیمت‌های جهانی نیکل ۱۳

۱-۶. روند تولید نیکل در جهان ۱۵

۱-۷. ذخایر عمده نیکل در جهان ۱۷

۱-۸. مختصری از روش‌های متداول فراوری کانی‌های نیکل ۱۷

۱-۹. تأثیرات زیست محیطی نیکل ۱۹

۱-۱۰. مروری بر فرایند تولید روی و تشکیل فیلتر کیک تصفیه سرد ۲۲

فصل۲ مروری بر منابع مطالعاتی ۲۶

۲-۱. مروری بر مطالعات و تحقیقات صورت گرفته استخراج حلالی نیکل ۲۷

۲-۱-۱. مقدمه ۲۷

۲-۱-۲. مواد شیمیایی مورد استفاده در استخراج حلالی نیکل ۳۱
۲-۱-۳. استخراج حلالی نیکل ۴۱
۲-۱-۳-۱. محلول‌های کلریدی ۴۱
۲-۱-۳-۲. محلول‌های سولفاتی ۴۵
۲-۱-۳-۳. محلول‌های آمونیاکی ۵۸
۲-۲. برخی از فرایندهای جدید تجاری در خالص سازی نیکل به روش استخراج حلالی ۶۳
۲-۲-۱. فرایندهای موجود بر پایه استخراج کننده‌های آمینی ۶۳
۲-۲-۲. فرایندهای موجود بر پایه استخراج کننده‌های اکسیمی ۶۴
۲-۲-۳. فرایندهای موجود بر پایه استخراج کننده‌های اسیدی پایهٔ فسفر ۶۹
۲-۲-۴. فرآیندهای موجود بر پایه استخراج کننده‌های اسید کربوکسیلیکی ۷۶
۲-۳. مخلوط سینرجیکی استخراج کننده‌ها ۸۰

فصل۳ روش پژوهش ۸۷

۳-۱. وسایل و مواد مورد استفاده ۸۸
۳-۲. مراحل انجام پروژه ۸۹
۳-۲-۱. روش آزمایش در لیچینگ اسید سولفوریکی فیلتر کیک تصفیه سرد ۹۰
۳-۲-۲. سمانتاسیون کادمیم از محلول سولفاتی توسط کاتد روی ۹۱
۳-۲-۳. روش آزمون و طراحی فرایند در مرحله استخراج حلالی ۹۱
۳-۲-۳-۱. ایزوترم‌های استخراج نیکل و روی در مقادیر مختلفpH ۹۳
۳-۲-۳-۲. مطالعه آماری استریپ انتخابی نیکل از D2EHPA باردار و مدلسازی نتایج حاصل ۹۴
۳-۲-۳-۳. ایزوترم‌های توزیع و ترسیم منحنی‌های McCabe-Thiele ۹۴
۳-۲-۳-۴. سینتیک استخراج و استریپ نیکل با استخراج کننده D2EHPA ۹۵
۳-۲-۳-۵. آنالیز شیمیایی ۹۶

فصل۴ ارائه و تحلیل نتایج ۹۷

۴-۱. تعیین مشخصات فیلتر کیک تصفیه سرد معدن انگوران ۹۸
۴-۲. لیچینگ فیلتر کیک Cd-Ni و سمنتاسیون کادمیم از محلول لیچ حاصل ۱۰۰
۴-۳. استخراج حلالی ۱۰۱
۴-۴. انتخاب فرایند مناسب ۱۰۳
۴-۴-۱. فرایند استخراج انتخابی نیکل (فرایند یک) ۱۰۴
۴-۴-۱-۱. انتخاب استخراج کننده و رسم ایزوترم‌های استخراج ۱۰۴
۴-۴-۱-۲. بررسی اثر سینرجیسم D2EHPA و TBP بر روی LIX984N ۱۰۶

۴-۴-۱-۲-۱. اثر D2EHPA یا TBP تنها بر روی LIX984N ۱۰۶
۴-۴-۱-۲-۲. اثر همزمان D2EHPA و TBP بر روی LIX984N ۱۰۷
۴-۴-۲. فرایند استخراج همزمان روی و نیکل- استریپ انتخابی نیکل (فرایند سه) ۱۰۹
۴-۴-۲-۱. انتخاب استخراج کننده و رسم ایزوترم‌های استخراج ۱۰۹
۴-۴-۲-۲. بررسی اثر سیستم‌های سینرجیکی ۱۱۲
۴-۴-۲-۳. بررسی سینتیک استخراج نیکل با D2EHPA ۱۱۶
۴-۴-۲-۴. بهینه سازی عامل‌های موثر در مرحله استخراج ۱۱۷
۴-۴-۲-۵. بررسی ایزوترم توزیع استخراج نیکل و رسم منحنی McCabe-Thiele ۱۱۸
۴-۴-۲-۶. بررسی استریپ انتخابی نیکل از فاز آلی باردار ۱۱۹
۴-۴-۲-۷. تحلیل نتایج استریپ انتخابی نیکل از فاز آلی بارگیری شده و مدلسازی آنها ۱۲۲
۴-۴-۲-۸. بررسی سینتیک استریپ نیکل ۱۲۶
۴-۴-۲-۹. بررسی ایزوترم توزیع استریپ نیکل و رسم منحنی‌های McCabe-Thiele ۱۲۷
فصل۵ نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۲۸
مراجع ۱۳۲

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱. نمایش نیمرخ عمودی لاتریت نیکل دار واقع در کالدونیای جدید ۸

شکل۱-۲. میزان مصرف جهانی نیکل به تفکیک صنایع کاربردی در سال ۲۰۰۳ میلادی ۱۳

شکل۱-۳. نوسان قیمت نیکل در جهان بر حسب دلار بر تن از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵ (بورس فلزات لندن) ۱۵

شکل۱-۴. میزان تولید نیکل جهان هر سال به کل نیکل تولیدی طی سال‌های ۱۹۹۴- ۲۰۰۴ ..... ۱۶

شکل۱-۵. درصد تولید نیکل در جهان در سال ۲۰۰۳ ..... ۱۶

شکل۱-۶. میزان ذخیره اقتصادی و پایه نیکل در جهان در سال‌های ۱۹۹۵- ۲۰۰۴ ..... ۱۷

شکل۱-۷. فلوچارت کلی تولید الکترولیتی روی ۲۵

شکل۲-۱. فرایند هیدرومتالوژی گورو بر لاتریت‌ها ۲۹

شکل۲-۲. استخراج فلزات دو ظرفیتی و $Fe(III)$ از محلول‌های کلریدی توسط $Alamine\ 336$ ۴۴

شکل۲-۳. استخراج کمپلکس‌های کلریدی فلزات توسط آمین‌ها ۴۴

شکل۲-۴. ساختار عمومی اسیدهای پایهٔ فسفر ۴۷

شکل۲-۵. ساختار عمومی اسیدهای پایهٔ فسفر ۴۷

شکل۲-۶. ساختار استخراج کننده اسید اورگانو فسفرو، D2EHPA ۴۷

شکل۲-۷. منحنی استخراج برخی از کاتیون‌ها برحسب pH توسط D2EHPA ۵۲

شکل۲-۸. استخراج برخی از کاتیون‌ها برحسب pH توسط D2EHPA ۵۲

شکل۲-۹. مقایسه کمپلکس چهاروجهی کبالت و هشت وجهی نیکل تشکیل شده با دی آلکیل فسفینیک اسید و نیز ساختار پیوند هیدروژنی دوگانه این گروه از استخراج کننده‌ها ۵۵

شکل۲-۱۰. منحنی استخراج روی، کادمیم و کبالت برحسب pH توسط D2EHPA (معادل ۳۰ درصد حجمی) و TBP (برابر ۴ درصد حجمی) و نسبت A:O=۱ ..... ۵۷
شکل۲-۱۱. pH استخراج برخی کاتیون‌ها در VERSATIC 10 ۰/۵ مولار رقیق شده در گزیلن ۵۸
شکل۲-۱۲. ساختار عمومی اکسیم‌های مورد استفاده جهت استخراج نیکل از محلول‌های آمونیاکی ۵۹
شکل۲-۱۳. منحنی‌های ایزوترم استخراج بعضی از کاتیون‌ها برای LIX984N ۶۱
شکل۲-۱۴. درصد استخراج یون‌های فلزی بر حسب pH توسط LIX984N ۶۲
شکل۲-۱۵. فلوشیت ساده شدهٔ پالایشگاه QNI بعد از فیتوک (۱۹۹۷) ۶۶
شکل۲-۱۶. فلوشیت ساده شدهٔ فرایند کاوز ۶۷
شکل۲-۱۷. فلوشیت ساده شدهٔ دیگری از فرایند کاوز (کایل و فورفارو ، ۱۹۹۷) ۶۸
شکل۲-۱۸. فلوشیت ساده شدهٔ فرایند مورین- مورین ۷۳
شکل۲-۱۹. صورت دیگر فرایند مورین- مورین ۷۴
شکل۲-۲۰. فلوشیت ساده شدهٔ دیگری از فرایند مورین - مورین (رایان و ویزنبیچ، ۱۹۹۷) ۷۵
شکل۲-۲۱. فلوشیت ساده شدهٔ فرایند بیولانگ ۷۷
شکل۲-۲۲. شمای دیگری از فرایند بیولانگ ۷۸
شکل۲-۲۳. فلوشیت ساده شدهٔ دیگری از فرایند بیولانگ (کوپچتکا، ۲۰۰۰) ۷۹
شکل۳-۱. فلوشیت پیشنهادی مراحل کلی استخراج فلزات کادمیم، نیکل و روی از کیک نیکل-کادمیم ۹۰
شکل۴-۱. نمودار حاصل از تفرق اشعه ایکس ۱۰۰
شکل۴-۲. مراحل انجام فرایند استخراج انتخابی نیکل (فرایند یک) ۱۰۲
شکل۴-۳. مراحل انجام فرایند استخراج انتخابی روی، استریپ روی از فاز آلی باردار شده با روی، استخراج نیکل از محلول خالص نیکل و استریپ نیکل از فاز آلی بادار شده با نیکل (فرایند دو) ۱۰۲
شکل۴-۴. مراحل انجام فرایند استخراج همزمان روی و نیکل-استریپ انتخابی نیکل (فرایند سه) ۱۰۳
شکل۴-۵. منحنی ایزوترم استخراج LIX984N در استخراج نیکل و روی ۱۰۵

شکل۴-۶. منحنی‌های ایزوترم استخراج نیکل و روی با LIX984N (۲۰٪)، LIX984N (۱۵٪) +TBP (۵٪) و LIX984N (۱۵٪)+D2EHPA (۵٪) ۱۰۷

شکل۴-۷. منحنی‌های ایزوترم استخراج نیکل و روی با LIX984N (۲۰٪)، LIX984N (۱۵٪) +TBP (۲/۵٪)+D2EHPA (۲/۵٪) و LIX984N (۲۰٪)+ TBP (۴٪)+D2EHPA (۱٪). ۱۰۸

شکل۴-۸. منحنی‌های ایزوترم استخراج نیکل و روی با D2EHPA (۲۰٪)، D2EHPA (۳۰٪) و D2EHPA (۴۰٪). ۱۱۱

شکل۴-۹. منحنی‌های ایزوترم استخراج نیکل و روی با LIX984N (۱۰٪)+D2EHPA (۱۰٪)، LIX984N (۱۵٪)+D2EHPA (۱۵٪) و LIX984N (۲۰٪)+D2EHPA (۲۰٪). ۱۱۳

شکل۴-۱۰. منحنی‌های ایزوترم استخراج نیکل و روی با D2EHPA (۲۰٪) و LIX984N (۱۰٪)+D2EHPA (۱۰٪). ۱۱۴

شکل۴-۱۱. منحنی‌های ایزوترم استخراج نیکل و روی با D2EHPA (۳۰٪) و LIX984N (۱۵٪)+D2EHPA (۱۵٪). ۱۱۴

شکل۴-۱۲. منحنی‌های ایزوترم استخراج نیکل و روی با D2EHPA (۴۰٪) و LIX984N (۲۰٪)+D2EHPA (۲۰٪). ۱۱۵

شکل۴-۱۳. منحنی‌های ایزوترم استخراج نیکل و روی D2EHPA (۴۰٪) با استفاده از محلول سنتز شده و محلول صنعتی. ۱۱۶

شکل۴-۱۴. سینتیک استخراج نیکل با D2EHPA (۴۰٪) و A/O معادل ۱:۱ در دمای محیط (۲۷±۲ °C) و pH=۵/۲ ..... ۱۱۷

شکل۴-۱۵. ایزوترم توزیع استخراج نیکل در pH=۵/۲۵ و دمای محیط (۲۷±۲ °C) و منحنی $McCabe-Thiele$ با شیب A/O معادل ۱:۱ با ترکیب D2EHPA ۴۰٪ در رقیق کننده کروزین ۱۱۸

شکل۴-۱۶. نمایش نمودار طرح انجام آزمایش‌های استریپ و پاسخ‌های حاصل ۱۲۱

شکل۴-۱۷. تغییرات پاسخ (درصد استریپ) با نسبت O/A در pHهای مختلف ۱۲۴

شکل۴-۱۸. سینتیک استریپ نیکل از D2EHPA (۴۰٪) بارگیری شده و A/O معادل ۱:۱ در دمای ۴۰ °C و $pH \approx$ ۲/۷۵ ..... ۱۲۶

شکل۴-۱۹. ایزوترم توزیع استریپ نیکل از فاز آلی بارگیری شده در PH=۲/۸ و دمای محیط ۴۰ °C و منحنی $McCabe-Thiele$ با شیب O/A معادل ۳/۱ و ۵/۱ ..... ۱۲۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۱-۱. خواص فیزیکی و مکانیکی نیکل ۶

جدول۲-۱. استخراج کننده‌های اسیدی تجاری ۳۳

جدول۲-۲. استخراج کننده‌های اسیدی کی‌لیت ساز ۳۵

جدول۲-۳. استخراج کننده‌های پایه ۳۷

جدول۲-۴. استخراج کننده‌های حلالی ۳۹

جدول۲-۵. دهه گسترش و کاربرد تجاری استخراج کننده‌های نیکل و کبالت در محلول‌های سولفاتی ۴۶

جدول۲-۶. چهار واکنش نتیجه شده از $Caynex\ 301$ ۸۲

جدول۲-۷. خلاصه‌ای از مقادیر $pH_{0.5}$ و $\Delta pH_{0.5}$های محاسبه شده در رابطه با خاصیت انتخابی در برابر Ca و Mn ۸۵

جدول۳-۱. مواد و وسایل مورد نیاز در مرحله انحلال اسیدی و سمانتاسیون ۸۸

جدول۳-۲. تجزیه سرندی فیلتر کیک تصفیه سرد روی معدن انگوران ۹۸

جدول۳-۳. آنالیز شیمیایی تر برخی عناصر و رطوبت سنجی فیلتر کیک مورد استفاده ۹۹

جدول۳-۴. مواد و وسایل مورد نیاز در مرحله استخراج حلالی ۸۹

جدول۳-۵. مقادیر بهینه پارامترهای مورد بررسی در فرایند لیچینگ اسید سولفوریکی فیلتر کیک نیکل-کادمیم ۹۱

جدول۳-۶. مقادیر بهینه پارامترهای مورد بررسی در فرایند سمنتاسیون کادمیم از مایع باردار حاصل از لیچینگ کیک نیکل-کادمیم ۹۱

جدول۳-۷. ترکیب محلول‌های آلی مورد استفاده در فرایند اول (استخراج انتخابی نیکل) ۹۲

جدول۳-۸. ترکیب محلول‌های آلی مورد استفاده در فرایند دوم (استخراج همزمان روی و نیکل- استریپ انتخابی نیکل) ۹۳

جدول۴-۱. غلظت محلول صنعتی حاصل از لیچینگ اسید سولفوریکی کیک نیکل-کادمیم و سمنتاسیون کادمیم ۱۰۱

جدول۴-۲. مقادیر $\Delta pH_{0.5}$ و $\Delta pH_{0.5}^{Ni-Cd}$ برای ترکیب‌های مختلف فاز آلی ۱۰۸

جدول۴-۳. بازدهی استخراج عناصر حاضر در محلول صنعتی در مرحله استخراج همزمان، با شرایط مذکور ۱۱۸

جدول۴-۴. عامل‌های مورد مطالعه و سطوح در نظر گرفته شده، و مقادیر آنها ۱۲۰

جدول۴-۵. شرایط انجام آزمایش‌های استریپ نیکل از فاز آلی بارگیری شده با طرح فاکتوریل کامل 2^2 و پاسخ‌های بدست آمده ۱۲۰

جدول۴-۶. اطلاعات مربوط به طرح مورد نظر (ماتریس طرح، ماتریس عملیاتی طرح، نتایج بدست آمده، میانگین و مجموع آنها) ۱۲۲

جدول۴-۷. آنالیز یتس نتایج ۱۲۳

جدول۴-۸. آنالیز واریانس نتایج ۱۲۴

فصل ۱ دیباچه

۱-۱. مشخصات عمومی نیکل

۱-۱-۱. تاریخچه

تصور می‌شود که نیکل از واژه "کوپرنیکل"[1] گرفته شده باشد که معدنکاران قرون وسطای ساکسون به کانی که به اشتباه آن را کانه مس می‌پنداشتند و نمی‌توانستند از آن مس استحصال کنند اطلاق می‌شد؛ ولی این کانی آرسنید نیکل یا نیکولیت (NiAs) بود. استفاده از نیکل را می‌توان به ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد نسبت داد. در سال ۱۷۵۱ برای نخستین بار کانی شناس سوئدی اکسل کرونشتد[2]، تلاش نمود تا مس را از کوپرنیکل استخراج نماید و در عوض یک فلز سفید بدست می‌آید که نیکل نام دارد. موقعیت نیکل بعنوان یک عنصر مستقل در سال ۱۷۷۵ تائید شد اما این مسئله تا سال ۱۸۰۴ که جرمیس ریکتر[3] یک نمونه نسبتاً خالص از فلز را بدست آورد و خواص آن را توصیف کرد، بطور جدی مطرح نشده بود. سکه نیکل اولیه فلز خالصی بود که در سال ۱۸۸۱ تولید شد [۱ و ۲].

تا دهه ۱۸۳۰، آلیاژهای مس، نیکل و روی بنام نقره آلمانی شهرت داشتند. پس از آن آلیاژ نیکل-نقره در حد تجاری و به میزان فراوان در آلمان و انگلستان تولید شد که علاوه بر رنگ نقره‌ای، قالب‌گیری و کارکردن با آن ساده‌تر بوده، صرفه اقتصادی بالایی داشته و در برابر هوازدگی هم خوب مقاومت می‌کند. هر چند که نیکل فلزی خالص برای نخستین بار در سال ۱۸۳۸ در آلمان تولید شد اما تولید جهانی نیکل تا سال ۱۸۷۶ کمتر از ۱۰۰۰ تن در سال بوده است [۲].

[1] Kupfernickel
[2] Baron Axel Frederik Cronstedt
[3] Richter

در فاصله سال‌های ۱۸۷۰ تا ۱۸۸۰، تقاضا برای نیکل به یکباره افزایش یافت. در اوایل دهه ۱۸۹۰ خصوصیات مناسب فولادهای نیکل در نیروی دریایی منجر به تقاضای شدید برای نیکل شد. در سال ۱۹۵۰، منطقه سادبوری کانادا ۹۵٪ نیکل دنیای غرب را تامین می‌کرد. از آن زمان به بعد، جایگاه رفیع کانادا رو به افول نهاد.

تا پایان جنگ جهانی اول، نیکل صرفاً برای مقاصد نظامی بکار می رفت، اما پژوهش‌های فراوان بین دو جنگ جهانی، در زمینه استفاده‌های احتمالی صنعتی نیکل، به کاربردهای نوین فراوانی انجامید. در دهه ۱۹۹۰، انواع آلیاژ نیکل مورد استفاده قرار می گرفت که میزان نیکل آنها بین ۹۹٪ تا ۱٪ (برای سخت کردن فولاد) تغییر می‌کرد [۲].

۱-۱-۲. مشخصات نیکل

نیکل از نظر فراوانی بیستمین عنصر فراوان در پوسته زمین با فراوانی ۰/۰۲۰٪ می‌باشد. نیکل فلزی است به رنگ سفید- نقره‌ای با نماد Ni، عدد اتمی ۲۸، وزن اتمی ۵۸/۶۹، وزن مخصوص آن ۸/۹ گرم بر سانتی مترمکعب، سختی ۴ در مقیاس موس، جلای فلزی، سخت، قابل انعطاف، چکش خوار و شکل پذیر با نقطه ذوب ۱۴۵۳ درجه سانتی گراد و نقطه جوش ۲۷۳۲ درجه سانتی گراد. تا دمای $^{\circ}C$ ۳۵۸ خاصیت مغناطیسی خود را حفظ می‌کند. در اولین تناوب عناصر واسطه و به عنوان یکی از سه عنصر فرومغناطیس در گروه VIII بعد از آهن و کبالت قرار دارد و آرایش اتمی آن به صورت $s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$ می‌باشد [۲].

۱-۱-۲-۱. مشخصات شیمیایی نیکل

نیکل از لحاظ خصوصیات شیمیایی شبیه به آهن، کبالت و مس است. در برابر بیشتر اسیدها (به استثنای اسید نیتریک) به لحاظ خوردگی بسیار مقاوم است که این ویژگی موجب گردیده تا نیکل در