بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم پایه

دکترای شیمی تجزیه

مطالعه و بهینه سازی چند متغیره با استفاده از روش های کمومتریکس برای فرایند حذف برخی از آلاینده ها از محلول آبی به وسیله جاذب های طبیعی و جاذب های سنتزی با ابعاد نانو

پژوهشگر:

ندا آسنجرانی

استاد راهنما:

دکتر جواد ذوالقرنین

استاد مشاور:

دکتر غلامحسن عظیمی

دانشگاه اراک

شهریور ۹۲

بسم ا... الرحمن الرحیم

مطالعه و بهینه سازی چند متغیره با استفاده از روش‌های کمومتریکس برای فرایند حذف برخی از آلاینده‌ها از محلول‌های آبی بوسیله جاذب‌های طبیعی و سنتزی با ابعاد نانو

توسط:

ندا آسنجرانی

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی

لازم برای اخذ درجه دکتری

در رشته شیمی تجزیه

از

دانشگاه اراک

اراک-ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر جواد ذوالقرنین (استاد راهنما و رئیس کمیته)..... استاد

دکتر غلامحسن عظیمی(استاد مشاور)..... دانشیار

دکتر جهانبخش قاسمی (دانشگاه خواجه نصیرلدین طوسی، مدعو خارجی)..... استاد

دکتر سعید امانی (داور داخلی) ..... استاد

دکتر علی بابایی (داور داخلی) ..... دانشیار

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم به همه آنان که حاصل بودنشان رمز موفقیتم شد

تقدیم به استاد بزرگوارم **جناب آقای پروفسور ذوالقرنین:**

که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کرد

تقدیم با بوسه بر دستان پدرم:

که از نگاهش صلابت؛ از رفتارش محبت و از صبرش ایستادگی را آموختم.

تقدیم به مادر عزیزتر از جانم:

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودش که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

و به پاس محبت های بی دریغش که هرگز فروکش نمی کند

تقدیم به همسرم:

که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد،

تقدیم به یگانه خواهر مهربانم به پاس مهربانیش و **برادران عزیزم** که دلگرمم به بودنشان

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

از استاد فرزانه و شایسته؛ **جناب آقای پروفسور ذوالقرنین** که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند.

از استاد صبور و عزیز، **جناب آقای دکتر عظیمی**، که زحمت مشاوره این رساله را متقبل شدند

از استاد فرهیخته **جناب آقای دکتر قاسمی** که در طول مدت انجام این پایان نامه از رهنمودهای علمی و اخلاقی ایشان بهره مند شدم

و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ **جناب آقای پروفسور امانی** (مدیریت محترم گروه) و **جناب آقای دکتر بابایی** که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خرد ترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

از سرکار خانم دکتر شریعت منش و خانم بکتاش به دلیل یاری ها و محبت های بی دریغشان تشکر می کنم.

چکیده

در قسمت اول تحقیق، روش تاگوچی برای بهینه‌سازی چند متغیره حذف Cd(II) با برگ درخت ممرز از محلول آبی به کار رفت برهم‌کنش فلز با جاذب یا FT-IR و SEM و XRD بررسی شد. مدل‌های تیتراسیون پتانسیومتری برگ درخت ممرز احتمال حضور دو سایت فعال هیدروکسیل و کربوکسیل را نشان داد. سینتیک و ترمودینامیک فرایند جذب بررسی شد. در قسمت دوم تحقیق، نانو ذرات TiO_2 روی برگ درخت ممرز نشانده و کامپوزیت تولید شده برای حذف هم‌زمان یون‌های مس و روی به کار رفت. فرآیند حذف با ترکیب روش شبکه عصبی مصنوعی و روش تاگوچی مدل شد و روش تاگوچی برای بهینه کردن طراحی شبکه به کار رفت. سینتیک و تعادل در سیستم‌های تکی و دوتایی حذف مس و روی توسط کامپوزیت تولید شده مطالعه گردید. درقسمت سوم این تحقیق آشکار شد که نانوگاماآلومینا می‌تواند جاذبی کارا در حذف هم‌زمان رنگ آلیزارین قرمز و آلیزارین زرد از محلول‌های آبی باشد و برای بهینه کردن هم‌زمان ظرفیت جذب و بازده از ترکیب روش تاگوچی وآنالیز مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. درقسمت چهارم این تحقیق، نانوذرات $Co(OH)_2$ سنتز و برای حذف رنگ فنول قرمز از محیط آبی استفاده شدند. روش رویه پاسخ (RSM) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای مدل کردن فرآیند به کار رفتند. درقسمت پنجم این تحقیق، روش GA-PLS برای اندازه‌گیری هم‌زمان اسپکتروفتومتری گالیوم و تالیوم با استفاده از تشکیل کمپکس آن‌ها با لیگاند۴-۲-پیریدیل‌آزو رزورسینول (PAR) پیشنهاد شد.

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
فصل اول – مقدمه	**۱**
۱-۱ اهمیت تحقیق	۳
۱-۲ اهداف تحقیق	۳
۱-۳ روش تحقیق	۴
۱-۴ آلاینده ها	۴
۱-۴-۱ فلزهای سنگین	۴
۱-۴-۲ رنگ‌ها	۵
۱-۵ روش‌های حذف آلاینده‌ها	۵
۱-۶ جاذب‌های زیستی	۶
۱-۷ جاذب‌های نانو	۶
۱- ۸ سنتز نانوذرات	۷
۱-۸-۱تولید نانوذرات به روش شیمیایی مرطوب	۷
۱-۹ کمومتریکس	۸
۱-۹-۱ طرح آزمایش	۸
۱-۹-۲ روش رویه پاسخ	۹
۱-۹-۳ روش تاگوچی	۹
۱-۹-۴ شبکه‌های عصبی مصنوعی	۱۰
۱-۹-۴-۱ شبکه عصبی چند لایه پیش‌خور و یادگیری پس‌انتشار خطا	۱۲
۱-۹-۵ مؤلفه‌های اصلی	۱۴
۱-۹-۶ رگرسیون حداقل مربعات جزئی	۱۵
۱-۹-۷ الگوریتم ژنتیک	۱۶
۱-۹-۷-۱ ساختار کلی الگوریتم های ژنتیکی	۱۶
۱-۱۰ هم دماهای جذب در سیستم چند جزئی	۱۷
فصل دوم- مروری بر پیشینه تحقیق	**۱۹**
۲-۱ مروری بر پیشینه تحقیق	۲۱

فصل سوم- مطالعه و بهینه کردن فرآیند حذف یون فلزی کادمیوم(II) با استفاده از برگ درخت ممرز با روش تاگوچی با آرایه L_{16} ۲۷

۳-۱ مقدمه ۲۹
۳-۲ عملیات تجربی ۲۹
۳-۲-۱ مواد، وسایل و نرم‌افزارهای مورد استفاده ۲۹
۳-۲-۲ جاذب ۳۰
۳-۲-۳ روش کار ۳۰
۳-۲-۴ تیتراسیون‌های پتانسیومتری ۳۱
۳-۲-۵ تعیین نقطه بار صفر ۳۱
۳-۲-۶ بهینه کردن فرآیند حذف کادمیوم توسط برگ درخت ممرز ۳۲
۳-۲-۷ بهینه کردن هم‌زمان بازده حذف و ظرفیت جذب کادمیوم با برگ درخت ممرز با استفاده از روش تابع مطلوبیت ۳۴
۳-۲-۸ مطالعه هم‌دماهای جذب ۳۵
۳-۲-۸-۱ هم‌دمای لانگمویر ۳۵
۳-۲-۸-۲ هم‌دمای فروندلیچ ۳۶
۳-۲-۸-۳ هم‌دمای سیپس ۳۶
۳-۲-۸-۴ هم‌دمای D-R ۳۶
۳-۲-۹ مطالعات سینتیک ۳۷
۳-۲-۹-۱ مدل‌های شبه مرتبه اول و مرتبه دوم ۳۷
۳-۲-۹-۲ نفوذ درون ذره‌ای ۳۸
۳-۳ نتایج و بحث ۳۸
۳-۳-۱ مطالعه و بهینه‌سازی هم‌زمان بازده حذف و ظرفیت جذب با استفاده از روش تاگوچی و تابع مطلوبیت ۳۸
۳-۳-۲ مطالعه هم‌دماهای جذب ۴۵
۳-۳-۳ آنالیز خطا ۴۸
۳-۳-۴ مطالعات سینتیک ۴۸
۳-۳-۵ تیتراسیون پتانسیومتری ۵۰
۳-۳-۶ تعیین نقطه بار صفر (PZC) ۵۲
۳-۳-۷ مطالعات ترمودینامیکی ۵۲
۳-۳-۷ آنالیز عنصری، FT-IR، XRD و SEM ۵۴
۳-۳-۸ تعیین مساحت سطح ویژه جاذب ۵۸

فصل چهارم- حذف همزمان یون های فلز مس و روی با استفاده از نانواکسیدتیتانیوم نشانده شده بر برگ گیاه برگ نو، مدل کردن فرآیند حذف با استفاده از ترکیب روش شبکه عصبی و تاگوچی ۵۹

۴-۱ مقدمه ۶۱
۴-۲ عملیات تجربی ۶۱
۴-۲-۱ مواد مورد استفاده ۶۱
۴-۲-۲ دستگاه‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده ۶۲
۴-۲-۳ روش کار ۶۲
۴-۲-۴ نشاندن نانواکسیدتیتانیوم روی برگ گیاه برگ نو ۶۲
۴-۲-۵ مدل کردن فرآیند حذف همزمان مس و روی با استفاده از ترکیب روش شبکه عصبی و تاگوچی ۶۴
۴-۲-۶ مطالعه هم‌دماهای جذب ۷۱
۴-۲-۶-۱سیستم دوتایی ۷۱
۴-۲-۶-۱-۱ هم دماهای لانگمویر اصلاح شده ۷۱
۴-۲-۶-۱-۲هم دمای فروندلیچ بسط داده شده ۷۲
۴-۲-۷ مطالعه سینتیک جذب ۷۲
۴-۳ نتایج و بحث ۷۴
۴-۳-۱ بهینه کردن فرآیند نشاندن نانواکسیدتیتانیوم روی برگ گیاه برگ نو ۷۴
۴-۳-۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز طیف‌نگاری پاشندگی اشعه X ۷۸
۴-۳-۳ مدل کردن فرآیند حذف همزمان مس و روی با استفاده از ترکیب روش شبکه عصبی و تاگوچی ۸۳
۴-۳-۴ مطالعه سینتیک وهم‌دماها در سیستم تکی و دوتایی مس و روی ۹۱

فصل پنجم- حذف همزمان رنگ‌های آلیزارین قرمز و آلیزارین زرد از محلول‌های آبی با استفاده از نانو گاما آلومینا، بهینه کردن فرآیند با استفاده از روش تاگوچی و آنالیز مؤلفه‌های اصلی ۹۷

۵-۱ مقدمه ۹۹
۵-۲ عملیات تجربی ۹۹
۵-۲-۱ مواد، وسایل و نرم‌افزارهای مورد استفاده ۹۹
۵-۲-۲ روش کار ۱۰۰
۵-۲-۳ بهینه کردن همزمان حذف دو رنگ آلیزارین قرمز و آلیزارین زرد ۱۰۲
۵-۲-۴ مطالعه هم‌دماهای جذب و سینتیک ۱۰۶
۵-۳ نتایج و بحث ۱۰۶
۵-۳-۱ بهینه کردن همزمان حذف آلیزارین قرمز و آلیزارین زرد ۱۰۶

۵-۳-۲ مطالعه هم‌دماهای جذب در سیستم تکی و دوتایی ۱۱۱
۵-۳-۳ مطالعات سینتیک ۱۱۴
۵-۳-۴ آنالیز FT-IR ۱۱۶

فصل ششم- مدل کردن فرآیند حذف فنول قرمز با نانوهیدروکسیدکبالت با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با روش رویه پاسخ ۱۱۷

۶-۱ مقدمه ۱۱۹
۶-۲ عملیات تجربی ۱۱۹
۶-۲-۱ مواد، دستگاه‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده ۱۱۹
۶-۲-۲ روش کار حذف فنول قرمز ۱۲۰
۶-۲-۳ تهیه نانوذرات هیدروکسیدکبالت(II) ۱۲۱
۶-۲-۴ مدل کردن فرآیند حذف فنول قرمز توسط نانوهیدروکسیدکبالت با روش رویه پاسخ ۱۲۱
۶-۲-۵ مدل کردن فرآیند حذف با روش شبکه عصبی ۱۲۲
۶-۳ نتایج و بحث ۱۲۵
۶-۳-۱ مدل کردن فرآیند حذف با روش رویه پاسخ ۱۲۵
۶-۳-۱-۱ تعیین عوامل تأثیرگذار بر بازده حذف فنول قرمز توسط نانوهیدروکسیدکبالت ۱۲۵
۶-۳-۱-۲ ارائه مدل مناسب ۱۲۶
۶-۳-۱-۳ آنالیز واریانس (*ANOVA*) ۱۲۶
۶-۳-۱-۴ نقش عوامل اصلی و اثرات متقابل بین عوامل ۱۲۸
۶-۳-۱-۵ نمودارهای سطح پاسخ و کانتور ۱۲۹
۶-۳-۱-۶ بهینه‌سازی حذف فنول قرمز توسط نانوهیدروکسیدکبالت ۱۳۱
۶-۳-۲ مدل کردن فرآیند حذف با روش شبکه عصبی ۱۳۱
۶-۳-۳ مقایسه نتایج حاصل از روش شبکه عصبی و روش رویه پاسخ ۱۳۴
۶-۳-۴ تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز پراش اشعه ایکس نانوذرات هیدروکسیدکبالت سنتز شده ۱۳۵

فصل هفتم- اندازه‌گیری اسپکتروفتومتری هم‌زمان گالیوم (III) و تالیوم (III) با استفاده از روش حداقل مربعات جزئی و کاربرد الگوریتم ژنتیک برای انتخاب طول موج ۱۳۷

۷-۱ مقدمه ۱۳۹
۷-۲عملیات تجربی ۱۴۰
۷-۲-۱ مواد، وسایل و نرم‌افزارهای مورد استفاده ۱۴۰
۷-۲-۲ روش کار ۱۴۰

۷-۳ نتایج و بحث ۱۴۱
۷-۳-۱ اثر pH ۱۴۱
۷-۳-۲ کالیبراسیون تک متغیره ۱۴۲
۷-۳-۳ کالیبراسیون چند متغیره ۱۴۴
۷-۳-۴ اندازه‌گیری گالیوم و تالیوم در مخلوط دوتایی ۱۴۶
۷-۳-۵ مقایسه نتایج پیش‌بینی دو روش PLS و GA-PLS در مخلوط دوتایی گالیوم و تالیوم ۱۵۰

فصل هشتم- نتیجه گیری ۱۵۳

۸-۱ نتیجه گیری کلی ۱۵۵
۸-۲ پیشنهاداتی برای ادامه کار ۱۵۸

منابع ۱۵۹

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

فصل سوم

جدول ۳-۱ فاکتورها و سطوح مورد مطالعه برای حذف کادمیوم توسط برگ درخت ممرز ۳۳
جدول ۳-۲ آرایه عمودی L_{16} و نتایج آزمایش‌ها ۳۳
جدول ۳-۳ میانگین نسبت سیگنال به نویز در هر سطح ۳۹
جدول ۳-۴ آنالیز واریانس نسبت های سیگنال به نویز برای بازده حذف ۴۲
جدول ۳-۵ آنالیز واریانس ادغام شده نسبت های سیگنال به نویز برای بازده حذف. ۴۲
جدول ۳-۶ آنالیز واریانس ادغام شده نسبت‌های سیگنال به نویز برای ظرفیت جذب ۴۴
جدول ۳-۷ شرایط بهینه هم‌زمان بازده حذف و ظرفیت جذب ۴۴
جدول ۳-۸ پارامترهای هم‌دماهای مورد مطالعه ۴۵
جدول ۳-۹ پارامترهای سینتیک ۴۹
جدول ۳-۱۰ پارامترهای مدل مجزا و پیوسته ۵۲
جدول ۳-۱۱پارامترهای ترمودینامیکی برای حذف کادمیوم با برگ درخت ممرز ۵۴
جدول ۳-۱۲نتایج آنالیز عنصری برگ درخت ممرز ۵۸

فصل چهارم

جدول ۴-۱ پارامترها و سطوح مورد بررسی ۶۳
جدول ۴-۲ آرایه عمودی L_9 برای نشاندن نانواکسیدتیتانیوم روی برگ. ۶۴
جدول ۴-۳ آرایه عمودی L_{27} مربوط به دسته آموزش برای حذف مس و روی در مخلوط آن‌ها ۶۶
جدول ۴-۴ آزمایش‌های مربوط به دسته آزمایش(۱۰ آزمایش اول) و ارزیابی(۱۰ آزمایش دوم ۶۷
جدول ۴-۵ پارامترها و سطوح مورد بررسی برای شبکه عصبی با الگوریتم آموزش دسته‌ای کاهش شیب با مومنتوم ۶۹
جدول ۴-۶ آرایه عمودی L_9 و نسبت‌های سیگنال به نویز برای شبکه عصبی با الگوریتم آموزش دسته‌ای کاهش شیب با مومنتوم ۶۹
جدول ۴-۷ پارامترها و سطوح مورد بررسی برای شبکه عصبی با الگوریتم آموزش لونبرگ مارکواد ۷۰.
جدول ۴-۸ آرایه عمودی L_9 و نسبت‌های سیگنال به نویز برای شبکه عصبی با الگوریتم آموزش لونبرگ مارکواد ۷۰
جدول ۴-۹ میانگین نسبت سیگنال به نویز در هر سطح برای فلزمس ۷۵
جدول ۴-۱۰ میانگین نسبت سیگنال به نویز در هر سطح برای فلز روی ۷۶
جدول ۴-۱۱ شرایط بهینه ۷۷

جدول ۴-۱۲آنالیز واریاس نسبت‌های سیگنال به نویز برای حذف فلز مس در مخلوط دوتایی مس و روی ۸۴
جدول ۴-۱۳آنالیز واریاس نسبت های سیگنال به نویز برای حذف فلز روی در مخلوط دوتایی مس و روی ۸۴
جدول ۴-۱۴میانگین نسبت سیگنال به نویز در هر سطح برای فلز روی در شبکه عصبی با الگوریتم آموزش دسته‌ای کاهش شیب با مومنتوم ۸۸
جدول ۴-۱۵میانگین نسبت سیگنال به نویز در هر سطح برای فلز مس در شبکه عصبی با الگوریتم آموزش دسته‌ای کاهش شیب با مومنتوم ۸۸
جدول ۴-۱۶شرایط بهینه شبکه برای فلز روی ۸۹
جدول ۴-۱۷شرایط بهینه شبکه برای فلز مس ۸۹
جدول ۴-۱۸ سطوح تعداد نورون ها در لایه پنهانی ۹۰
جدول ۴-۱۹ ثابت‌های مدل‌های سینتیکی ۹۱
جدول ۴-۲۰ ثابت‌های هم‌دماها در سیستم‌های تکی و دوتایی ۹۲

فصل پنجم

جدول ۵-۱ مشخصات نانوآلومینای استفاده شده (ارائه شده توسط شرکت TECNAN) ۱۰۰
جدول ۵-۲ فاکتورها و سطوح مورد مطالعه توسط روش تاگوچی ۱۰۳
جدول ۵-۳ آرایه عمودی $L_{۲۷}$ و نتیجه آزمایش‌ها ۱۰۴
جدول ۵-۴ نسبت‌های سیگنال به نویز، مقادیر نرمال شده آن و مقادیر MRPI ۱۰۷
جدول ۵-۵ مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ۱۰۸
جدول ۵-۶ میانگین MRPI در سطوح مختلف فاکتورها ۱۰۹
جدول ۵-۷ آنالیز واریانس ۱۱۰
جدول ۵-۸ پارامترهای محاسبه شده برای هم‌دماهای جذب ۱۱۲
جدول ۵-۹ پارامترهای محاسبه شده برای سینتیک جذب ۱۱۵

فصل ششم

جدول ۶-۱ پارامترها و سطوح مورد بررسی ۱۲۲
جدول ۶-۲ آزمایشات طرح باکس بنکن برای حذف فنول قرمز ۱۲۳
جدول ۶-۳ آزمایشات دسته ارزیابی ۱۲۴
جدول ۶-۴ پارامترهای آماری برای طرح باکس بنکن (برای مقادیر کدشده) ۱۲۵
جدول ۶-۵ نتایج آنالیز واریانس ۱۲۷
جدول ۶- ۶ شرایط بهینه شبکه عصبی پس‌انتشار ۱۳۳
جدول ۶-۷ داده‌های دسته آزمایش و نتایج پیش‌بینی با دو روش *RSM* و *AAN* ۱۳۴

جدول ۶-۸ مقایسه نتایج پیش‌بینی ۱۳۵

فصل هفتم

جدول ۷-۱ غلظت‌های دسته کالیبراسیون و پیش‌بینی ۱۴۵
جدول ۷-۲ مقایسه دو روش PLS و GA-PLS ۱۵۱

فهرست شکل ها

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول

شکل ۱-۱ ساختار یک نورون مصنوعی ۱۰

فصل سوم

شکل ۳-۱ تعیین نقطه بار صفر ۳۲
شکل ۳-۲ درصد سهم فاکتورها برای الف) بازده حذف، ب) ظرفیت جذب ۴۰
شکل ۳-۳ نمودار اثرات اصلی برای بازده حذف ۴۱
شکل ۳-۴ نمودار اثرات اصلی برای ظرفیت جذب ۴۱
شکل ۳-۵ فاکتور جداسازی ۴۶
شکل ۳-۶ نمودار هم دماهای مطالعه شده ۴۷
شکل ۳-۷ نمودار نفوذ درون ذره ای برای حذف کادمیوم توسط برگ درخت ممرز ۴۹
شکل ۳-۸ طیف IR الف) برگ درخت ممرز ب) برگ درخت ممرز بعد ازجذب کادمیوم ۵۵
شکل ۳-۹ تصویر SEM الف) برگ درخت ممرز ب) برگ درخت ممرز بعد ازجذب ۵۶
شکل ۳-۱۰ طیف XRD برگ درخت ممرز الف) قبل ب) بعد ازجذب کادمیوم ۵۷

فصل چهارم

شکل ۴-۱ اثر زمان در سیستم‌های تکی و دوتایی مس و روی ۷۴
شکل ۴-۲ نمودار اثرات اصلی برای فلز مس ۷۵
شکل ۴-۳ نمودار اثرات اصلی برای فلز روی ۷۶
شکل ۴-۴ مقایسه راندمان حذف مس و روی توسط سه جاذب ۷۸
شکل ۴-۵ تصاویر SEM الف) TiO_2 ب) TiO_2 نشانده شده روی برگ ۷۹
شکل ۴-۶ تصاویر SEM الف) برگ ب) جاذب جدید بعد از جذب Cu و Zn ۸۰
شکل ۴-۷ آنالیز EDX جاذب جدید بعد از جذب Cu و Zn ۸۱
شکل ۴-۸ آنالیز EDX الف) برگ ب) TiO_2 نشانده شده روی برگ ۸۲
شکل ۴-۹ نمودار اثرات اصلی برای حذف فلز مس در حضور فلز روی ۸۳
شکل ۴-۱۰ نمودار اثرات اصلی برای حذف فلز روی در حضور فلز مس ۸۵
شکل ۴-۱۱ نمودار اثرات اصلی در روش تاگوچی برای بهینه کردن شبکه عصبی با الگوریتم آموزش لونبرگ مارکواد برای فلز روی ۸۶
شکل ۴-۱۲ نمودار اثرات اصلی در روش تاگوچی برای بهینه کردن شبکه عصبی با الگوریتم آموزش لونبرگ مارکواد برای فلز مس ۸۶

شکل ۴-۱۳ نمودار اثرات اصلی در روش تاگوچی برای بهینه کردن شبکه عصبی با الگوریتم آموزش دسته‌ای کاهش شیب با مومنتوم برای فلز روی ۸۷
شکل ۴-۱۴ نمودار اثرات اصلی در روش تاگوچی برای بهینه کردن شبکه عصبی با الگوریتم آموزش دسته‌ای کاهش شیب با مومنتوم برای فلز مس ۸۷
شکل ۴-۱۵ هم‌دماها در سیستم‌های تکی و دوتایی برای فلز مس ۹۴
شکل ۴-۱۶ هم‌دماها در سیستم‌های تکی و دوتایی برای فلز روی ۹۴
شکل ۴-۱۷ مقایسه ظرفیت جذب فلز روی و مس در سیستم تکی و دوتایی ۹۵

فصل پنجم

شکل ۵-۱ ساختار الف) آلیزارین قرمز، ب) آلیزارین زرد ۱۰۱
شکل ۵-۲ طیف آلیزارین زرد و قرمز و مخلوط آن‌ها ۱۰۲
شکل ۵-۳ منحنی MRPI میانگین برای سطوح مختلف پارامترها ۱۰۹
شکل ۵-۴ هم‌دماها در سیستم تکی و دو تایی برای آلیزارین قرمز ۱۱۳
شکل ۵-۵ هم‌دماها در سیستم تکی و دو تایی برای آلیزارین زرد ۱۱۳
شکل ۵-۶ مقایسه ظرفیت جذب ماکزیمم آلیزارین زرد (AY) و آلیزارین قرمز(AR) در سیستم تکی و دوتایی(غلظت رنگ دوم در سیستم دوتایی ۰/۳ میلی مول بر لیتر). ۱۱۴
شکل ۵-۷ نتایج مطالعات سینتیک در سیستم تکی و دوتایی برای آلیزارین قرمز و آلیزارین زرد(غلظت آلیزارین زرد و آلیزارین قرمز ۰/۳ میلی مول بر لیتر pH برابر با ۵ و مقدار جاذب ۱۰ گرم بر لیتر ۱۱۵
شکل ۵-۸ طیف IR *a*) نانوآلومینا قبل از جذب، *b*) آلیزارین قرمز، *c*) آلیزارین زرد، *d*) نانوآلومینا بعد از جذب آلیزارین زرد و آلیزارین قرمز ۱۱۶

فصل ششم

شکل ۶-۱ ساختار رنگ فنول قرمز
۱۲۰
شکل ۶-۲ اثرات عوامل اصلی روی بازده حذف فنول قرمز توسط نانو هیدروکسید کبالت ۱۲۸
شکل ۶-۳ نمودار اثرات متقابل روی بازده حذف فنول قرمز توسط نانو هیدروکسیدکبالت ۱۲۹
شکل ۶-۴ نمودار سطوح پاسخ ۱۳۰
شکل ۶-۵ کانتورها برای فرایند حذف فنول قرمز ۱۳۱
شکل ۶-۶ بررسی اثر پارامتر نوع تابع انتقال در لایه پنهانی روی کارایی شبکه عصبی ۱۳۲
شکل ۶-۷بررسی اثر پارامترتعداد نورون در لایه پنهانی و الگوریتم آموزش روی کارایی شبکه ۱۳۳
شکل ۶-۸ تصویر *SEM* نانوذرات هیدروکسید کبالت تهیه شده ۱۳۶
شکل ۶-۹ XRD نانوذرات هیدروکسید کبالت تهیه شده ۱۳۶

فصل هفتم

شکل ۷-۱ طیف جذبی کمپلکس‌های تالیوم و گالیوم و مخلوط آن‌ها با PAR ۱۴۱
شکل ۷-۲ ارتباط حساسیت و انتخاب‌پذیری با pH ۱۴۳
شکل ۷-۳ انتخاب تعداد فاکتورهای مدلPLS و GA-PLS برای الف) تالیوم، ب) گالیوم ۱۴۸
شکل ۷-۴ طول موج‌های انتخابی با روش GA-PLS برای الف) گالیوم، ب) تالیوم ۱۴۹
شکل ۷-۵ نمودار غلظت‌های پیش‌بینی شده در مقابل واقعی با استفاده از روش GA-PLS. ۱۵۱

فصل اول

مقدمه