
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده شیمی

گروه شیمی تجزیه

رساله دکتری شیمی تجزیه

حذف آلاینده‌های رنگی از محیط‌های آبی با استفاده از جاذب‌های طبیعی و سنتزی

نگارنده:

مطهره سادات اشرفی

اساتید راهنما:

دکتر قدمعلی باقریان دهقی

دکتر منصور عرب چم جنگلی

استاد مشاور:

دکتر ناصر گودرزی

بهمن ۹۶

تقدیم به :

آنکه علم او، محیط به آنچه در پیش رو و آنچه در پشت سر است؛

پدر بزرگوارم، که در همه حال همراهی ام نمود؛

مادر فداکارم، او که دعای خیرش را بدرقه راهم کرد؛

برادران عزیزم، همراهان لحظات تلخ و شیرین زندگی ام ؛

همسر صبور و فرزند دلبندم فاطمه، نشانه های لطف خدا در زندگی ام ؛

اساتید ارجمندم که اندیشیدن را به من آموختند نه اندیشه ها؛

و آنهایی که معتقدند بن بستی وجود ندارد و بر این باورند که یا راهی خواهند یافت، یا راهی خواهند ساخت.

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش خدای جل و جلاله، که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

اکنون در آستانه راهی نو به پاس نعمات بی حد پروردگار، بر خود لازم می‌دانم سپاس گزار تمام عزیزانی باشم که در این مسیر گره گشای راهم بودند. از اساتید فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر قدمعلی باقریان دهقی و جناب آقای دکتر منصور عرب چم جنگلی که راهنمایی‌های ارزنده ، صبر و حوصله فراوان آنها، همواره راه گشای من در اتمام و اکمال پایان نامه بوده است، صمیمانه تشکر می‌نمایم. از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر ناصر گودرزی که زحمت مشاوره این پروژه را بر عهده داشتند ، سپاسگزاری می‌نمایم. از خانم دکتر مصدرالامور عزیز که زحمت داوری این پروژه را به عهده گرفتند، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

اکنون پس از گذشت سال ها تحصیل در دانشگاه شاهرود و کسب فیض از محضر اساتید محترم گروه شیمی، به پاس تمام زحماتشان سر تعظیم فرود آورده و برایشان از درگاه خدای متعال ، بهترین‌ها را آرزومندم.

از پدر بزرگوارم که اسطوره ی فداکاریست، مادر مهربانم که تعبیر واژه صبر و آرامش است ، برادران ، همسر و فرزند عزیزم فاطمه که در تمامی مراحل ، مشوق من بوده اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

مسیری که بدون یاری های آنها به سرانجام نمی رسید.

تعهد نامه

اینجانب **مطهره سادات اشرفی** دانشجوی دوره دکتری رشته **شیمی تجزیه** دانشکده شیمی دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه **حذف آلاینده‌های رنگی از محیط‌های آبی با استفاده از جاذب‌های طبیعی و سنتزی** تحت راهنمائی **آقای دکتر قدمعلی باقریان دهقی و آقای دکتر منصور عرب چم جنگلی** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « Shahrood University of Thecnology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ **امضای دانشجو**

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در اولین بخش این پایان‌نامه، کامپوزیت پوست گردو مغناطیس شده با نانوذرات Fe_3O_4 به روش شیمیایی سنتز شد و مشخصه‌یابی سطح آن با استفاده از تکنیک‌های متفاوت انجام گرفت. سپس کارایی این کامپوزیت (که هم ویژگی‌های جذب مناسب پوست گردو و هم خواص مغناطیسی نانوذرات Fe_3O_4 را داشت)، برای حذف رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین ۶G از محلول‌های آبی تک‌جزئی، مورد بررسی قرار گرفت. اثر متغیرهای آزمایشگاهی متفاوت (همچون pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه رنگ و مدت زمان تماس) بر روی میزان درصد حذف رنگ‌های بیان شده مورد مطالعه قرار گرفت. سپس مقادیر این پارامترهای تجربی به عنوان ورودی برای تولید مدل‌های خطی و غیرخطی (همچون رگرسیون خطی چندگانه، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی) استفاده شد تا میزان درصد حذف این رنگ‌ها را در شرایط آزمایشگاهی مختلف پیش‌بینی کند. ارزیابی این مدل‌ها با استفاده از داده‌های تجربی تست (۱۰۸ داده) که در فرایند مدل‌سازی استفاده نشده بودند، انجام شد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی (به عنوان یک مدل غیرخطی) توانایی بالاتری برای پیش‌بینی فرآیند جذب هر دو رنگ در شرایط مختلف آزمایشگاهی دارد. همچنین حذف همزمان این دو رنگ کاتیونی نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به دلیل وجود اثر رقابتی بین رنگ‌ها، مقدار درصد حذف در محلول‌هایی که شامل مخلوطی از این دو رنگ باشند، نسبت به محلول‌هایی که فقط شامل یکی از رنگ‌ها باشند، کاهش می‌یابد.

در بخش دوم این پایان نامه، مخروط کاج عامل‌دار شده با گروههای کربوکسیلات با استفاده از ایزوپروپیلیدن مالونات در یک واکنش بدون حضور حلال تهیه شد و با استفاده از تکنیک‌های متفاوت مشخصه‌یابی گردید. کارایی جاذب برای حذف رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت از محلول‌های آبی تک-جزئی و دوجزئی مورد بررسی قرار گرفت. ماکزیمم ظرفیت جذب برای حذف رنگ‌های سافرانین و متیل-ویولت در محلول‌های تک جزئی به ترتیب برابر ۲۰۸/۰ و ۲۲۵/۰ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. در حالی که در محلول‌های دو جزئی به دلیل اثر رقابتی که بین رنگ‌های مورد مطالعه وجود داشت، مقدار کمیت به ۱۱۲/۳ و ۱۱۶/۷ میلی‌گرم بر گرم کاهش یافت. در ادامه فاکتورهای آزمایشگاهی مؤثر بر فرایند جذب

به عنوان ورودی به جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی داده شد تا درصد حذف این آلاینده‌ها را در مخلوط دوجزئی پیش‌بینی کند. ارزیابی این مدل‌ها با استفاده از سری تست (۸۱ داده) انجام شد. پارامترهای آماری محاسبه شده نشان داد که نتایج شبکه عصبی مصنوعی به مراتب دقیق‌تر و بهتر است.

در بخش سوم این پایان نامه نانوذرات سیلیکا از ساقه جارو استخراج گردید. بررسی ساختاری و ریخت‌شناسی نانوسیلیکا استخراج شده با فنون FT-IR، SEM و BET انجام گرفت. نتایج به دست آمده وجود نانوذرات کروی سیلیکا با میانگین اندازه ذرات کمتر از ۱۰۰ نانومتر و با مساحت سطح ۱۵۲ مترمربع بر گرم را تأیید کرد. برای اولین بار کارایی این نانوذرات (به عنوان یک جاذب مقرون به صرفه و در دسترس) برای حذف همزمان کریستال ویولت و متیلن‌بلو از محیط‌های آبی، مورد مطالعه قرار گرفت. تأثیر پارامترهای آزمایشگاهی مختلف نظیر pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه رنگ و مدت زمان تماس بر روی میزان حذف همزمان دو رنگ مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر بهینه پارامترها به دست آمد. در ادامه مدل‌سازی فرایند جذب در شرایط متفاوت آزمایشگاهی با استفاده از روش جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل ارائه شده توسط جنگل تصادفی قابلیت پیشگویی بهتری را دارد.

در آخرین قسمت از پایان نامه، پوست گردو با استفاده از ایزوپروپیلیدن مالونات در یک واکنش بدون حضور حلال آلی با گروههای کربوکسیلیک اسید اصلاح گردید. با استفاده از تکنیک‌های متفاوت حضور این گروهها بر سطح جاذب تأیید شد. کارایی این جاذب اصلاح شده برای حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب مورد بررسی قرار گرفت. بهینه‌سازی پارامترهای مهم بر فرایند جذب همزمان این دو آلاینده با استفاده از طرح عاملی باکس بنکن انجام شد. ماکزیمم ظرفیت جذب برای حذف یون‌های سرب و رنگ متیلن‌بلو از محلول دوجزئی به ترتیب برابر ۱۰۰/۴۰ و ۵۵/۷۸ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. بررسی مکانیسم واکنش نشان داد که نیروهای الکتروستاتیکی نقش اصلی را در فرایند جذب سرب به عهده دارند. در حالی که برای جذب متیلن‌بلو بر سطح جاذب، برهمکنش‌های π-π و پیوند هیدروژنی نقش مهم‌تری را دارند.

واژه‌های کلیدی: حذف رنگ، تصفیه پساب، مدل‌سازی، شبکه عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی.

مقالات مستخرج از پایان نامه

[۱]. Ashrafi M., Chamjangali M. A., Bagherian G., and Goudarzi N. (**2017**) "Application of linear and non-linear methods for modeling removal efficiency of textile dyes from aqueous solutions using magnetic Fe_3O_4 impregnated onto walnut shell " Spectrochim Acta Part A, 171, pp 268-279.

[۲]. Ashrafi M., Chamjangali M. A. Bagherian G., and Goudarzi N (**2017**) "Evaluation of nanosilica, extracted from stem sweep, as a new adsorbent for simultaneous removal of crystal violet and methylene blue from aqueous solutions" , Desal. Water Treat., 88, pp 207-220 .

[۳]. Ashrafi M., Bagherian G., Chamjangali M. A. and Goudarzi N. (2018) "Application of artificial neural network and random forest methods for modeling simultaneous adsorption of safranin-O and methyl violet dyes onto modified pine cone powder ", Desal. Water Treat, pp 1-14.

[۴]. Ashrafi M., Chamjangali M. A. Bagherian G., and Goudarzi N. (**2018**) " Removal of Brilliant green and Crystal violet from mono and bi -component spiked aqueous solutions using NaOH-modified walnut shell ", Analytical and bio analytical chemistry, 5, pp 95-114.

فهرست مطالب

فصل اول ۱
۱-۱- اهمیت آب ۲
۱-۲- روش‌های حذف آلودگی آب ۳
۱-۲-۱- روش‌های بیولوژیکی ۳
۱-۲-۲- روش‌های فیزیکی ۴
۱-۲-۳- روش‌های شیمیایی ۴
۱-۲-۴- روش‌های فیزیکوشیمیایی ۴
۱-۳- مقدمه‌ای بر کمومتریکس ۶
۱-۳-۱- کالیبراسیون ۶
۱-۳-۱-۱- کالیبراسیون یک متغیره ۷
۱-۳-۱-۲- کالیبراسیون چند متغیره ۱۲
۱-۳-۲- مدل‌سازی فرایند جذب با استفاده از روش‌های محاسباتی ۱۳
۱-۳-۲-۱- شبکه عصبی مصنوعی ۱۴
۱-۳-۲-۲- جنگل تصادفی ۱۷
۱-۴- آلاینده‌های مورد مطالعه در این پژوهش ۲۵
۱-۴-۱- متیل ویولت ۲۵
۱-۴-۲- رودامین ۶جی ۲۶
۱-۴-۳- سافرانین ۲۶
۱-۴-۴- متیلن‌بلو ۲۷
فصل دوم ۲۹
بخش تجربی ۲۹
۲-۱- مواد شیمیایی، دستگاهها و محلول‌های مورد نیاز ۳۰
۲-۱-۱- مواد شیمیایی به کار رفته در پژوهش ۳۰
۲-۱- ۲- دستگاه‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده ۳۱
۲-۱-۳- تهیه محلول‌ها ۳۲
۲-۲- کاربرد پوست گردو مغناطیس شده برای حذف رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین از محلول‌های تک‌جزئی و دو جزئی ۳۳
۲-۲-۱- فعال کردن پوست گردو ۳۵
۲-۲-۲ - سنتز پوست گردو اصلاح شده با نانوذرات مغناطیسی آهن ۳۸
۲-۲-۲- ۱- مشخصه‌یابی ۴۰
۲-۲-۲-pH نقطه بار صفر جاذب (pH_{zpc}) ۴۳

۲-۲-۳- بررسی کارایی پوست گردو مغناطیس شده جهت حذف رنگ از محلول‌های تک‌جزئی ... ۴۴
۲-۲-۴- روش کار در بررسی پارامترهای مؤثر بر کارایی جاذب پوست گردو مغناطیس شده جهت حذف رنگ از محلول‌های تک‌جزئی ۴۵
۲-۲-۴-۱- بررسی تأثیر pH بر میزان درصد حذف رنگ ۴۶
۲-۲-۴-۲- اثر مدت زمان تماس ۴۹
۲-۲-۴-۳- بررسی مقدار مصرفی جاذب ۵۰
۲-۲-۴-۴- اثر غلظت اولیه رنگزا بر میزان درصد حذف رنگ ۵۲
۲-۲-۵- مطالعه ایزوترم‌های جذب ۵۳
۲-۲-۶- بررسی سینتیک فرایند جذب ۵۸
۲-۲-۷- بررسی اثر قدرت یونی بر روی میزان حذف رنگها ۶۳
۲-۲-۸- بازیابی جاذب ۶۴
۲-۲-۹- مکانیسم احتمالی در فرایند جذب رنگ‌های مورد مطالعه ۶۵
۲-۲-۱۰- بررسی اثر دما و محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی فرایند جذب ۶۷
۲-۲-۱۱- مدل‌سازی ۷۰
۲-۲-۱۱-۱- مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ۷۰
۲-۲-۱۱-۲- مدل‌سازی با استفاده از جنگل تصادفی ۷۶
۲-۲-۱۱-۳- مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه ۷۹
۲-۲-۱۱-۴- ارزیابی مدل‌های خطی و غیرخطی ۸۰
۲-۲-۱۱- ۵- بررسی اهمیت متغیرها در مدل‌های خطی و غیرخطی ۸۴
۲-۲-۱۲- مقایسه ظرفیت جذب جاذب پیشنهادی با برخی از جاذبهای گزارش شده ۸۷
۲-۲-۱۳- بررسی کارایی جاذب کامپوزیتی تهیه شده جهت حذف همزمان رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین در سیستم دوجزئی ۸۸
۲-۲-۱۳-۱- تعیین همزمان غلظت رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین در سیستم دوجزئی ۸۸
۲-۲-۱۳-۲- بررسی پارامترهای مؤثر بر فرایند جذب در مخلوط دو جزئی متیل‌ویولت و رودامین ۹۵
۲-۲-۱۳-۳- بررسی ایزوترم جذب در محلول‌های شامل مخلوط دو رنگ ۱۰۱
۲-۲-۱۳-۴- مطالعه سینتیک فرایند جذب در سیستم مخلوط دو جزئی ۱۰۲
۲-۳- کاربرد مخروط کاج اصلاح شده در حذف رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت از محلول‌های آبی تک‌جزئی و دو جزئی ۱۰۵
۲-۳-۱- تهیه مخروط کاج اصلاح شده با گروههای کربوکسیلات ۱۰۶
۲-۳-۲- تعیین غلظت سافرانین و متیل‌ویولت در محلول‌های تک‌جزئی و دوجزئی ۱۱۲
۲-۳-۲- ۱- تعیین همزمان غلظت سافرانین و متیل‌ویولت به روش مشتقی ۱۱۳
۲-۳-۲- ۲- تعیین همزمان غلظت سافرانین و متیل‌ویولت به روش حداقل مربعات جزئی.....۱۱۶

۲-۳-۳- روش مطالعه‌ی پارامترهای مؤثر بر میزان حذف رنگ به صورت ناپیوسته ۱۱۹
۲-۳-۳- ۱- اثر pH روی جذب سافرانین و متیل ویولت در مخلوط دوتایی ۱۱۹
۲-۳-۳- ۲- بررسی اثر مدت زمان تماس بر میزان درصد حذف رنگ سافرانین و متیل ویولت....۱۲۱
۲-۳-۳- ۳- بررسی اثر مقدار جاذب مصرفی بر میزان درصد حذف رنگ ۱۲۲
۲-۳-۴- مطالعه سینتیک فرایند جذب سافرانین و متیل‌ویولت در سیستم تک‌جزئی و دو جزئی ۱۲۳
۲-۳-۵- مطالعه ایزوترم‌های جذب سافرانین و متیل‌ویولت در سیستم تک‌جزئی و دوجزئی ۱۲۵
۲-۳- ۶- اثر قدرت یونی ۱۲۷
۲-۲-۷- مکانیسم احتمالی در فرایند جذب رنگ‌های مورد مطالعه ۱۲۸
۲-۳- ۸- بازیابی جاذب ۱۲۹
۲-۳-۹- بررسی دما و پارامترهای ترمودینامیکی ۱۲۹
۲-۳-۱۰- مدل‌سازی ۱۳۱
۲-۳-۱۰-۱- مدل‌سازی حذف همزمان رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت در مخلوط‌های دوجزئی توسط شبکه عصبی مصنوعی.....۱۳۱
۲-۳- ۱۰-۲- مدل‌سازی توسط روش جنگل تصادفی ۱۳۴
۲-۳- ۱۰-۳- ارزیابی مدل‌های ساخته شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی ۱۳۵
۲-۳-۱۱- بررسی ماکزیمم ظرفیت جذب مخروط کاج اصلاح شده با برخی جاذب‌های گزارش شده در مقالات برای حذف سافرانین و متیل ویولت ۱۳۷
۲-۴- کاربرد نانوسیلیکا استخراج شده از ساقه جارو برای حذف کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو ۱۳۸
۲-۴-۱- استخراج نانوسیلیکا از ساقه جارو ۱۳۹
۲-۴-۲- تعیین همزمان کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی ۱۴۳
۲-۴-۳- بررسی میزان کارایی نانوسیلیکای حاصل از ساقه جارو به عنوان جاذب ۱۴۶
۲-۴-۳-۱- اثر pH بر روی جذب همزمان کریستال ویولت و متیلن بلو در مخلوط دوجزئی.....۱۴۶
۲-۴-۳-۲- اثر مقدار نانوسیلیکا بر روی میزان درصد همزمان کریستال ویولت و متیلن‌بلو ۱۴۸
۲-۴-۳-۳- بررسی اثر زمان تماس و غلظت رنگ بر میزان حذف همزمان کریستال ویولت و متیلن بلو ۱۴۹
۲-۴-۴- سینتیک فرایند جذب ۱۵۰
۲-۴-۵- بررسی ایزوترم جذب کریستال ویولت و متیلن بلو در سیستم تک‌جزئی و دوجزئی ۱۵۲
۲-۴-۶- بازیابی جاذب ۱۵۳
۲-۴-۷- مدل‌سازی.....۱۵۴
۲-۴-۷-۱- مدل‌سازی حذف همزمان رنگ‌های کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو در مخلوط‌های دوجزئی توسط جنگل تصادفی ۱۵۴

۲-۴-۷-۲- مدل‌سازی حذف همزمان کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو از محلول‌های دو جزئی با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه ۱۵۵
۲-۴-۸- بررسی ماکزیمم ظرفیت جذب نانوسیلیکا با جاذب‌های گزارش شده در مقالات برای حذف کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو ۱۵۷
۲-۵- کاربرد پوست گردو عامل‌دار شده با گروههای کربوکسیلیک اسید در حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب از محلول‌های آبی تک جزئی و دو جزئی ۱۵۸
۲-۵-۱- تهیه پوست گردو عامل‌دار شده با گروههای کربوکسیلیک اسید ۱۵۸
۲-۵-۲- روش مطالعه در بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب با استفاده از پوست گردو عامل‌دار شده ۱۶۱
۲-۵-۳- بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب ۱۶۳
۲-۵-۳-۱- ارزیابی مدل ۱۶۸
۲-۵-۳-۲- نمودارهای رویه پاسخ ۱۷۰
۲-۵-۳-۳- سطح بهینه فاکتورهای مؤثر ۱۷۱
۲-۵-۴- مطالعه ایزوترم‌های جذب فرایند جذب متیلن بلو و سرب در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی ۱۷۲
۲-۵-۵- بررسی سینتیک فرایند جذب متیلن بلو و سرب در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی . ۱۷۴
۲-۵-۶- بررسی اثر قدرت یونی ۱۷۴
۲-۵-۷- مکانیسم فرایند جذب ۱۷۵
۲-۵-۸- بازیابی جاذب ۱۷۷
۲-۵-۹- بررسی ماکزیمم ظرفیت جذب پوست گردوی عامل‌دار شده با ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب‌های گزارش شده در مقالات برای حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب ۱۷۸
فصل سوم ۱۸۱
۳-۱- نتیجه‌گیری ۱۸۲
۳-۲- آینده‌نگری ۱۸۴
مراجع ۳۰۶

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱)- ساختار یک گره زیستی. ۱۵
شکل(۱-۲)- ساختمان یک گره محاسباتی. ۱۵
شکل(۱-۳)- نحوه‌ی عملکرد تکنیک پس‌انتشار در یک شبکه عصبی پیشخور ۱۷
شکل (۱-۴)- نحوه تقسیم‌بندی در درخت طبقه‌بندی. ۱۹
شکل(۱-۵)- مجموعه‌ای از درختان تصمیم‌گیری در یک مدل گروهی. ۲۴
شکل(۱- ۶)- ساختار شیمیایی الف) متیل‌ویولت و ب)کریستال‌ویولت. ۲۵
شکل(۱- ۷)- ساختار شیمیایی رودامین ۶ جی ۲۵
شکل (۱-۸)- ساختار شیمیایی سافرانین. ۲۷
شکل (۱-۹)- ساختار شیمیایی متیلن‌بلو. ۲۷
شکل (۲-۱) – الف) ساختار سلولز، ب) نمایش پیوند هیدروژنی درون مولکولی در سلولز ۳۶
شکل (۲-۲)- منحنی همدمای جذب و واجذب نیتروژن الف) پوست گردو و ب) پوست گردوی فعال شده با سدیم هیدروکسید. ۳۸
شکل (۲-۳)- الف- کامپوزیت پوست گردوی مغناطیس شده ، ب- جذب کامپوزیت مغناطیس شده توسط آهنربا. ۳۹
شکل (۲-۴) – طیف‌های FT-IR الف- پوست گردو ب- نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 و ج- کامپوزیت پوست گردو- Fe_3O_4 ..... ۴۰
شکل (۲-۵) – طیف‌های XRD الف- پوست گردو ب- نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 و ج- کامپوزیت پوست گردو- Fe_3O_4 ..... ۴۱
شکل (۲-۶) - تصاویر SEM الف- پوست گردو ب- پوست گردوی فعال شده با سدیم هیدروکسید ج- FESEM پوست گردوی فعال شده با سدیم هیدروکسید د- FESEM نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 و- FESEM کامپوزیت پوست گردو- Fe_3O_4 ..... ۴۲
شکل (۲-۷)- تعیین نقطه بار صفر (pH_{zpc}) کامپوزیت مغناطیسی پوست گردو. ۴۴
شکل (۲-۸)- الف- محلول ۵/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر یک از رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین، ب- افزایش ۰/۰۲۵۰ گرم جاذب در pH =۷/۰ و جداسازی جاذب بعد از گذشت ۲۰ دقیقه. ۴۴
شکل (۲-۹) - منحنی کالیبراسیون مستقیم برای الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین. ۴۶
شکل (۲-۱۰)- اثر pH اولیه محلول بر روی میزان درصد حذف ۴۸
شکل (۲-۱۱)- نمودار تغییرات درصد حذف رنگ برحسب زمان برای الف- متیل ویولت با ۰/۰۲۵۰ گرم جاذب، ب- رودامین با ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب ۵۰
شکل (۲-۱۲) - نمودار تغییرات درصد حذف رنگ متیل‌ویولت و رودامین در محلول تک جزئی برحسب مقادیر متفاوت جاذب استفاده شده در غلظت ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر از محلول رنگ ۵۱

شکل (۲-۱۳)- نمودار تغییرات درصد حذف رنگ متیل‌ویولت برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت توسط ۰/۰۴۵۰ گرم جاذب در pH=۷/۰ و دمای ۳۵ درجه سانتیگراد. ۵۲
شکل (۲-۱۴) - نمودار تغییرات درصد حذف رنگ رودامین برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت . ۵۳
شکل (۲-۱۵)- مدل ایزوترم جذب برای رنگ الف- متیل‌ویولت ب- رودامین بر روی کامپوزیت مغناطیسی تهیه شده ۵۵
شکل (۲-۱۶)- طرح شماتیکی از یک سیستم جذب تک‌مرحله‌ای ناپیوسته. ۵۷
شکل (۲-۱۷)– مقدار جاذب مورد نیاز برای حذف رنگ با غلظت اولیه ۸۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین از محلول‌هایی با حجم‌های متفاوت. ۵۸
شکل (۲-۱۸)- نمودار سینتیک شبه مرتبه دوم برای الف- متیل‌ویولت و ب- رودامین بر روی جاذب مغناطیسی تهیه شده در غلظت‌های مورد مطالعه. ۶۰
شکل (۲-۱۹)- نمودار نفوذ درون ذرهای برای جذب الف) متیل‌ویولت و ب) رودامین. ۶۳
شکل (۲-۲۰)- بررسی اثر قدرت یونی بر روی کارایی حذف رنگ متیل ویولت و رودامین. ۶۴
شکل (۲-۲۱)- میزان کارایی جاذب پیشنهاد شده بعد از نخستین بازیابی. ۶۵
شکل (۲-۲۲)- مکانیسم پیشنهادی جذب رنگ‌ها بر روی کامپوزیت مغناطیسی تهیه شده. ۶۶
شکل (۲-۲۳)- نمایش جاذبه الکتروستاتیکی در جذب رنگ‌های کاتیونی بر روی جاذب سنتز شده.۶۶
شکل (۲-۲۴)- نمودار Ln(K) برحسب 1/T برای متیل ویولت ۶۸
شکل (۲-۲۵)- نمودار Ln(K) برحسب 1/T برای رودامین ۶۹
شکل (۲-۲۶)- ساختار شبکه عصبی استفاده شده. ۷۱
شکل (۲-۲۷)- جزئیات فرایند آموزش شبکه عصبی با الگوریتم پس‌انتشار. ۷۳
شکل (۲-۲۸)- نمودار میانگین مربع خطای حاصل از ارزیابی تقاطعی سری آموزش در تعداد دورهای آموزش متفاوت. ۷۶
شکل (۲- ۲۹)- مراحل اجرای الگوریتم جنگل تصادفی. ۷۷
شکل(۲-۳۰)– نمودار مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری تست رنگ متیل‌ویولت الف) با مدل شبکه عصبی مصنوعی ب) با مدل جنگل تصادفی و ج) با مدل رگرسیون خطی چندگانه. ۸۱
شکل(۲-۳۱)– نمودار مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری تست رنگ رودامین الف) با مدل شبکه عصبی مصنوعی ب) با مدل جنگل تصادفی و ج) با مدل رگرسیون خطی چندگانه. ۸۲
شکل (۲-۳۲)- نمودار باقیمانده‌ها برحسب مقدار تجربی درصد حذف برای رنگ متیل‌ویولت. ۸۳
شکل (۲-۳۳)- نمودار باقیمانده‌ها برحسب مقدار تجربی درصد حذف برای رنگ رودامین. ۸۳
شکل (۲-۳۴)- مشارکت متغیرهای ورودی شبکه عصبی مصنوعی برای الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین ۸۵

شکل (۲-۳۵)- مشارکت متغیرهای ورودی در جنگل تصادفی ۸۶
شکل (۲-۳۶)- طیف جذبی محلول ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل ویولت، محلول ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رودامین و طیف مخلوط ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ..... ۸۸
شکل (۲-۳۷)- طیف‌های جذبی مرتبه صفر مخلوط حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر دو رنگ متیل‌ویولت و رودامین. ۸۹
شکل (۲-۳۸)- طیف‌های جذبی حاصل از تقسیم طیف مخلوط حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر دو رنگ متیل‌ویولت و رودامین بر طیف ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌ویولت. ۸۹
شکل (۲-۳۹)- طیف‌های جذبی حاصل از تقسیم طیف مخلوط حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر دو رنگ متیل‌ویولت و رودامین بر طیف ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌ویولت بعد از کم کردن ثابت. ۹۰
شکل (۲-۴۰)- طیف‌های جذبی حاصل از تقسیم طیف مخلوط حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر دو رنگ متیل‌ویولت و رودامین بر طیف ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌ویولت بعد از کم کردن ثابت و ضرب در طیف محلول ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌ویولت. ... ۹۰
شکل (۲-۴۱)- طیف‌های نسبی حاصل از تقسیم طیف خالص حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از رنگ رودامین بر طیف۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رودامین. ۹۲
شکل (۲-۴۲)- طیف‌های جذبی مرتبه صفر متیل ویولت حاصل از تقسیم طیف مخلوط حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر دو رنگ متیل‌ویولت و رودامین بر طیف۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رودامین بعد از کم کردن مقدار ثابت و ضرب در طیف محلول ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رودامین..... ۹۲
شکل (۲-۴۳)- بررسی تغییرات درصد حذف الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین برحسب زمان در pHهای مختلف ۹۶
شکل (۲-۴۴)- بررسی اثر مقدار جاذب بر روی درصد حذف متیل‌ویولت و رودامین در مخلوط ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ، pH =۷/۰، زمان ۴۰ دقیقه و دمای ۳۵ درجه سانتیگراد. ۹۷
شکل (۲-۴۵) نمودار تغییرات درصد حذف رنگ و q برای متیل‌ویولت در سیستم دوجزئی برحسب غلظت اولیه رنگزا..... ۹۹
شکل (۲-۴۶)- نمودار تغییرات درصد حذف و q برای رودامین در سیستم دوجزئی برحسب غلظت رنگزا.....۱۰۰
شکل (۲-۴۷)- نمودار سینتیکی الف- شبه مرتبه اول و ب- شبه مرتبه دوم جذب متیل‌ویولت در سیستم دو جزئی ۱۰۳
شکل (۲-۴۸)- نمودار سینتیکی الف) شبه مرتبه اول، ب) شبه مرتبه دوم جذب رودامین در سیستم دو جزئی ۱۰۴

شکل (۲-۴۹)- واکنش ایزوپروپیلیدن مالونات با گروههای هیدروکسیل سطح مخروط کاج..... ۱۰۸
شکل (۲-۵۰)- طیف‌های FT-IR برای الف- ایزوپروپیلیدن مالونات، ب- مخروط کاج، ج- مخروط کاج اصلاح شده در فرم اسیدی، د- مخروط کاج اصلاح شده در فرم بازی. ۱۰۹
شکل (۲-۵۱)- تصاویر SEM برای الف- مخروط کاج، ب- مخروط کاج اصلاح شده ۱۱۱
شکل (۲-۵۲)- تعیین pH_{zpc} مخروط کاج اصلاح شده با ایزوپروپیلیدن مالونات. ۱۱۲
شکل (۲-۵۳)- نمودار کالیبراسیون برای الف- سافرانین، ب- متیل‌ویولت ۱۱۳
شکل (۲-۵۴)- طیف جذبی برای غلظت ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سافرانین و متیل‌ویولت در محلول-های تک‌جزئی و دو جزئی. ۱۱۳
شکل (۲-۵۵)- طیف جذبی مشتق مرتبه اول برای غلظت ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سافرانین و متیل‌ویولت در محلول‌های تک‌جزئی و دو جزئی. ۱۱۴
شکل (۲-۵۶)- طیف جذبی مشتق مرتبه اول هموار شده برای غلظت ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سافرانین و متیل‌ویولت در محلول تک‌جزئی و دو جزئی. ۱۱۵
شکل (۲-۵۷)- طیف جذبی مشتق مرتبه اول برای سافرانین در مخلوط دو جزئی در ۱۰/۰۰-۰/۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت ثابت (۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) متیل‌ویولت. ۱۱۵
شکل (۲-۵۸)- طیف جذبی مشتق مرتبه اول برای متیل‌ویولت در مخلوط دو جزئی در۱۰/۰۰-۰/۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت ثابت (۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) سافرانین. ۱۱۵
شکل (۲-۵۹)- مقادیر RMSE سری کالیبراسیون برحسب تعداد متغیرهای پنهان..... ۱۱۸
شکل (۲-۶۰)- اثر pH بر میزان درصد حذف سافرانین و متیل‌ویولت در مخلوط دوجزئی ۱۲۰
شکل (۲-۶۱)- اثر زمان تماس بر روی درصد حذف رنگ‌های الف- سافرانین، ب- متیل ویولت . ۱۲۲
شکل (۲-۶۲)- اثر مقدار جاذب مصرفی بر روی درصد حذف رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت .. ۱۲۳
شکل (۲-۶۳)- مدل ایزوترم جذب برای الف- سافرانین. ب- متیل ویولت در محلول تک‌جزئی ..۱۲۶
شکل (۲-۶۴)- اثر قدرت یونی بر میزان درصد حذف رنگ در مخلوط دو جزئی ۱۲۷
شکل (۲-۶۵)- طیف FT-IR الف) مخروط کاج و ب) مخروط کاج بعد از جذب رنگ ۱۲۷
شکل (۲-۶۶)- نمودار Ln(K) برحسب ۱/T برای رنگ سافرانین..... ۱۳۰
شکل (۲-۶۷)- نمودار Ln(K) برحسب ۱/T برای رنگ متیل‌ویولت. ۱۳۱
شکل (۲-۶۸)- میانگین مربعات خطا برحسب تعداد تکرارهای فرایند آموزش برای پیش بینی درصد حذف سافرانین متیل ویولت در مخلوط دو جزئی. ۱۳۳
شکل(۲-۶۹)– نمودار مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری تست رنگ سافرانین الف) با مدل شبکه عصبی مصنوعی ب) با مدل جنگل تصادفی. ۱۳۶
شکل(۲-۷۰)– نمودار مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری تست رنگ متیل‌ویولت، الف) با مدل شبکه عصبی مصنوعی **ب)** با مدل جنگل تصادفی. ۱۳۶
شکل (۲-۷۱)- اهمیت متغیرها در شبکه عصبی مصنوعی برای الف) سافرانین و ب) متیلویولت. ۱۳۷

شکل (۲-۷۲)- مراحل تهیه نانوسیلیکا از ساقه جارو ۱۴۰
شکل (۲-۷۳)- تصویر الف) ساقه جارو، ب) نانوسیلیکا استخراج شده از ساقه جارو، ج) کریستال ویولت جذب شده روی سطح نانوسیلیکا، د) متیلن بلو جذب شده روی سطح نانوسیلیکا و ه) مخلوط کریستال ویولت و متیلن‌بلو جذب شده روی سطح نانوسیلیکا. ۱۴۰
شکل (۲-۷۴)- طیف FT-IR نانوذرات سیلیکا.....۱۴۱
شکل (۲-۷۵)- تصویر SEM نانوذرات سیلیکا استخراج شده. ۱۴۲
شکل (۲-۷۶)- همدمای جذب و واجذب نیتروژن برای نانوسیلیکای سنتز شده ۱۴۳
شکل(۲-۷۷)- طیف جذبی مرتبه صفر محلول ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیترکریستال ویولت و متیلن بلو در مخلوط تک جزئی و دو جزئی. ۱۴۴
شکل(۲-۷۸)- طیف جذبی مرتبه اول محلول ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کریستال ویولت و متیلن بلو در مخلوط تک جزئی و دو جزئی. ۱۴۴
شکل(۲-۷۹)- طیف جذبی مشتق مرتبه اول کریستال ویولت در مخلوط دو جزئی در دامنه‌ی۱۰/۰۰-۲/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کریستال ویولت و غلظت ثابت ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیلن بلو.....۱۴۵
شکل (۲-۸۰)- اثر pH بر میزان درصد حذف رنگ‌های کریستال ویولت و متیلن بلو در مخلوط دوجزئی ۱۴۷
شکل (۲-۸۱)- اثر مقدار جاذب مصرفی بر روی درصد حذف کریستال ویولت و متیلن‌بلو ۱۴۸
شکل (۲-۸۲) الف: نمودار تغییرات درصد حذف برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت کریستال ویولت ب: نمودار تغییرات درصد حذف برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت متیلن‌بلو.....۱۵۰
شکل(۲-۸۳)– نمودار مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری آموزش و سری تست رنگ کریستال ویولت الف) با مدل جنگل تصادفی ب) با مدل رگرسیون خطی.....۱۵۶
شکل(۲-۸۴)– نمودار مقادیر پیش‌بینی‌شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری آموزش و سری تست رنگ متیلن‌بلو الف) با مدل جنگل تصادفی ب) با مدل رگرسیون خطی چندگانه.....۱۵۶
شکل (۲-۸۵)- طیف FT-IR الف- پوست گردو و ب- پوست گردو عامل‌دار شده.....۱۶۰
شکل (۲-۸۶)- تعیین pH_{zpc} پوست گردو عامل‌دار شده. ۱۶۱
شکل (۲-۸۷) - منحنی کالیبراسیون مستقیم برای الف- متیلن‌بلو، ب- سرب. ۱۶۲
شکل (۲-۸۸)- نمودار پرتو اثر فاکتورها برای الف) متیلن بلو و ب) سرب. ۱۶۷
شکل (۲-۸۹) الف) نمودار باقیمانده‌ها در مقابل مقدار برازش شده مربوط به درصد حذف متیلن‌بلو ب) نمودار باقیمانده‌ها در مقابل مقدار برازش شده مربوط به درصد حذف سرب در حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب با پوست گردو عامل‌دار شده. ۱۷۰
شکل (۲-۹۰)- الف) منحنی رویه پاسخ ب) در مقابل pH و مدت زمان تماس مربوط به پاسخ متیلن‌بلو در حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب با پوست گردو عامل‌دار شده.....۱۷۱

شکل (۲-۹۱)- منحنی رویه پاسخ در مقابل pH و مدت زمان تماس مربوط به پاسخ سرب در حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب با پوست گردو عامل‌دار شده. ۱۷۱
شکل (۲-۹۲)- مدل های ایزوترم جذب برای حذف الف) متیلن‌بلو و ب) سرب از محلول‌های آبی.۱۷۳
شکل (۲-۹۳)- الف) اثر قدرت یونی بر روی درصد حذف همزمان الف) متیلن‌بلو ب) سرب..... ۱۷۵
شکل (۲-۹۴)- طیف FT-IR الف) پوست گردوی عامل‌دار شده، ب) پوست گردوی عامل‌دار شده بعد از جذب سرب و ج) پوست گردوی عامل‌دار شده بعد از جذب متیلن بلو. ۱۷۷
شکل (۲-۹۵)- مکانیسم احتمالی جذب همزمان متیلن‌بلو و سرب بر روی پوست گردوی عامل‌دار شده..... ۱۷۷
شکل (۲-۹۶)- کارایی جاذب بازیابی شده در حذف همزمان متیلن بلو و سرب. ۱۷۸

فهرست جدول‌ها

جدول (۲-۱) - فهرست مواد شیمیایی مورد استفاده ۳۰
جدول (۲-۲)- پارامترهای فیزیکوشیمیایی پوست گردو و پوست گردوی فعال شده ۳۷
جدول(۲-۳)- تغییرات pH ۵/۰۰ میلی‌لیتر محلول حاوی۰/۱۰ مولار پتاسیم نیترات و ۰/۰۴۵۰گرم جاذب بعد از گذشت ۶ ساعت. ۴۳
جدول (۲-۴)- اطلاعات مربوط به نمودار کالیبراسیون الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین..... ۴۵
جدول (۲-۵)- نتایج بررسی اثر pH بر روی میزان حذف الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین. ۴۸
جدول (۲-۶)- نتایج بررسی اثر مدت زمان تماس بر روی درصد حذف الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین. ۵۰
جدول (۲-۷)- نتایج بررسی اثر مقدار جاذب بر روی درصد حذف الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین. ۵۱
جدول(۲-۸)- تغییرات درصد حذف رنگ متیل‌ویولت در غلظت‌های متفاوت برحسب زمان. ۵۲
جدول(۲-۹)- تغییرات درصد حذف رنگ رودامین در غلظت‌های متفاوت برحسب زمان. ۵۳
جدول (۲-۱۰)- مقادیر C_e و q_e در غلظت‌های مختلف برای الف- متیل ویولت و ب- رودامین ۵۶
جدول (۲-۱۱)- ثابت‌های مدل ایزوترم لانگموئر و فروندلیچ برای رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین .۵۶
جدول (۲-۱۲)- مقادیر t/qt برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت رنگ متیل ویولت. ۵۹
جدول (۲-۱۳)- مقادیر t/qt برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت رنگ رودامین. ۵۹
جدول (۲-۱۴)- پارامترهای سینتیکی جذب رنگ متیل‌ویولت و رودامین بر روی کامپوزیت مغناطیسی. ۶۱
جدول (۲-۱۵)- مقادیر qt برحسب (زمان)۱/۲ برای رنگ متیل‌ویولت.....۶۲
جدول (۲-۱۶)- مقادیر qt برحسب (زمان)۱/۲ برای رنگ رودامین. ۶۲
جدول (۲-۱۷)- پارامترهای ترمودینامیکی برای جذب متیل‌ویولت بر روی کامپوزیت مغناطیسی. ۶۹.
جدول (۲-۱۸)- پارامترهای ترمودینامیکی برای جذب رودامین بر روی کامپوزیت مغناطیسی. ۶۹
جدول (۲-۱۹)- مینیمم مقدار خطای حاصل از پیش‌بینی سری آموزش به روش ارزیابی تقاطعی در توابع آموزش و انتقال متفاوت برای رنگ متیل ویولت. ۷۵
جدول (۲-۲۰)- مینیمم مقدار خطای حاصل از پیش‌بینی سری آموزش به روش ارزیابی تقاطعی در توابع آموزش و انتقال متفاوت برای رنگ رودامین. ۷۵
جدول (۲-۲۱)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آنها در پیش‌بینی درصد حذف متیل‌ویولت ۷۸
جدول (۲-۲۲)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف رودامین ۷۸
جدول (۲-۲۳)- پارامترهای آماری سری تست رنگ متیل‌ویولت برای مقایسه صحت مدل‌ها ۸۴
جدول (۲-۲۴)- پارامترهای آماری سری تست رنگ رودامین برای مقایسه صحت مدل‌ها. ۸۴

جدول (۲-۲۵)- مقایسه بین ماکزیمم ظرفیت جذب جاذبهای متفاوت پیشنهاد شده برای حذف رنگ‌های کاتیونی متیل ویولت و رودامین از محلول‌های آبی. ۸۷
جدول (۲-۲۶)- مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده برای متیل ویولت و رودامین در روش‌های پیشنهادی. ۹۴
جدول (۲-۲۷)- مقادیر درصد حذف رنگ متیل‌ویولت در pHها و زمان‌های مختلف. ۹۵
جدول (۲-۲۸)- مقادیر درصد حذف رنگ رودامین در pHها و زمان‌های مختلف. ۹۶
جدول (۲-۲۹)- مقادیر درصد حدف متیل‌ویولت و رودامین در مخلوط دو جزئی در مقادیر متفاوت جاذب. ۹۷
جدول (۲-۳۰)- تغییرات درصد حذف رنگ در سیستم دوجزئی و q_e برای متیل‌ویولت در سیستم دوجزئی و تک‌جزئی در غلظت اولیه رنگزا. ۹۹
جدول (۲-۳۱)- تغییرات درصد حذف رنگ در سیستم دوجزئی و q_e برای رودامین در سیستم دوجزئی و تک جزئی در غلظت اولیه رنگزا. ۱۰۰
جدول (۲-۳۲)- مقادیر پارامترهای ایزوترم‌های چند جزئی در سیستم دو جزئی مورد مطالعه.... ۱۰۲
جدول (۲-۳۳)- اطلاعات مربوط به سینتیک شبه مرتبه اول و سینتیک شبه مرتبه دوم برای رنگ متیل‌ویولت. ۱۰۳
جدول (۲-۳۴)- اطلاعات سینتیک شبه مرتبه اول و سینتیک شبه مرتبه دوم برای رنگ رودامین.۱۰۴
جدول (۲-۳۵)- پارامترهای سینتیکی در جذب رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین در مخلوط دو جزئی. ۱۰۴
جدول (۲-۳۶)- نتایج بهینه سازی مقدار ایزوپروپیلیدن مالونات در اصلاح شیمیایی مخروط کاج.۱۰۷
جدول (۲-۳۷)- پارامترهای فیزیکوشیمیایی مخروط کاج و مخروط کاج اصلاح شده ۱۱۰
جدول (۲-۳۸)- تغییرات pH ۵۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۰/۱۰ مولار پتاسیم نیترات و ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب بعد از گذشت ۶ ساعت. ۱۱۱
جدول (۲-۳۹)- اطلاعات مربوط به داده‌های کالیبراسیون الف- سافرانین، ب- متیل‌ویولت ۱۱۲
جدول(۲-۴۰)- نتایج مربوط به پیش‌بینی غلظت رنگ در مخلوط دوجزئی. ۱۱۶
جدول (۲-۴۱)- ترکیب مخلوط‌های متفاوت از سافرانین و متیل‌ویولت در سری داده‌های کالیبراسیون. ۱۱۷
جدول(۲-۴۲)- نتایج مربوط به پیش بینی غلظت رنگ در مخلوط‌های دوتایی توسط PLS. ۱۱۸
جدول (۲-۴۳)- مقادیر حذف سافرانین و متیل‌ویولت در سیستم دوجزئی در pHهای مختلف. . ۱۲۰
جدول (۲-۴۴)- مقادیر درصد حذف رنگ در سیستم دو جزئی در زمان‌های متفاوت. ۱۲۱
جدول (۲-۴۵)- مقادیر درصد حذف رنگ در سیستم دو جزئی در مقادیر متفاوت جاذب. ۱۲۲
جدول (۲-۴۶)- اطلاعات مربوط به سینتیک شبه مرتبه اول و مرتبه دوم حذف رنگ سافرانین.. ۱۲۴

جدول (۲-۴۷)- اطلاعات مربوط به سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم حذف رنگ متیل‌ویولت ۱۲۴
جدول (۲-۴۸)- پارامترهای سینتیکی در جذب سافرانین و متیل‌ویولت بر روی جاذب تهیه شده در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی. ۱۲۵
جدول (۲-۴۹)- ثابت‌های ایزوترم‌ها و پارامترهای آماری در محلول‌های تک جزئی ۱۲۶
جدول (۲-۵۰)- مقادیر پارامترهای ایزوترم دو جزئی در سیستم دو جزئی سافرانین و متیل‌ویولت۱۲۷
جدول (۲-۵۱)- پارامترهای ترمودینامیکی در حذف رنگ سافرانین ۱۳۰
جدول (۲-۵۲)- پارامترهای ترمودینامیکی در حذف رنگ متیل‌ویولت ۱۳۱
جدول (۲-۵۳)- مینیمم مقدار خطای سری آموزش در پیش‌بینی درصد حذف رنگ سافرانین به روش ارزیابی تقاطعی در توابع آموزش و انتقال متفاوت. ۱۳۲
جدول (۲-۵۴)- مینیمم مقدار خطای سری آموش در پیش‌بینی درصد حذف رنگ متیل‌ویولت به روش ارزیابی تقاطعی در توابع آموزش و انتقال متفاوت. ۱۳۳
جدول (۲-۵۵) - مقادیر پارامترهای بهینه شبکه عصبی برای پیش بینی درصد حذف سافرانین ..۱۳۳
جدول (۲-۵۶) - مقادیر پارامترهای بهینه شبکه عصبی برای پیش بینی درصد حذف متیل‌ویولت۱۳۴
جدول (۲-۵۷)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف سافرانین ۱۳۴
جدول (۲-۵۸)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف متیل‌ویولت. ۱۳۵
جدول (۲-۵۹)- پارامترهای آماری برای مقایسه صحت مدل‌ها (برای رنگ سافرانین). ۱۳۶
جدول (۲-۶۰)- پارامترهای آماری برای مقایسه صحت مدل‌ها (برای رنگ متیل‌ویولت). ۱۳۶
جدول (۲-۶۱)- مقایسه بین ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب‌های متفاوت پیشنهاد شده برای حذف رنگ‌های کاتیونی سافرانین و متیل‌ویولت از محلول‌های آبی. ۱۳۸
جدول (۲-۶۲)- پارامترهای فیزیکوشیمیایی نانوسیلیکای سنتز شده. ۱۴۳
جدول(۲-۶۳)- نتایج پیش‌بینی غلظت رنگ کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو در مخلوط دوتایی ۱۴۵
جدول (۲-۶۴)- مقادیر حذف کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو در سیستم دوجزئی در pHهای مختلف.۱۴۷
جدول (۲-۶۵)- مقادیر درصد حذف کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو در سیستم دو جزئی در مقادیر متفاوت جاذب. ۱۴۸
جدول(۲-۶۶)- تغییرات درصد حذف رنگ کریستال‌ویولت در غلظت‌های متفاوت برحسب زمان بر روی جاذب نانوسیلیکا. ۱۴۹
جدول(۲-۶۷)- تغییرات درصد حذف رنگ متیلن بلو در غلظت‌های متفاوت برحسب زمان بر روی جاذب نانوسیلیکا. ۱۵۰

جدول (۲-۶۸)- پارامترهای سینتیکی در فرایند جذب کریستال‌ویولت و متیلن بلو بر روی جاذب تهیه شده در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی. ۱۵۱
جدول (۲-۶۹)- ثابت‌های ایزوترم‌ها در محلول‌های تک جزئی کریستال ویولت و متیلن‌بلو. ۱۵۲
جدول (۲-۷۰)- ثابت‌های ایزوترم‌ها در محلول‌های دو جزئی کریستال ویولت و متیلن‌بلو..... ۱۵۳
جدول (۲-۷۱)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف کریستال‌ویولت ۱۵۵
جدول (۲-۷۲)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف متیلن‌بلو ۱۵۵
جدول (۲-۷۳)- پارامترهای آماری سری تست کریستال ویولت برای مقایسه صحت مدل‌ها.....۱۵۶
جدول (۲-۷۴)- پارامترهای آماری سری تست متیلن‌بلو برای مقایسه صحت مدل‌ها.....۱۵۶
جدول (۲-۷۵)- مقایسه بین ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب‌های متفاوت پیشنهاد شده برای حذف رنگ‌های کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو از محلول‌های آبی ۱۵۷
جدول (۲-۷۶)- تغییرات pH ۵۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۰/۱۰ مولار پتاسیم نیترات و ۰/۰۷۳ گرم جاذب بعد از ۶ ساعت ۱۶۱
جدول (۲-۷۷)- اطلاعات مربوط به نمودار کالیبراسیون الف- متیلن‌بلو، ب- سرب ۱۶۲
جدول (۲-۷۸)- نام و سطوح فاکتوهای مؤثر بر حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب.....۱۶۳
جدول (۲-۷۹)- طرح باکس بنکن و پاسخ به دست آمده برای حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب ..۱۶۴
جدول (۲-۸۰)- پارامترهای آماری برای طرح باکس- بنکن برای متیلن‌بلو. ۱۶۶
جدول (۲-۸۱)- پارامترهای آماری برای طرح باکس- بنکن برای سرب. ۱۶۶
جدول (۲-۸۲)- تحلیل واریانس برای متیلن‌بلو در حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب. ۱۶۸
جدول (۲-۸۳)- تحلیل واریانس برای سرب در حذف همزمان متیلن بلو و سرب ۱۶۹
جدول (۲-۸۴)- ثابت‌های ایزوترم و پارامترهای آماری در محلول‌های تک‌جزئی متیلن‌بلو و سرب.۱۷۳
جدول (۲-۸۵)- ثابت‌های ایزوترم و پارامترهای آماری در محلول‌های دو جزئی متیلن‌بلو و سرب.۱۷۳
جدول (۲-۸۶)- پارامترهای سینتیکی در جذب متیلن‌بلو و سرب بر روی جاذب تهیه شده در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی. ۱۷۴
جدول (۲-۸۷)- بررسی ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب پوست گردو اصلاح شده با ماکزیمم ظرفیت جذب برخی جاذب‌های گزارش شده در مقالات برای حذف همزمان متیلن بلو و سرب ۱۷۹

علائم و اختصارات

مفهوم	علامت اختصاری
جذب	A
شبکه عصبی مصنوعی	ANN
غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)	C
ضخامت لایه مرزی	c
غلظت باقیمانده رنگ در زمان تعادل (میلی‌گرم بر لیتر)	C_e
غلظت باقیمانده رنگ در زمان t (میلی‌گرم بر لیتر)	C_t
کریستال ویولت	CV
انرژی آزاد گیبس (کیلوژول بر مول)	ΔG
آنتالپی (کیلوژول بر مول)	ΔH
ثابت فروندلیچ	k_f
ثابت لانگموئر (لیتر بر گرم)	k_l
جرم جاذب (گرم)	m
متیلن بلو	MB
میانگین قدر مطلق خطا	MAE
رگرسیون خطی چندگانه	MLR
متوسط خطای نسبی	MRE
میانگین مربع خطا	MSE
متیل ویولت	MV
میلی‌گرم جذب شده از رنگ به ازای گرم جاذب در زمان t	q_t
میلی‌گرم جذب شده از رنگ به ازای گرم جاذب در زمان تعادل	q_e
ماکزیمم ظرفیت جاذب (میلی‌گرم بر گرم)	q_{max}
ضریب تعیین	R^2
درصد حذف تجربی	R_{exp}
جنگل تصادفی	RF
رودامین	Rh
درصد حذف پیش‌بینی شده	R_{pred}
آنتروپی (کیلوژول بر مول. کلوین)	ΔS
زمان (دقیقه)	t
دما (کلوین)	T
حجم محلول (لیتر)	V
طول موج (نانومتر)	λ

فصل اول

۱-۱- اهمیت آب

آب یکی از مهم‌ترین مواد شیمیایی و مایه‌ی حیات است و بدون آن ادامه زندگی جانداران ممکن نیست. اکوسیستمی که انسان با تمام موجودات اطراف خود به وجود آورده، به مقادیر عظیمی آب نیاز دارد و بدون وجود آب اکوسیستم مورد بحث از هم خواهد پاشید [۱].

با توجه به همه‌ی کاربردهای آب، از زمان بسیار قدیم آب مورد توجه ویژه بوده است و برای پاکیزه نگه داشتن و دوری جستن از آلودن آن کوشش به عمل آمده است. اما رشد افزون صنایع گوناگون و ماشینی شدن زندگی روز به روز بر شمار آلاینده‌های آب و میزان آلودگی‌های آن افزوده است. یکی از مهمترین آلاینده‌ها، ترکیبات رنگی (مخصوصاً رنگ‌های سنتزی) موجود در پساب صنایع و کارخانجات می‌باشند [۲].

رنگ‌ها، ترکیبات شیمیایی با ساختار آروماتیکی پیچیده هستند که جهت ایجاد رنگ روی سطوح مختلف به کار برده می‌شوند. این ترکیبات به طور گسترده‌ای در صنایع نساجی، کاغذسازی، چاپ، مواد آرایشی و بهداشتی به کار گرفته می‌شوند [۲]. به طور کلی رنگ‌های مورد استفاده اغلب به سه دسته تقسیم می‌شوند. ۱- رنگ‌های آنیونی (شامل رنگ‌های مستقیم[۱]، اسیدی و واکنش‌پذیر[۲]) ۲- رنگ‌های کاتیونی (همه رنگ‌های بازی[۳]) ۳- رنگ‌های غیریونی (رنگ‌های پخشی[۴]) [۳]. از بین این رنگ‌ها، رنگ‌های بازی و واکنش‌پذیر به طور گسترده‌ای در صنعت نساجی استفاده می‌شوند. زیرا به راحتی در آب حل می‌شوند، تهیه آن‌ها مقرون به صرفه بوده و به راحتی به سطح پارچه می‌چسبند [۴].

تخمین زده می‌شود که بیش از صد هزار نوع رنگ تجاری وجود دارد و سالانه ۷×۱۰^{۵} تن مواد رنگزا تولید می‌شود که تقریباً ۱۰ تا ۱۵٪ آنها در طی فرایندهای رنگرزی هدر می‌روند [۵]. این

[1] - Direct
[2] - Reactive
[3] -Basic dyes
[4] - Disperse

ترکیبات در واقع به عنوان نخستین آلاینده آب شناخته شده‌اند [۶] و غلظتشان در آب‌های جاری معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است [۷]. رنگ‌ها اثرات منفی بر روی اکوسیستم خواهند داشت. به عنوان مثال به دلیل شدت رنگ بالایشان مانع از نفوذ نور خورشید به درون آب شده و بدین ترتیب بر فعالیت فتوسنتزی موجودات آبزی اثر می‌گذارند. همچنین به جهت وجود حلقه‌های آروماتیک، فلزات و ... در ساختارشان سبب ایجاد مشکلات تنفسی، سرطان و جهش‌های کروموزومی شدید می‌گردند [۳,۵]. بنابراین با توجه به مشکلات اکوسیستمی این ترکیبات، ارائه‌ی روش‌های مؤثر و کارامد جهت حذف این ترکیبات، امری ضروری است.

۱-۲- روش‌های حذف آلودگی آب

روش‌های حذف آلودگی آب در چهار دسته کلی طبقه‌بندی می‌شوند[۸]:

الف: روش‌های بیولوژیکی

ب: روش‌های فیزیکی

ج: روش‌های شیمیایی

د: روش‌های فیزیکوشیمیایی

۱-۲-۱- روش‌های بیولوژیکی

در روش‌های بیولوژیکی (هوازی یا غیرهوازی) عامل اصلی انجام فرآیند انواع باکتری‌ها، جلبک‌ها و قارچ‌های موجود در طبیعت است. هر چند این روش مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست می‌باشد ولی عیب استفاده از این روش این است که اکثر مواد رنگزا حاوی ترکیبات آروماتیک بوده و در برابر تخریب بیولوژیکی مقاوم هستند [۹].

۱-۲-۲- روش‌های فیزیکی

در روش‌های فیزیکی با استفاده از عملیات فیزیکی بخش عمده‌ای از آلودگی‌های موجود در پساب، به خصوص ذرات معلق و کلوئیدها مجتمع و جدا می‌گردند. روش‌های فیزیکی مختلفی همچون فیلتراسیون غشایی (اسمز معکوس و اولترافیلتراسیون) برای حذف آلاینده به کار می‌رود. مهم‌ترین معایب فرایندهای فیلتراسیون هزینه بالای فیلترها و عمر محدود فیلترهاست[۹].

۱-۲-۳- روش‌های شیمیایی

روش‌های شیمیایی از جمله روش‌های جداسازی است که به کمک آن یک جزء نمونه که از لحاظ خواص شیمیایی از اجزاء دیگر نمونه متفاوت است، جدا می‌شود. روش‌های متفاوتی همچون انعقاد شیمیایی، فرایندهای الکتروشیمیایی و روش‌های متداول اکسیداسیون به وسیله عوامل اکسید کننده مانند اوزون جهت حذف رنگ به کار می‌رود که البته اغلب هزینه‌بر بوده و اگر چه رنگ حذف می‌شود، اما مشکل تجمع رسوبات و دفع آنها به عنوان یک مشکل مطرح است[۱۰].

۱-۲-۴- روش‌های فیزیکوشیمیایی

یکی از روش‌های پرکاربرد در حذف آلاینده روش فیزیکوشیمیایی می‌باشد. در این روش بسته به مکانیسم فرایند ممکن است نیروهای فیریکی، شیمیایی یا هر دو آن‌ها در حذف آلاینده دخالت داشته باشند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش جذب[1] اشاره کرد [۸]. اصطلاح جذب، به تجمع یک ماده در فصل مشترک دو فاز (فصل مشترک جامد- مایع یا جامد- گاز) اشاره دارد. ماده‌ای که در فصل مشترک تجمع می‌یابد، جذب شونده و سطح جامد، جاذب نامیده می‌شود[۱۱]. با توجه به اینکه گونه جذب شونده چگونه در سطح جاذب تجمع یافته، جذب به دو طبقه تقسیم‌بندی می‌شود: جذب

[1] -Adsorption

شیمیایی و جذب فیزیکی [۳]. جذب شیمیایی بر اساس ایجاد ارتباط شیمیایی قوی بین مولکول‌ها یا یون‌های جذب شونده با سطح جاذب انجام می‌شود. جذب فیزیکی بر اساس پیوند بین ذره‌ای ضعیف بین جاذب و جذب شونده است [۹].

به طور کلی روش جذب (جذب فیزیکی یا شیمیایی) به دلیل مقرون به صرفه بودن از لحاظ اقتصادی، بازده بالا، سریع بودن و سادگی، روش جایگزینی برای حذف آلاینده‌ها از آب می‌باشد. این روش یکی از مؤثرترین روش‌های حذف آلاینده می‌باشد. زیرا با استفاده از این فرایند، آلاینده (همچون رنگ) از محیط آبی و یا گازی آلوده شده، به سطح جامد انتقال می‌یابد. در نتیجه حجم پساب به حداقل مقدار کاهش می‌یابد. همچنین جاذب می‌تواند بازیابی شده یا سوزانده شود و یا حتی در یک جای خشک بدون تماس با محیط اطراف نگه داشته شود.

جاذب‌ها و انواع آن‌ها

جاذب‌ها در بسیاری از صنایع و فرآیندهای کنترل آلودگی کاربرد دارند. از جاذب‌های جامد که بیشترین استفاده را در صنایع دارند، می‌توان به کربن فعال، آلومینای‌فعال، سیلیکاژل و زئولیت اشاره کرد که از این میان کربن فعال از متداول‌ترین جاذب‌هایی است که به طور وسیعی برای حذف رنگزا از پساب به کار می‌رود ولی کربن فعال اغلب از مواد گران‌قیمت و با ارزشی همچون چوب و زغال‌سنگ تهیه می‌شود و بازیابی آن‌ها نیز هزینه‌بر است. بنابراین نیاز به جاذب‌های جایگزین کم‌هزینه و قابل دسترس (همچون پسماندهای کشاورزی و پسماندهای صنایع مختلف)، منجر به تحقیقات گسترده در این زمینه گردیده است. مواد طبیعی همچون مواد کشاورزی خصوصاً آن‌هایی که حاوی سلولز می‌باشند، پتانسیل جذب مناسبی را برای آلاینده‌های مختلف نشان داده‌اند. پسماندهای کشاورزی مقرون به صرفه، قابل دسترس و سازگار با محیط زیست هستند [۱۲]. به دلیل این وِیژگی‌های منحصر به فردشان در این پژوهش نیز از پسماندهای کشاورزی به عنوان جاذب استفاده شده است.

۱-۳- مقدمه‌ای بر کمومتریکس

در اکثر مواقع وقتی به اندازه‌گیری گونه‌ای می‌پردازیم، گونه‌های دیگر که به نحوی باعث تغییر سیگنال آن گونه می‌شوند، یک نوع مزاحم به حساب می‌آیند. مثلاً در طیف‌سنجی مرئی- فرابنفش هنگامی که محدوده جذب گونه‌ها خیلی به هم نزدیک باشد، یک نوع مزاحمت حاصل می‌شود. حال اگر بتوان با استفاده از طیف مخلوط، گونه اصلی و گونه‌های مزاحم را اندازه‌گیری کرد، دو مزیت فراهم می‌شود: اول اینکه مزاحمت برطرف شده و دوم اینکه علاوه بر گونه اصلی چندین گونه دیگر اندازه‌گیری می‌شوند. البته یکی دیگر از مزایای تعیین همزمان، کم شدن تعداد نمونه‌های آزمایش است که این خود موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌گردد.

برای رسیدن به این هدف از کمومتریکس استفاده می‌شود. کمومتریکس یک تکنیک شیمیایی است که از روش‌های ریاضی و آمار جهت طراحی و انتخاب آزمایش‌ها، روش‌های بهینه اندازه‌گیری و کسب حداکثر اطلاعات شیمیایی در مورد سیستم‌های شیمیایی، بهره می‌گیرد. کمومتریکس در زمینه‌های مختلف از جمله پردازش تصویر، بهبود سیگنال به نویز، الگوشناسی و کالیبراسیون چند متغیره کاربرد دارد [۱۳].

۱-۳-۱- کالیبراسیون

در شیمی تجزیه کالیبراسیون فرآیندی است که پاسخ (سیگنال) را به خاصیت آنالیت مورد نظر (معمولاً غلظت آن) به صورت یک رابطه ریاضی مربوط می‌سازد. پیچیدگی آنالیز نمونه‌های حقیقی مانند مواد بیولوژیکی و دارویی، توسعه روز افزون در دستگاهوری و استفاده از کمومتریکس، توسعه روش‌های مختلف کالیبراسیون را موجب شده است. این روش‌های جدید در گسترده‌تر نمودن تکنیک‌های تجزیه‌ای (به ویژه آنهایی که دارای طبیعت اسپکتروسکوپی هستند)، جهت حل مسائل مشکلی که روز به روز بر تعداد آنها افزوده می‌شود، کمک شایانی نموده است [۱۳,۱۴].

هر فرآیند کالیبراسیون به دو مرحله مجزای کالیبراسیون (مدل‌سازی) و پیش‌بینی تقسیم می‌شود. در مرحله کالیبراسیون، در چند غلظت معلوم از محلول‌های استاندارد آنالیت (متغیر مستقل x)، پاسخ (متغیر وابستهy) اندازه‌گیری می‌شود. سپس مدلی از x برحسب y یا y برحسب x ساخته می‌شود. در مرحله پیش‌بینی، مدل ساخته شده مورد ارزیابی قرارگرفته و در صورت نیاز تغییراتی درآن ایجاد می‌شود. با اندازه‌گیری y برای نمونه مجهول، غلظت آنالیت در آن بر اساس مدل انتخابی تعیین می‌گردد.

۱-۳-۱-۱- کالیبراسیون یک متغیره[1]

در کالیبراسیون یک متغیره، تنها یک متغیر وابسته و یک متغیر مستقل وجود دارد. بهترین نمونه آن استفاده از قانون بیر در اندازه‌گیری غلظت گونه‌ها به روش اسپکتروفتومتری جذب مولکولی است. در ساده‌ترین حالت رابطه زیر برقراراست:

$$y = b_0 + b_1 x + e \qquad (۱-۱)$$

ضرایب b_0 و b_1 را می‌توان از روش رگرسیون حداقل مربعات محاسبه نمود. به مدل فوق مدل کلاسیک گفته می‌شود. زیرا خطای کالیبراسیون (e)، به خطا در اندازه‌گیری پاسخ نسبت داده می‌شود. در مدل دیگری که به آن مدل معکوس گفته می‌شود، فرض می‌گردد که اندازه‌گیری دستگاهی دقیق بوده و خطای کالیبراسیون مربوط به خطا در تهیه محلول‌های استاندارد است. مدل معکوس به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$x = b_0 + b_1 y + e \qquad (۱-۲)$$

روش‌های یک متغیره در صورتی‌که نمونه بسیار ساده بوده و عاری از هرگونه مزاحمت باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین استفاده از کالیبراسیون یک متغیره نیازمند انتخاب روش‌هایی با گزینش‌پذیری بالا می‌باشد. همچنین جهت اعمال این روش‌ها باید از سیستم مورد آنالیز شناخت

[1] - Univariate Calibration

کافی داشت. در صورت وجود روش‌های گزینش‌پذیر (همانند روش‌های مختلف اسپکتروسکوپی اتمی)، روش‌هایی که به راحتی آنالیت را از مزاحمت‌ها جدا کنند (همانند روش‌های کرماتوگرافی)، یا روش‌هایی که سیگنال آنالیت را از سیگنال‌های دیگر جدا نمایند (همانند روش اسپکتروفتومتری مشتقی[۱]، روش تفاضل نسبی بسط داده شده[۲] (EXRSM) و روش کم کردن نسبی همزمان[۳] (SRSM) می‌توان کالیبراسیون یک متغیره را با موفقیت به کار برد [۱۷-۱۵].

روش مشتقی

یکی از روش‌های آنالیز مخلوط چند جزئی، روش اسپکتروفتومتری مشتقی است که نسبت به روش اسپکتروفتومتری معمولی در تعیین همزمان دو یا چند گونه (بدون جداسازی شیمیایی) دارای انتخابگری بیشتری است. در طیف‌سنجی، روش مشتقی برای افزایش تفکیک‌پذیری طیفی[۴] و حذف جذب زمینه[۵] به کار می‌رود. ولی نکته‌ای که باید به آن توجه کرد، این است که اندازه پنجره انتخاب شده برای مشتق‌گیری بایستی به دقت تعیین شود. به طوری که نه آنقدر پهن باشد که اطلاعات طیفی از آن حذف شود و نه آنقدر کوچک باشد که نویز باقی بماند [۱۸, ۱۵].

روش تفاضل نسبی بسط داده شده (*EXRSM*)

اخیراً روش‌های اسپکتروفتومتری جدید و ساده برای تجزیه و تحلیل همزمان مخلوط دوتایی گسترش یافته است. در سال ۲۰۰۸ برای اولین بار بردیسی[۶] و همکارانش از روش تفاضل نسبی[۷] (RSM) برای اندازه‌گیری همزمان دو جزء در یک مخلوط دوتایی استفاده کردند [۱۶]. سپس با

[1]- Derivative Spectrophotometric Method
[2]- Extended Ratio Subtraction Method
[3]- Simultaneous Ratio Subtraction Method
[4]- Spectral Resolution
[5]- Background Absorption
[6] Bardicy
[7] Ratio Subtraction Method

استفاده از مبانی روش RSM، در سال ۲۰۱۲ روش EXRSM توسط لطفی و همکارانش ارائه شد [۱۷].

برای مخلوطی حاوی دو گونه X و Y (معادله (۱-۳) و (۱-۴)) که همپوشانی طیفی دارند و طیف یکی نسبت به دیگری گسترده‌تر است، می‌توان با استفاده از روش EXRSM، غلظت هر دو گونه را به دست آورد. برای تعیین غلظت جزء X به صورت زیر عمل می‌شود:

طیف مخلوط حاوی X+Y (معادله (۱-۵)) بر طیف غلظت معینی از گونه Y به‌عنوان مقسوم علیه (Y') تقسیم می‌شود (معادله (۱-۶)). Y گونه‌ای است که نسبت به دیگری در دامنه‌ی طول‌موج وسیع‌تری جذب دارد.

پس از تقسیم طیف مخلوط بر طیف غلظت معینی از Y (Y')، طیف نسبی حاصل دارای مقدار ثابتی است که بیانگر $\frac{C_y}{C'_y}$ است و به صورت خط مستقیم به موازات محور طول‌موج قرار دارد (به عبارت دیگر مقدار ثابت در همان ناحیه‌ای از طول‌موج دیده می‌شود که طیف گونه Y نسبت به طیف گونه X گسترده‌تر است). سپس مقدار ثابت از طیف نسبی کم می‌شود (معادله (۱-۷)). با ضرب طیف نسبی به‌دست آمده در طیف Y' (مقسوم علیه)، طیف مرتبه صفر گونه X به دست می‌آید (۱-۸). با اندازه‌گیری جذب در طول‌موج ماکزیمم گونه X از روی طیف مرتبه صفر به دست آمده و قرار دادن جذب آن در معادله رگرسیون حاصل از منحنی کالیبراسیون گونه X، غلظت گونه X تعیین می‌شود. بیان ریاضی عملیات فوق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

$$A_x=\varepsilon_x b C_x \qquad (۱-۳)$$

$$A_y=\varepsilon_y b C_y \qquad (۱-۴)$$

$$A_{x+y\,(mix)}= \varepsilon_x b C_x+ \varepsilon_y b C_y \qquad (۱-۵)$$

در روابط بالا C_x و ε_x به ترتیب بیانگر غلظت و ضریب جذب مولی گونه X و C_y و ε_y به ترتیب غلظت و ضریب جذب مولی گونه Y و b طول سل دستگاه اسپکتروفتومتری است.

$$\frac{b\varepsilon_x C_x + b\varepsilon_y C_y}{b\varepsilon_y C'_y} = \frac{b\varepsilon_x C_x}{b\varepsilon_y C'_y} + \frac{b\varepsilon_y C_y}{b\varepsilon_y C'_y} = \frac{\varepsilon_x C_x}{\varepsilon_y C'_y} + \frac{C_y}{C'_y} = \frac{\varepsilon_x C_x}{\varepsilon_y C'_y} + \text{constant} \quad (۶-۱)$$

$$\frac{\varepsilon_x C_x}{\varepsilon_y C'_y} + \text{constant} - \text{constant} = \frac{\varepsilon_x C_x}{\varepsilon_y C'_y} \quad (۷-۱)$$

$$\frac{\varepsilon_x C_x}{\varepsilon_y C'_y} \times \varepsilon_y C'_y = \varepsilon_x C_x \quad (۸-۱)$$

برای تعیین غلظت گونه Y، به ترتیب زیر عمل می‌شود. طیف مرتبه صفر به دست آمده برای X (معادله (۱-۸)) بر طیف غلظت معینی از X به عنوان مقسوم علیه (X′)، تقسیم می‌شود. مقدار ثابت $\frac{C_x}{C'_x}$ حاصل از این تقسیم، به صورت خط مستقیم و موازی با محور طول موج دیده می‌شود.

سپس طیف مخلوط حاوی X+Y بر طیف همان مقسوم علیه X (X') تقسیم می‌شود (معادله (۱-۹)). عبارت $\frac{C_x}{C'_x}$ در این معادله همان مقدار ثابتی است که از تقسیم طیف مرتبه صفر به دست آمده برای X، بر طیف غلظت معینی از X (به عنوان مقسوم علیه) به دست آمده بود. سپس با کسر این مقدار ثابت (معادله (۱-۱۰)) و ضرب طیف به دست آمده در طیف مقسوم علیه X (X')، طیف مرتبه صفر گونه Y به دست می‌آید (معادله (۱-۱۱)).

$$\frac{b\varepsilon_x C_x + b\varepsilon_y C_y}{b\varepsilon_x C'_x} = \frac{b\varepsilon_x C_x}{b\varepsilon_x C'_x} + \frac{b\varepsilon_y C_y}{b\varepsilon_x C'_x} = \frac{\varepsilon_x C_x}{\varepsilon_x C'_x} + \frac{\varepsilon'_y C'_y}{\varepsilon_x C'_x} = \frac{\varepsilon_y C_y}{\varepsilon_x C'_x} + \text{constant} \quad (۹-۱)$$

$$\frac{\varepsilon_y C_y}{\varepsilon_x C'_x} + \text{constant} - \text{constant} = \frac{\varepsilon_y C_y}{\varepsilon_x C'_x} \quad (۱۰-۱)$$

$$\frac{\varepsilon_y C_y}{\varepsilon_x C'_x} \times b\varepsilon_x C'_x = b\varepsilon_y C_y \quad (۱۱-۱)$$

با استفاده از معادله‌ی رگرسیون که حاصل ترسیم مقدار جذب گونه Y در طول‌موج ماکزیمم مربوط به آن برحسب غلظت آن است، غلظت گونه Y به‌دست می‌آید.

روش کم کردن نسبی همزمان (*SRSM*)

روش SRSM بر مبنای روش RSM استوار است[۱۹]. برای استفاده از روش SRSM باید مخلوطی حاوی دو جزء (X و Y) با همپوشانی طیفی وجود داشته باشد که یکی از اجزا نسبت به دیگری در دامنه‌ی طول‌موج وسیع‌تری جذب دارد. به عبارت دیگر، طیف گسترده‌تری داشته باشد (مثلاً گونه Y).

در این روش طیف مخلوط (X +Y) بر طیف غلظت معینی از Y (Y') به عنوان مقسوم علیه تقسیم می‌شود. پس از تقسیم طیف مخلوط بر طیف مقسوم علیه (Y')، طیف حاصل دارای مقدار ثابت ($\frac{C_y}{C\prime_y}$) است که به صورت خط مستقیم و موازی با محور طول موج قرار دارد (معادله (۱-۱۲)).

$$\frac{b\varepsilon_x C_x + b\varepsilon_y C_y}{b\varepsilon_y C\prime_y} = \frac{b\varepsilon_X C_X}{b\varepsilon_y C\prime_y} + \frac{b\varepsilon_y C_y}{b\varepsilon_y C\prime_y} = \frac{\varepsilon_x C_x}{\varepsilon_y C\prime_y} + \frac{C_y}{C\prime_y} = \frac{\varepsilon_x C_x}{\varepsilon_y C\prime_y} + \text{constant} \qquad (۱-۱۲)$$

سپس مقدار ثابت ($\frac{C_y}{C\prime_y}$) از طیف نسبی کم می‌شود و از روی طیف نسبی حاصل (پس از کم کردن مقدار ثابت)، مقدار نسبی جذب در طول‌موج ماکزیمم جذب X اندازه‌گیری می‌شود (معادله (۱-۱۳)).

$$\frac{\varepsilon_x C_x}{\varepsilon_y C'_y} + \text{constant} - \text{constant} = \frac{\varepsilon_x C_x}{\varepsilon_y C'_y} \qquad (۱-۱۳)$$

سپس با قرار دادن مقدار نسبی جذب به‌دست آمده برای مخلوط (در طول‌موج ماکزیمم گونه X) در منحنی کالیبراسیون مربوط، غلظت X در مخلوط محاسبه می‌گردد.

برای رسم منحنی کالیبراسیون X، طیف محلول‌های خالص X بر طیف غلظت معینی از Y (Y') به عنوان مقسوم علیه تقسیم می‌شود و سپس مقدار نسبی جذب در طول‌موج ماکزیمم X در هر محلول برحسب غلظت X در آن رسم می‌گردد.

با تقسیم طیف محلول‌های خالص (محلول‌های استاندارد Y) به طیف غلظت معینی از Y (Y') به عنوان طیف مقسوم علیه، مقدار ثابت برای هر محلول استاندارد به دست می‌آید (($\frac{C_y}{C\prime_y}$)).

منحنی کالیبراسیون با رسم مقدار ثابت برحسب غلظت Y، به دست می‌آید. سپس با جایگذاری مقدار ثابت حاصل از هر مخلوط در منحنی کالیبراسیون مربوط (مقدار ثابت برحسب غلظت Y) غلظت گونه Y محاسبه می‌گردد.

۱-۳-۱-۲- کالیبراسیون چند متغیره[1]

در صورت عدم وجود روش‌های گزینش‌پذیر، با استفاده از کالیبراسیون چند متغیره می‌توان یک گونه را در حضور گونه‌های مزاحم یا چند آنالیت را در کنار یکدیگر و بدون جداسازی آنالیز کرد. در اصول اندازه‌گیری اسپکتروفتومتری چند گونه در مخلوط بر پایه اندازه‌گیری جذب در چندین طول موج انتخابی (حداقل برابر تعداد گونه‌ها و در طول موج‌های مناسب)، طبق قانون بیر قرار دارد. اگر هدف اندازه گیری p گونه در m طول موج باشد و n محلول استاندارد از مخلوط گونه‌ها وجود داشته باشد، قانون بیر بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$R=CS+E \qquad (۱-۱۴)$$

در این رابطه R یک ماتریس n×m از داده‌های جذبی می‌باشد. n تعداد ردیف‌های R (تعداد محلول‌های استاندارد) و m تعداد ستون‌های R (تعداد طول موج‌ها) می‌باشد. C یک ماتریس n×p از غلظت گونه‌هاست. S ماتریس ضریب جذب مولی با ابعاد p×m است. اگر ضریب جذب مولی برای گونه‌ها معلوم باشد، با اندازه‌گیری جذب برای نمونه مجهول، می‌توان غلظت آن را طبق روابط زیر محاسبه نمود.

$$\hat{C}_{un} = rS^{-1} \qquad (۱-۱۵)$$

$$\hat{C}_{un} = rS^{T}(S^{T}S)^{-1} \qquad (۱-۱۶)$$

در روابط فوق r بردار جذب برای نمونه مجهول است. علامت ((^)) در بالای بردارها یا ماتریس‌ها نشان می‌دهد که آن کمیت از طریق مدل پیش‌بینی شده است. اگر m=p باشد، از رابطه (۱-۱۵) و اگر

[1] - Multivariate Calibration

m≠p باشد، از رابطه (۱-۱۶) استفاده می‌شود. معمولاً در روش‌های اسپکتروفتومتری، ضریب جذب مولی معلوم نیستند و به وسیله تکنیک‌های کالیبراسیون مناسبی محاسبه می‌شوند. روش‌های کالیبراسیون چند متغیره همچون روش حداقل مربعات جزئی[1] می‌تواند برای محاسبه این مقادیر به کار رود. جزئیات روش حداقل مربعات جزئی برای محاسبه این مقادیر در مراجع متعدد بیان شده است[۱۸].

۱-۳-۲- مدل‌سازی فرایند جذب با استفاده از روش‌های محاسباتی

باید توجه داشت که خروجی فرایند جذب (که معمولاً میزان درصد جذب آلاینده (R) و یا مقدار گرم آلاینده جذب شده به ازای گرم جاذب (q) می‌باشد) به شدت وابسته به فاکتورهای آزمایشگاهی مانند pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه رنگ و مدت زمان تماس می‌باشد[۲۰]. متأسفانه انجام آزمایش‌های تجربی اغلب وقت‌گیر و پرهزینه است. مدل‌سازی با استفاده از روش‌های محاسباتی می‌تواند این مشکل را حل کند. مدل‌سازی، یک ساده‌سازی[2] از واقعیت است و برای بررسی رفتار هر فرایند بسیار مناسب است[۲۱,۲۲]. امروزه روش‌های محاسباتی مختلفی همچون شبکه‌های عصبی مصنوعی[3]، سیستم‌های استنتاج عصبی- فازی سازگار[4] و جنگل تصادفی[5] برای مدل‌سازی فرایند به کار گرفته شده است[۲۲]. این روش‌ها هنگامی که یک ارتباط پیچیده بین اطلاعات شیمیایی و پاسخ مورد نظر وجود دارد، مناسب است[۲۳]. همچنین با استفاده از این روش‌ها می‌توان میزان اهمیت هر یک از پارامترهای مؤثر بر فرایند مورد بررسی را تعیین کرد [۲۲,۲۳].

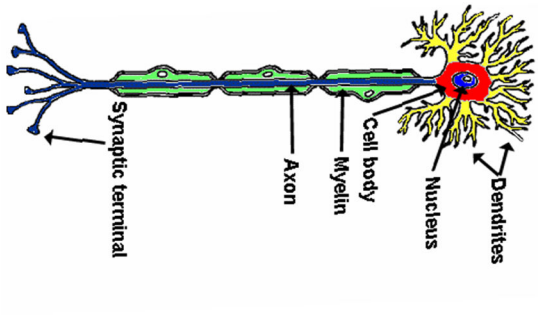
[1] -Partial least square
[2] - Simplification
[3] -Artificial Neural Networks
[4] - Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems
[5] -Random Forest

۱-۳-۲-۱- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی یک برنامه نرم افزاری است که می‌تواند همانند مغز انسان عمل نماید. در واقع یک شبکه عصبی مصنوعی ایده‌ای است برای پردازش اطلاعات که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده و مانند مغز انسان به پردازش اطلاعات می‌پردازد. این سیستم‌ها از تعداد زیادی عنصر پردازش به نام گره[۱] تشکیل شده‌اند که برای حل یک مسئله به صورت هماهنگ با هم عمل می‌کنند. گره اصلی-ترین عنصر پردازش[۲] اطلاعات بشمار می‌آید. یک گره طبیعی متشکل از دندریت[۳]، بدنه‌ی سلول[۴] (شامل هسته و قسمت‌های حفاظتی دیگر) و اکسون[۵] می‌باشد. دندریت‌ها به عنوان مناطق دریافت سیگنال‌ها، شبکه‌هایی متشکل از فیبرهای سلولی هستند که دارای سطح نامنظم و شاخه‌های انشعابی بی‌شمار می‌باشند. به همین علت آن‌ها را شبکه‌های دریافتی "درخت گونه" می‌گویند. دندریت‌ها پس از دریافت اطلاعات به شکل سیگنال آن را به هسته‌ی سلول که در بدنه‌ی سلول قرار دارد، هدایت می‌کنند. بدنه‌ی سلول ضمن فراهم کردن انرژی لازم برای فعالیت گره، بر روی سیگنال-های دریافتی عملیات لازم را انجام داده که این عملیات شبیه یک عمل جمع ساده بر روی کل سیگنال‌ها و مقایسه با یک سطح آستانه می‌باشد. اکسون که برخلاف دندریت‌ها از سطحی هموارتر و تعداد شاخه‌های کمتر ولی طول بیشتر برخوردار می‌باشد، سیگنال‌های الکتروشیمیایی دریافتی از بدنه‌ی سلول را توسط سیناپس‌ها که ارتباط دهنده گره‌ها هستند، به گره‌های دیگر منتقل می‌کند و بدین ترتیب فعالیت‌های مغزی انجام می‌شود [۲۴]. شکل (۱-۱) ساختار یک گره زیستی را نشان می‌دهد.

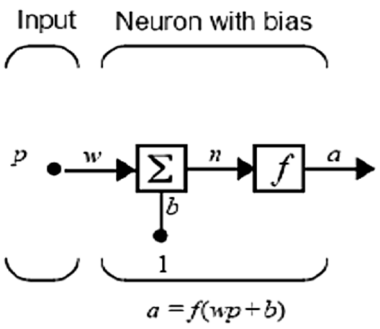
---

[1] - Neuron
[2] - Processing Element
[3] - Dendrite
[4] - Cell body(soma)
[5] - Axon



شکل (۱-۱)- ساختار یک گره زیستی.

واحدهای سازنده شبکه‌های عصبی مصنوعی گره‌ها هستند که در لایه‌های مختلف قرار گرفته‌اند. شکل(۱-۲) الگویی از یک گره محاسباتی با توجه به نحوه عملکرد گره طبیعی ارائه می‌دهد. در شکل زیر کمیت‌های p و a به ترتیب ورودی و خروجی گره می‌باشد. میزان تأثیر ورودی p روی خروجی a به وسیله پارامتر وزن (w) تعیین می‌شود. ورودی دیگر یک مقدار ثابت ۱ است که در جمله بایاس[1] ضرب شده و سپس با wp جمع می‌شود. این حاصل جمع، ورودی خالص n برای تابع محرک (تابع انتقال) f را تشکیل می‌دهد. در واقع b وw دو پارامتر تنظیم شونده در گره‌ها می‌باشند. ایده اصلی شبکه عصبی این است که با تغییر مقادیرb وw، یک رفتار یا تصمیم را اتخاذ کند. تنظیم b وw بر اساس فرایند آموزش و با استفاده از الگوریتم‌های آموزشی متفاوت انجام می‌شود [۲۵].



شکل(۱-۲)- ساختمان یک گره محاسباتی.

[1]- Bias

انواع شبکه‌های عصبی

- شبکه‌های پیشخور[1]
- شبکه‌های برگشتی[2]

شبکه‌های پیشخور، شبکه‌هایی هستند که مسیر پاسخ در آن‌ها همواره رو به جلو پردازش می‌شود و به گره‌های لایه قبل باز نمی‌گردد. در این نوع شبکه‌ها به سیگنال اجازه می‌دهد که در مسیر یک طرفه عبور کند. یعنی از ورودی تا خروجی. بنابراین بازخوردی[3] وجود ندارد. بدین معنی که خروجی هر لایه تأثیری بر همان لایه و همچنین لایه‌های قبلی ندارد. ولی در شبکه‌های عصبی برگشتی برخلاف شبکه‌های پیشخور، بازخورد وجود دارد [۲۴,۲۵].

پس‌انتشار خطا یک روش متداول آموزش با ناظر برای شبکه‌های پیشخور است. به طور کلی طبق شکل (۱-۳) آموزش به کمک تکنیک پس‌انتشار بر طبق مراحل زیر انجام می‌شود [۲۴]:

۱- انتشار ورودی‌ها از گره‌های ورودی به سمت گره‌های خروجی

۲- اختصاص ماتریس وزن‌های تصادفی به هریک از اتصالات

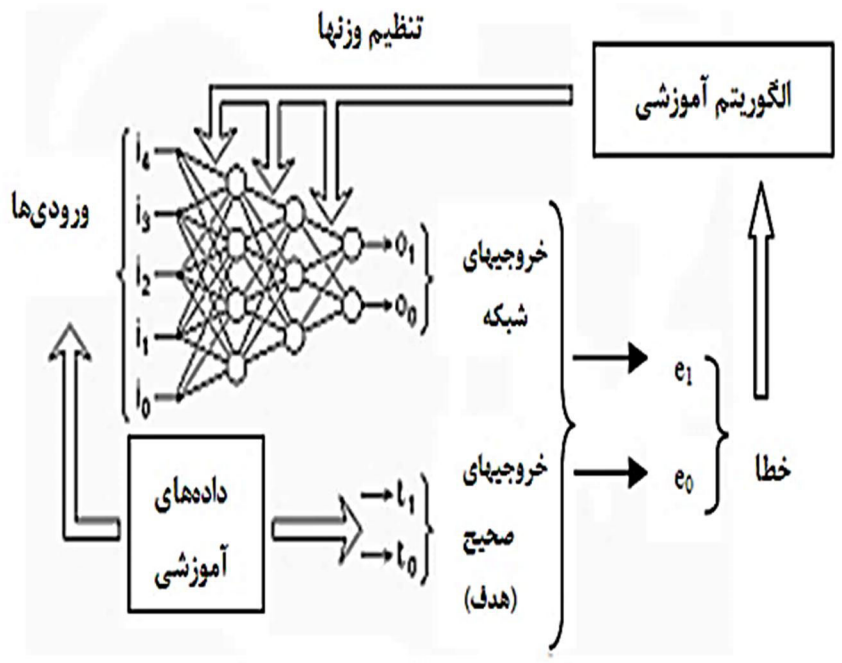
۳- مقایسه خروجی‌های شبکه با مقادیر واقعی (مقادیر هدف) و محاسبه‌ی خطای شبکه

۴- پس‌انتشار خطا از گره‌های خروجی به سمت گره‌های ورودی و اصلاح وزن‌ها با الگوریتم-های آموزشی متفاوت

۵- ارزیابی عملکرد شبکه با توجه به تابع کارآیی تعیین شده

مراحل فوق تا زمانی تکرار می‌شود که به حداکثر تکرار مجاز رسیده باشد یا مقدار تابع کارآیی از مقداری که تعیین شده کمتر باشد. شبکه عصبی انتخاب شده در این تحقیق یک شبکه پیشخور با الگوریتم آموزشی پس‌انتشار می‌باشد.

[1] - Feed forward
[2] - Recurrent
[3]- Feedback



شکل(۱-۳)- نحوه‌ی عملکرد تکنیک پس‌انتشار در یک شبکه عصبی پیشخور

۱-۳-۲-۲- جنگل تصادفی

یکی از روش‌های نوین و پیشرفته آماری، روش جنگل تصادفی است که جزء روش‌های یادگیری ماشین می‌باشد. این روش در سال ۲۰۰۱ توسط بریمن[۱]، آماردان دانشگاه برکلی آمریکا ارائه شد [۲۶]. اساس کار مدل جنگل تصادفی ریشه در مدل درخت‌های طبقه‌بندی و رگرسیون (CART)[۲] دارد. لذا لازم است ابتدا روش CART توضیح داده شود.

درخت رگرسیون و طبقه‌بندی *CART*

درخت رگرسیون و طبقه‌بندی یکی از روش‌های غیرپارامتری در داده‌کاوی[۳] است که توسط بریمن[۴] و همکارانش در سال۱۹۸۴ ارائه شد. این روش هر دو قابلیت رگرسیون و رده‌بندی را داراست.

[1]- Leo Breiman
[2]- Classification And Regression Tree
[3]- Data mining
[4]- Breiman

به این معنی که وقتی متغیر پاسخ از نوع کیفی باشد، قابلیت طبقه‌بندی و در صورتی که متغیر پاسخ از نوع کمی باشد، از قابلیت رگرسیون برخوردار است.

الف- درخت طبقه‌بندی

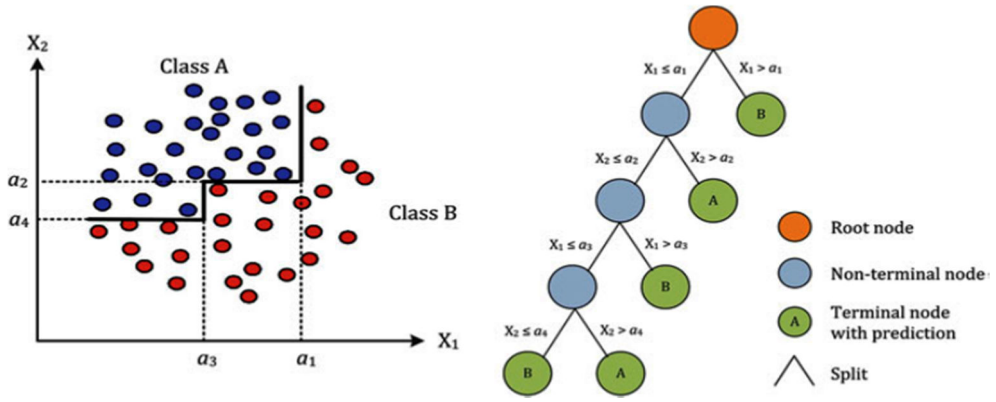
درخت طبقه‌بندی قادر به تولید قانون‌هایی بر اساس متغیرهای توضیحی، برای پیش‌بینی طبقه متغیر پاسخ می‌باشد. این قوانین را می‌توان برای سهولت درک آن به شکل ساختار درختی نمایش داد [۲۷].

ساخت درخت

فضای به وجود آمده توسط متغیرها، یک فضایN بعدی است. هدف در درخت طبقه‌بندی، تقسیم‌بندی[۱] این فضا به ابر مکعب مستطیل‌های مجاور هم است. به گونه‌ای که مشاهدات واقع در هر ابرمکعب دارای بیشترین همگونی از لحاظ طبقه خاصی از متغیر پاسخ باشند. نحوه‌ی تقسیم‌بندی فضای متغیرها، سلسله مراتبی[۲] و به صورت دودویی[۳] است یعنی در هر مرحله، این فضا به دو قسمت تقسیم می‌شود. فرض کنید فضای متغیرها در راستای متغیر X_1 و به ازای مقادیر a_1 و a_3 و در راستای متغیر X_2 و به ازای مقادیر a_2 و a_4 تقسیم‌بندی شده باشد (a مقداری در دامنه متغیر X است) آنگاه این تقسیم‌بندی را می‌توان به صورت شکل (۱-۴) نشان داد. هر یک از نواحی موجود در درخت تصمیم در اصطلاح یک گره نامیده می‌شود. در واقع گره، مقداری از هر متغیر است که تقسیم‌بندی در آن نقطه انجام می‌گیرد. ناحیه اول که شامل کل داده‌هاست را گره ریشه (مادر) و سایر گره‌ها را گره‌های فرزند می‌نامند. به گره‌های فرزندی که خود نیز به دو گره جدید تقسیم شده‌اند، گره داخلی یا غیرپایانی و به گره‌هایی که تقسیم نشده و پیش‌بینی انجام می‌دهند، گره پایانی می‌گویند. شکل (۱-۴) این گره‌ها را نشان می‌دهد.

---

[1]- Partition
[2]- Hierarchy
[3]- Binary



شکل (۱-۴)- نحوه تقسیم‌بندی در درخت طبقه‌بندی.

فرض کنید ناحیه اصلی شامل کل داده‌ها (R) و نواحی چپ و راست ایجاد شده به ترتیب R_1 و R_2 باشد. اگر مجموعه متغیرهای توضیحی و متغیر پاسخ (با k طبقه) را به ترتیب با x_i و y_i نشان داده شود، آنگاه فراوانی نسبی طبقه K واقع در ناحیه t که با P(k|t) نمایش داده می‌شود برابر است با [۲۸]:

$$P(k|t) = \frac{1}{N_t}\sum_{x_i \epsilon t} I\,(y_i = k) \qquad (۱۷-۱)$$

در این رابطه N_t تعداد مشاهدات درون ناحیه t و I به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I = \begin{cases} ۱\,.\,y_i = k \\ ۰\,.\,y_i \neq k \end{cases} \qquad (۱۸-۱)$$

آنگاه شاخص جینی[1] که معرف میزان ناخالصی ناحیه t می‌باشد، عبارت است از:

$$i(t) = \sum_{k \neq L} P(k|t)\,P(L|t) \qquad (۱۹-۱)$$

منظور از L طبقه‌ای دیگر از متغیر پاسخ می‌باشد. شاخص جینی را می‌توان برای هر یک از سه ناحیه R_2, R_1, R محاسبه نمود. تغییرات تابع ناخالصی[2] ترکیبی از این سه مقدار است که با $\Delta i(t)$ نشان داده شده و به صورت رابطه (۱-۲۰) تعریف می‌شود.

[1] - Gini Index
[2] - Impurity function

$$\Delta i(t) = i(t_R) - E[i(t_c)] = i(t_R) - P_{R1} i(t_{R1}) - P_{R2} i(t_{R2}) \qquad (۲۰-۱)$$

که در آن t_c نواحی R_1 وR_2 ایجاد شده و P_{R1} و P_{R2} نسبتی از کل مشاهدات ناحیه R است که به ترتیب در R_1 وR_2 واقع شده‌اند. با تکرار فرآیند فوق برای تمامی متغیرها و به ازای مقادیر مختلف آنها مقدار $\Delta i(t)$ برای همه تقسیم‌بندیهای ممکن محاسبه شده و در نهایت تقسیم‌بندیی که مقدار بیشینه $\Delta i(t)$ را ایجاد کند، به عنوان تقسیم‌بندی بهینه در نظر گرفته خواهد شد. نواحی جدید ایجاد شده نیز به همین صورت به نواحی کوچکتر تقسیم می‌شوند.

ب- درخت رگرسیون

تشکیل درخت رگرسیون همانند درخت طبقه‌بندی با تقسیم‌بندی فضای نمونه، طی مراحلی سلسله مراتبی انجام می‌شود که هر مرحله، بر اساس آن است که تفکیک فضا در راستای کدام متغیر و در چه مقداری از آن متغیر بایستی انجام گیرد. در این روش، فضای متغیرها به گونه‌ای تفکیک می‌شود که در هر ناحیه بتوان رویه پاسخ را توسط یک مدل ساده مانند یک صفحه تقریب نمود که همانند درخت طبقه‌بندی، تقسیم‌بندی فضای متغیرها به شکل مربع یا مستطیل است.

فرض کنید $S = \{(X_{1.i} . X_{2.i}) \; ; \; i = 1 \dots n\}$ مجموعه مشاهدات دو متغیر توصیفی X_1 و X_2 و همچنین $\{y_{1.} \dots \dots . . y_n\}$ مجموعه مقادیر متغیر پاسخ Y باشند. اکنون با فرض این که فضای متغیرهای X_1 و X_2 به پنج ناحیه $R_1, R_2, \dots ..,R_5$ تفکیک شده باشد، به طور قطع هر ناحیه‌ی R_m ; m=1,…5 شامل زیر مجموعه‌ای از داده‌های مشاهده شده به نام A_m است. در بنیان روش درخت رگرسیون می‌توان رویه پاسخ[1] را در ناحیه R_m توسط یک مدل ساده یعنی $\hat{y}_{R_m} = C_m$ تقریب نمود. در نتیجه خواهیم داشت:

$$\hat{y} = \sum_{m=1}^{5} C_m I_{A_m}(x_1 . x_2) \qquad (۲۱-۱)$$

[1] -Response surface

که در آن C_mها مقادیری ثابت می‌باشند و

$$I_{A_m}(X) = \begin{cases} 1. & x \in A_m \\ 0. & x \notin A_m \end{cases}$$

با توجه به روش کمترین توان‌های دوم خطا، به آسانی ثابت می‌شود که C_m، میانگین مقادیر متغیر پاسخ واقع در ناحیه R_m است و به عبارت دیگر:

$$\hat{y}_{R_m} = C_m = \bar{y}_{A_m} = \frac{1}{n_m}\sum_{y_j \in A_m} yj \qquad (۲۲-۱)$$

که n_m تعداد مشاهدات مجموعه A_m است [۲۸].

جنگل تصادفی یک دسته‌بندی‌کننده تجمعی قدرتمند برگرفته از ساختار Bagging و شامل دسته‌بندی‌کننده‌های درخت تصمیم‌گیری است. در الگوریتم‌های مبتنی بر تکنیک Bagging هر دسته‌بندی‌کننده مجموعه داده آموزشی مربوط به خود را استفاده می‌کند. بنابراین در جنگل تصادفی نیز هر یک از درختان حاضر در جنگل به طور مستقل و کاملاً تصادفی نمونه‌های آموزشی خود را از بین نمونه‌های موجود انتخاب می‌کنند. از طرفی هیچ مجموعه یا ترکیب ثابتی از ویژگی‌ها در کلاس بندی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. بلکه در تک‌تک گره‌های درخت تعدادی از ویژگی‌ها بصورت تصادفی انتخاب شده و یک ترکیب تصادفی از این متغیرها، در طبقه‌بندی داده‌ها استفاده خواهد شد. این موضوع در مورد تمامی درختان حاضر در جنگل صدق می‌کند [۲۹]. از آنجا که نمونه‌برداری داده‌ها با جایگزینی صورت می‌گیرد، ممکن است تعدادی از داده‌های آموزشی یک درخت تکراری باشند و در مقابل تعدادی از داده‌ها (به طور نسبی حدود $\frac{1}{3}$ مجموع داده‌ها) در آموزش درخت شرکت داده نشوند. در واقع دلیل عمده قدرت جنگل تصادفی همان انتخاب تصادفی داده‌ها و ویژگی‌هاست [۲۸ و ۲۹]. با تولید ترکیبات تصادفی متعدد از ویژگی‌ها توسط درختان حاضر در جنگل و انتخاب ترکیبات تقریباً بهینه برای طبقه‌بندی امید این می‌رود که ویژگی‌های اصلی در مجموعه داده‌ها شناسایی شده و میزان تأثیر ویژگی‌های نامربوط در نتیجه کلاس‌بندی کاهش یابد.

این شیوه استفاده از بردار ویژگی و داده آموزشی سبب می‌شود درختان جنگل آموزش متفاوت، تصمیم‌گیری‌های متفاوت و در نتیجه کارآیی متفاوت داشته باشند.

فرض کنید (x_i, y_i) ; i=1,….,N مجموعه‌ی داده‌های آموزشی باشد که در آن X_i برداری از M متغیر و y_i متغیر پاسخ متناظر آن است. اگر تعداد کل درخت‌های مدل با n_{tree} نشان داده شود، مراحل زیر بیانگر الگوریتم ساخت هر درخت است.

۱- با شروع آموزش جنگل، یک کپی از تمام داده‌های آموزشی به تمام درخت‌ها ارسال می‌شود سپس هر درخت حدود $\frac{2}{3}$ از داده‌های دریافتی را به صورت تصادفی برای آموزش انتخاب می‌کند و $\frac{1}{3}$ داده‌ها در ساخت درخت شرکت ندارند که داده‌های خارج از کیسه[1] نام دارند و نقش داده‌های ارزیابی آن درخت را ایفا می‌کنند.

۲- برای تصمیم‌گیری درباره داده‌هایی که به یک گره می‌رسند مجموعه‌ای از m متغیر به صورت تصادفی از بین M متغیر انتخاب می‌شود (m<<M) معمولاً در مدل رگرسیون $m = \frac{M}{3}$ و در مدل رده‌بندی $m = \sqrt{M}$ در نظر گرفته می‌شود. برای تقسیم فضای متغیرها به دو قسمت و بر اساس اصول درخت رگرسیونی فقط از این m متغیر و نمونهN تایی انتخاب شده در گام اول استفاده می‌شود تا بهترین متغیر و بهترین نقطه تقسیم‌بندی در اولین مرحله بدست آید. محدودیت آن است که تعداد مشاهدات موجود در هر یک از دو ناحیه باید بیشتر از $2n_r$ باشد و $2n_r$ پارامتری است که در اختیار کاربر بوده و بیانگر حداقل تعداد مشاهدات موجود در هر ناحیه است و مقدار پیش‌فرض این پارامتر برای مسائل رگرسیون برابر ۵ و برای مسائل طبقه بندی برابر ۱ است.

۳- برای هر یک از دو ناحیه‌ی تولید شده در گام۲، مجدداً به طور تصادفی از بین M متغیر توضیحی، m متغیر انتخاب می‌گردد و با استفاده از همان نمونه Nتایی انتخاب شده در گام۱،

[1]- Out Of Bag

روش درخت رگرسیون اعمال می‌گردد. این عمل منجر به تقسیم‌بندی هر یک از نواحی موجود به دو قسمت می‌شود.

۴- گام سوم برای تمام نواحی تقسیم‌بندی شده تا زمانی تکرار می‌شود که تعداد مشاهدات در تمامی این نواحی کمتر از $2n_r$ باشد.

۵- حال درخت رگرسیونی iام طوری تشکیل شده است که فضای متغیرهای توضیحی به r_i ناحیه‌ی R_{i1} , R_{i2} ,…, R_{iri} تقسیم گردیده است و تعداد مشاهدات هر ناحیه کمتر از $2n_r$ می‌باشد. مدل درخت رگرسیون به دست آمده به صورت زیر است.

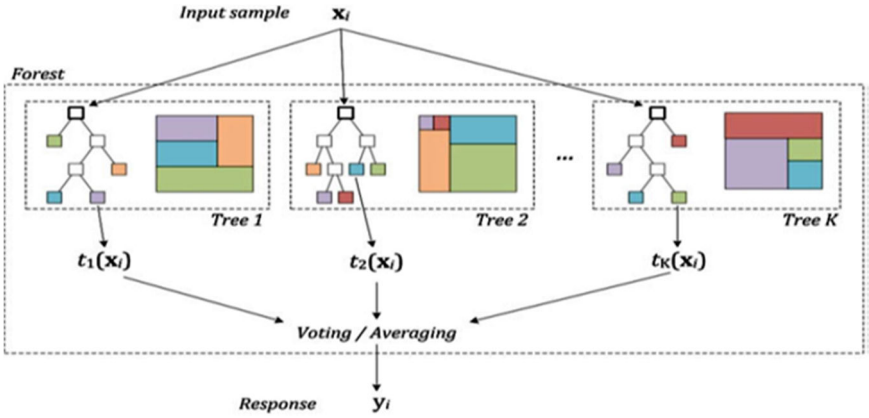
$$\widehat{f_i}(X) = \sum_{j=1}^{r_i} \hat{C}_j I_{R_{ij}}(X) \qquad (۲۳-۱)$$

که در آن $\hat{C}_j = \bar{y}_j$ و $I_{Rij}(X) = \begin{cases} 1 , & X \in R_{ij} \\ 0 , & X \notin R_{ij} \end{cases}$ می‌باشد

از آنجایی که در روش RF تعداد n_{tree} درخت رگرسیونی وجود دارد، بنابراین می‌توان گفت که تعداد n_{tree} مدل به صورت معادله‌ی (۱-۲۴) خواهیم داشت. هنگامی که داده‌های جدید $T_{test} = \{X_k\}$ به جنگل ارائه می‌شود. هر داده x_k همزمان در تمامی درخت‌ها پخش شده و با گذر از گره‌های میانی به گره نهایی خواهد رسید و میزان متغیر پاسخ برای این داده در مسائل رگرسیونی با میان‌گیری از مدل خروجی تمام درخت‌ها یعنی از رابطه (۱-۲۴) به دست می‌آید.

$$\hat{y}(x) = \frac{1}{n_{tree}} \sum_{i=1}^{n_{tree}} \hat{f}_i(x) \qquad (۲۴-۱)$$

در مسائل طبقه‌بندی احتمال تعلق به طبقه b در هر یک از درخت‌ها مقادیر متفاوتی را اختیار خواهد کرد که طبقه‌بندی نهائی داده با مکانیسم رأی‌گیری از نتیجه کلیه درخت‌ها صورت می‌گیرد. این فرآیند در شکل(۱-۵) نشان داده شده است [۲۷].



شکل(۱-۵)- مجموعه‌ای از درختان تصمیم‌گیری در یک مدل گروهی.

تنظیم پارامترهای آموزشی جنگل تصادفی

پارامترهای دخیل در میزان کارآیی و دقت الگوریتم RF عمدتاً عبارتند از تعداد درختان تصمیم‌گیری، تعداد متغیرهای مورد استفاده در هر گره و ماکزیمم تعداد مجاز مشاهدات باقیمانده در هر گره.

انتخاب مقادیر نامناسب برای تعداد متغیرهای طبقه‌بندی‌کننده می‌تواند به کاهش دقت منجر شود. زیرا با افزایش متغیرها احتمال استفاده از متغیرهای تکراری و در نتیجه تصمیم‌گیری‌های تکراری افزایش خواهد یافت. با وجود این تاکنون هیچ تحقیق معتبری روی تنظیم پارامترهای جنگل انجام نشده و تعیین آنها مطابق روابط پیش‌فرض صورت می‌گیرد [۲۷,۲۸].

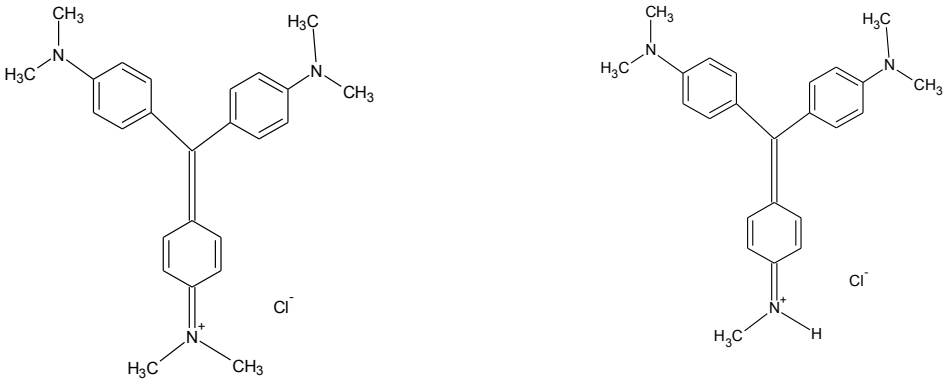
متداول‌ترین مقداری که برای تعداد متغیرها در مسائل طبقه‌بندی در نظر گرفته می‌شود برابر مجذور تعداد کل ویژگی‌ها است و در مسائل رگرسیون $\frac{1}{3}$ تعداد کل متغیرها لحاظ می‌شود. ماکزیمم تعداد مجاز مشاهده باقیمانده در هر گره در مسائل طبقه‌بندی به طور پیش فرض ۱ در نظر گرفته می‌شود یعنی هیچ دو داده‌ای در یک گره باقی نمی‌مانند و تصمیم‌گیری به سطح دیگر منتقل می‌شود و در مسائل رگرسیونی به طور پیش‌فرض این مقدار برابر با ۵ است [۲۸, ۳۰].

۱-۴- آلاینده‌های مورد مطالعه در این پژوهش

۱-۴-۱- متیل ویولت[1]

متیل‌ویولت (MV) یک ترکیب هتروسیکل و آروماتیک (شکل (۱-۶ الف))، از خانواده تری آریل متان‌ها با فرمول $C_{24}H_{28}N_3Cl$ و با جرم مولکولی ۳۹۳/۹۶ گرم بر مول می‌باشد. این ترکیب به طور گسترده‌ای در دامپزشکی به عنوان لکه بیولوژیکی[2] به کار می‌رود. همچنین می‌توان به استفاده‌ی این رنگ در رنگ‌آمیزی پشم و چرم و کاغذ اشاره کرد. متیل‌ویولت به عنوان مولکول سرکش[3] شناخته شده است. زیرا به ندرت دچار تخریب بیولوژیکی شده و در اکثر محیط‌ها مقاوم است. تجمع بیش از حد این رنگ در بافت‌های زنده مشکل‌ساز است. ورود این رنگ به دستگاه گوارش باعث تهوع و در مقادیر[4] بالاتر بسیار سمی، سرطانزا، آلرژی‌زا و باعث مشکلات پوستی می‌شود [۳۱]. لازم به ذکر است که کریستال‌ویولت[5] (شکل (۱-۶ ب)) با ساختاری بسیار نزدیک به متیل‌ویولت، خواص مشابهی را از خود نشان می‌دهد [۳۲, ۳۳].

الف ب

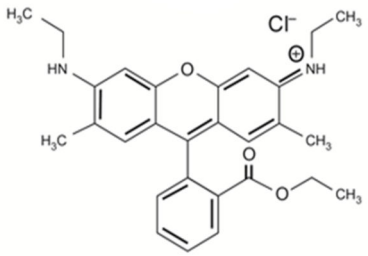


شکل(۱- ۶)- ساختار شیمیایی الف) متیل‌ویولت و ب)کریستال‌ویولت.

[1] -Methyl Violet
[2] - Biological Stain
[3] - Recalcitrant Molecule
[4] -Dose
[5] - Crystal violet

۱-۴-۲- رودامین ۶جی[1]

رودامین یک رنگ سنتزی کاتیونی محلول در آب، از سری رنگ‌های زانتن[2]، با فرمول مولکولی $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$ و جرم مولکولی ۴۷۹/۰۲ گرم بر مول می‌باشد. این ترکیب سنتزی (شکل (۱-۷)) به طور گسترده‌ای در صنایع نساجی جهت رنگ آمیزی پشم، کتان و ابریشم استفاده می‌شود. اگرچه فعالیت‌های سرطانزایی، جهش‌زایی و سمیت این ترکیب به اثبات رسیده است ولی به دلیل ارزان بودن و کارایی بالا هنوز در جوامع امروز به کار می‌رود [۳۴].

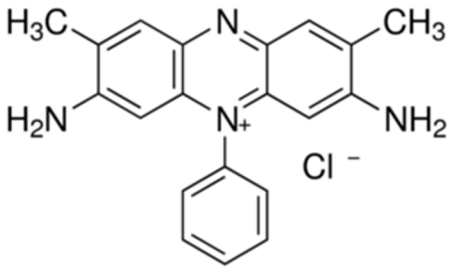


شکل(۱-۷)- ساختار شیمیایی رودامین ۶ جی.

۱-۴-۳- سافرانین[3]

سافرانین (شکل (۱-۸))، یک ترکیب هتروسیکل و آروماتیک با فرمول $C_{20}H_{19}N_4Cl$ و با جرم مولکولی ۳۵۰/۸۵ گرم بر مول می‌باشد. این رنگ آزین در دمای اتاق به صورت پودری جامد به رنگ قهوه‌ای است، اما با حل شدن در آب به رنگ قرمز در می‌آید. این رنگ آزین[4] برای رنگ‌آمیزی بافت‌های زنده نیز استفاده می‌شود. علاوه بر این‌ها جهت رنگ‌آمیزی کتان، چرم، پشم، کاغذ و ابریشم به کار برده می‌شود. سافرانین به دلیل آروماتیک بودن غالباً سمی و مقاوم در برابر تجزیه بیولوژیکی می‌باشد. این ترکیب می‌تواند حساسیت‌های پوستی، عفونت‌های چشمی و دردهای شکمی ایجاد کند [۳۵].

[1] - Rhodamine 6G
[2] Xanthene
[3] saffranin
[4] -azine



شکل (۱-۸)- ساختار شیمیایی سافرانین.

۱-۴-۴- متیلن‌بلو[1]

متیلن‌بلو (شکل۱-۹)، یک ترکیب هتروسیکل و آروماتیک به فرمول $C_{16}H_{18}N_3ClS$ و با جرم مولکولی ۳۱۹/۸۵ گرم بر مول می‌باشد. اولین بار در سال ۱۸۷۶ توسط یک شیمیدان آلمانی کشف شد. این رنگ تیاآزین به طور وسیع به عنوان شناساگر واکنش‌های اکسایش و کاهش در شیمی تجزیه کاربرد دارد و در حالت های اکسید یا احیاء شده دارای رنگ‌های مختلف (آبی/ بی رنگ) می‌باشد و به علت حساسیت بالا و گستره دینامیکی خطی وسیع برای اندازه‌گیری اسپکتروفتومتری مقادیر ناچیز برخی فلزات استفاده می‌شود. متیلن بلو برای رنگ آمیزی بافت ها نیز استفاده می‌شود. علاوه بر این‌ها جهت رنگ آمیزی کتان، پشم، کاغذ و ابریشم به کار برده می‌شود. این ترکیب به دلیل آروماتیک بودن غالباً سمی، مقاوم در برابر تجزیه بیولوژیکی، سرطانزا و جهش زا می‌باشد[۳۶].



شکل (۱-۹)- ساختار شیمیایی متیلن‌بلو.

علیرغم اهمیت این رنگ‌ها، حضور این مواد در محیط حتی در مقادیر ناچیز، نامطلوب بوده و تهیه جاذب‌های ارزان قیمت و در عین حال دارای ظرفیت جذب بالا جهت حذف این مواد امری

[1] -Methylen blue

اجتناب‌ناپذیر است. در این راستا اگر چه حذف این رنگ‌ها به صورت تک با استفاده از جاذب‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته، ولی تاکنون هیچ گزارشی مبنی بر حذف همزمان رنگ‌های ذکر شده در سیستم دوتایی با جاذب‌های پیشنهاد شده ارائه نشده است. این در حالی است که معمولاً در صنایع مرتبط با رنگ از جمله نساجی، جوهر، نقاشی و غیره بسیاری از رنگ‌ها از طریق مخلوط نمودن چند ماده رنگی تولید می‌گردند. در نتیجه فاضلاب خروجی از این صنایع حاوی چندین رنگ متفاوت به عنوان آلاینده می‌باشد. بنابراین تهیه جاذب‌هایی که دارای ظرفیت جذب مناسب برای چندین رنگ باشند، امری ضروری است.

در سیستم‌هایی که شامل مخلوطی از چند رنگ می‌باشند، محدودیت اصلی تعیین دقیق غلظت رنگ‌ها به خاطر همپوشانی پیک‌های مخلوط است. از جمله تکنیک‌هایی که برای رفع این مشکل به کار می‌رود، روش اسپکتروفتومتری مشتقی، روش تفاضل نسبی بسط داده شده (EXRSM)، روش کم کردن نسبی همزمان (SRSM) (به عنوان روش‌های کالیبراسیون تک متغیره) و روش حداقل مربعات جزئی (PLS) (به عنوان روش کالیبراسیون چند متغیره) می‌باشد.

فصل دوم
بخش تجربی

۲-۱- مواد شیمیایی، دستگاهها و محلول‌های مورد نیاز

۲-۱-۱- مواد شیمیایی به کار رفته در پژوهش

مواد مورد نیاز در این تحقیق دارای درجه‌ی خلوص تجزیه‌ای بوده و در تهیه‌ی تمام محلول‌ها از آب تقطیر شده استفاده گردید. کلیه مواد مورد استفاده در جدول (۲-۱) آورده شده است.

جدول (۲-۱) - فهرست مواد شیمیایی مورد استفاده

ماده	فرمول شیمیایی	شرکت
متیل ویولت	$C_{24}H_{28}N_3Cl$	مرک
رودامین	$C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$	مرک
سافرانین	$C_{20}H_{19}N_4Cl$	مرک
کریستال ویولت	$C_{25}N_3H_{30}Cl$	مرک
متیلن بلو	$C_{16}N_3H_{18}SCl$	مرک
سدیم کلرید	$NaCl$	مرک
ایزوپروپیلیدن مالونات[1]	$C_6H_8O_4$	مرک
پتاسیم نیترات	KNO_3	مرک
سرب نیترات	$Pb(NO_3)_2$	مرک
سدیم هیدروکسید	$NaOH$	مرک
هیدروکلریک اسید	HCl	مرک
سدیم بیکربنات	$NaHCO_3$	مرک
آهن (III)کلرید ۶ آبه	$FeCl_3.6H_2O$	مرک
آهن (II) سولفات ۷ آبه	$FeSO_4.7H_2O$	مرک
آمونیاک	NH_3	مرک
اتانول	C_2H_5OH	بیدستان ایران
سدیم دودسیل سولفات	$NaC_{12}H_{25}SO_4$	مرک
مایع ظرفشویی پریل	———	هنکل پاک وش

[1] - Isopropylidene malonate

۲-۱- ۲- دستگاه‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

- جهت ثبت طیف ماوراء بنفش- مرئی از اسپکتروفتومتر دو پرتویی ریلی[۱] مدل UV-۲۶۱۰ با یک جفت سل کوارتز ۱/۰ سانتی‌متری استفاده شد.
- تعیین غلظت محلول سرب با اسپکتروفتومتر جذب اتمی (Shimadzu model AA-670) مجهز به شعله هوا- استیلن با سر مشعل به طول ۱۰/۰ سانتی‌متر و لامپ کاتدی توخالی سرب انجام شد.
- اندازه‌گیری‌های pH به وسیله‌ی دستگاه pHمتر متراهم[۲] مدل ۷۴۴ انجام گرفت.
- جهت توزین مواد از ترازوی سارتریوس[۳] مدل S 200 A با دقت ۰/۱ میلی‌گرم استفاده شد.
- از حمام آبی، دماسنج و گرمکن[۴] (HeidolpH) جهت تنظیم و تثبیت دما استفاده شد.
- پودر کردن پوست گردو با آسیاب گلوله‌ای[۵] مدلNARYA-MPM 2×250H انجام شد.
- جهت تسریع در ته نشینی جاذب از یک سانتریفوژ (مدل EBA Hetich) استفاده گردید.
- خشک کردن نمونه‌های سنتز شده با آون حرارتی ممرت[۶] مدل UNB 400 انجام شد.
- جهت جداسازی جاذب مغناطیس شده از محلول، آهنربا با قدرت ۱/۲ تسلا استفاده گردید.
- طیف‌های پراش پرتو X به وسیله‌ی دستگاه فیلیپس[۷] مدل PW-1800 STOE ثبت شدند.
- طیف FT-IR مربوط به جاذب‌های تهیه شده به وسیله دستگاه اسپکترومتر (WQF-520) در ناحیه‌ی عدد موجی cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰ ثبت شد.
- جهت بررسی ساختار نمونه‌های سنتز شده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (MIRATESCA) استفاده شد.

---

[1]- Rayleigh
[2]- Metrohm
[3]- Sartorius
[4] - Heater
[5] -Ball mill
[6]- Memmert
[7]- Philips

- مطالعات BET جهت تعیین میزان تخلخل و مساحت سطح جاذب‌های تهیه شده، با استفاده از سیستم جذب گاز (Belsorb- Max, BEL, Japan Inc) انجام شد.
- برنامه مربوط به شبکه عصبی پیشخور، جنگل تصادفی و روش حداقل مربعات جزئی در محیط نرم‌افزار متلب نوشته شد و روش رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از نرم‌افزار آماری ۲۰ spss انجام شد. طراحی آزمایش نیز با استفاده از نرم‌افزار ۱۸ Minitab انجام شد.

۲-۱-۳- تهیه محلول‌ها

الف- تهیه‌ی محلول ۰/۴۰۰۰ گرم بر لیتر آلاینده

جهت تهیه‌ی این محلول‌ها، ۰/۱۰۰۰ گرم از آلاینده (متیل‌ویولت، رودامین، سافرانین، متیلن-بلو یا کریستال‌ویولت) به طور جداگانه به یک بالن حجمی ۲۵۰/۰ میلی‌لیتری منتقل گردید. سپس با اضافه کردن اندکی اتانول و آب مقطر حل گردید و بالن تا خط نشانه به حجم رسانده شد. همچنین جهت تهیه محلول ۱/۰۰۰ گرم بر لیتر نسبت به سرب، مقدار ۰/۱۶۰۰ گرم از نمک سرب نیترات توزین و پس از حل کردن در بالن ۱۰۰/۰ میلی‌لیتری به حجم رسانده شد.

ب- تهیه‌ی محلول‌های سدیم هیدروکسید

برای ساخت محلول مادر ۱/۰ مولار سدیم هیدروکسید، ۴/۰ گرم سدیم هیدروکسید در یک بالن حجمی ۱۰۰/۰ میلی‌لیتری حل و با آب مقطر به حجم رسانده شد. محلول‌های ۰/۱۰ و ۰/۰۱۰ مولار سدیم هیدروکسید با رقیق‌سازی از محلول مادر تهیه گردید.

ج- تهیه‌ی محلول‌های ۰/۱۰ و ۰/۰۱۰ مولار هیدروکلریک اسید

جهت تهیه‌ی محلول ۰/۱۰ مولار هیدروکلریک اسید، ابتدا محلول مادر ۱/۰مولار اسید تهیه گردید. برای ساخت محلول ۱/۰مولار، ۸/۳ میلی‌لیتر از اسید غلیظ در یک بالن حجمی ۱۰۰/۰

میلی‌لیتری با آب مقطر به حجم رسانده شد و سپس با استفاده از محلول سدیم کربنات استاندارد گردید. محلول‌های ۰/۱۰ و ۰/۰۱۰ مولار اسید، با رقیق‌سازی از محلول مادر تهیه شد.

د- تهیه محلول۰/۱۰۰۰ مولار پتاسیم نیترات

جهت تهیه این محلول مقدار۵/۰۵۵۰ گرم پتاسیم نیترات به بالن ۵۰۰/۰ میلی‌لیتری منتقل و پس از حل کردن نمک در آب، بالن تا خط نشانه با آب مقطر به حجم رسانده شد.

۲-۲- کاربرد پوست گردو مغناطیس شده برای حذف رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین از محلول‌های تک‌جزئی و دو جزئی

همانطور که در بخش مقدمه اشاره شد، به منظور کاهش هزینه‌های فرایند تصفیه پساب امروزه به کاربرد جاذب‌های ارزان قیمت با ظرفیت جذب بالا توجه ویژه‌ای شده است. در این راستا مطالعات زیادی بر روی پسماندهای کشاورزی شده است [۴,۱۲]. یکی از این پسماندهای ارزان قیمت و در دسترس پوست گردو می‌باشد. ایران با تولید سالانه ۲۹۰۰۰۰ تن گردو مقام چهارم تولید گردو را در جهان دارد [۳۷]. بنابراین پوست گردو همواره به عنوان یکی از ضایعات جانبی کشاورزی مطرح بوده و بسیار مناسب می‌باشد که به عنوان یک جاذب ارزان قیمت برای حذف آلاینده‌ها استفاده شود. از مهم‌ترین ویژگی این ترکیب می‌توان به مساحت سطح بالا، پایداری شیمیایی مناسب آن اشاره کرد. پوست گردو برای حذف رنگ‌های مالاشیت گرین[1] و لاناست رد[2] از محلول‌های تک‌جزئی به کار رفته است [۳۸,۳۹]. یک مسأله‌ای که در هنگام کاربرد این جاذب ارزان قیمت وجود دارد، جداسازی جاذب به همراه جذب شونده از محلول می‌باشد. جداسازی معمولاً با استفاده از فیلتر یا سانتریفیوژ

[1] Malachite green
[2] Lanaset red

انجام می‌شود که اغلب وقت‌گیر بوده و احتمال هدر رفت فاز جامد یا مسدود شدن فیلترها وجود دارد[۴۰]. فیلتراسیون مغناطیسی به عنوان یک روش جایگزین در این سال‌ها مورد توجه قرار گرفته است. جاذب‌های ارزان قیمت مغناطیس شده (که شامل عناصر مغناطیس همچون آهن، نیکل، کبالت و اکسیدهای آنها می‌باشند)، می‌توانند آلاینده را جذب کرده و سپس با استفاده از یک میدان مغناطیسی خارجی از محلول جدا شوند (حتی اگر فاز جامد دارای غلظت بالایی باشد) [۴۱]. به دلیل روش سنتز آسان، هزینه پایین و سازگاری با محیط زیست از میان نانوذرات مغناطیسی، نانوذرات مغناطیسی آهن (مگنتیت[۱] و ماگمیت[۲]) بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش نیز از نانوذرات مغناطیسی آهن استفاده شده است. بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای انجام شده تاکنون هیچ مطالعه‌ای جهت بررسی کارایی کامپوزیت پوست گردوی مغناطیس شده برای حذف آلاینده‌های رنگی از محلول‌های تک‌جزئی یا چند جزئی و مدل‌سازی فرایند جذب آن‌ها با استفاده از روش‌های محاسباتی انجام نشده است و این تحقیق برای اولین بار صورت گرفته است.

به طور کلی اهداف کار تحقیقاتی حاضر به شرح زیر می‌باشد:

۱- سنتز کامپوزیت مغناطیسی پوست گردو به روش همرسوبی و مشخصه‌یابی آن با استفاده از روش‌های مختلف همچون آنالیز FT-IR، میکروسکوب الکترونی روبشی[۳] (SEM)، پراش اشعه X [۴]

۲- ارزیابی قابلیت کاربرد جاذب تهیه شده برای حذف دو رنگ کاتیونی متیل‌ویولت و رودامین (که به ترتیب مربوط به تری آریل متان‌ها و زانتن‌ها می‌باشند) از محلول‌های آبی و مطالعه اثر پارامترهای آزمایشگاهی مؤثر بر میزان حذف رنگ‌های بیان شده.

۳- ارزیابی قابلیت کاربرد مدل‌های خطی و غیرخطی (همچون رگرسیون خطی چندگانه، جنگل تصادفی و شبکه عصبی مصنوعی) برای پیش‌بینی کارایی حذف رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین بر روی جاذب اصلاح شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت.

---

[1]- Magnetite

[2] - Maghemite

[3] -Scaning Electron Microscopy (SEM)

[4] - X- Ray Diffraction (XRD)

۴- بررسی ایزوترم، سینتیک و ترمودینامیک فرایند جذب

۵- ارزیابی قابلیت بازیابی جاذب پیشنهاد شده.

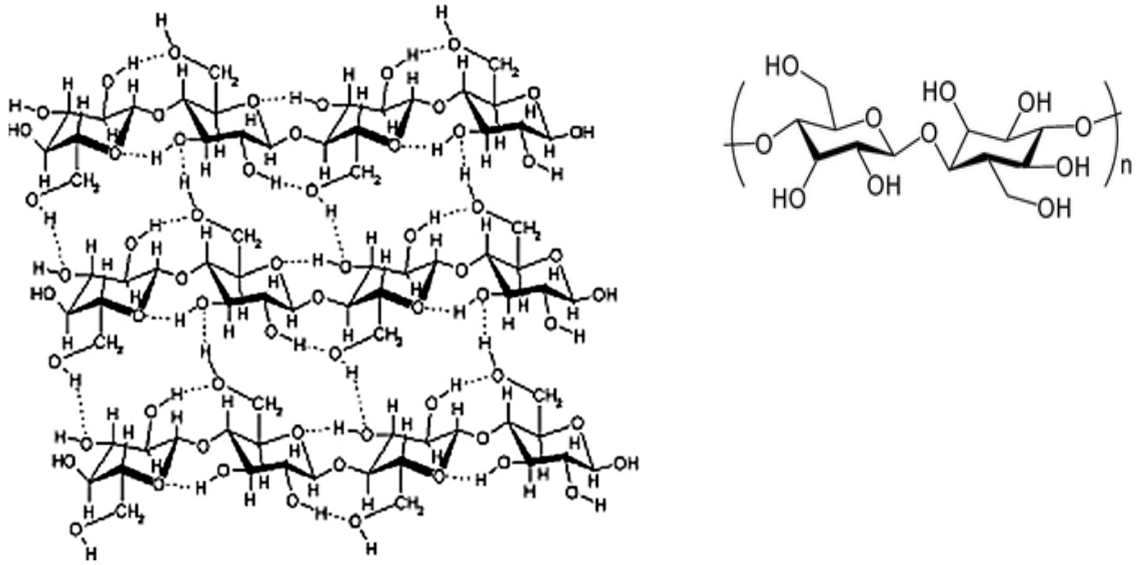
۶- ارزیابی عملکرد جاذب تهیه شده برای حذف همزمان متیل‌ویولت و رودامین از سیستم‌های دو جزئی.

۲-۲-۱- فعال کردن پوست گردو

پوست گردو همانند دیگر پسماندهای کشاورزی عمدتاً شامل سلولز، همی‌سلولز، و لیگنین[۱] می‌باشد [۴,۱۲]. همانطور که در شکل (۲-۱ الف) نشان داده شده است، یکی از گروههای عاملی موجود در سلولز گروه هیدروکسیل می‌باشد. وجود این گروههای عاملی می‌تواند این پسماندها را به عنوان کاندید جهت استفاده به عنوان جاذب مطرح کند. ولی در اغلب پسماندهای کشاورزی به دلیل برهم‌کنش این گروه‌ها با مواد آلی و معدنی (از طریق پیوند هیدروژنی درون مولکولی یا بین مولکولی)، اغلب غیرفعال هستند (شکل (۲-۱ب)). لیگنین موجود در ساختار، خود نیز یک مانع جدی برای استفاده از این ترکیبات به عنوان جاذب می‌باشد. زیرا لیگنین به عنوان یک ماتریس استحکام دهنده[۲] بین فیبرهای سلولزی و مولکول‌های همی‌سلولزی عمل می‌کند [۴۲]. همچنین به دلیل مواد آلی محلول در آب که در خود پسماندهای کشاورزی وجود دارد، اگر از پسماندهای کشاورزی به صورت خام[۳] و بدون تیمار به عنوان جاذب استفاده شود، آب تصفیه شده حاصل از این پساب نرخ مصرف اکسیژن شیمیایی[۴] و بیولوژیکی[۵] و نیز مقدار کربن[۶] بالایی دارد [۴۳].

[1] -Lignin
[2] -Cementing matrix
[3] - Raw
[4] - Chemical oxygen demand (COD)
[5] - Biologicaloxygen demand
[6] - Total carbon (TOC)

الف ب



شکل (۲-۱) – الف) ساختار سلولز، ب) نمایش پیوند هیدروژنی درون مولکولی در سلولز .

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای بهبود خواص سطحی آن‌ها و حذف ترکیبات آلی محلول موجود در پسماندهای کشاورزی استفاده از محلول سدیم هیدروکسید می‌باشد [۴۲ و۴۳]. بر اساس تحقیقات انجام شده، استفاده از سدیم هیدروکسید باعث می‌شود که تا حدودی پکتین[1]، چربی‌های طبیعی[2] و موم[3] از سطح فیبرهای سلولزی حذف شده و به موجب آن گروههای عاملی همچون هیدروکسیل بهتر در دسترس باشند [۴۲]. بدین دلیل پوست گردو نیز ابتدا توسط سدیم هیدروکسید فعال شد. با توجه به اینکه اغلب محققان غلظت سدیم هیدروکسید بهینه (۰/۱۰ مولار) را که توسط مارشال[4] و همکارانش گزارش شده بود، استفاده کردند [۴۳]، در این پژوهش نیز بدون بهینه‌سازی، غلظت سدیم هیدروکسید ۰/۱۰ مولار استفاده شد. روش کار بدین صورت بود که ابتدا پوست گردو با استفاده از آسیاب گلوله‌ای پودر گردید. برای استخراج ترکیبات آلی محلول از پوست گردو، ۲۰/۰ گرم از آن در ۲۰۰/۰ میلی‌لیتر محلول سدیم هیدروکسید ۰/۱۰ مولار در یک بشر در دمای اتاق برای مدت ۲۴ ساعت همزده شد تا سطح آن فعال شود. سپس مخلوط فوق صاف شده و در نهایت پوست گردو

[1] - Pectin
[2] - Natural fats
[3] - Wax
[4] -Marshal

فعال شده چندین بار با آب مقطر شستشو داده شد تا زمانی که محلول زیر صافی pH خنثی را نشان دهد. پارامترهای حاصل از جذب و واجذب فیزیکی نیتروژن و آنالیز BET شامل مساحت سطح، حجم حفرات کل، حجم میکرومتخلخل و میانگین قطر حفرات که در دمای ^{o}K ۷۷/۳ با استفاده از گاز نیتروژن به دست آمده، در جدول (۲-۲) گزارش شده است. بر اساس داده‌های این جدول بعد از فعال-سازی با سدیم هیدروکسید، مساحت سطح ویژه که بر اساس معادله برونوئر- امت- تلر[1] محاسبه گردیده است، تقریباً ۲/۳ برابر مساحت سطح پوست گردوی تیمار نشده است. همچنین میانگین قطر حفرات نیز افزایش یافته است که هر دو عامل باعث می‌شود که سطح تماس بیشتری برای جذب مولکول‌های رنگ فراهم شود. این نتایج با نتایج گزارش شده توسط دیگر محققان نیز کاملاً سازگار است [۴۲,۴۳].

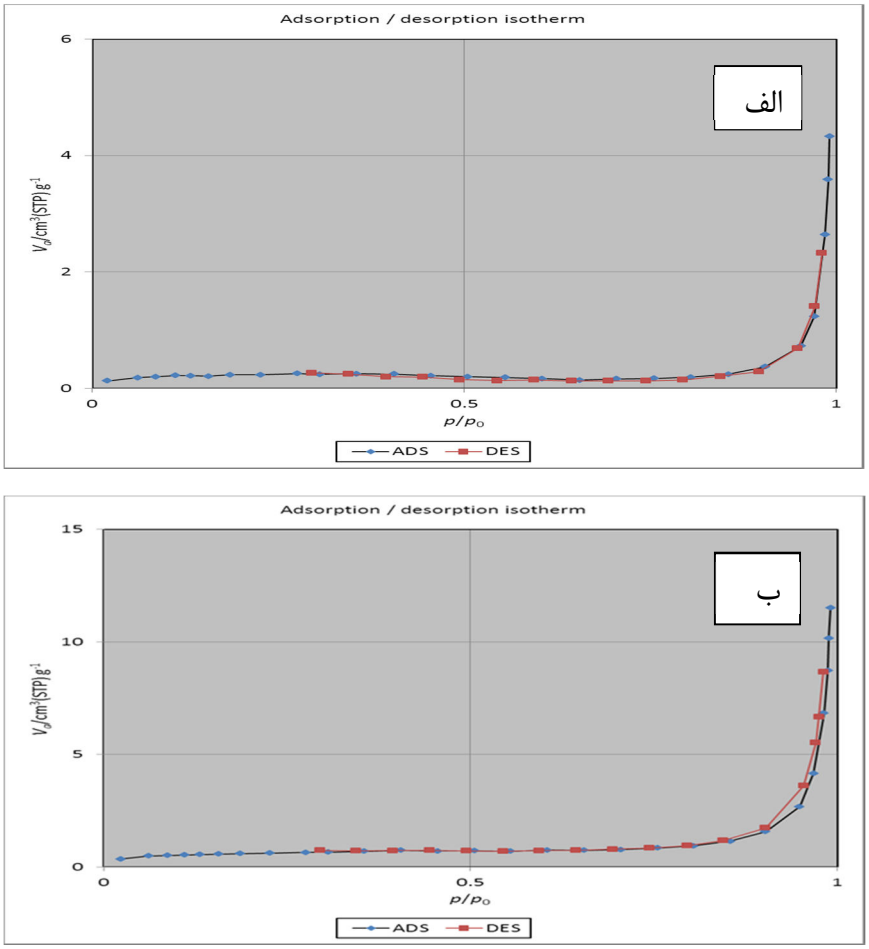
منحنی ایزوترم جذب و واجذب پوست گردو و پوست گردوی فعال شده با سدیم هیدروکسید در شکل (۲-۲) ارائه شده است. بر اساس تعریف آیوپاک[2]، ایزوترم جاذب تهیه شده، ایزوترم نوع IV می‌باشد. وجود حلقه هیسترسیس نشان‌دهنده متخلخل بودن جاذب است[۴۴]. بنابراین با توجه به این منحنی و میانگین قطر حفرات گزارش شده، جاذب پیشنهاد شده یک جاذب مزوپر می‌باشد [۴۴,۴۵]. باید اشاره کرد که در ترکیبات مزوپر، میانگین قطر حفرات بین ۵۰-۲ نانومتر می‌باشد.

جدول (۲-۲)- پارامترهای فیزیکوشیمیایی پوست گردو و پوست گردوی فعال شده با سدیم هیدروکسید.

جاذب	مساحت سطح ویژه $(m^2\ g^{-1})$	حجم حفرات مزوپر $(cm^3\ g^{-1})$	میانگین قطر حفرات(nm)	
پوست گردو	۰/۸۹۱	۰/۰۰۶	۲۶/۷۵	۰/۲۰۴
پوست گردوی فعال شده	۲/۰۹۵	۰/۰۱۷۱	۳۲/۶۴	۰/۴۸۱

[1] - Brunauer-Emmett-Teller (BET)

[2] - International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)



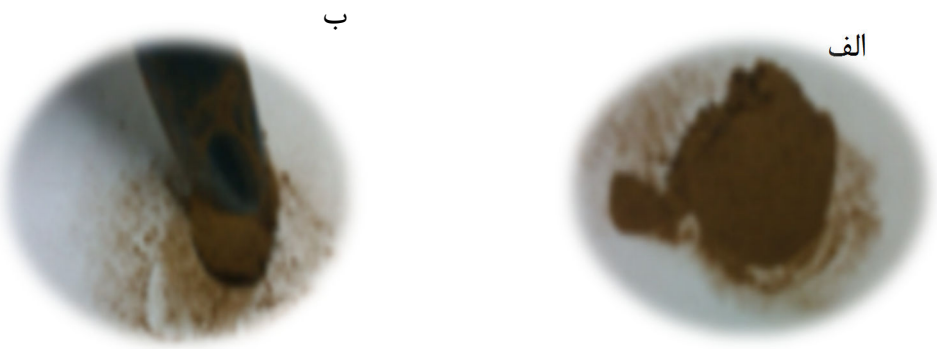
شکل (۲-۲)- منحنی همدمای جذب و واجذب نیتروژن الف) پوست گردو و ب) پوست گردوی فعال شده با سدیم هیدروکسید.

۲-۲-۲ - سنتز پوست گردو اصلاح شده با نانوذرات مغناطیسی آهن

اصلاح پوست گردو با نانوذرات مغناطیسی به روش همرسوبی درجا[1] با استفاده از Fe^{3+} و Fe^{2+} (با نسبت مولی ۲:۱) در حضور یک باز انجام شد[۴۶]. بر اساس این روش ۴/۲۴ گرم آهن(III) کلرید شش آبه ($FeCl_3.6H_2O$) و ۲/۱۶ گرم آهن(II) سولفات هفت آبه ($FeSO_4.7H_2O$) تحت جو نیتروژن در ۱۰۰/۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید. سپس ۱۰/۰ گرم پوست گردوی فعال شده به محلول اضافه گردید. در حالی که دمای محلول به ۸۰ درجه سانتیگراد رسیده بود، محلول ۲۵٪

[1]- In Situ Co-precipitation

آمونیاک در طی ۳۰ دقیقه قطره قطره به محلول اضافه شد (در طی این فرایند pH محلول به ۱۰/۵ رسید). پس از اضافه کردن آمونیاک برای اطمینان از رشد کامل نانوذرات، واکنش در همان دما به مدت ۳۰ دقیقه ادامه یافت. کامپوزیت مغناطیسی به دست آمده با استفاده از یک آهنربا از محلول جدا گردید و چندین بار با آب مقطر شسته شد تا مواد واکنش نداده، جدا شوند و pH محلول خنثی شود. در نهایت نیز در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شده و برای استفاده در آزمایش‌های بعدی در ظرف پلی‌اتیلنی نگهداری شد. خاصیت مغناطیسی جاذب تهیه شده با استفاده از یک آهنربا امتحان شد که طبق شکل (۲-۳) جاذب به سرعت جذب آهنربا گردید.



شکل (۲-۳)- الف- کامپوزیت پوست گردوی مغناطیس شده ، ب- جذب کامپوزیت مغناطیس شده توسط آهنربا.

واکنش شیمیایی که منجر به تولید نانوذرات مغناطیسی می‌شود، در زیر نشان داده شده است.

$$FeSO_4.7H_2O + 2FeCl_3.6H_2O + 8NH_4OH \rightarrow Fe_3O_4(S) + 6NH_4Cl + (NH_4)_2SO_4 + 17H_2O$$
$$Fe_3O_4(s) + WNS(s) \rightarrow Fe_3O_4 - WNS(s)$$

باید به این نکته اشاره کرد که در معادله‌ی بالا WNS [1] اشاره به پوست گردو دارد.

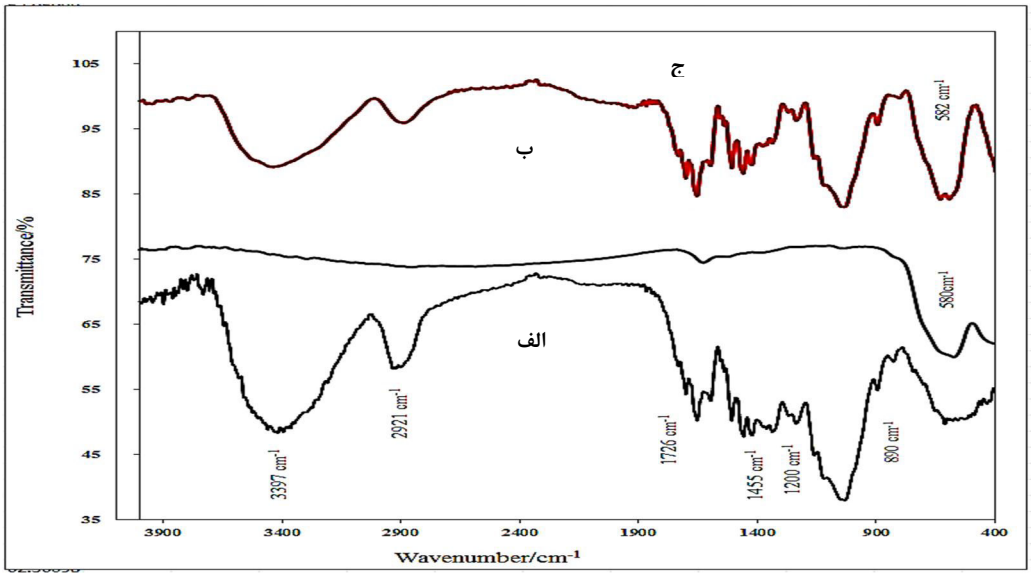
مراحل سنتز نانوذرات آهن مشابه فرایند ذکر شده در بالا بود. با این تفاوت که در اینجا سنتز بدون حضور پوست گردو انجام شد.

[1] -Walnut shell

۲-۲-۲- ۱- مشخصه‌یابی

الف- آنالیز *FT-IR*

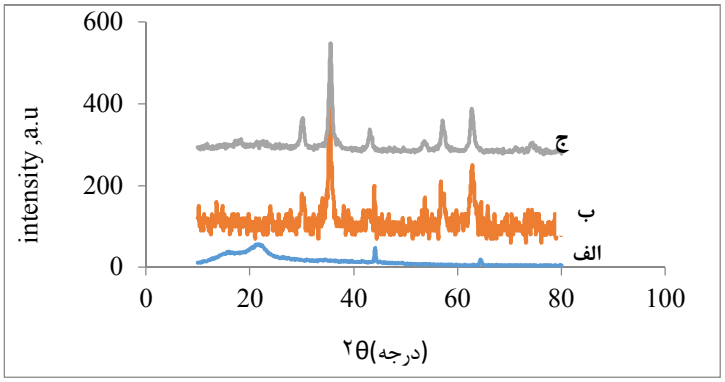
طیف‌های FT-IR مربوط به پوست گردو، Fe_3O_4 و کامپوزیت پوست گردو- Fe_3O_4 در شکل (۲-۴) نشان داده شده است. در شکل (۲-۴ الف) پیک پهن در ناحیه حدود $۳۳۹۷cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش کششی گروههای O–H موجود در سلولز می‌باشد [۴۸-۴۶]. پیک مشاهده شده در ناحیه cm^{-1} ۲۹۲۱ مربوط به ارتعاش کششی گروههای C–H متیل و متیلن است که ارتعاش خمشی درون صفحه‌ای آنها در ناحیه‌ی cm^{-1} ۱۴۵۴ قرار دارد [۴۷,۴۹]. پیک موجود در $۱۷۲۶cm^{-1}$مؤید حضور گروه C=O در پوست گردو می‌باشد [۳۹]. پیک‌های ناحیه ۱۰۰۰ تا cm^{-1} ۱۳۰۰به ارتعاش کششی C-O در کربوکسیلیک اسیدها و الکل‌ها مربوط می‌شود [۳۴]. پیک ناحیه cm^{-1} ۸۹۰ مربوط به ارتعاش خمشی بیرون صفحه‌ای پیوند C-H حلقه‌های بنزنی لیگنین است [۳۹,۵۱]. در شکل (۲-۴ب) پیک موجود در ناحیه cm^{-1} ۵۸۰ مربوط به ارتعاش پیوند Fe–O نانوذرات Fe_3O_4 می‌باشد [۳۴,۵۱]. این پیک همانطور که در شکل (۲-۴ ج) مشاهده می‌شود، بر روی بستر پوست گردوی اصلاح شده با نانوذرات مغناطیسی نیز رؤیت می‌شود.



شکل (۲-۴) - طیف‌های FT-IR الف- پوست گردو ب- نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 و ج- کامپوزیت پوست گردو- Fe_3O_4

ب - آنالیز *XRD*

پیک‌های پهن مشاهده شده در ناحیه‌ی ۲θ برابر با ۲۲-۱۵درجه (شکل (۲-۵ الف)) ماهیت آمورف پوست گردو را آشکار می‌کند که به خاطر حضور سلولز، همی‌سلولز و لیگنین در ساختار پوست گردو می‌باشد [۵۲]. در حالی که در شکل (۲-۵ ب) پیک‌های مشخصه در ۲θ برابر با ۳۰/۱۲، ۳۵، ۴۳، ۵۷/۲ و ۶۲/۷۷ درجه نشان‌دهنده ساختار اسپینل مکعبی[1] نانوذرات مغناطیسی آهن می‌باشد [۵۱,۵۳]. این پیک‌ها در شکل (۲-۵ ج) نیز قابل رویت است که تأییدکننده سنتز موفقیت‌آمیز کامپوزیت تهیه شده است.



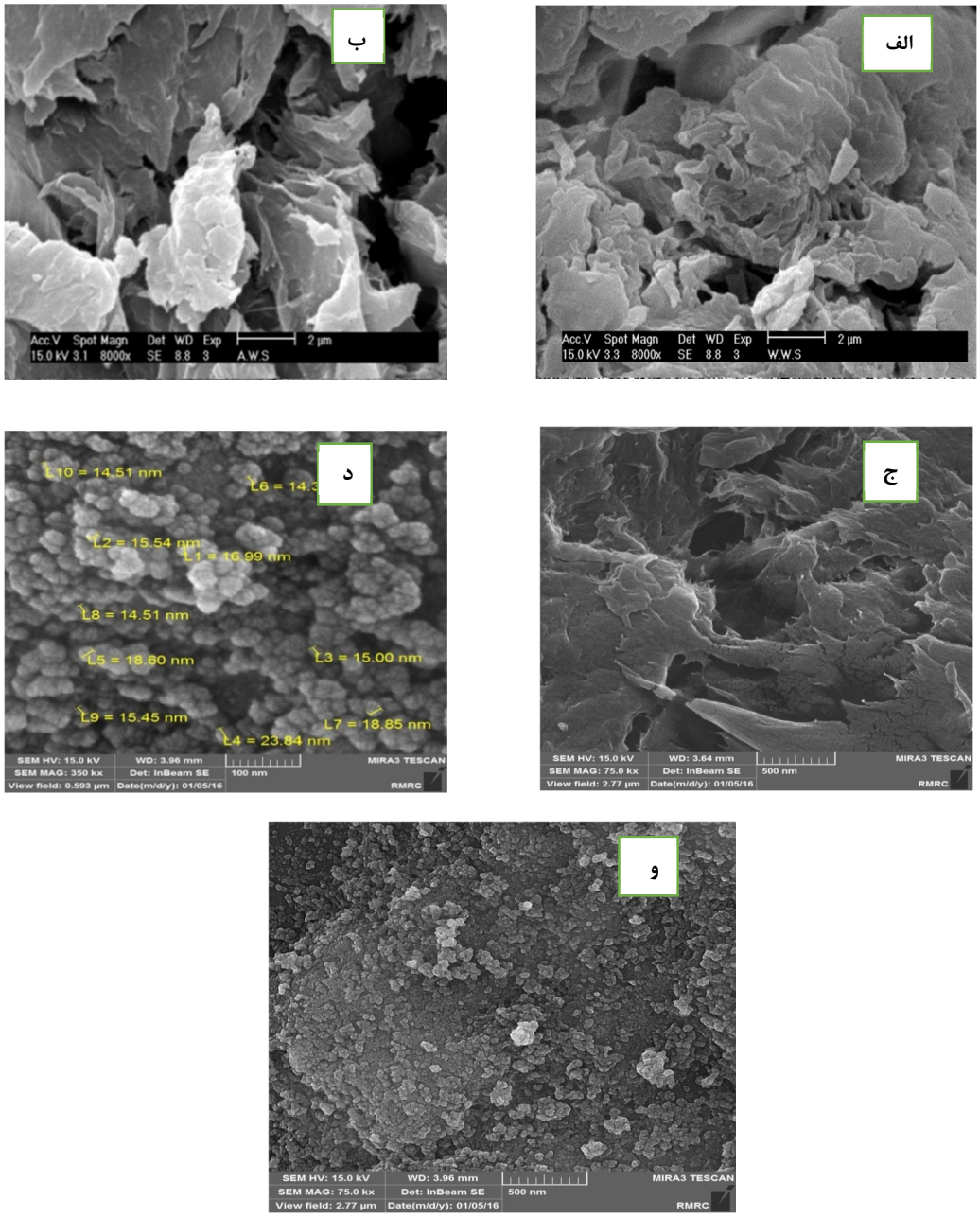
شکل (۲-۵) - طیف‌های XRD الف- پوست گردو ب- نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 و ج- کامپوزیت پوست گردو- Fe_3O_4

ج- آنالیز *SEM* و *FESEM*

به منظور بررسی تغییرات در مورفولوژی سطح، تصاویر SEM از سطح پوست گردو، پوست گردوی فعال شده و همچنین تصاویر FESEM از پوست گردوی فعال شده، Fe_3O_4 و کامپوزیت پوست گردو- Fe_3O_4 ثبت گردید که نتایج در شکل (۲-۶) نشان داده شده است. همانطورکه تصاویر SEM نشان می‌دهد پوست گردو دارای حفراتی در سطح می‌باشد. این حفرات مکان‌های مناسبی برای گیراندازی مولکول‌های رنگ می‌باشد. بعد از فعال شدن پوست گردو سایز حفرات افزایش یافته است (شکل (۲-۶ ب)). بنابراین احتمال به دام افتادن مقدار بیشتری آلاینده وجود دارد. تصویر FESEM (شکل (۲-۶ ج)) نیز بار دیگر تأییدکننده وجود حفرات در سطح پوست گردوی فعال شده می‌باشد.

[1] - Cubic spinal structure

همچنین شکل (۲-۶ د) نشان می‌دهد که متوسط سایز نانو ذرات تولید شده ۱۶/۵ نانومتر است. این نانو ذرات با موفقیت بر روی سطح پوست گردو قرار گرفته‌اند (شکل۲-۶ و).



شکل (۲-۶) - تصاویر SEM الف- پوست گردو (مقیاس: ۲میکرومتر) ب- پوست گردوی فعال شده با سدیم هیدروکسید(مقیاس: ۲میکرومتر) ج- FESEM پوست گردوی فعال شده با سدیم هیدروکسید (مقیاس: ۵۰۰ نانومتر) د- FESEM نانوذرات مغناطیسی (مقیاس: ۱۰۰ نانومتر) Fe_3O_4 و- FESEM کامپوزیت پوست گردو- Fe_3O_4 (مقیاس: ۵۰۰ نانومتر)

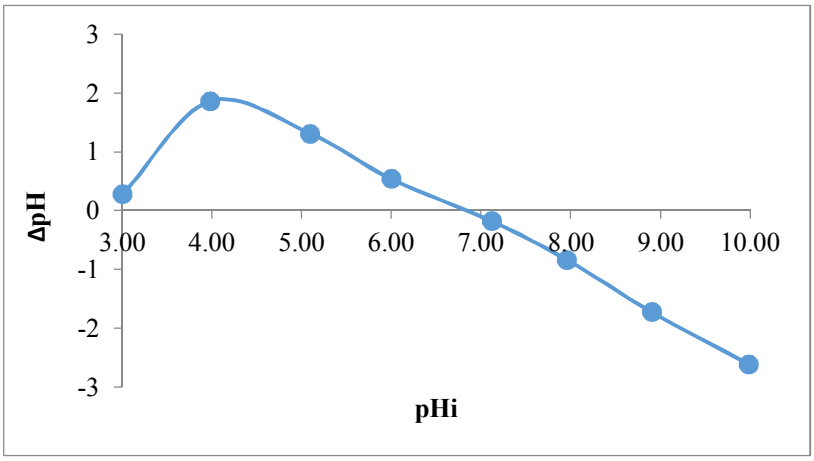
۲-۲-۲-۲-pH نقطه بار صفر جاذب[1] (pH_{zpc})

pH در نقطه بار صفر به pHای گفته می‌شود که در آن مجموع بارهای مثبت با مجموع بارهای منفی روی سطح جاذب با هم برابر است [۴۳]. در pH کمتر از pH_{zpc} بار سطح جاذب مثبت بوده و در pH بیشتر از pH_{zpc} بار سطح جاذب منفی می‌باشد و در pH_{zpc} نیز بار سطح جاذب صفر می‌باشد. در واقع مقدار این ویژگی جاذب کمک می‌کند تا بتوان بار سطح جاذب را در pHهای مختلف پیش‌بینی کرد. برای تعیین pH_{zpc} از روش جابجایی pH [۵۴]، استفاده گردید. بدین منظور ۰/۰۴۵۰ گرم از جاذب تهیه شده به درون بالن‌هایی که شامل ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول پتاسیم نیترات (با غلظت ۰/۱۰ مولار) بود، اضافه شد. pH این محلول‌ها با استفاده از هیدروکلریک اسید یا سدیم هیدروکسید در محدوده‌ی pH بین ۳/۰ تا ۱۰/۰ تنظیم شد. محلول‌های حاصل به مدت ۶ ساعت همزده شد. بعد از گذشت این مدت زمان مجدداً pH محلول‌ها اندازه‌گیری شد (جدول (۲-۳)). سپس نمودار تغییرات pH (ΔpH (pH_f–pH_i)) برحسب pH اولیه‌ی محلول ترسیم شد (شکل (۲-۷)). نقطه‌ای که در آن ΔpH برابر صفر شد، به عنوانpH_{zpc} در نظر گرفته شد. در این مطالعه همانطور که در شکل (۲-۷) مشخص است، pH_{zpc} برابر ۶/۸ می‌باشد. در بررسی‌های انجام شده توسط دیگر محققان در اصلاح جاذب‌های طبیعی که با نانوذرات مغناطیسی آهن اصلاح شده بودند، نیز pH_{zpc} گزارش شده بسیار نزدیک به مقدار به دست آمده در این آزمایش، می‌باشد [۵۱, ۵۵].

جدول(۲-۳)- تغییرات pH ۵/۰۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۰/۱۰ مولار پتاسیم نیترات و ۰/۰۴۵۰گرم جاذب

pH اولیه(pH_i)	pH نهایی (pH_f)	تغییرات pH(ΔpH)
۳/۰	۳/۳	۰/۳
۳/۹	۵/۸	۱/۹
۵/۱	۶/۴	۱/۳
۶/۰	۶/۵	۰/۵
۷/۱	۶/۹	-۰/۲
۷/۹	۷/۱	-۰/۸
۸/۹	۷/۲	-۱/۷
۹/۹	۷/۴	-۲/۵

[1] - zero point charge



شکل (۲-۷)- تعیین نقطه بار صفر (pH_{zpc}) کامپوزیت مغناطیسی پوست گردو.

۲-۲-۳- بررسی کارایی جاذب پوست گردو مغناطیس شده جهت حذف رنگ از محلول‌های تک‌جزئی

به عنوان یک آزمایش کیفی جهت بررسی این که آیا کامپوزیت مغناطیسی تهیه شده توانایی جذب رنگ‌های کاتیونی متیل‌ویولت و رودامین را از محلول‌های آبی دارد، یا خیر، مقدار ۰/۰۲۵۰ گرم از جاذب تهیه شده را به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول که نسبت به هر یک از رنگ‌های ذکر شده۵/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود، اضافه گردید و میزان کاهش شدت رنگ بعد از ۲۰ دقیقه به طور چشمی بررسی شد. نتایج ((شکل ۲-۸))، نشان داد که جاذب تهیه شده کارایی مناسبی در جذب رنگ‌های مورد نظر دارد.



شکل (۲-۸)- الف- محلول ۵/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر یک از رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین، ب- افزایش ۰/۰۲۵۰ گرم جاذب در pH =۷/۰ و جداسازی جاذب بعد از گذشت ۲۰ دقیقه.

۲-۲-۴- روش کار در بررسی پارامترهای مؤثر بر کارایی جاذب پوست گردو مغناطیس شده جهت حذف رنگ از محلول‌های تک‌جزئی

برای بررسی دقیق کارایی جاذب تهیه شده، پارامترهای مؤثر بر کارایی فرایند جذب که شامل pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه رنگ، زمان تماس، قدرت یونی و دما بودند، مورد بررسی قرار گرفتند. روش کار بدین صورت بود که مقدار مشخصی از جاذب به یک ارلن که حاوی۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول رنگ با غلظت مشخصی بود، اضافه گردید. پس از تنظیم pH (با استفاده از هیدروکلریک اسید یا سدیم هیدروکسید رقیق) محلول در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد همزده شد. سپس در فاصله‌های زمانی معین، توسط یک آهنربای مغناطیسی جاذب به سرعت از محلول جدا شده و غلظت رنگ در محلول به صورت اسپکتروفتومتری و با استفاده از منحنی کالیبراسیون (جدول (۲-۴) و شکل (۲-۹)) که در طول موج ماکزیمم هر یک از رنگ‌ها (۵۸۴ نانومتر برای متیل‌ویولت و ۵۲۶ نانومتر برای رودامین) به دست آمده بود، تعیین گردید.

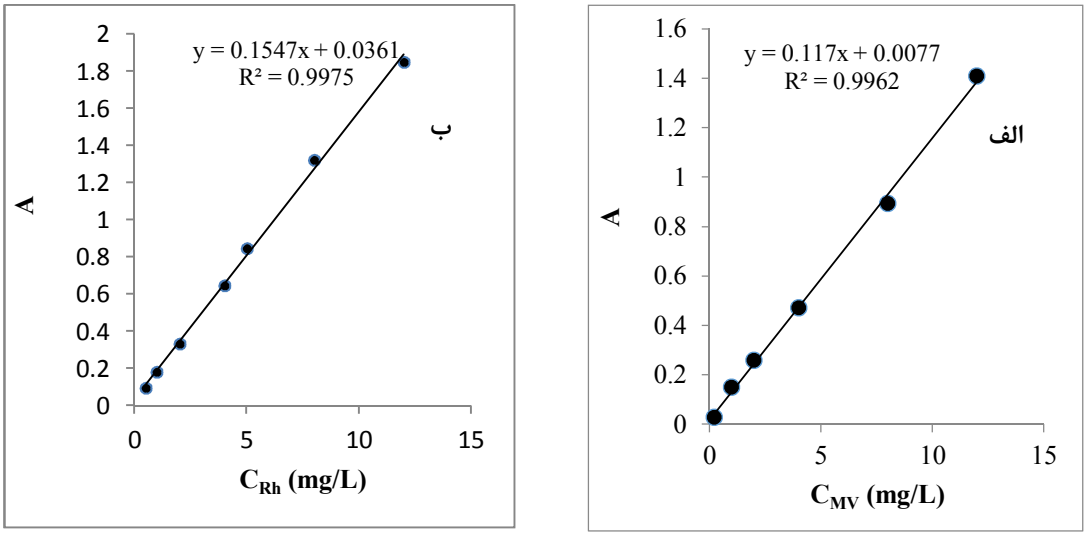
جدول (۲-۴)- اطلاعات مربوط به نمودار کالیبراسیون الف- متیل‌ویولت در طول موج ۵۸۴ نانومتر ، ب- رودامین در طول موج ۵۲۶ نانومتر.

الف

غلظت متیل‌ویولت (میلی‌گرم بر لیتر)	جذب (A)
۰/۲۰	۰/۰۲۹
۱/۰۰	۰/۱۵۱
۲/۰۰	۰/۲۵۸
۴/۰۰	۰/۴۷۰
۸/۰۰	۰/۸۹۳
۱۲/۰۰	۱/۴۰۸
۱۶/۰۰	۱/۹۲۱

ب

غلظت رودامین (میلی‌گرم بر لیتر)	جذب (A)
۰/۵۰	۰/۰۸۵
۱/۰۰	۰/۱۸۱
۲/۰۰	۰/۳۳۴
۴/۰۰	۰/۶۴۸
۵/۰۰	۰/۸۴۹
۶/۰۰	۰/۹۷۶
۸/۰۰	۱/۳۲۲
۱۲/۰۰	۱/۸۵۰



شکل (۲-۹) - منحنی کالیبراسیون مستقیم برای الف- متیل‌ویولت (MV) در طول موج ماکزیمم ۵۸۴ نانومتر، ب- رودامین (Rh) در طول موج ماکزیمم ۵۲۶ نانومتر و pH=۷/۰.

درصد حذف ($\%R_{t,i}$) و میلی‌گرم جذب شده به ازای گرم جاذب ($q_{t,i}$) برای گونه i در زمان t از روابط زیر محاسبه گردید [۵۶].

$$\%R_{t,i} = \frac{(C_{0,i} - C_{t,i})}{C_{0,i}} \times 100 \qquad (۱-۲)$$

$$q_{t,i} = \frac{(C_{0,i} - C_{t,i})V}{m} \qquad (۲-۲)$$

در این روابط $C_{0,i}$، غلظت اولیه رنگ i برحسب میلی‌گرم بر لیتر، $C_{t,i}$، غلظت رنگ i در لحظه t برحسب میلی‌گرم بر لیتر، q، میلی‌گرم جذب شده رنگ به ازای گرم جاذب (میلی‌گرم برگرم)، m، مقدار جاذب برحسب گرم، V، حجم محلول رنگ برحسب لیتر می‌باشد.

۲-۲-۴-۱- بررسی تأثیر pH بر میزان درصد حذف رنگ

از آنجایی که pH محلول می‌تواند بر روی بارهای سطحی جاذب اثر بگذارد، به عنوان یک فاکتور کلیدی و مهم در فرایند جذب مطرح می‌باشد [۳۳]. بنابراین به منظور بررسی اثر pH مقادیر متفاوتی از جاذب به ارلنی که حاوی ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول رنگ متیل‌ویولت یا رودامین با غلظت

۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر بود، اضافه گردید. pH این محلول‌ها با استفاده از هیدروکلریک اسید (۰/۰۱۰مولار) یا سدیم هیدروکسید (۰/۰۱۰مولار)، در محدوده‌ی ۳/۰ تا ۹/۰ تنظیم شد و کارایی حذف در مدت زمان ۴۰ دقیقه با استفاده از رابطه (۲-۱) محاسبه شد. لازم به ذکر است که به دلیل تغییر طول موج ماکزیمم جذب رنگ‌ها، pHهای بالاتر و پایین‌تر مورد بررسی قرار نگرفت. ظاهراً بر اساس نتایج به دست آمده (جدول (۲-۵) و شکل(۲-۱۰))، pHهای خنثی و یا بازی میزان درصد حذف رنگ را بیشتر افزایش می‌دهد. مشاهده این رفتار را که توسط دیگر محققین نیز تأیید شده است[۵۱, ۵۵]، می‌توان بر اساس pH_{zpc} جاذب و ساختار مولکول‌های رنگ توجیه کرد. با توجه به pk_a گزارش شده برای متیل ویولت و رودامین، این دو گونه در محدوده‌ی pH مورد مطالعه به فرم کاتیونی هستند. در $pH < pH_{zpc}$ (مخصوصاً محیط‌های اسیدی) به دلیل غلظت بالای یون‌های H^+ و احتمال اتصال و برهمکنش این یون‌ها با گروههای عاملی روی سطح جاذب، نیروی دافعه بین مولکول‌های رنگ و سطح پروتونه شده جاذب وجود دارد. در نتیجه میزان حذف رنگ در محیط‌های اسیدی کاهش می‌یابد. ولی همچنان که pH محیط افزایش می‌یابد (به خصوص $pH > pH_{zpc}$)، گروههای هیدروکسیل پروتون از دست داده و به موجب آن نیروی جاذبه الکتروستاتیکی بین سطح باردار شده منفی جاذب و مولکول‌های کاتیونی رنگ ارتقا می‌یابد که نتیجه کلی این فرایند افزایش میزان درصد جذب در محیط‌های خنثی و بازی می‌باشد. با توجه به اینکه میزان درصد حذف رنگ در pHهای ۷/۰ تا ۹/۰ تقریباً ثابت است، ادامه‌ی مطالعات در pH=۷/۰ انجام شد.

به طور خلاصه می‌توان برهمکنش‌های جاذبه و دافعه بین جاذب و جذب شونده را به صورت زیر بیان کرد.

$$(Fe_3O_4 - \text{WNS})\text{OH(s)} + H^+(\text{aq}) \rightarrow (Fe_3O_4 - \text{WNS})OH_2^+(\text{s}) \qquad pH < pH_{zpc}$$

$$(Fe_3O_4 - \text{WNS})OH_2^+(\text{s}) + Dye^+(\text{aq}) \rightarrow (Fe_3O_4 - \text{WNS})OH_2^+ \leftrightarrow Dye^+(\text{s})$$

$$(Fe_3O_4 - \text{WNS})\text{OH(s)} + OH^-(\text{aq}) \rightarrow (Fe_3O_4 - \text{WNS})O^-(\text{s}) + H_2O \qquad pH > pH_{zpc}$$

$$(Fe_3O_4 - \text{WNS})O^-(\text{s}) + Dye^+(\text{aq}) \rightarrow (Fe_3O_4 - \text{WNS})0^- \cdots Dye^+(\text{s})$$

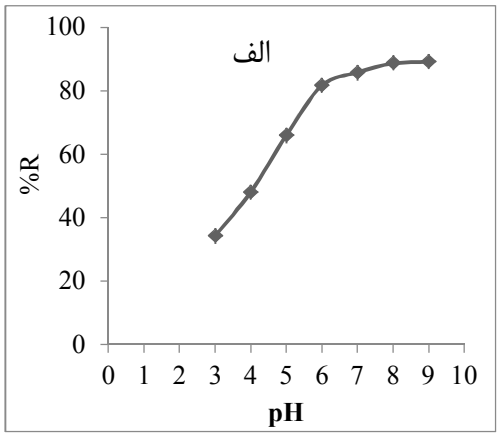
جدول (۲-۵)- نتایج حاصل از بررسی اثر pH بر روی میزان حذف الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین.

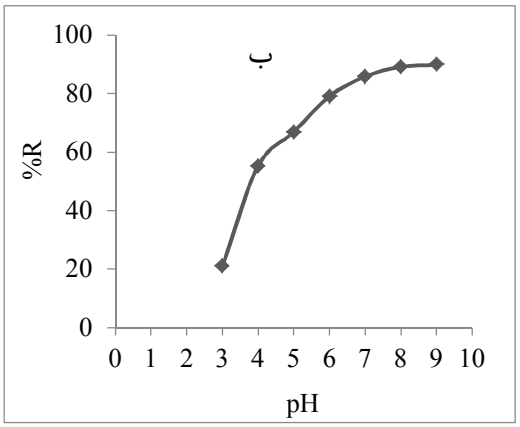
الف

pH	درصد حذف متیل‌ویولت
۳/۰	۳۴
۴/۰	۴۸
۵/۰	۶۶
۶/۰	۸۲
۷/۰	۸۵
۸/۰	۸۹
۹/۰	۸۹

ب

pH	درصد حذف رودامین
۳/۰	۲۱
۴/۰	۵۶
۵/۰	۶۷
۶/۰	۷۹
۷/۰	۸۶
۸/۰	۸۹
۹/۰	۹۰





شکل (۲-۱۰)- اثر pH اولیه محلول بر روی میزان درصد حذف (۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگ در مدت زمان تماس ۳۵ دقیقه و دمای ۳۵ درجه سانتیگراد). الف - متیل ویولت با ۰/۰۲۵۰ گرم جاذب ، ب- رودامین با ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب.

باید به این نکته توجه کرد که در محیط‌های اسیدی نیز جذب رنگ به مقدار قابل توجهی رخ می‌دهد. این مشاهده تأیید می‌کند که علاوه بر برهمکنش‌های الکتروستاتیکی، برهمکنش‌های دیگر همچون تبادل یون، برهم‌کنش‌های π-π، پیوند هیدروژنی بین آمین‌ها در مولکول‌های رنگ و گروههای هیدروکسیل یا کربوکسیل موجود در سطح جاذب احتمالاً در فرایند جذب دخالت دارند [۵۸]. همانطور که در ساختار مولکول‌های رنگ مشاهده می‌شود، متیل‌ویولت دارای گروههای آمین بیشتر در سطح خود می‌باشد، بنابراین احتمال تشکیل پیوند هیدروژنی برای این ترکیب بیشتر بوده و

به موجب آن درصد حذف این رنگ در محیط‌های اسیدی نسبت به رودامین بیشتر بوده است. البته باید به این نکته اشاره کرد که هر چند در این نمودارها مقدار گرم جاذب استفاده شده، متفاوت بود، ولی مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که به ازای مقدار یکسان از جاذب، تغییرات درصد حذف برحسب pH، روند مشابهی را نشان داد. به عنوان مثال با مقدار ۰/۰۲۵۰ گرم جاذب در pH=۳/۰ درصد حذف متیل ویولت برابر با ۳۴ درصد بود در حالی که برای رودامین مقدار حذف برابر با ۱۷ درصد بود.

۲-۲-۴-۲- اثر مدت زمان تماس

به منظور تعیین زمان لازم برای رسیدن به تعادل، میزان درصد حذف متیل ویولت (با ۰/۰۲۵۰ گرم جاذب) و رودامین (با ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب) برحسب زمان تماس در pH=۷/۰ مورد مطالعه قرار گرفت (جدول (۲-۶) و شکل (۲-۱۱)). نتایج به دست آمده نشان داد که سرعت جذب برای هر دو رنگ در زمان‌های تماس اولیه بالاست. مشاهده‌ی این اثر را می‌توان به گرادیان غلظت بالا و تعداد بیشتر سایت‌های خالی در دسترس بر روی سطح جاذب در زمان‌های ابتدایی نسبت داد. با گذشت زمان به دلیل کاهش گرادیان غلظت و کاهش تعداد سایت‌های فعال و احتمالاً دافعه‌های الکتروستاتیکی بین مولکول‌های رنگ جذب شده در سطح جاذب و مولکول‌های رنگ که در توده محلول وجود دارند، سرعت واکنش کاهش می‌یابد و نهایتاً به دلیل اشباع شدن سطح جاذب در زمان رسیدن به تعادل درصد حذف ثابت می‌شود [۵۴, ۵۹]. بر اساس شکل‌های (۲-۱۱الف) و (۲-۱۱ب) زمان ۳۵ دقیقه و۳۰ دقیقه به ترتیب زمان لازم برای رسیدن به تعادل برای رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین در نظر گرفته شدند. هر چند که برای غلظت ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌توان زمان‌های کمتر را به عنوان زمان تعادل در نظر گرفت ولی با توجه به این که در این مطالعه، غلظت‌های بالاتر نیز بررسی شده است (بخش (۲-۲-۴-۴))، و از آن جایی که در غلظت‌های بالاتر سیستم دیرتر به تعادل می‌رسد، بنابراین زمان‌های ۳۵ دقیقه و۳۰ دقیقه به ترتیب زمان لازم برای رسیدن به تعادل برای رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین در نظر گرفته شدند.

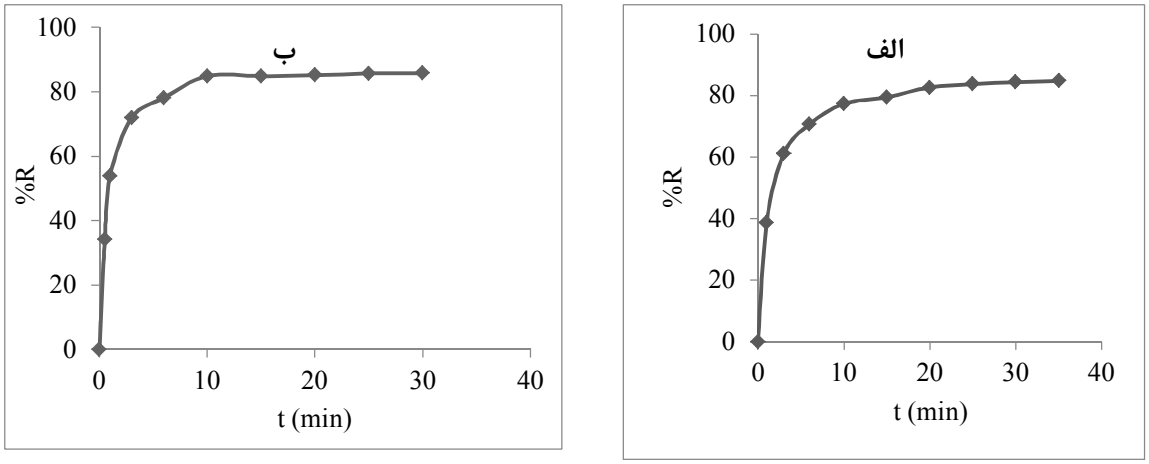
جدول (۲-۶)- نتایج حاصل از بررسی اثر مدت زمان تماس بر روی درصد حذف رنگ الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین.

الف

زمان تماس (دقیقه)	درصد حذف متیل‌ویولت
۰	۰
۱	۳۹
۳	۶۱
۶	۷۱
۱۰	۷۷
۱۵	۷۹
۲۰	۸۳
۲۵	۸۴
۳۰	۸۴
۳۵	۸۵

ب

زمان تماس(دقیقه)	درصد حذف رودامین
۰	۰
۰/۵	۳۴
۱	۵۴
۳	۷۲
۶	۷۸
۱۰	۸۵
۱۵	۸۵
۲۰	۸۵
۲۵	۸۶
۳۰	۸۶



شکل ۲-۱۱- نمودار تغییرات درصد حذف رنگ برحسب زمان برای الف- متیل ویولت با ۰/۰۲۵۰ گرم جاذب، ب- رودامین با ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب (۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگ، pH =۷/۰ و دمای ۳۵ درجه)

۲-۲-۴-۳- بررسی مقدار مصرفی جاذب

یکی دیگر از پارامترهای مهم که در فرایند جذب باید مورد توجه قرار گیرد، مقدار جاذب به کار رفته می‌باشد. زیرا اولاً مقدار این پارامتر نشان دهنده‌ی ظرفیت جذب جاذب برای یک جذب شونده خاص می‌باشد. ثانیاً می‌توان هزینه جاذب به ازای مقدار جذب شونده‌ای که باید تصفیه شود، را برآورد کرد [۶۰]. بنابراین برای بررسی این پارامتر مقادیر متفاوتی از جاذب به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر

محلول که حاوی غلظت ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر از رنگ بود، اضافه گردید (جدول (۲-۷) و شکل (۲-۱۲)). نتایج نشان داد که با افزایش مقدار جاذب میزان درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد و سپس به یک مقدار ثابت می‌رسد. محققان مشاهده این نتایج را به افزایش مساحت سطح جاذب و در دسترس بودن تعداد سایت‌های فعال بیشتر از جاذب در مقادیر بالاتر جاذب نسبت می‌دهند. ولی زمانی که مقدار جاذب به کار رفته کم باشد و غلظت رنگ بالا باشد، اشباع شدن سطوح فعال رخ می‌دهد که این پدیده منجر به کاهش کارایی حذف رنگ می‌گردد [۶۱]. بر اساس نتایج برای متیل‌ویولت مقدار ۰/۰۴۵۰ گرم و برای رودامین مقدار ۰/۰۵۵۰ گرم به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته شد.

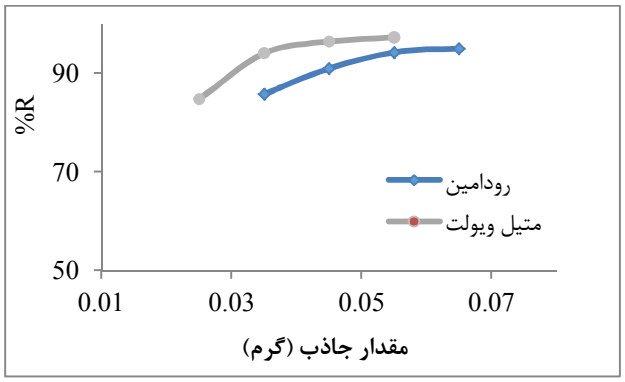
جدول (۲-۷)- نتایج بررسی اثر مقدار جاذب مصرفی بر روی درصد حذف رنگ الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین.

الف

مقدار جاذب (گرم)	درصد حذف متیل‌ویولت
۰/۰۲۵	۸۵
۰/۰۳۵	۹۴
۰/۰۴۵	۹۶
۰/۰۵۵	۹۷

ب

مقدار جاذب (گرم)	درصد حذف رودامین
۰/۰۳۵	۸۶
۰/۰۴۵	۹۱
۰/۰۵۵	۹۴
۰/۰۶۵	۹۵



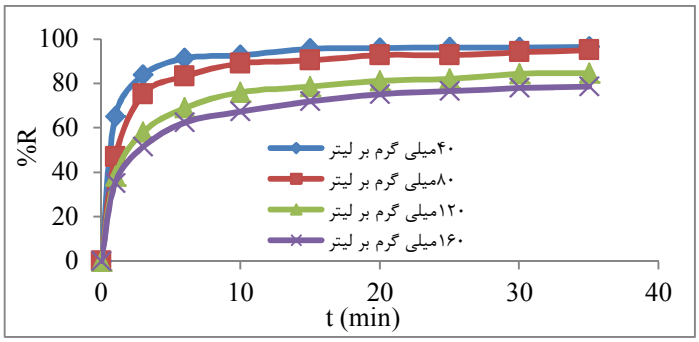
شکل ۲-۱۲- نمودار تغییرات درصد حذف رنگ متیل‌ویولت و رودامین در محلول تک جزئی برحسب مقادیر متفاوت جاذب استفاده شده در غلظت ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر از محلول رنگ (pH=۷/۰ در مدت زمان ۳۵ دقیقه برای متیل ویولت و مدت زمان ۳۰ دقیقه برای رودامین).

۲-۲-۴-۴- اثر غلظت اولیه رنگزا بر میزان درصد حذف رنگ

اثر غلظت اولیه رنگ‌ها بر میزان کارایی جاذب، در محدوده‌ی ۰/۱۶۰-۰/۴۰ میلی‌گرم بر لیتر برای متیل‌ویولت (با ۰/۰۴۵۰ گرم جاذب) و ۰/۱۲۰-۰/۴۰ میلی‌گرم بر لیتر برای رودامین (با ۰/۰۵۵۰ گرم جاذب) در pH=۷/۰ بررسی شد که نتایج حاصل در جدول‌های (۲-۸) و (۲-۹) و شکل‌های (۲-۱۳) و (۲-۱۴) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، یک ارتباط معکوس بین غلظت رنگ و میزان درصد حذف رنگ وجود دارد. به بیان دیگر با افزایش غلظت رنگ، میزان درصد حذف کاهش می‌یابد. محققین مشاهده‌ی این نتایج را به نسبت تعداد سایت‌های فعال در دسترس جاذب به تعداد مول‌های رنگزا نسبت دادند [۶۲]. در غلظت‌های پایین رنگزا این نسبت بزرگ است ولی در غلظت‌های بالا به دلیل اشغال شدن سایت‌ها، این نسبت کوچک شده و میزان درصد حذف کاهش می‌یابد.

جدول(۲-۸)- تغییرات درصد حذف رنگ متیل‌ویولت در غلظت‌های متفاوت برحسب زمان.

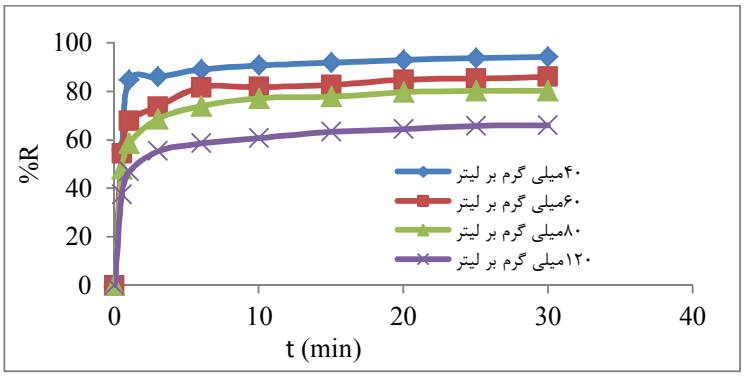
۱۶۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر	۱۲۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر	۸۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر	۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر	زمان (دقیقه)
۰	۰	۰	۰	۰
۳۵	۳۸	۴۷	۶۵	۱
۵۲	۵۸	۷۵	۸۴	۳
۶۳	۶۹	۸۳	۹۲	۶
۶۷	۷۶	۸۹	۹۳	۱۰
۷۲	۷۹	۹۱	۹۶	۱۵
۷۵	۸۱	۹۳	۹۶	۲۰
۷۷	۸۲	۹۳	۹۶	۲۵
۷۸	۸۴	۹۴	۹۶	۳۰
۷۹	۸۵	۹۵	۹۶	۳۵



شکل ۲-۱۳- نمودار تغییرات درصد حذف رنگ متیل‌ویولت برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت توسط ۰/۰۴۵۰ گرم جاذب در pH=۷/۰ و دمای ۳۵ درجه سانتیگراد.

جدول(۲-۹)- تغییرات درصد حذف رنگ رودامین در غلظت‌های متفاوت برحسب زمان.

۱۲۰/۰میلی‌گرم بر لیتر	۸۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر	۶۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر	۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر	زمان (دقیقه)
۰	۰	۰	۰	۰
۳۸	۴۸	۵۵	۵۶	۰/۵
۴۷	۵۹	۶۸	۸۵	۱
۵۵	۶۹	۷۴	۸۶	۳
۵۹	۷۴	۸۲	۸۹	۶
۶۱	۷۷	۸۲	۹۱	۱۰
۶۳	۷۸	۸۳	۹۲	۱۵
۶۵	۸۰	۸۵	۹۳	۲۰
۶۶	۸۰	۸۵	۹۴	۲۵
۶۶	۸۰	۸۶	۹۴	۳۰



شکل ۲-۱۴- نمودار تغییرات درصد حذف رنگ رودامین برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت توسط ۰/۰۵۵۰ گرم جاذب در pH=۷/۰ و دمای ۳۵ درجه سانتیگراد.

۲-۲-۵- مطالعه ایزوترم‌های جذب

در هر فرایند جذب، برای به دست آوردن ثابت‌های فیزیکوشیمیایی (همچون ظرفیت جذب جاذب)، بررسی ایزوترم‌های جذب ضروری می‌باشد. به این دلیل در این پژوهش نیز دو نوع از متداول‌ترین و پرکاربردترین ایزوترم‌ها یعنی ایزوترم لانگموئر و ایزوترم فروندلیچ (معادلات (۲-۳) و (۲-۴)) به کار گرفته شدند [۶۲, ۶۳].

$$q_e = \frac{q_{max} k_l c_e}{1 + k_l c_e} \qquad (۲-۳)$$

$$q_{eq} = k_f c_e^{\frac{1}{n}} \qquad (۲-۴)$$

در این معادلات q_e میلی‌گرم جذب شده از رنگ به ازای گرم جاذب در حالت تعادل، q_{max} ماکزیمم ظرفیت جاذب، k_l ثابت لانگموئر، c_e غلظت باقیمانده رنگ در زمان تعادل، k_f ثابت فروندلیچ و $\frac{1}{n}$ فاکتور ناهمگنی است.

بر اساس روابط بیان شده، برای تعیین نوع ایزوترم در این تحقیق، مقادیر c_e که نشان‌دهنده‌ی غلظت رنگ باقیمانده در زمان تعادل می‌باشد، با در نظر گرفتن زمان تعادل ۳۵ دقیقه برای متیل-ویولت و ۳۰ دقیقه برای رودامین و در شرایطی که pH محلول برابر مقدار بهینه‌ی۷/۰، مقدار جاذب برای متیل‌ویولت برابر مقدار بهینه‌ی ۰/۰۴۵۰ گرم و برای رودامین مقدار بهینه‌ی ۰/۰۵۵۰ گرم در نظر گرفته شده بود، با اندازه‌گیری جذب در این زمان و تبدیل آن به غلظت (با استفاده از معادله کالیبراسیون) محاسبه گردید. مقادیر q_e در غلظت‌های مختلف از هر رنگ (جدول (۲-۱۰))، با استفاده از رابطه‌ی (۲-۲) محاسبه شد. سپس ثابت‌های مربوط به هر ایزوترم با برازش غیرخطی مقادیر q_e برحسب c_e (معادلات (۲-۳) و (۲-۴)) با روش حداقل مربعات غیرخطی[1] در نرم افزار متلب به دست آمد. ارزیابی و انتخاب مدل مناسب‌تر بر اساس مقدار پارامترهای آماری ضریب تعیین[2] (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا[3] (RMSE) که به ترتیب بر اساس روابط (۲-۵) و (۲-۶) محاسبه می‌شوند، انجام شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(q_{e,exp} - q_{e,cal})^2}{(q_{e,exp} - \bar{q}_{e,exp})^2} \qquad (۲-۵)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(q_{e,exp} - q_{e,cal})^2}{n}} \qquad (۲-۶)$$

در این روابط $q_{e,exp}$ مربوط به مقدار q_e تجربی، $q_{e,cal}$ مربوط به q_e محاسبه شده توسط ایزوترم، $\bar{q}_{e,exp}$ میانگین مقدار تجربی q_e در غلظت‌های مختلف و n تعداد غلظت‌های مورد مطالعه می‌باشد.

[1] - Non linear least square method
[2] - Determination coefficient
[3] - Root mean square error

مدلی که دارای R^2 بالاتر و خطا (RMSE) کمتری بود، به عنوان مدل برتر انتخاب شد. بر اساس شکل (۲-۱۵) و داده‌های موجود در جدول (۲-۱۱) برای هر دو رنگ ایزوترم لانگموئر مناسب‌تر است. سازگاری داده‌های تعادلی با ایزوترم لانگموئر بیانگر آن است که سطح جاذب یک سطح همگن بوده و جذب به صورت تک لایه اتفاق می‌افتد [۵۸ و ۶۳].

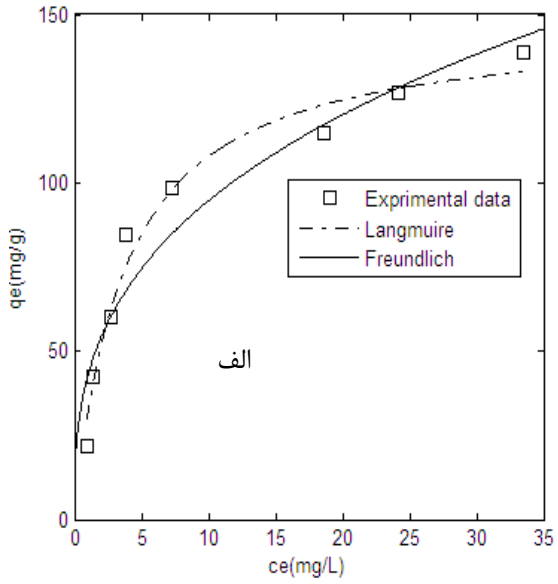
جدول (۲-۱۰)- مقادیر c_e و q_e در غلظت‌های مختلف برای الف- متیل ویولت و ب- رودامین

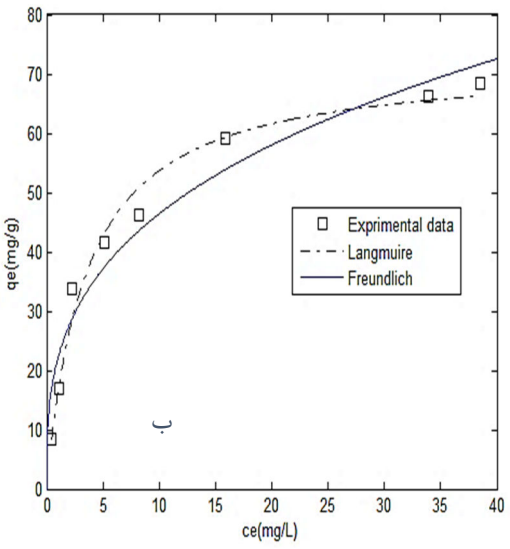
الف

C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
۲۰/۳۹	۰/۹۵	۲۱/۶۰
۳۸/۶۵	۱/۳۹	۴۱/۴۰
۵۶/۸۷	۲/۷۶	۶۰/۱۲
۸۰/۰۲	۳/۸۷	۸۴/۶۱
۹۵/۸۲	۷/۲۹	۹۸/۳۷
۱۲۱/۸۲	۱۸/۵۷	۱۱۴/۷۲
۱۳۸/۳۲	۲۴/۱۲	۱۲۶/۸۷

ب

C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
۹/۷۸	۰/۴۵	۸/۴۸
۲۰/۰۰	۱/۱۳	۱۶/۹۸
۳۹/۴۳	۲/۲۴	۳۳/۸۱
۵۰/۷۹	۵/۰۹	۴۱/۵۴
۵۹/۰۴	۸/۲۱	۴۶/۲۰
۸۰/۸۶	۱۵/۹۲	۵۹/۰۳
۱۰۶/۷۰	۳۳/۹۱	۶۶/۱۷





شکل (۲-۱۵)- مدل ایزوترم جذب برای رنگ الف- متیل‌ویولت ب- رودامین بر روی کامپوزیت مغناطیسی تهیه شده (شرایط ۵۰/۰۰ میلی لیتر محلول رنگ با غلظت‌های متفاوت (جدول (۲-۱۰)) در pH=۷/۰ با ۰/۰۴۵۰ گرم جاذب برای متیل ویولت و ۰/۰۵۵۰ گرم جاذب برای رودامین).

جدول (۲-۱۱)- ثابت‌های مدل ایزوترم لانگموئر و فروندلیچ برای رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین

ایزوترم	پارامتر	رنگ	
		متیل ویولت	رودامین
فروندلیچ	k_f ((mg g^{-1}) (L/ mg)$^{1/n}$)	۴۲/۷۵	۲۲/۰۸
	$\frac{1}{n}$	۰/۳۴	۰/۳۲
	R^2	۰/۹۲۳۶	۰/۹۴۰۱
	RMSE	۱۰/۷۷	۵/۰۵
لانگموئر	q_{max} (mg/g)	۱۴۷/۷۰	۷۲/۳۷
	k_l (L/mg)	۰/۲۸	۰/۲۹
	R^2	۰/۹۷۷۲	۰/۹۸۲۷
	RMSE	۵/۸۸	۲/۷۱

طراحی سیستم جذب تک‌مرحله‌ای ناپیوسته[1] با داده‌های ایزوترم

طراحی سیستم جذب تک‌مرحله‌ای ناپیوسته با استفاده از روشی که توسط وادیولان[2] و کومار[3] پیشنهاد شده بود، انجام گرفت [۶۴]. شکل (۲-۱۶) خلاصه‌ای از فرایند طراحی این سیستم جذب تک‌مرحله‌ای را نشان می‌دهد. هدف از طراحی این سیستم این است که برای یک محلول با حجم V لیتر که شامل m گرم جاذب می‌باشد، غلظت اولیه آلاینده از C_0 (میلی‌گرم بر لیتر) به C_e (میلی‌گرم بر لیتر) کاهش یابد. با افزایش جاذب به محلول مقدار جذب شده از آلاینده بر روی سطح یک گرم جاذب از q_0 به q_e تغییر می‌کند. بنابراین موازنه جرم[4] برای آلاینده در سیستم عملیاتی تک‌مرحله‌ای در شرایط تعادل را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$V(C_0 - C_e) = m(q_e - q_0) \qquad (۲-۷)$$

در حالت تعادل مقدار q_0 در مقابل q_e قابل صرف‌نظر می‌باشد. پس معادله (۲-۷) را می‌توان این گونه نوشت:

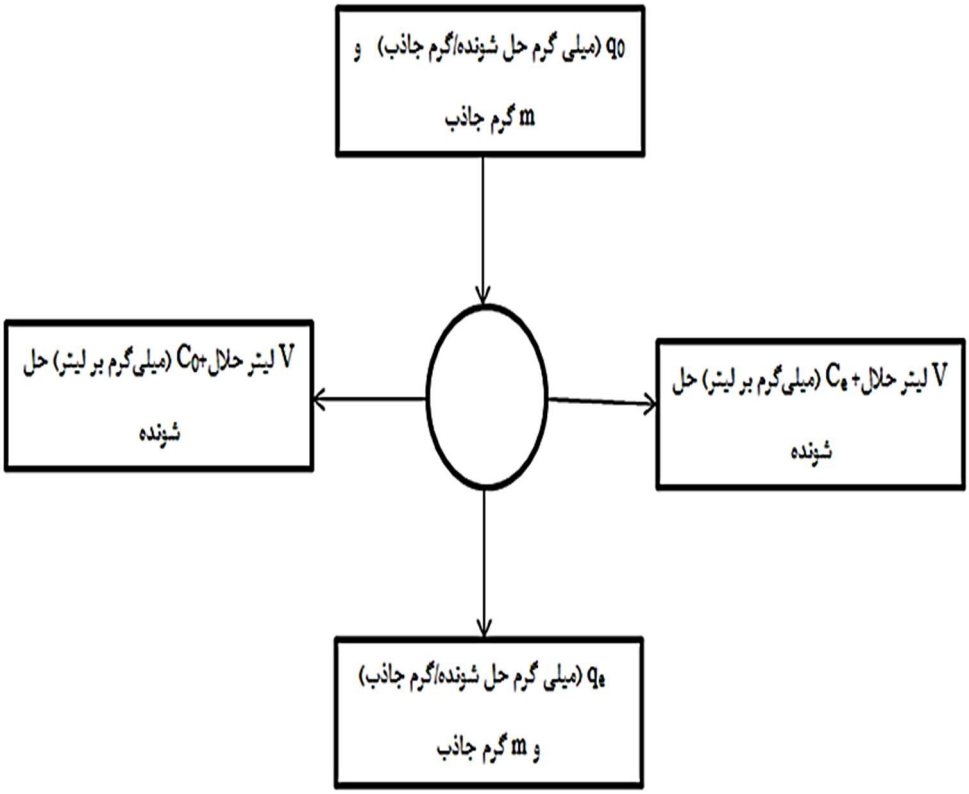
$$V(C_0 - C_e) = mq_e \qquad (۲-۸)$$

1 - Single-stage batch-adsorber design
2 - Vadivelan
3 - Kumar
4 - Mass balance

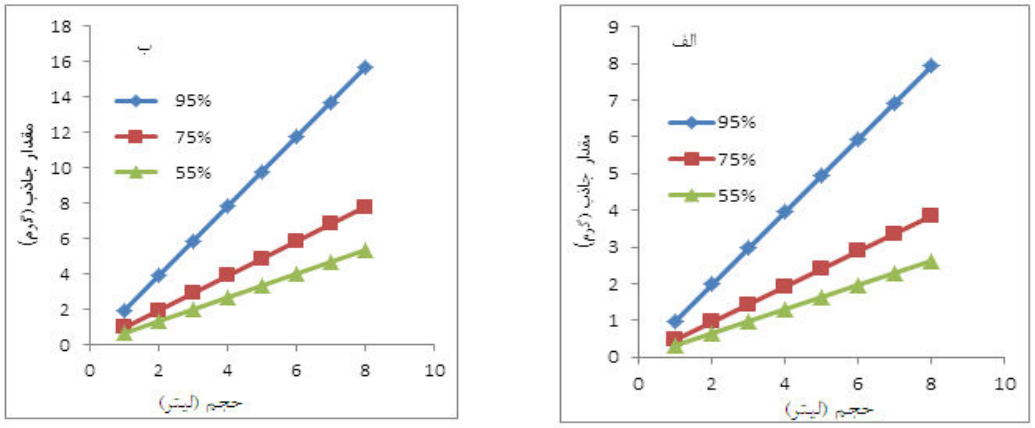
همچنین با توجه به بررسی ایزوترم‌ها، مشخص شد که داده‌های تعادلی برای جذب هر دو رنگ کاتیونی با مدل لانگموئر بهتر توصیف می‌شود. بنابراین بعد از قراردادن مقدار q_e با استفاده از ایزوترم لانگموئر، معادله (۲-۸) می‌تواند به صورت زیر بازنویسی شود.

$$\frac{m}{V}=\frac{C_0-C_e}{q_e}=\frac{C_0-C_e}{\frac{q_{\max}k_lC_e}{1+k_lC_e}} \qquad (۹-۲)$$

در این معادله مقادیر $q_{\max}$ و k_l قبلاً در جدول (۲-۱۱) آورده شده است. شکل‌های (۲-۱۷ الف) و (۲-۱۷ب) نمودارهایی که از این معادله استخراج شده‌اند، را نشان می‌دهد. در این نمودارها مقدار گرم مورد نیاز از جاذب کامپوزیتی تهیه شده برای حذف ۵۵، ۷۵ و ۹۵٪ از محلول رنگ با غلظت اولیه ۸۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر برحسب حجم‌های مختلف محلول را نشان می‌دهد. به عنوان مثال مقدار جاذب مورد نیاز برای حذف ۹۵٪ از رنگ رودامین با غلظت ۸۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر برای حجم‌های متفاوت (۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ لیتر) برابر ۳/۹۲، ۵/۸۸، ۷/۸۴، ۹/۸۰، ۱۱/۷۶، ۱۳/۷۲، ۱۵/۶۸گرم می‌باشد.



شکل (۲-۱۶)- طرح شماتیکی از یک سیستم جذب تک‌مرحله‌ای ناپیوسته[۶۴].



شکل (۲-۱۷)– مقدار جاذب مورد نیاز برای حذف رنگ با غلظت اولیه ۸۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین از محلول‌هایی با حجم‌های متفاوت.

۲-۲-۶- بررسی سینتیک فرایند جذب

به منظور تعیین زمان لازم برای رسیدن به تعادل، مشخص شدن مکانیسم و سرعت واکنش که برای طراحی ستون‌های صنعتی جذب، پارامترهای مهم و ضروری هستند [۶۵]، سینتیک جذب مورد بررسی قرارگرفت. بنابراین در حالی که pH محلول برابر ۷/۰، مقدار جاذب استفاده شده برای متیل‌ویولت ۰/۰۴۵۰ گرم و برای رودامین ۰/۰۵۵۰ گرم در نظر گرفته شده بود، تغییرات غلظت برحسب تابعی از زمان مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول‌های (۲-۱۲) و (۲-۱۳)). مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول (معادله (۲-۱۰)) و شبه مرتبه دوم (معادله (۲-۱۱)) برای تعیین ثابت سرعت واکنش و مکانیسم واکنش استفاده شدند [۵۹].

$$\ln(q_e - q_t) = \ln(q_e) - k_1 t \qquad (۲-۱۰)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \qquad (۲-۱۱)$$

در معادلات بالا پارامترهای q_e و q_t (mg/g) به ترتیب میلی‌گرم جذب شده رنگ به ازای گرم جاذب در زمان تعادل و زمان t (برحسب min)، k_1 (1/min) و k_2 (g/min .mg) به ترتیب ثابت‌های سرعت جذب در سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم هستند. لازم به ذکر است که مقادیر q_t با استفاده از رابطه (۲-۲) محاسبه شد. q_e نیز از همان رابطه محاسبه شد و فقط زمان به کار رفته، زمان

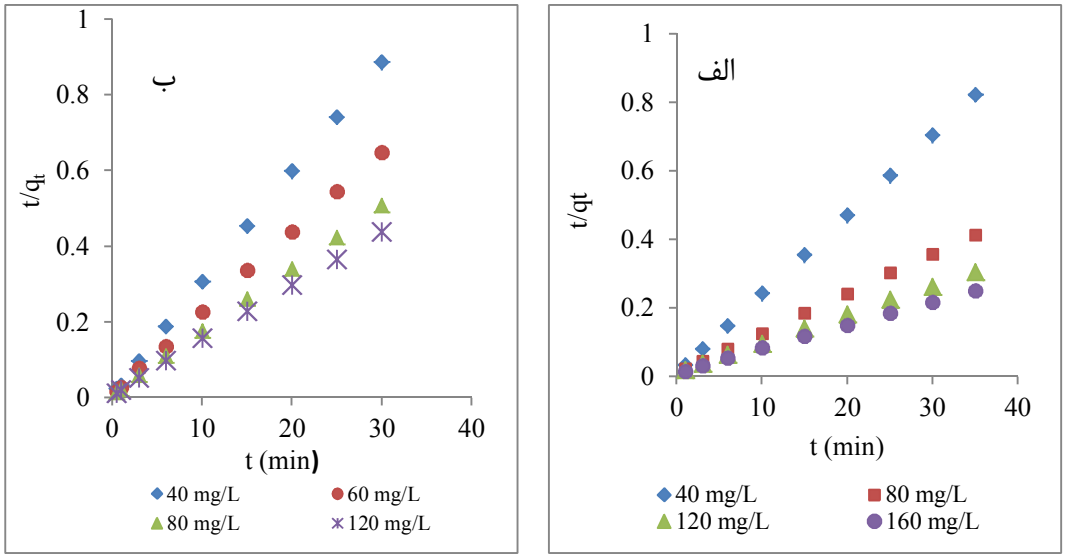
تعادل بود. در مدل سینتیک شبه مرتبه اول k_1 و q_e از شیب و عرض از مبدأ نمودار $\ln (q_e-q_t)$ برحسب زمان به دست می‌آیند. در حالی که برای مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم k_2 و q_e به ترتیب با استفاده از عرض از مبدأ و شیب نمودار t/q_t برحسب زمان به دست می‌آیند. در جدول‌های (۲-۱۲) و (۲-۱۳) به ترتیب مقادیر t/q_t برحسب زمان برای متیل‌ویولت و رودامین آورده شده است.

جدول (۲-۱۲)- مقادیر t/qt برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت رنگ متیل ویولت.

C (mg/g) / t (min)	۴۰/۰	۸۰/۰	۱۲۰/۰	۱۶۰/۰
۱	۰/۰۳۵	۰/۰۲۴	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶
۳	۰/۰۸۱	۰/۰۴۵	۰/۰۳۸	۰/۰۳۳
۶	۰/۱۵	۰/۰۸۱	۰/۰۶۴	۰/۰۵۴
۱۰	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۰۹۷	۰/۰۸۴
۱۵	۰/۳۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۲
۲۰	۰/۴۷	۰/۴۲	۰/۱۸	۰/۱۵
۲۵	۰/۵۹	۰/۳۰	۰/۲۲	۰/۱۸
۳۰	۰/۷۱	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۲۲
۳۵	۰/۸۲	۰/۴۱	۰/۳۰	۰/۲۵

جدول (۲-۱۳)- مقادیر t/qt برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت رنگ رودامین.

C (mg/g) / t(min)	۴۰/۰	۸۰/۰	۱۲۰/۰	۱۶۰/۰
۰/۵	۰/۰۲۵	۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳
۱	۰/۰۳۳	۰/۰۲۷	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰
۳	۰/۰۹۷	۰/۰۷۹	۰/۰۵۹	۰/۰۵۲
۶	۰/۱۸۸	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۹۹
۱۰	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۶
۱۵	۰/۴۵	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۲۳
۲۰	۰/۵۹	۰/۴۴	۰/۳۴	۰/۳۰
۲۵	۰/۷۴	۰/۵۴	۰/۴۲	۰/۳۷
۳۰	۰/۸۹	۰/۶۵	۰/۵۱	۰/۴۴



شکل (۲-۱۸)- نمودار سینتیک شبه مرتبه دوم برای الف- متیل‌ویولت و ب- رودامین بر روی جاذب مغناطیسی تهیه شده در غلظت‌های مورد مطالعه.

انتخاب مدل سینتیکی برتر از طریق پارامتر آماری ضریب تعیین و میزان نزدیکی بین q_e تجربی و مقدار q_e محاسبه شده توسط مدل تعیین می‌شود. بر اساس داده‌های به دست آمده (شکل (۲-۱۸) و جدول (۲-۱۴)) مقادیر q_e که با استفاده از مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم برای کل دامنه غلظتی محاسبه گردیده، بسیار نزدیک به مقدار تجربی است و از طرفی مقدار ضریب تعیین نیز برای این مدل نسبت به مدل سینتیکی مرتبه اول بیشتر است. بنابراین سینتیک فرایند جذب یک سینتیک شبه مرتبه دوم است. سازگاری داده‌های سینتیکی با مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم بیانگر آن است که واکنش‌های شیمیایی می‌تواند در فرایند جذب رنگ‌های مورد مطالعه مهم باشند [۴۲].

جدول (۲-۱۴)- پارامترهای سینتیکی برای جذب رنگ متیل‌ویولت و رودامین بر روی کامپوزیت مغناطیسی.

			شبه مرتبه اول			شبه مرتبه دوم		
رنگ	C (mg/L)	$q^*_{e(exp.)}$ (mg/g)	$q_{e(cal.)}$ (mg/g)	k_1 (min^{-1})	R^2	$q_{e(cal.)}$ (mg/g)	k_1 ($mgg^{-1}min^{-1/2}$)	R^2
متیل‌ویولت								
	۴۰/۰	۴۲/۴	۱۰/۶	۰/۲۰۴	۰/۹۷۸۴	۴۳/۳	۰/۰۵۰۰	۱/۰۰۰
	۸۰/۰	۸۴/۶	۲۶/۳	۰/۱۱۶	۰/۹۲۸۰	۸۶/۱	۰/۰۱۱۳	۰/۹۹۹۹
	۱۲۰/۰	۱۱۴/۷	۶۲/۸	۰/۱۴۵	۰/۹۲۶۸	۱۱۹/۰	۰/۰۰۵۳	۰/۹۹۹۷
	۱۶۰/۰	۱۳۸/۸	۷۴/۰	۰/۱۲۶	۰/۹۸۹۰	۱۴۴/۹	۰/۰۰۳۷	۰/۹۹۹۵
رودامین								
	۴۰/۰	۳۳/۸	۶/۲	۰/۱۵۰	۰/۹۰۸۲	۳۴/۰	۰/۰۸۸۰	۰/۹۹۹۹
	۶۰/۰	۴۶/۲	۱۱/۳	۰/۱۴۳	۰/۹۲۸۳	۴۶/۷	۰/۰۴۵۱	۰/۹۹۹۷
	۸۰/۰	۵۹/۰	۲۰/۹	۰/۲۱۴	۰/۹۶۶۴	۵۹/۹	۰/۰۳۴۲	۰/۹۹۹۹
	۱۲۰/۰	۶۸/۳	۲۷/۵	۰/۱۸۴	۰/۹۲۰۶	۶۹/۴	۰/۰۲۱۱	۰/۹۹۹۵

* $q_{e(\exp)}$ برای متیل ویولت در زمان ۳۵ دقیقه و برای متیل ویولت در زمان ۳۰ دقیقه به دست آمده است.

معمولاً در فرایند جذب، مولکول‌های جذب شونده از توده محلول به سطح جاذب از طریق انتقال/ نفوذ بین ذره‌ای منتقل می‌شوند. بنابراین مدل نفوذ بین ذره‌ای وبر – موریس[1] به عنوان مدل سینتیکی دیگر مورد بررسی قرار گرفت [۶۶].

$$q_t = k_d t^{\frac{1}{2}} + c \qquad (۱۲-۲)$$

در این معادله k_d ثابت سرعت نفوذ بین ذره‌ای و c ضخامت لایه مرزی می‌باشد. در جدول‌های (۲-۱۵) و (۲-۱۶) مقادیر q_t برحسب $t^{1/2}$ به ترتیب برای رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین آورده شده است. همانطور که در شکل (۲-۱۹) نمایش داده شده است، نمودار q_t برحسب $t^{1/2}$ شامل دو قسمت خطی می‌باشد. اولین قسمت خطی مربوط به جذب سطحی اولیه و دومین قسمت خطی مربوط به نفوذ بین ذره‌ای می‌باشد. بر اساس این شکل، نفوذ بین ذره‌ای (به دلیل شیب کمتر) مرحله‌ی کنترل‌کننده سرعت است ولی از آنجایی که عرض از مبدأ برابر صفر نیست، فرایند تحت تأثیر بیش از یک فرایند می‌باشد[۶۶ , ۶۲].

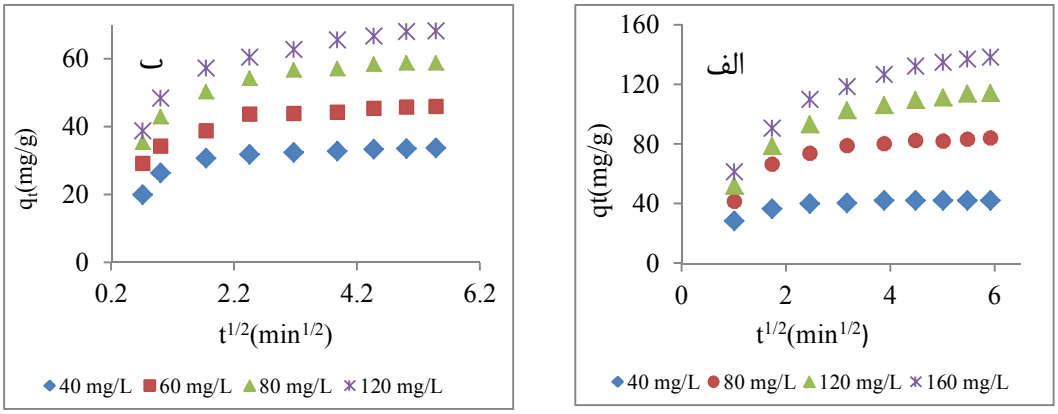
[1] - Weber and Morris

جدول (۲-۱۵)- مقادیر q_t برحسب (زمان)$^{۱/۲}$ برای رنگ متیل‌ویولت.

C (mg/L) / $t^{1/2}$ ($min^{1/2}$)	۴۰/۰	۸۰/۰	۱۲۰/۰	۱۶۰/۰
۱/۰	۲۸/۸	۴۱/۸	۵۲/۱	۶۱/۹
۱/۷	۳۶/۹	۶۶/۹	۷۸/۸	۹۰/۹
۲/۴	۴۰/۴	۷۴/۲	۹۳/۵	۱۱۰/۲
۳/۲	۴۰/۹	۷۹/۳	۱۰۳/۱	۱۱۸/۹
۳/۹	۴۲/۳	۸۰/۵	۱۰۶/۵	۱۲۷/۰
۴/۵	۴۲/۳	۲/۶	۱۱۰/۰	۱۳۲/۶
۵/۰	۴۲/۵	۸۲/۵	۱۱۱/۴	۱۳۵/۰
۵/۵	۴۲/۵	۸۳/۸	۱۱۴/۳	۱۳۷/۴
۵/۹	۴۲/۵	۸۴/۶	۱۱۴/۷	۱۳۸/۸

جدول (۲-۱۶)- مقادیر q_t برحسب (زمان)$^{۱/۲}$ برای رنگ رودامین.

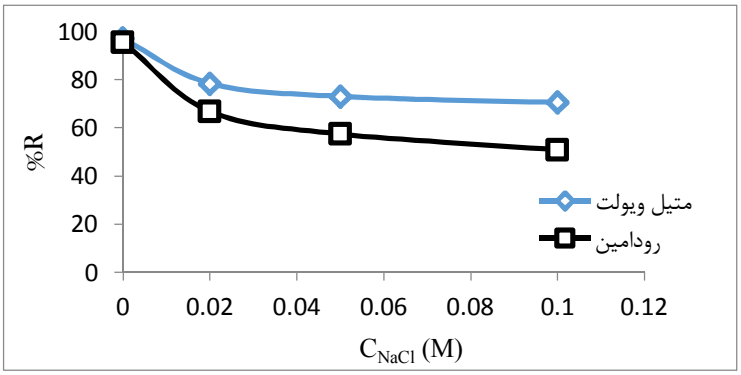
C (mg/L) / $t^{1/2}$ ($min^{1/2}$)	۴۰/۰	۸۰/۰	۱۲۰/۰	۱۶۰/۰
۰/۷	۲۰/۱	۲۹/۳	۳۵/۵	۳۹/۰
۱/۰	۲۶/۴	۳۴/۴	۴۳/۱	۴۸/۶
۱/۷	۳۰/۸	۳۹/۰	۵۰/۵	۵۷/۴
۲/۴	۳۲/۰	۴۳/۹	۵۴/۵	۶۰/۷
۳/۲	۳۲/۶	۴۴/۰	۵۶/۸	۶۳/۰
۳/۹	۳۳/۰	۴۴/۴	۵۷/۳	۶۵/۷
۴/۵	۳۳/۴	۴۵/۶	۵۸/۷	۶۶/۹
۵/۰	۳۳/۷	۴۵/۸	۵۹/۰	۶۸/۲
۵/۵	۳۳/۸	۴۶/۲	۵۹/۰	۶۸/۴



شکل (۲-۱۹)- نمودار نفوذ درون ذره‌ای برای جذب الف) متیل‌ویولت و ب)رودامین.

۲-۲-۷- بررسی اثر قدرت یونی بر روی میزان حذف رنگ‌ها

به دلیل مصرف نمک در طی فرایند رنگرزی، معمولاً پساب‌هایی که از کارخانه‌های نساجی رها می‌شوند، شامل مقادیر متفاوتی از نمک می‌باشد که ممکن است بر روی ظرفیت جذب جاذب اثر بگذارد [۶۷]. با توجه به این موضوع، غلظت‌های متفاوت از سدیم کلرید (که اغلب به عنوان تحریک-کننده استفاده می‌شود [۶۸])، به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگ در pH برابر با ۷/۰ که شامل ۰/۰۴۵۰ گرم جاذب برای متیل‌ویولت و ۰/۰۵۵۰ گرم جاذب برای رودامین بود، اضافه گردید و کارایی جذب مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل (۲-۲۰) مشاهده می‌شود، یک ارتباط معکوس بین قدرت یونی و میزان کارایی حذف رنگ‌های مورد مطالعه وجود دارد. مشاهده‌ی این پدیده که با نتایج به دست آمده در بررسی‌های pH نیز سازگاری دارد، را می‌توان بر اساس رقابت یون‌های Na^+ با رنگ‌های کاتیونی مورد مطالعه برای اتصال به سطوح فعال جاذب نسبت داد. با افزایش قدرت یونی محلول، لایه دوگانه الکتریکی که اطراف سطح جاذب را احاطه کرده، فشرده می‌شود و در نتیجه مانع از نزدیک شدن مولکول‌های رنگ از طریق جاذبه الکتروستاتیکی می‌شود [۶۹]. کاهش میزان کارایی جاذب در محلول‌های حاوی غلظت بالای نمک را می‌توان با به کار بردن مقدار بیشتری جاذب رفع کرد.



شکل (۲-۲۰)- بررسی اثر قدرت یونی بر روی کارایی حذف رنگ متیل ویولت و رودامین.

۲-۲-۸- بازیابی جاذب

برای کاربردهای عملی استفاده مجدد از جاذب امری ضروری و مهم است. در واقع برای این که تصفیه پساب از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد، باید یک جاذب کارا و مؤثر، علاوه بر داشتن ظرفیت جذب بالا، ویژگی‌های واجذب مناسبی هم داشته باشد. بدین دلیل برای بررسی احتمال استفاده مجدد از کامپوزیت مغناطیسی تهیه شده، حلال‌های شوینده متفاوتی همچون هیدروکلریک اسید (۰/۰۱۰ و ۰/۱۰ مولار)، سدیم هیدروکسید در اتانول (۰/۰۱۰ مولار)، محلول ۱۰٪ سدیم دودسیل سولفات در اتانول و مایع ظرفشویی استفاده شد (شکل (۲-۲۱)). روش کار بدین صورت بود که مثلاً در بازیابی به کمک مایع ظرفشویی، ۴۰/۰ میلی‌لیتر آب مقطر همراه با ۵/۰۰ میلی‌لیتر مایع ظرفشویی پریل به ۰/۷۰گرم از کامپوزیت مغناطیسی استفاده شده، اضافه گردید. بعد از هم خوردن به مدت ۳۰ دقیقه و جدا کردن کامپوزیت توسط آهنربا، کامپوزیت با آب مقطر شسته شد (این فرایند برای دیگر حلال‌های شوینده نیز به کار رفت). سپس کامپوزیت خشک شده برای حذف رنگ از محلولی که شامل ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول رنگ با غلظت ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر در pH =۷/۰ بود، به کار رفت. مشاهده شد که بیش از ۹۰٪ از رنگ با استفاده از جاذب بازیابی شده توسط سدیم دودسیل سولفات و مایع ظرفشویی، جذب می‌شود. این نتایج احتمال حضور برهمکنش‌های الکتروستاتیکی بین جاذب و جذب شونده را بیشتر تأیید می‌کند. در دفعات بعدی بازیابی جاذب از مایع ظرفشویی به

دلیل ارزان بودن و در دسترس بودن استفاده گردید. در این تحقیق برای نخستین بار از مایع ظرفشویی به عنوان عامل واجذب و فعال‌کننده جاذب استفاده شده است.



شکل (۲-۲۱)- میزان کارایی جاذب مغناطیس شده بعد از نخستین بازیابی.

۲-۲-۹- مکانیسم احتمالی در فرایند جذب رنگ

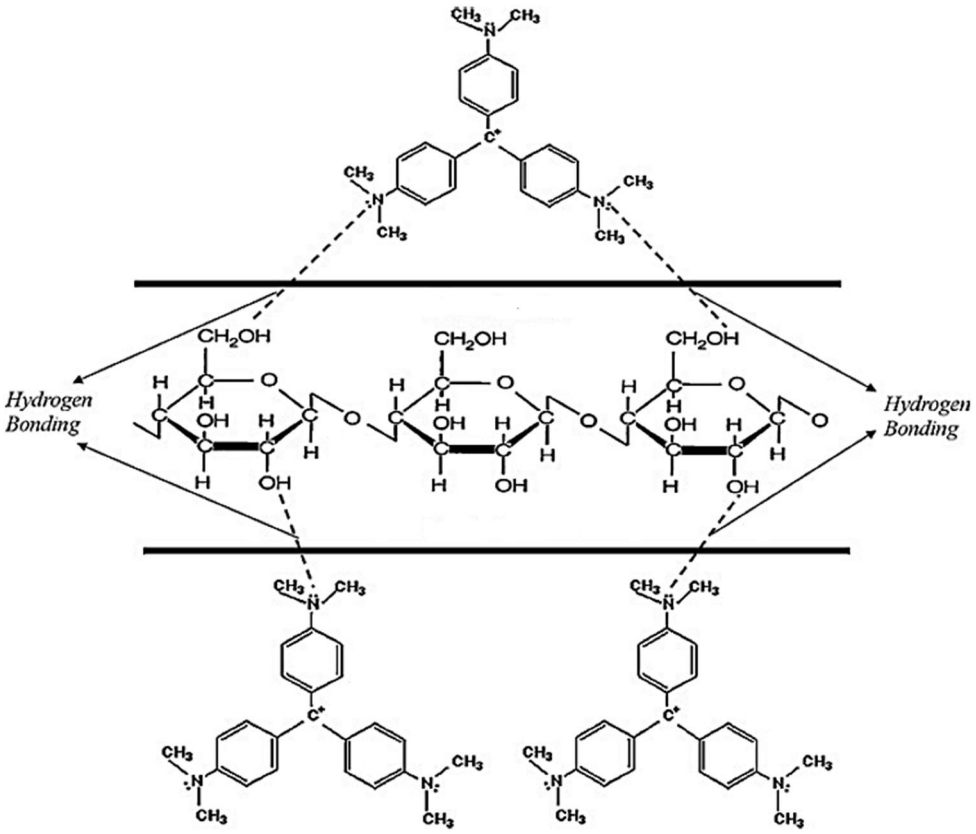
به طور کلی ساختار مولکول‌های رنگ و خواص سطحی جاذب از جمله فاکتورهایی هستند که بر روی رفتار جذب اثر می‌گذارند [۴۲, ۵۸]. هر دو رنگی که در این تحقیق استفاده شده‌اند، به دلیل تفکیک در آب، تولید نیتروژن با بار مثبت می‌کنند. از طرف دیگر همانطور که در طیف FT-IR (شکل (۲-۴)) مشاهده شد، گروههای عاملی متفاوت همچون کربوکسیل و هیدروکسیل بر روی سطح جاذب وجود دارد. همچنین مطالعات سینتیکی نشان داد که بیش از یک فرایند در جذب رنگ دخالت دارد. بررسی‌های pH و قدرت یونی نیز نشان داد که برهم‌کنش‌های الکتروستاتیکی می‌توانند عامل مهمی برای جذب رنگ بر روی سطح جاذب تهیه شده باشند. با توجه به این موضوعات مراحل جذب رنگ‌های مورد مطالعه را می‌توان به طور خلاصه این گونه بیان کرد [۴۲]:

۱-گونه‌های رنگ از توده محلول به سمت لایه مرزی مهاجرت می‌کنند.

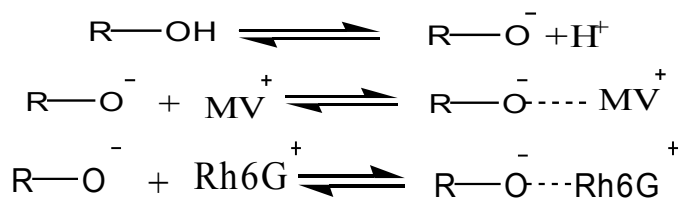
۲- مولکول‌های رنگ از لایه مرزی به سطح کامپوزیت مغناطیسی نفوذ می‌کنند.

۳- مولکول‌های رنگ بر اساس نیروهای واندروالسی همچون برهم‌کنش‌های π-π بین حلقه‌های آروماتیک مولکول‌های رنگ و حلقه‌های آروماتیک جاذب، بر سطح کامپوزیت تجمع می‌کنند. از طرف

دیگر همانطور که در طیف FT-IR (شکل (۲-۴)) تأیید شد، پوست گردو دارای گروههای هیدروکسیل می‌باشد که امکان تشکیل پیوند هیدروژنی بین این گروهها و اتم‌های نیتروژن رنگ وجود دارد (شکل (۲-۲۲)) همچنین برهمکنش‌های الکتروستاتیکی بین اتم نیتروژن دارای بار مثبت موجود در مولکول رنگ و سایت‌های غنی از الکترون موجود در سطح جاذب (سطح باردار شده منفی جاذب در PH مورد مطالعه) طبق فرایند ذکر شده در شکل (۲-۲۳) می‌تواند باعث جذب رنگ شود.



شکل (۲-۲۲)- مکانیسم پیشنهادی جذب رنگ‌های کاتیونی بر روی کامپوزیت مغناطیسی تهیه شده.



شکل (۲-۲۳)- نمایش جاذبه الکتروستاتیکی در جذب رنگ‌های کاتیونی بر روی جاذب سنتز شده. (R-OH: جاذب، MV^+:متیل ویولت و $Rh6G^+$: رودامین۶ جی)

بنابراین با توجه به مراحل ذکر شده هم برهم‌کنش‌های فیزیکی و هم برهم‌کنش‌های شیمیایی در جذب رنگ‌های کاتیونی مورد مطالعه دخالت دارند.

۲-۲-۱۰- بررسی اثر دما و محاسبه پارامترهای ترمودینامیکی فرایند جذب

به منظور بررسی اثر دما بر میزان جذب رنگ، آزمایش‌ها با ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول که شامل ۸۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر از متیل‌ویولت یا رودامین بود، در گستره‌ی دمایی ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد انجام شد. لازم به ذکر است که pH محلول برابر ۷/۰ و مقدار جاذب برای متیل‌ویولت مقدار بهینه‌ی ۰/۰۴۵۰ گرم و برای رودامین مقدار بهینه‌ی ۰/۰۵۵۰ گرم در نظر گرفته شد. پارامترهای ترمودینامیکی شامل انرژی آزاد گیبس (ΔG)، آنتروپی (ΔS) و آنتالپی(ΔH) برای جذب رنگ‌ها در سیستم تک‌جزئی بر روی جاذب پیشنهاد شده با استفاده از معادلات (۲-۱۳) و (۲-۱۴) محاسبه گردید [۶۳].

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \qquad (۲-۱۳)$$

$$\Delta G = -RT\ln K \qquad (۲-۱۴)$$

که پارامتر T، دما (برحسب کلوین)، R، ثابت جهانی گازها (۸/۳۱۴ ژول بر مول کلوین) و K میزان تمایل جذب می‌باشد که از طریق معادله زیر قابل محاسبه است:

$$K = \frac{q_e}{C_e} \qquad (۲-۱۵)$$

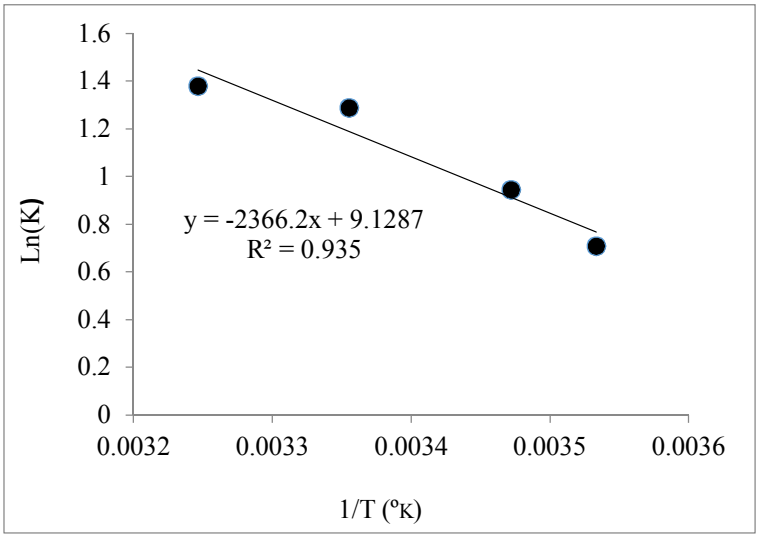
در این رابطه q_e میلی‌گرم رنگ جذب شده به ازای هر گرم جاذب در زمان تعادل، C_e غلظت باقیمانده رنگ در زمان تعادل می‌باشد.

از ترکیب سه معادله ذکر شده معادله (۲-۱۶) به دست می‌آید:

$$\ln K = \frac{-\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \qquad (۲-۱۶)$$

بنابراین با ترسیم نمودار ln (K) برحسب ۱/T (شکل (۲-۲۴)) و (۲-۲۵))، مقادیر ΔH و ΔS به ترتیب از شیب و عرض از مبدأ نمودار به دست آمد. ΔG نیز بر اساس رابطه (۲-۱۳) محاسبه گردید. مقادیر مربوط به این پارامترها برای رنگ متیل‌ویولت در جدول (۲-۱۷) و برای رنگ رودامین در جدول (۲-۱۸) نمایش داده شده است.

در واکنش‌های جذب افزایش دما اغلب باعث افزایش انرژی جنبشی مولکول‌های رنگزا و افزایش برخورد با سطح جاذب می‌شود. همچنین با افزایش دما انرژی فعال‌سازی لازم برای نفوذ به درون حفرات جاذب فراهم شده و به موجب آن سرعت نفوذ بین ذره‌ای افزایش می‌یابد [۵۴ و ۶۳]. اگر فرایند جذب سطحی گرماده باشد، افزایش دما باعث کاهش جذب و اگر گرماگیر باشد، افزایش دما باعث افزایش میزان جذب رنگ می‌شود [۵۴]. با توجه به نتایج به دست آمده (جدول (۲-۱۷) و جدول (۲-۱۸)) مشخص شد که با افزایش دما، مقدار رنگ جذب شده به ازای گرم جاذب (q_e) افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده گرماگیر بودن فرایند جذب رنگ‌های کاتیونی مورد مطالعه بر روی کامپوزیت مغناطیسی می‌باشد. همچنین علامت پارامتر ΔG بیانگر خود به خودی بودن فرایند در گستره دمایی ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد است.

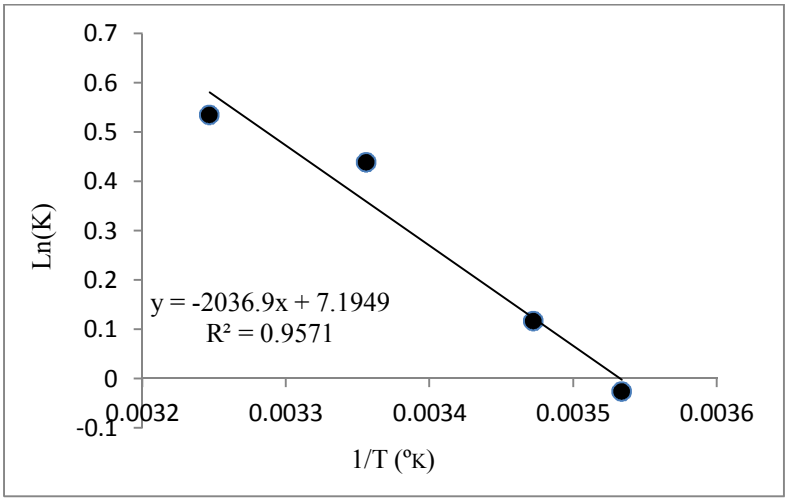


شکل (۲-۲۴)- نمودار Ln(K) برحسب 1/T برای متیل ویولت (شرایط: ۰/۰۴۵۰ گرم جاذب، ۵۰/۰۰ میلی لیتر محلول متیل‌ویولت با غلظت ۸۰/۰ میلی گرم بر لیتر، pH=۷/۰ و مدت زمان ۳۵ دقیقه)

جدول (۲-۱۷)- پارامترهای ترمودینامیکی برای جذب متیل‌ویولت بر روی کامپوزیت مغناطیسی.

دما (°C)	C_0 (mg/L)	Ce (mg/L)	q_e^* (mg/g)	ΔH (Kj/mol)	ΔS (Kj /mol.K)	ΔG (Kj/mol)
۱۰	۷۷/۸	۲۷/۵	۵۵/۸	۱۹/۷	۰/۰۸	-۲/۹
۱۵	۷۵/۳	۲۲/۷	۵۸/۴			-۳/۳
۲۵	۷۸/۷	۱۸/۵	۶۶/۹			-۴/۱
۳۵	۸۰/۶	۱۷/۶	۷۰/۰			-۴/۹

* حجم محلول برابر ۵۰ میلی‌لیتر، مقدار جاذب برابر ۰/۰۴۵۰ گرم و زمان تعادل ۳۵ دقیقه در نظر گرفته شد.



شکل (۲-۲۵)- نمودار Ln(K) برحسب 1/T برای رودامین (شرایط: ۰/۰۵۵۰ گرم جاذب، ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول رودامین با غلظت ۸۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر، pH=۷/۰ و مدت زمان ۳۰ دقیقه)

جدول (۲-۱۸)- پارامترهای ترمودینامیکی برای جذب رودامین بر روی کامپوزیت مغناطیسی.

دما (°C)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e^* (mg/g)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (kJ /mol.K)	ΔG (kJ/mol)
۱۰	۷۸/۰	۳۷/۷	۳۶/۷	۱۶/۹	۰/۰۷	-۲/۹
۱۵	۷۸/۸	۳۵/۳	۳۹/۶			-۳/۳
۲۵	۷۸/۲	۲۸/۹	۴۴/۸			-۴/۰
۳۵	۷۸/۳	۲۷/۲	۴۶/۵			-۴/۷

* حجم محلول برابر ۵۰ میلی‌لیتر، مقدار جاذب برابر ۰/۰۵۵۰ گرم و زمان تعادل ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

۲-۲-۱۱- مدل‌سازی

۲-۲-۱۱-۱- مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

در سال‌های اخیر شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور گسترده در فرایند جذب به کار گرفته شده‌اند تا بتوان اطلاعات تجزیه‌ای که برای طراحی فرایندهای مقیاس بزرگ لازم است، به دست آورد [۷۰]. شبکه‌های عصبی قادرند بدون داشتن دانش قبلی از رابطه بین متغیرهای موجود در سیستم، ارتباط بین داده‌های ورودی و خروجی را شبیه‌سازی کنند. آنها این ارتباط را از طریق مثال‌های یادگیری که به آنها ارائه می‌شود، پیدا می‌کنند[۷۱].

در این پژوهش تحقیقاتی یک شبکه سه لایه با الگوریتم یادگیری پس انتشار با ناظر به کار گرفته شد تا درصد حذف رنگ‌های کاتیونی از طبقه‌های مختلف را به صورت تابعی از پارامترهای آزمایشگاهی مختلف همچون pH محلول، مقدار جاذب، غلظت اولیه رنگ و مدت زمان تماس پیش‌بینی کند. این الگوریتم با استفاده از نرم افزار مطلب ۷/۸ نوشته شد. همانطور که در شکل (۲-۲۶) مشاهده می‌شود، اولین لایه با ۴ گره که مربوط به متغیرهای ورودی شبکه می‌باشد، به عنوان لایه ورودی شناخته شده است. لایه بعدی (که تعداد گره‌هایش باید بهینه گردد)، لایه پنهان نامیده می‌شود و آخرین لایه با یک گره (که منطبق بر درصد حذف رنگ پیش‌بینی شده توسط شبکه است)، لایه خروجی می‌باشد. ارتباط گره‌های هر لایه با لایه بعدی توسط پارامتر قابل تنظیمی که وزن نام دارد، انجام می‌شود.

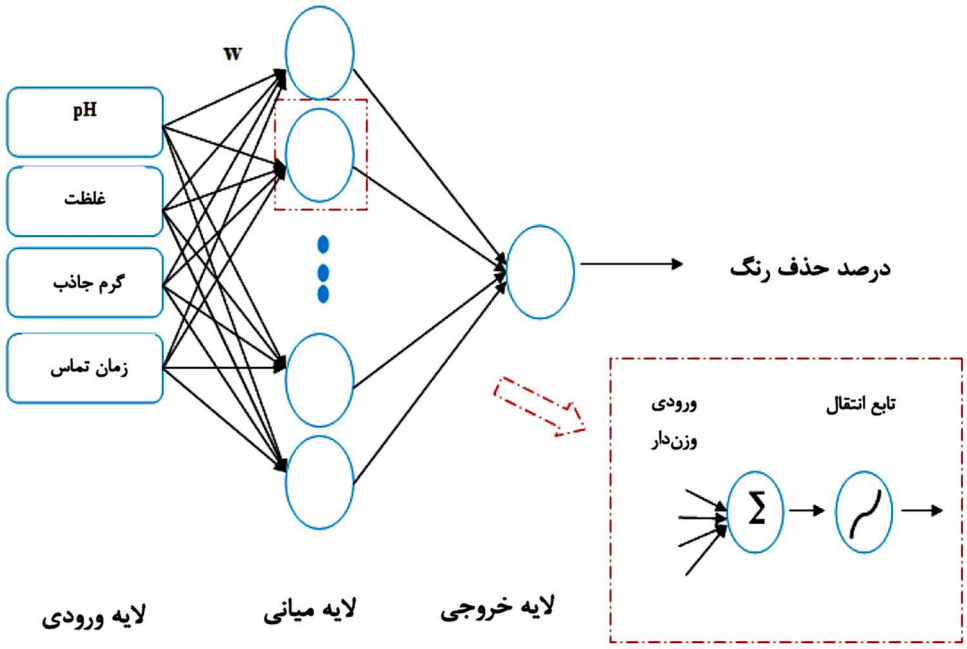
در این شبکه خروجی y_i توسط رابطه (۲-۱۷) محاسبه می‌شود.

$$y_i = f_0\left(\sum_j w_{j1}\left(f_h \sum_i (w_{ij}x_i + b_j)\right) + b_1\right) \qquad (۲-۱۷)$$

اندیس‌های i و j به ترتیب به i امین گره در لایه ورودی و j امین گره در لایه پنهان اختصاص دارد. f_h و f_o به ترتیب تابع فعال‌سازی برای لایه پنهان و لایه خروجی هستند. w_{ij} وزن ارتباطی بین i امین به j امین گره، w_{j1} وزن بین گره jام در لایه پنهان به گره در لایه خروجی، و b_j و b_1 نیز

ترم بایاس برای گره jام و گره لایه خروجی هستند. در طی فرایند آموزش (با توابع آموزش مختلف) وزن‌ها و بایاس‌ها تنظیم می‌شوند تا اختلاف بین مقدار پیش‌بینی شده و مقدار واقعی y_i حداقل شود.

برای رنگ متیل‌ویولت مقادیر متغیرهای ورودی به شبکه به صورت pH (۳/۰، ۵/۰ و ۷/۰)، مقدار جاذب استفاده شده (۰/۰۲۵۰، ۰/۰۳۵۰و ۰/۰۴۵۰ گرم)، غلظت اولیه رنگ (۴۰/۰، ۸۰/۰، ۱۲۰/۰ و ۱۶۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر) و زمان تماس (۳۵-۱ دقیقه) بودند. برای رنگ رودامین مقادیر این پارامترها به این صورت بود: pH (۳/۰، ۵/۰ و ۷/۰)، مقدار جاذب (۰/۰۳۵۰، ۰/۰۴۵۰ و ۰/۰۵۵۰گرم)، غلظت اولیه رنگ (۴۰/۰،۶۰/۰، ۸۰/۰ و ۱۲۰/۰میلی‌گرم بر لیتر)، زمان تماس (۳۰-۰/۵ دقیقه). متغیر خروجی شبکه نیز میزان درصد حذف رنگ از محلول تک‌جزئی بود. بنابراین بر اساس این متغیرهای ورودی ۴۳۲ داده تجربی برای هر یک از رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین به دست آمد. این داده‌ها به صورت کاملاً تصادفی به دو گروه آموزش (۷۵٪) و تست (۲۵٪) تقسیم شدند (جداول (۱- ۱) تا (۱-۴) پیوست). مجموعه داده‌های آموزش برای بهینه‌کردن پارامترهای مؤثر بر کارایی شبکه و مجموعه داده‌های تست برای ارزیابی قدرت پیشگویی مدل بهینه ایجاد شده توسط شبکه به کار گرفته شد.



شکل (۲-۲۶)- ساختار شبکه عصبی استفاده شده.

بهینه‌سازی پارامترهای شبکه

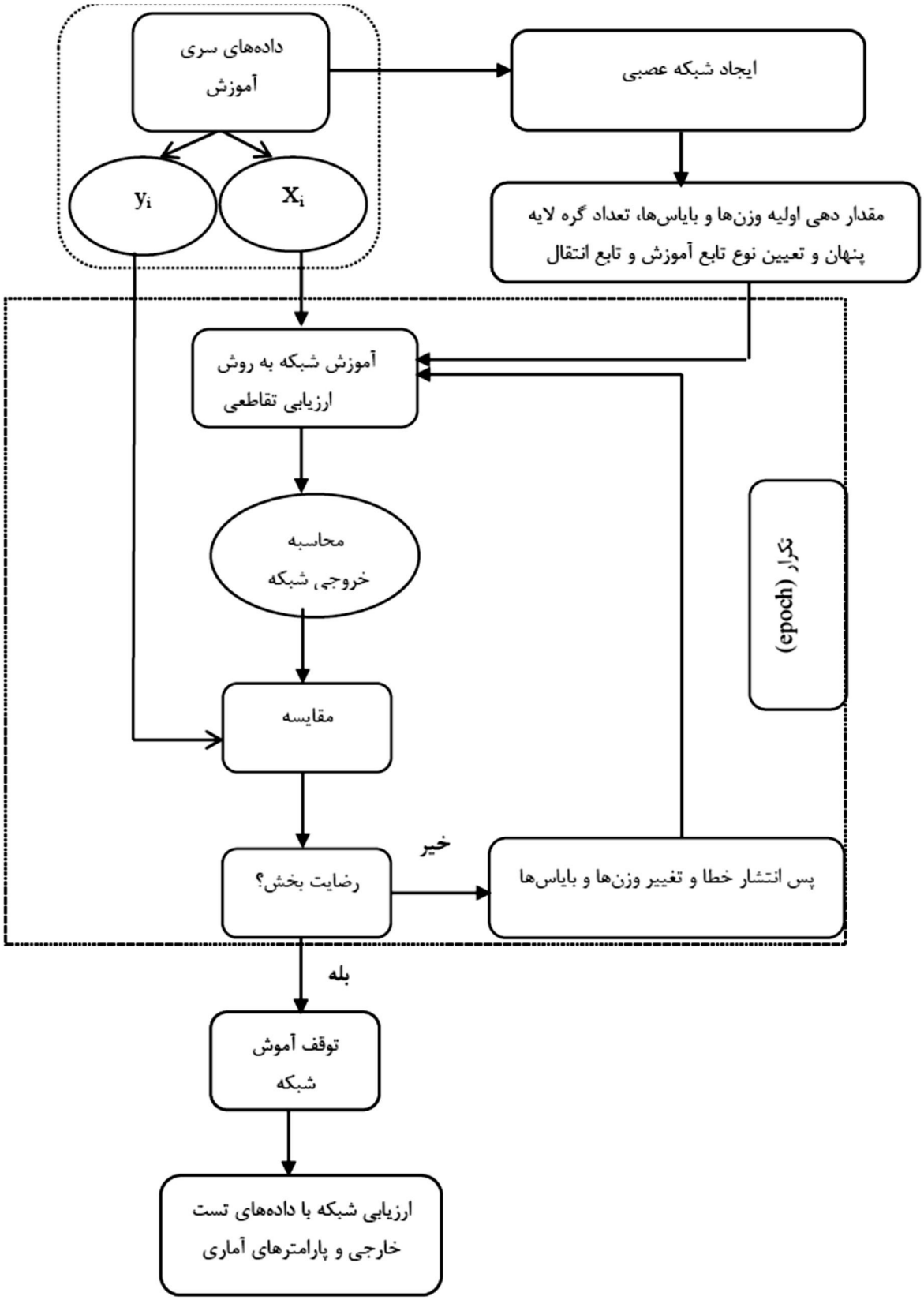
به طور کلی ارائه‌ی یک مدل پیشگوی مناسب توسط شبکه عصبی وابسته به مقادیر پارامترهای مؤثر بر آموزش شبکه می‌باشد. این پارامترها شامل تعداد لایه‌ها و گره‌های لایه پنهان، نوع تابع آموزش، نوع تابع انتقال و تعداد دورهای آموزش می‌باشد [۷۲]. متأسفانه هیچ فرمول دقیقی وجود ندارد که تعیین کند که چه ساختاری از شبکه و چه الگوریتم آموزشی برای حل یک مسأله خاص مناسب می‌باشد. بهترین راه حل از طریق آزمون و خطا [۱] به دست می‌آید [۷۳]. بدین منظور سری آموزش برای محاسبه‌ی گرادیان و به روز کردن اوزان و بایاس‌های شبکه به روش ارزیابی تقاطعی [۲] استفاده شد. در این روش، یک ترکیب از سری آموزش حذف شد، شبکه با ۳۲۳ ترکیب باقیمانده آموزش داده شد و سپس برای پیش‌بینی ترکیب کنار گذاشته شده، استفاده گردید. این فرایند برای هر ترکیب در سری آموزش تکرار شد به طوری که در طی فرایند آموزش، میانگین مربع خطا بر طبق رابطه (۲-۱۸) محاسبه گردید و معیار بهینه سازی، به حداقل رساندن مقدار این تابع در نظر گرفته شد [۷۲].

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2}{N} \qquad (۲-۱۸)$$

در این رابطه $\hat{y}_i$ مقدار درصد حذف رنگ پیش‌بینی شده توسط شبکه، y_i مقدار تجربی درصد حذف رنگ و N تعداد کل داده‌های سری آموزش است.

روند فرایند بهینه‌سازی پارامترهای شبکه در شکل (۲-۲۷) نشان داده شده است.

[1] -Trial and error
[2] -Cross validation



شکل (۲-۲۷)- جزئیات فرایند آموزش شبکه عصبی با الگوریتم پس‌انتشار.

الف- انتخاب تعداد لایه‌های پنهان

هر شبکه دارای حداقل یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و تعدادی لایه پنهان می‌باشد. متأسفانه هیچ راهنمای مناسبی برای انتخاب تعداد لایه‌های پنهان وجود ندارد و ساختار شبکه‌های عصبی، اغلب به روش سعی و خطا ایجاد می‌شود. با این وجود در اغلب کاربردهای شبکه عصبی در شیمی، به نظر می‌رسد که یک لایه پنهان مناسب باشد[۷۴ , ۷۲]. بنابراین در این تحقیق نیز یک لایه پنهان مورد استفاده قرار گرفت.

ب- انتخاب تعداد گره‌های لایه پنهان، نوع تابع آموزش و نوع تابع انتقال

پس از طراحی اولیه شبکه، برای اینکه شبکه قدرت پیشگویی مناسبی داشته باشد باید به طور مناسب آموزش دیده باشد و با توجه به اینکه فرایند آموزش وقت‌گیر است، انتخاب الگوریتم آموزشی سریع‌تر امری مهم است. از میان الگوریتم‌های آموزشی متفاوت که در جعبه ابزار نرم‌افزار متلب وجود دارد، الگوریتم لونبرگ – مارکوارت (LM)[۱] و تنظیم بایزین (BR)[۲] دارای سرعت مناسب، قابلیت پیشگویی و تعمیم‌پذیری بهتری نسبت به سایر روش‌های معمول مانند روش نزول گرادیانی[۳] می‌باشند [۷۲ , ۲۴]. بر این اساس شبکه با ۴ ورودی توسط دو الگوریتم آموزشی لونبرگ – مارکوارت و تنظیم بایزین، با تعداد متفاوت گره در لایه پنهان از ۲ تا۱۰ و همچنین توابع لگاریتم سیگموئیدی(logsig)[۴] و تانژانت سیگموئیدی(tansig)[۵]، به عنوان توابع انتقال لایه پنهان، آموزش داده شد. در تمامی این شبکه‌ها تعداد دورهای آموزش ثابت و برابر ۲۰ در نظر گرفته شد. همچنین از تابع انتقال خطی (purelin) در لایه خروجی استفاده شد. بدین ترتیب در مجموع ۱۴۴ شبکه سه لایه آموزش داده شد و همانطور که در بخش قبل گفته شد، بهینه سازی از طریق ارزیابی تقاطعی بر روی سری آموزش انجام گرفت. معیار نیز به حداقل رساندن میانگین مربع خطا (MSE) در نظر گرفته شد.

[1] - Levenberg-Marquardt
[2] - Bayesian Regularization
[3] - Gradient Descent
[4] - Logarithmic Sigmoid
[5] - Tangent Hyperbolic

در جداول (۲-۱۹) و (۲-۲۰) مقادیر حداقل MSE با توابع آموزش و انتقال متفاوت آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، ساختاری از شبکه که دارای تابع آموزش لونبرگ- مارکوارت و تابع انتقال تانژانت سیگموئیدی(tansig) می‌باشد، کمترین خطا را در پیش‌بینی درصد حذف متیل‌ویولت نشان می‌دهد. ولی برای رودامین، با تابع انتقال لگاریتم سیگموئیدی، خطا کمتر است.

جدول (۲-۱۹)- مینیمم مقدار خطای حاصل از پیش‌بینی سری آموزش به روش ارزیابی تقاطعی در توابع آموزش و انتقال متفاوت برای رنگ متیل ویولت.

No	تعداد گره ورودی	تعداد گره لایه پنهان	تابع آموزش	تابع انتقال	تعداد تکرار	MSE
۱	۴	۹	BR	tansig	۲۰	۷/۵۰
۲	۴	۹	BR	logsig	۲۰	۶/۵۳
۳	۴	۹	LM	tansig	۲۰	**۴/۲۲**
۴	۴	۸	LM	logsig	۲۰	۴/۷۵

جدول (۲-۲۰)- مینیمم مقدار خطای حاصل از پیش‌بینی سری آموزش به روش ارزیابی تقاطعی در توابع آموزش و انتقال متفاوت برای رنگ رودامین.

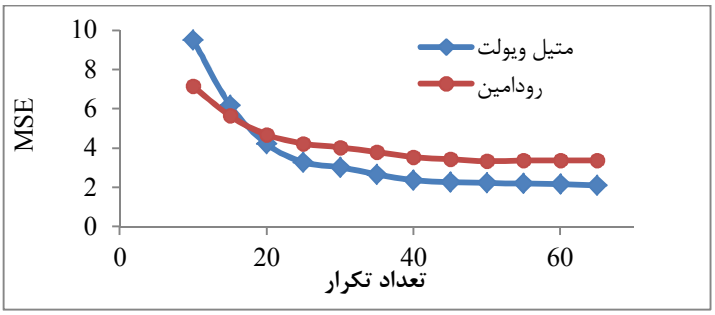
No	تعداد گره ورودی	تعداد گره لایه پنهان	تابع آموزش	تابع انتقال	تعداد تکرار	MSE
۱	۴	۴	BR	tansig	۲۰	۴/۹۵
۲	۴	۴	BR	logsig	۲۰	۴/۸۶
۳	۴	۸	LM	tansig	۲۰	۶/۰۵
۴	۴	۶	LM	logsig	۲۰	۴/۶۹

ج- انتخاب تعداد دورهای آموزش

با توجه به اینکه اگر دفعات تکرار کم باشد، خطای زیادی داریم و اگر تعداد تکرار زیاد باشد، آموزش بیش از حد[1] رخ می‌دهد [۷۲ , ۲۴]. بنابراین باید تعداد چرخه‌هایی که طی آن زوج ورودی– هدف در شبکه وارد می‌شوند، بهینه شود. به این منظور شبکه با الگوریتم لونبرگ مارکوارت، ۴ ورودی و تابع انتقال تانژانت سیگموئیدی (برای متیل‌ویولت) و تابع انتقال لگاریتم سیگموئیدی برای رودامین در تعداد دورهای متفاوت آموزش داده شد و میانگین مربع خطاها برای سری آموزش به روش ارزیابی تقاطعی ثبت گردید. شکل (۲-۲۸) نشان می‌دهد که برای هر دو رنگ با افزایش تعداد دورهای

[1] - Over-training

آموزش میانگین مربع خطا (MSE) کاهش می‌یابد تا جایی که در ۵۵ و ۵۰ دور تکرار به ترتیب برای متیل‌ویولت و رودامین خطا حداقل است و بعد از این مقادیر افزایش بیشتر تعداد دورهای یادگیری، تأثیر چندانی بر بهبود کارایی مدل ندارد. بنابراین تعداد دورهای تکرار ۵۵ و۵۰ به ترتیب به عنوان تعداد دورهای بهینه در فرایند آموزش شبکه جهت پیش‌بینی درصد حذف رنگ متیل‌ویولت و رودامین در محلول‌های تک‌جزئی انتخاب شد.



شکل (۲- ۲۸)- نمودار میانگین مربع خطای حاصل از ارزیابی تقاطعی سری آموزش در تعداد دورهای آموزش متفاوت.

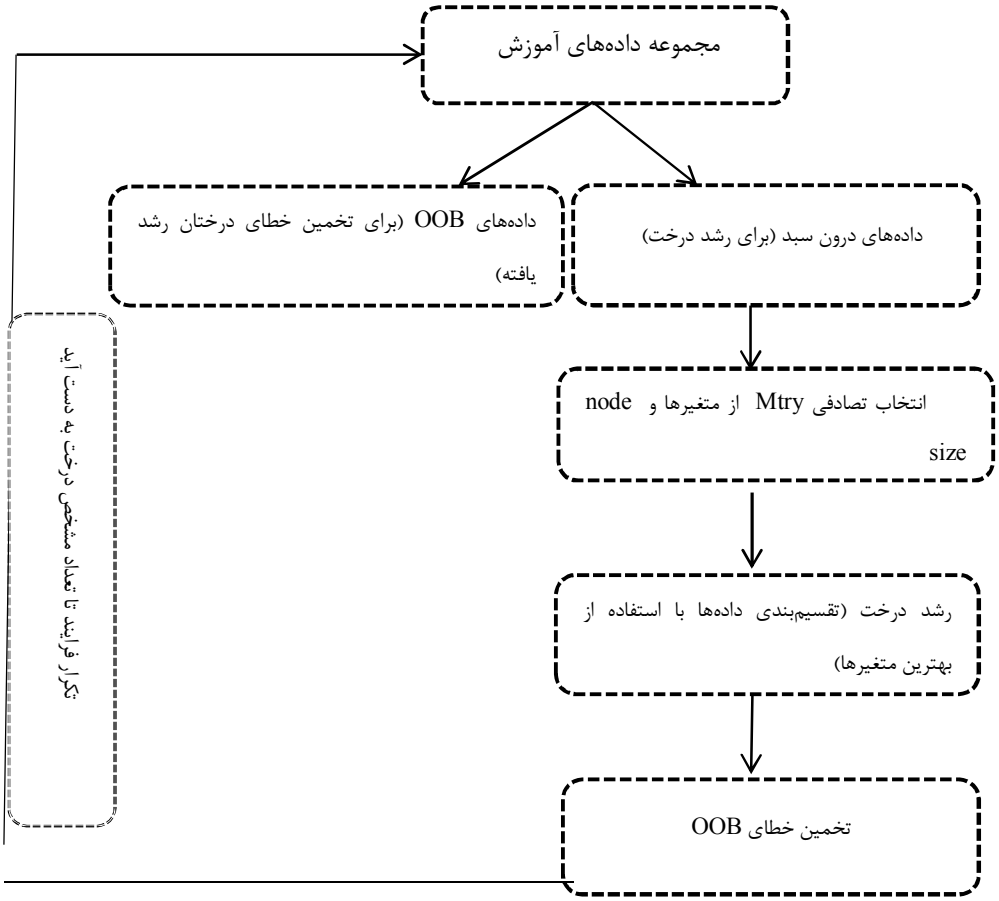
نتایج مربوط به پیش‌بینی سری آموزش به روش ارزیابی تقاطعی برای رنگ‌های متیل ویولت و رودامین به ترتیب در جدول (۱- ۵- پیوست) و جدول (۱- ۷- پیوست) آورده شده است.

۲-۲-۱۱-۲- مدل‌سازی با استفاده از جنگل تصادفی

مراحل اجرای الگوریتم جنگل تصادفی (شکل (۲-۲۹)) را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

الف) از میان داده‌های آموزش با استفاده از روش جایگذاری حدود دو سوم داده‌ها به عنوان داده‌های درون سبد و یک سوم داده‌ها به عنوان داده‌های خارج سبد (OOB) در نظر گرفته می‌شوند. ب) با استفاده از داده‌های درون سبد درختان تصمیم‌گیری(ntree) ساخته شده و در هر گره از آن به جای استفاده از کل متغیرهای ورودی، یک زیر مجموعه تصادفی کوچک (Mtry) انتخاب شده و بهترین تقسیم‌بندی فضا ویژگی بر اساس این زیرمجموعه انجام می‌شود. ج) متغیر node size (حداقل تعداد مشاهدات در هر گره) مقدار دهی اولیه شده و یک مدل رگرسیون بر اساس ntree، Mtry و Node size ساخته می‌شود. د) کمیت مورد نظر برای داده‌های موجود در OOB با استفاده از هر

درخت پیش‌بینی و میانگین‌گیری شده و به عنوان خروجی نهایی برای هر داده موجود در OOB در نظر گرفته می‌شود. و) حداقل مربعات خطا برای داده‌های OOB محاسبه می‌شود. ه) مراحل بالا تکرار شده و حداقل‌سازی خطای مجموعه داده‌های OOB به عنوان معیار در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس ابتدا سری داده‌ها به طور تصادفی به دو مجموعه آموزش و سری تست تقسیم شدند. ترکیبات به کار رفته در سری آموزش و تست همان ترکیبات به کار رفته در شبکه عصبی می‌باشند. برای ایجاد مدل جنگل تصادفی از داده‌های سری آموزش استفاده گردید که دو سوم داده‌ها به عنوان داده‌های درون سبد و یک سوم داده‌ها به عنوان داده‌های OOB در نظر گرفته شدند و حداقل‌سازی خطای داده‌های OOB برای بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر مدل جنگل تصادفی در نظر گرفته شد.



شکل (۲- ۲۹)- مراحل اجرای الگوریتم جنگل تصادفی.

بهینه‌سازی مقادیر *ntree , Mtry, Node size*

برای بهینه نمودن این پارامترها، تعداد درخت (ntree) از ۵۰ تا ۵۰۰ با گام ۵۰، تعداد متغیرهای ورودی انتخاب شده در هر مرحله تقسیم‌بندی (Mtry از ۱ تا ۴ با گام یک) و تعداد مشاهدات باقیمانده در هر گره (Node size) از۲ تا ۹ با گام یک تغییر داده شد و در هر مرحله مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) مربوط به مجموعه OOB محاسبه گردید. مقادیر MSE مربوط به داده‌های OOB برای رنگ-های متیل‌ویولت و رودامین برای چندین حالت که کمترین MSE را دارد، در جداول (۲-۲۱) و (۲-۲۲) آورده شده است.

جدول (۲-۲۱)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف متیل‌ویولت.

ntree	Mtry	Node siz	MSE (OOB)
۲۰۰	۲	۲	۱۱/۱۷
۱۰۰	۲	۳	**۱۱/۰۵**
۱۰۰	۲	۲	۱۱/۲۰
۴۵۰	۲	۲	۱۱/۰۸

جدول (۲-۲۲)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف رودامین

ntree	Mtry	Node siz	MSE (OOB)
۱۰۰	۲	۲	۱۰/۸۳
۳۰۰	۲	۲	**۹/۷۱**
۱۵۰	۲	۳	۱۰/۹۸
۴۵۰	۲	۲	۹/۶۳

با توجه به نتایج به دست آمده برای رنگ متیل ویولت تعداد درختان برابر با ۱۰۰، تعداد متغیر در هر تقسیم‌بندی برابر با ۲ و تعداد گره برابر با ۳ به عنوان مقادیر بهینه انتخاب شدند و برای رنگ رودامین تعداد درختان برابر با ۳۰۰، تعداد متغیر در هر تقسیم‌بندی برابر با ۲ و تعداد گره برابر با ۲ به عنوان مقادیر بهینه در نظر گرفته شدند.

نتایج مربوط به پیش‌بینی سری آموزش برای رنگ‌های متیل ویولت و رودامین در سیستم تک‌جزئی با استفاده از مدل بهینه ایجاد شده توسط جنگل تصادفی به ترتیب در جدول (۱-۵-پیوست) و جدول (۱- ۷- پیوست) آورده شده است.

۲-۲-۱۱-۳- مدل‌سازی با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه

رگرسیون به مفهوم ایجاد یک رابطه بین یک متغیر از یک طرف و یک یا چند متغیر از طرف دیگر می‌باشد. اگر تنها یک متغیر مستقل داشته باشیم، رگرسیون را ساده و در غیر این صورت، رگرسیون را چندگانه می‌گویند[۲۴]. در بسیاری موارد نمی‌توان تغییرات یک متغیر را فقط به مقادیر یک متغیر دیگر مربوط کرد. به عبارت دیگر برای پیش بینی مقادیر یک متغیر، دانستن مقادیر دو یا چند متغیر دیگر لازم است. در این حالت از روش رگرسیون چندگانه استفاده می‌شود.

ساده‌ترین و متداول‌ترین مدلی که برای ارتباط چند متغیر به کار می‌رود، مدل خطی چندگانه است. این مدل با رابطه خطی زیر تعریف می‌شود [۷۵]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \cdots + b_n x_n \qquad (۱۹-۲)$$

که در آن y متغیر وابسته، x_i متغیر مستقل، b_0 و b_i به ترتیب عرض از مبدأ و ضرائب رگرسیون نامیده می‌شوند. باید توجه کرد که مقدار ضریب متغیر مستقل در معادله، بیانی از میزان اهمیت آن متغیر در پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته است. در فرایند جذب مورد مطالعه x_i مربوط به pH، مقدار گرم جاذب به کار رفته، غلظت اولیه رنگ، زمان تماس و y درصد حذف رنگ می‌باشد.

بنابراین به منظور بررسی احتمال وجود یک ارتباط خطی بین متغیرهای ورودی و میزان کارایی حذف رنگ، روش رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از مجموعه داده‌های سری آموزش به کار گرفته شد که نتایج مربوطه برای رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین به ترتیب در معادلات (۲-۲۰) و (۲-۲۱) خلاصه شده است.

درصد حذف متیل‌ویولت = ۵/۶۸۲ + ۶/۸۷۰pH - ۰/۳۵۶Concentration + ۶۱۵/۹۸۰ Adsorbent dose + ۰/۴۲۵ Contact time (۲۰-۲)

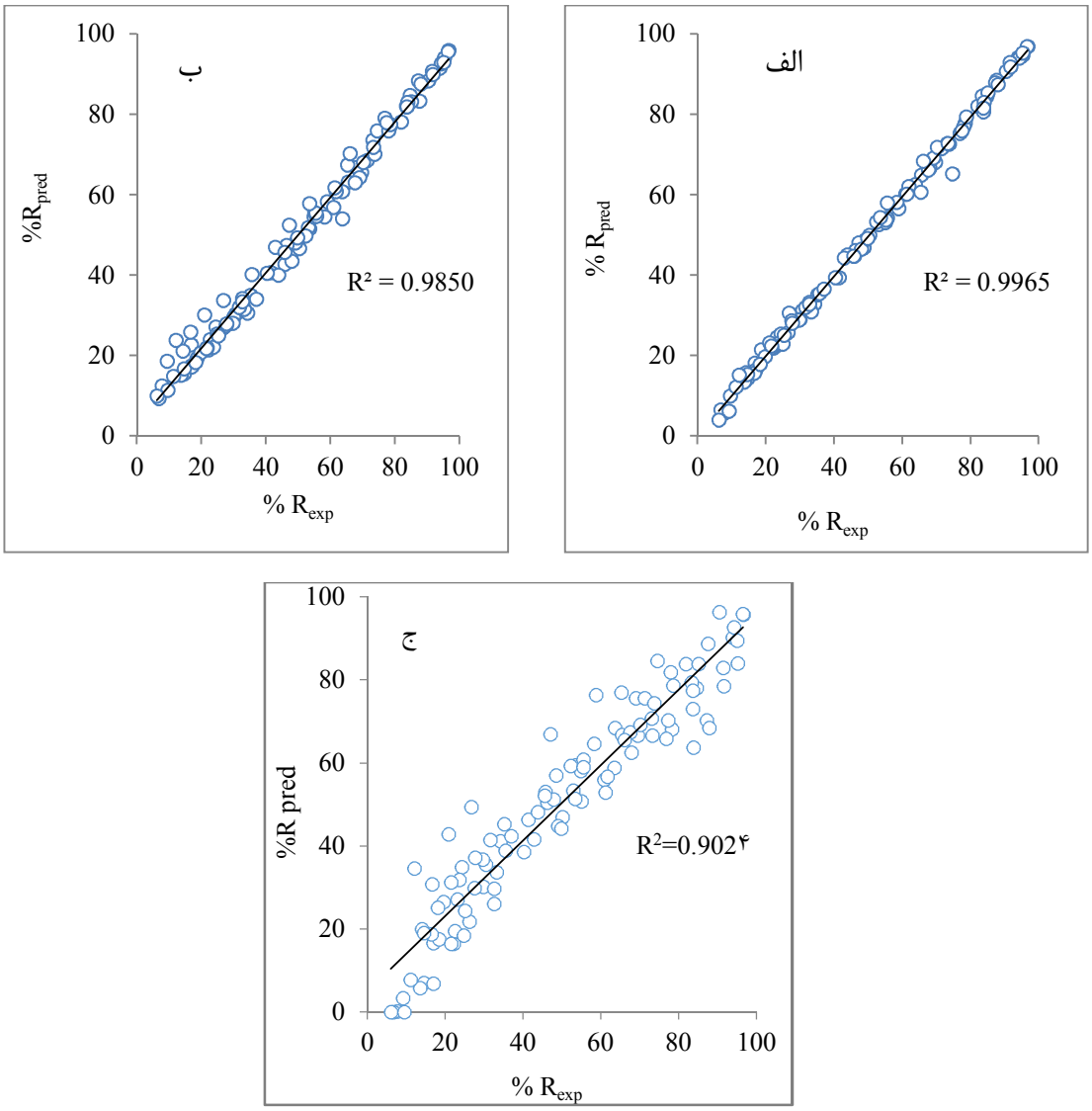
درصد حذف رودامین =۱/۹۲۴ + ۷/۳۴۵pH -۰/۴۸۳Concentration +۵۱۰/۳۱۴Adsorbent dose + ۰/۳۸۴Contact time (۲۱-۲)

علامت ضرایب این معادلات نشان می‌دهد که pH، مقدار جاذب و مدت زمان تماس اثر مثبت بر میزان درصد حذف رنگ دارند ولی غلظت اولیه رنگ اثر منفی بر میزان درصد حذف دارد.

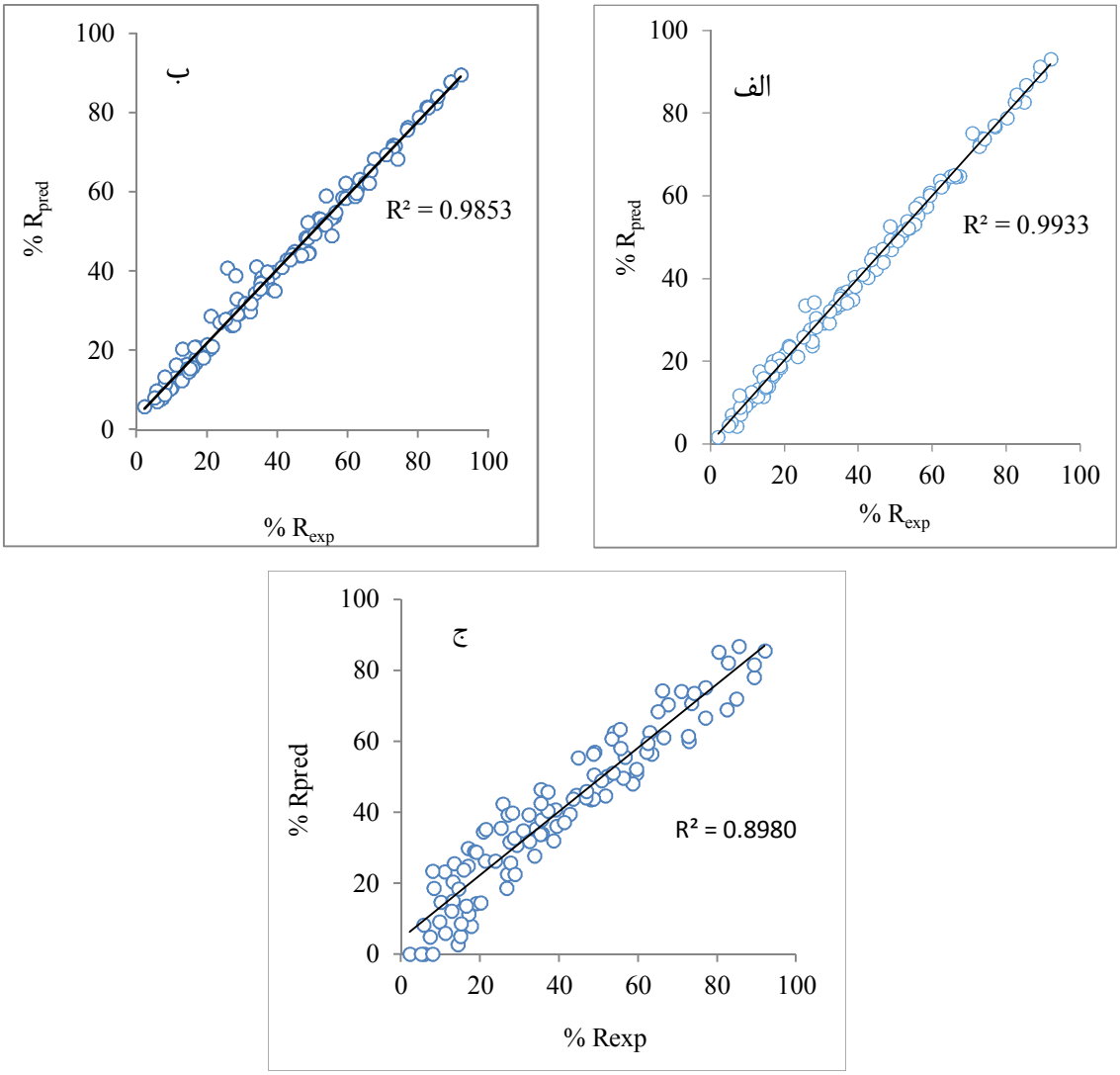
نتایج مربوط به پیش‌بینی سری آموزش هر یک از رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین با روش خطی چندگانه به ترتیب در جداول (۱-۵-پیوست) و (۱-۷- پیوست) آورده شده است. همچنین این معادله خطی برای پیش‌بینی کارایی حذف مجموعه داده‌های تست نیز به کار گرفته شد.

۲-۲-۱۱-۴- ارزیابی مدل‌های خطی و غیرخطی

اعتبار و اهمیت مدل‌ها وقتی مشخص می‌گردد که درصد حذف رنگ در شرایط آزمایشگاهی متفاوت که در دسته‌ی آموزش موجود نیستند، را پیش‌بینی کند. بدین منظور مدل‌های منتخب خطی و غیرخطی جهت پیش‌بینی درصد حذف ۱۰۸ نمونه که در شرایط متفاوت آزمایشگاهی تهیه شده و در فرایند مدل‌سازی استفاده نشده بودند، به کار گرفته شدند که در رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از ضرائب مدل برتر و در مدل جنگل تصادفی و شبکه عصبی با استفاده از مدل بهینه شده، مقادیر درصد حذف این نمونه‌ها پیش‌بینی شد. نتایج مربوط به پیش‌بینی درصد حذف رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین به ترتیب در جداول (۱-۶ پیوست) و (۱- ۸ پیوست) نشان داده شده است. همچنین شکل‌های (۲-۳۰) و (۲-۳۱)، ضریب تعیین مقدار پیش‌بینی شده برحسب مقدار تجربی به دست آمده برای سری تست را با استفاده از هر سه مدل برای هر دو رنگ نشان می‌دهد. ضریب تعیین بیانگر این است که روش غیرخطی ارائه شده توسط شبکه عصبی در پیش‌بینی درصد حذف رنگ در شرایط آزمایشگاهی متفاوت توانمندتر است.

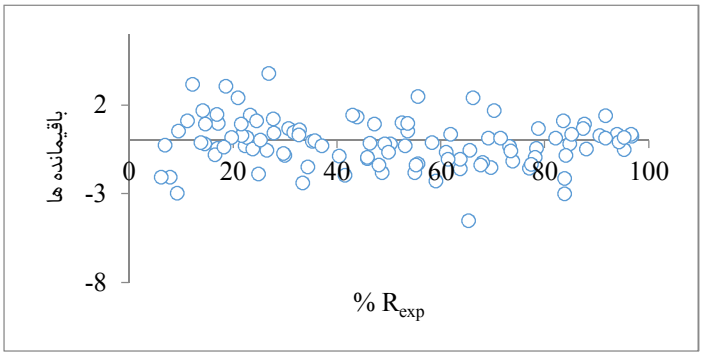


شکل(۲-۳۰)– نمودار مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری تست رنگ متیل‌ویولت الف) با مدل شبکه عصبی مصنوعی ب) با مدل جنگل تصادفی و ج) با مدل رگرسیون خطی چندگانه.

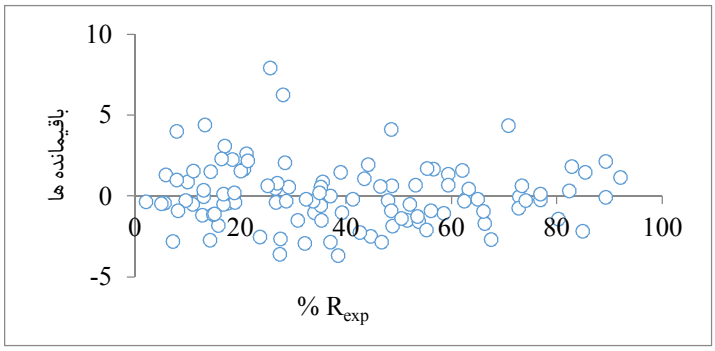


شکل(۲-۳۱)– نمودار مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری تست رنگ رودامین الف) با مدل شبکه عصبی مصنوعی ب) با مدل جنگل تصادفی و ج) با مدل رگرسیون خطی چندگانه.

یکی از معیارهایی که برای تأیید شایستگی مدل به کار می‌رود، نمودار باقیمانده‌ها می‌باشد. اگر باقیمانده‌ها به طور یکنواخت حول محور افقی پراکنده شده باشند، نشان می‌دهد که مدل مناسبی به دست آمده و هیچ خطای سیستماتیکی وجود ندارد [۲۴]. شکل (۲-۳۲) و (۲-۳۳) نمودار باقیمانده‌ها را که از تفاضل مقادیر تجربی درصد حذف رنگ از مقادیر محاسبه شده توسط شبکه عصبی مصنوعی به دست می‌آید، برحسب مقادیر تجربی نشان می‌دهد. تقارن پراکندگی نقاط در دو طرف محور افقی عدم وجود خطای سیسماتیک را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۳۲)- نمودار باقیمانده‌ها برحسب مقدار تجربی درصد حذف برای سری تست رنگ متیل‌ویولت.



شکل (۲-۳۳)- نمودار باقیمانده‌ها برحسب مقدار تجربی درصد حذف برای سری تست رنگ رودامین.

مطابق جدول (۲-۲۳) و (۲-۲۴) چهار پارامتر آماری میانگین مربع خطاها (MSE)، میانگین قدر مطلق خطاها (MAE)، متوسط خطای نسبی (MRE) و ضریب تعیین (R^2) که به ترتیب با معادلات (۲-۱۸)، (۲-۲۲)، (۲-۲۳) و (۲-۲۴) تعریف می‌شوند، جهت ارزیابی توانایی پیشگویی مدل‌های ساخته شده به روش خطی (رگرسیون خطی چندگانه و جنگل تصادفی) و غیرخطی (شبکه عصبی مصنوعی) به کار گرفته شدند [۲۲].

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|R_{exp} - R_{pred}\right|}{n} \qquad (۲۲-۲)$$

$$\text{MRE}\ (\%) = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{R_{exp}-R_{pred}}{R_{exp}}\right| \qquad (۲۳-۲)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(R_{exp} - R_{pred})^2}{(R_{exp} - \bar{R}_{exp})^2} \qquad (۲۴-۲)$$

در این روابط R_{exp} درصد حذف رنگ که از طریق تجربی به دست آمده، R_{pred} درصد حذف

رنگ پیش‌بینی شده توسط مدل، $\bar{R}_{exp}$ میانگین تجربی درصد حذف رنگ، n تعداد داده‌های سری تست می‌باشد. نتایج رضایت‌بخش مدل غیرخطی نشان می‌دهد که مشارکت متغیرهای ورودی برای پیش‌بینی درصد حذف، غیرخطی است.

جدول (۲-۲۳)- پارامترهای آماری سری تست رنگ متیل‌ویولت برای مقایسه صحت مدل‌ها.

پارامتر	شبکه عصبی مصنوعی	جنگل تصادفی	رگرسیون خطی
MSE	۲/۵۷	۱۰/۶۴	۶۹/۶۱
MAE	۱/۰۹	۲/۲۹	۶/۵۳
MRE	۳/۷۲	۹/۲۲	۲۴/۴۲
R^2	۰/۹۹۶	۰/۹۸۵	۰/۹۰۲

جدول (۲-۲۴)- پارامترهای آماری سری تست رنگ رودامین برای مقایسه صحت مدل‌ها.

پارامتر	شبکه عصبی مصنوعی	جنگل تصادفی	رگرسیون خطی
MSE	۳/۷۲	۱۰/۰۱	۵۶/۸۲
MAE	۱/۴۲	۲/۱۷	۶/۲۶
MRE	۶/۰۶	۱۱/۱۵	۳۴/۹۷
R^2	۰/۹۹۳	۰/۹۸۵	۰/۸۹۸

۲-۲-۱۱- ۵- بررسی اهمیت متغیرها در مدل‌های خطی و غیرخطی

الف- بررسی میزان مشارکت متغیرهای ورودی در شبکه عصبی

به منظور تعیین میزان مشارکت متغیرهای ورودی در پیش‌بینی خروجی شبکه (درصد حذف رنگ) روش مرحله به مرحله بهبود یافته[1] به صورت زیر به کار گرفته شد [۷۲]:

۱- متغیر مستقل مورد نظر به همراه اوزان مربوطه‌اش از شبکه بهینه شده حذف گردید.

۲- با استفاده از بقیه متغیرهای مستقل، مقدار متغیر وابسته (مقدار درصد حذف رنگ) برای هر ترکیب سری آموزش به روش ارزیابی تقاطعی پیش‌بینی شد.

۳- میانگین خطای مطلق حاصل از ارزیابی تقاطعی ترکیبات سری آموزش محاسبه گردید (رابطه (۲-۲۲)).

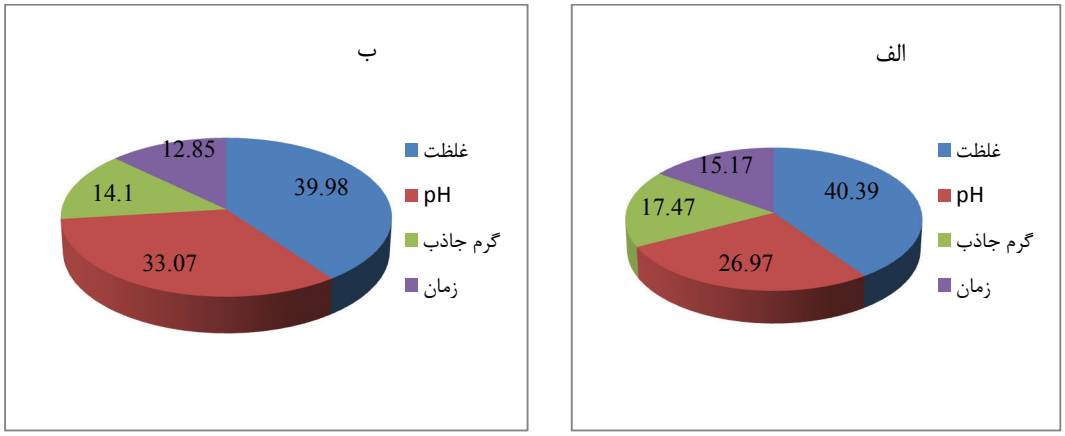
[1] - Improved stepwise method

۴- مراحل ۱تا ۳ برای دیگر متغیرهای مستقل نیز تکرار شد.

۵- سرانجام درصد مشارکت هر متغیر توسط رابطه (۲-۲۵) برآورد شد.

$$c_i = 100 \frac{MAE_i}{\sum_{i=1}^{N} MAE_i} \qquad (۲۵-۲)$$

در این رابطه c_i درصد مشارکت متغیر مستقل حذف شده iام، N تعداد متغیرهای مستقل (که در این پژوهش مقدار آن برابر ۴ می‌باشد) و MAE_i میانگین خطای مطلق حاصل از ارزیابی تقاطعی ترکیبات سری آموزش در غیاب متغیر مستقل iام را نشان می‌دهد. بر اساس این رابطه درصد مشارکت متغیرهای ورودی در ترکیبات مورد بررسی نشان می‌دهد که برای هر دو رنگ غلظت اولیه رنگ و pH نسبت به پارامترهای دیگر دارای اهمیت بیشتری هستند (شکل (۲-۳۴)). ولی باید به این نکته اشاره کرد که چون مقادیر اهمیت متغیرهای ورودی بالای ۱۰٪ است، بنابراین اثر تمامی پارامترهای ذکر شده بر میزان حذف رنگ معنادار است.

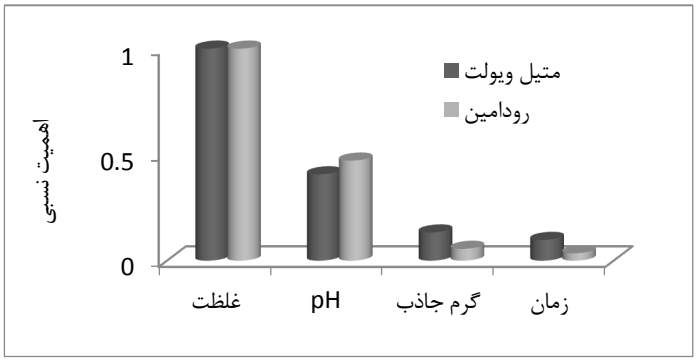


شکل(۲-۳۴)- مشارکت متغیرهای ورودی در شبکه عصبی مصنوعی برای الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین.

ب- اهمیت متغیرها در مدل جنگل تصادفی

روش جنگل تصادفی علاوه بر این که به عنوان یک روش مدل‌سازی استفاده می‌شود، می‌تواند به عنوان یک روش انتخاب متغیر نیز به کار برده شود. روش کار بدین صورت بود که پس از ساخت مدل جنگل تصادفی و بهینه کردن پارامترهای مؤثر، متغیر مورد نظر از مدل حذف شد.

سپس الگوریتم جنگل تصادفی با استفاده از مقادیر بهینه پنجاه بار تکرار شد. با توجه به اینکه در هر بار اجرای جنگل تصادفی داده‌های OOB متفاوت بوده، در نتیجه مقادیر MSE (که به عنوان معیاری از اهمیت هر متغیر بوده) تغییر می‌کند. بر این اساس، میانگین مقادیر MSE برای هر متغیر ورودی به عنوان شاخص نهایی در نظر گرفته شد. این فرایند برای هر یک از متغیرهای ورودی تکرار شد و سپس اهمیت نسبی هر متغیر مستقل نسبت به متغیری که بیشترین اهمیت (یا بیشترین MSE) را دارا است، تعیین شد. شکل (۲-۳۵) میزان اهمیت نسبی متغیر مستقل را نمایش می‌دهد که از نظر میزان اهمیت دقیقاً روندی مشابه شبکه عصبی دارند.



شکل(۲-۳۵)- مشارکت متغیرهای ورودی در جنگل تصادفی

ج- اهمیت متغیرها در روش رگرسیون خطی چندگانه

در روش رگرسیون خطی مقدار ضریب متغیر مستقل نرمالایز شده در معادله، بیانی از میزان اهمیت آن متغیر در پیش‌بینی مقادیر متغیر وابسته است. بنابراین با توجه به معادلات (۲-۲۶) و (۲-۲۷) ترتیب اهمیت متغیرهای ورودی همانند روش شبکه عصبی و روش جنگل تصادفی است.

درصد حذف متیل ویولت =۰/۴۱۴ + ۰/۲۹۶pH - ۰/۵۹۱Concentration + ۰/۲۰۰ Adsorbent dose + ۰/۱۵۶ Contact time (۲۶-۲)

درصد حذف رودامین =۰/۴۴۱ + ۰/۳۱۹pH- ۰/۵۷۲Concentration +۰/۱۲۱Adsorbent dose + ۰/۱۱۱Contact time (۲۷-۲)

با توجه به نتایج به دست آمده، از میان پارامترهای مؤثر بر فرایند جذب، غلظت اولیه رنگ و pH بیشترین اثر را بر میزان درصد حذف رنگ در سه روش مورد مطالعه داشته‌اند.

۲-۲-۱۲- مقایسه ظرفیت جذب جاذب پیشنهادی با برخی از جاذب‌های گزارش شده

ظرفیت جذب کامپوزیت مغناطیسی تهیه شده با ماکزیمم ظرفیت جذب که برای دیگر جاذب‌ها گزارش شده است، مقایسه گردید (جدول (۲-۲۵)). نتایج نشان می‌دهد که جاذب پیشنهاد شده دارای ظرفیت جذب قابل مقایسه می‌باشد.

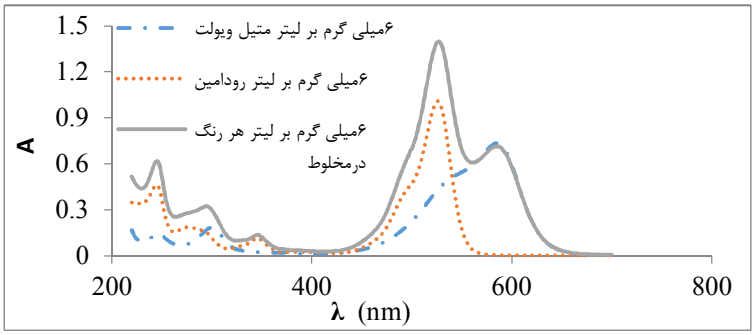
جدول (۲-۲۵)- مقایسه بین ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب‌های متفاوت پیشنهاد شده برای حذف رنگ‌های کاتیونی متیل ویولت و رودامین از محلول‌های آبی.

مرجع	ماکزیمم ظرفیت جذب (میلی‌گرم بر گرم)	رنگ	جاذب
[۷۶]	۱۰۶/۳۸	متیل ویولت	سلولز عامل‌دار شده
[۷۶]	۴۳/۶۷	متیل ویولت	سلولز عامل‌دار نشده
[۷۷]	۲۷۷/۰۰	متیل ویولت	صمغ هلو
[۷۸]	۳۳۲/۵۰	متیل ویولت	گل داوودی
کار حاضر	۱۴۷/۷	متیل ویولت	پوست گردو مغناطیس شده
[۳۴]	۳۲۳/۰۰	رودامین	نانوذرات مغناطیسی آهن پوشش داده شده با سورفکتانت
[۷۹]	۵۱/۰۵	رودامین	زباله های مواد غذایی شهری
[۸۰]	۸/۸۶	رودامین	کربن فعال
[۸۱]	۳۲/۶۰	رودامین	پوسته بادام
کار حاضر	۷۲/۳۷	رودامین	پوست گردو مغناطیس شده

۲-۲-۱۳- بررسی کارایی جاذب کامپوزیتی تهیه شده جهت حذف همزمان رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین در سیستم دوجزئی

۲-۲-۱۳-۱- تعیین همزمان غلظت رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین در سیستم دوجزئی

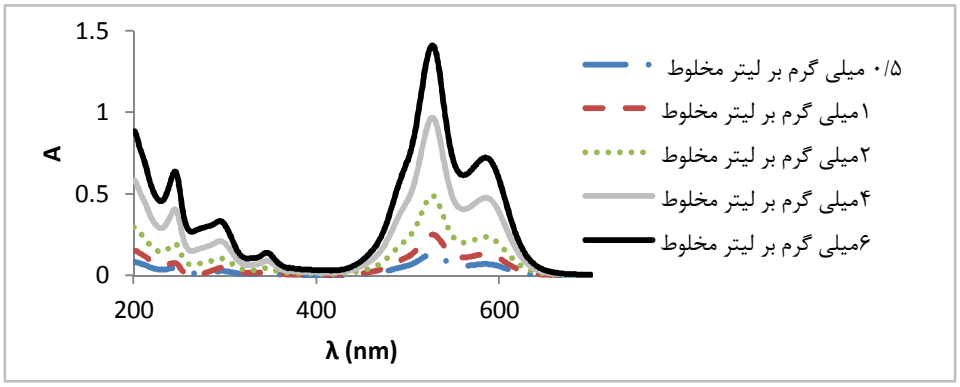
بر اساس رابطه (۱-۲)، برای اینکه درصد حذف رنگ توسط جاذب تخمین زده شود، باید غلظت آنالیت‌های مورد بررسی به طور صحیح تعیین شود. همانطور که قبلاً توضیح داده شد، در سیستم‌های تک‌جزئی با اندازه‌گیری سیگنال جذب در طول موج ماکزیمم هر رنگ و با استفاده از منحنی کالیبراسیون مربوط غلظت هر رنگ تعیین می‌شود. ولی در سیستم شامل مخلوط دو رنگ مورد مطالعه، همانطور که در شکل (۲-۳۶) مشاهده می‌شود، همپوشانی طیفی وجود دارد. در اینجا با وجود آنکه با استفاده از λ_{max} رنگ متیل ویولت (۵۸۴ نانومتر) به راحتی می‌توان غلظت آن را در حضور رنگ رودامین اندازه‌گیری کرد، اما به علت همپوشانی طیفی، آنالیز کمی رنگ رودامین از طریق λ_{max} آن (۵۲۶ نانومتر) امکان‌پذیر نمی‌باشد. برای حل این مشکل روش‌های مختلفی مانند تفاضل نسبی توسعه یافته (EXRSM)، روش کم کردن نسبی همزمان (SRSM) و روش دو طول موجی به کار گرفته شد.



شکل (۲-۳۶)- طیف جذبی محلول ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل ویولت، محلول ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رودامین و طیف مخلوط ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ.

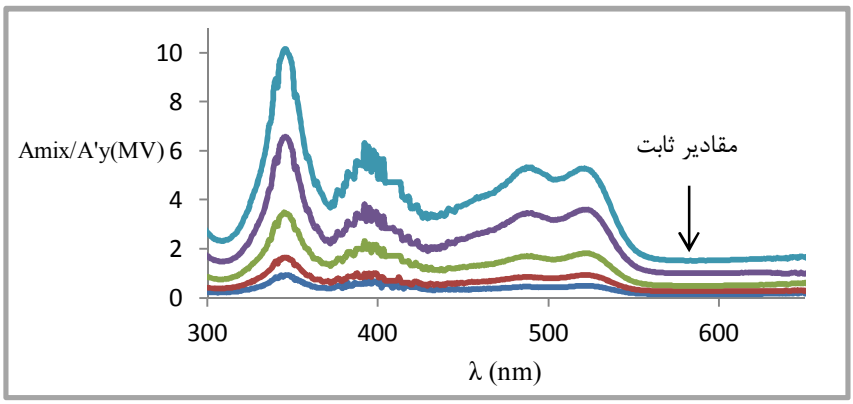
الف- تعیین غلظت متیل‌ویولت و رودامین با استفاده از روش تفاضل نسبی توسعه یافته (*EXRSM*)

به عنوان اولین روش اسپکتروسکوپی برای تعیین غلظت متیل‌ویولت و رودامین در مخلوط دوجزئی از روش EXRSM استفاده شد. مخلوط‌های متفاوتی از دو رنگ تهیه و طیف جذبی آنها نسبت به شاهد در دامنه‌ی ۸۰۰-۲۰۰ نانومتر ثبت گردید (شکل (۲-۳۷)).



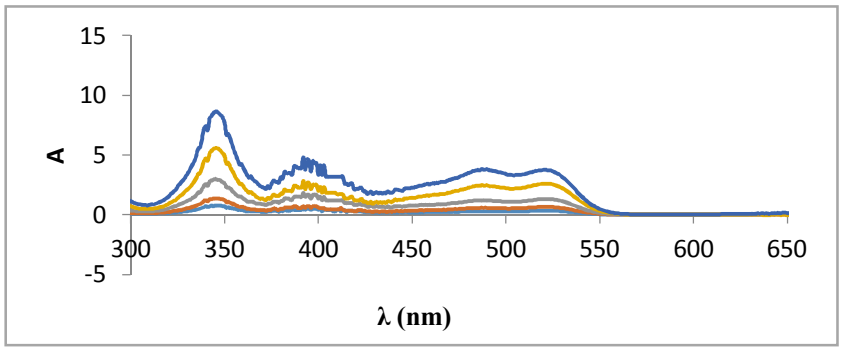
شکل (۲-۳۷)- طیف‌های جذبی مرتبه صفر مخلوط حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر دو رنگ متیل‌ویولت و رودامین.

سپس طیف‌های مخلوط به دست آمده بر طیف محلول ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌ویولت (گونه‌ای که جذب آن در طول موج‌های بلندتر صفر می‌شود) به عنوان مقسوم‌علیه تقسیم شد. طیف نسبی حاصل در ناحیه‌ی طول موج ۵۹۰-۵۷۷ نانومتر به موازات محور طول موج می‌باشد که همان مقدار ثابت برای هر مخلوط است (شکل (۲-۳۸)).

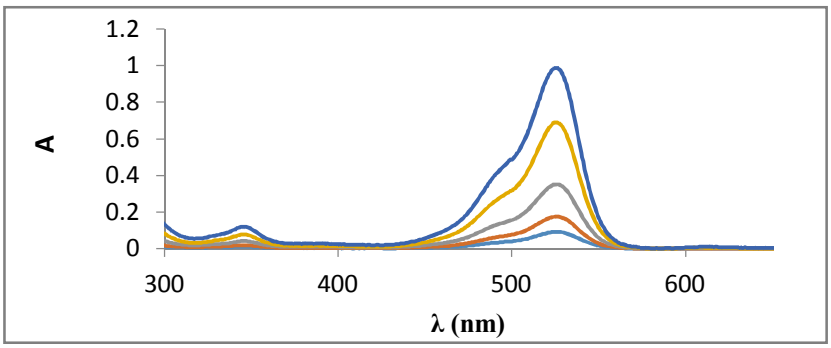


شکل (۲-۳۸)- طیف‌های جذبی حاصل از تقسیم طیف مخلوط حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر دو رنگ متیل‌ویولت و رودامین بر طیف ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌ویولت.

در شکل (۲-۳۸) A_{mix} و $A'_{y\,(mv)}$ به ترتیب بیانگر جذب مخلوط دو رنگ و جذب محلول متیل‌ویولت است. پس از کم کردن مقدار ثابت مربوط به هر مخلوط از طیف نسبی آن، طیف‌های نسبی شکل (۲-۳۹) به دست آمد. طیف‌های نسبی حاصل در طیف محلول ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌ویولت (به عنوان مقسوم علیه) ضرب شد که در این حالت طیف‌های خالص محلول‌های ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، و ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رودامین به دست آمد (شکل (۲-۴۰)). همانطور که مشاهده می‌شود، از طیف مخلوط دو گونه که با یکدیگر همپوشانی دارند، طیف خالص رودامین به دست آمد. با استفاده از طیف خالص به دست آمده، جذب در طول موج ماکزیمم رودامین اندازه‌گیری شد و در منحنی کالیبراسیون حاصل از محلول‌های خالص استاندارد رودامین قرار داده شد و غلظت رودامین در هر مخلوط به دست آمد.



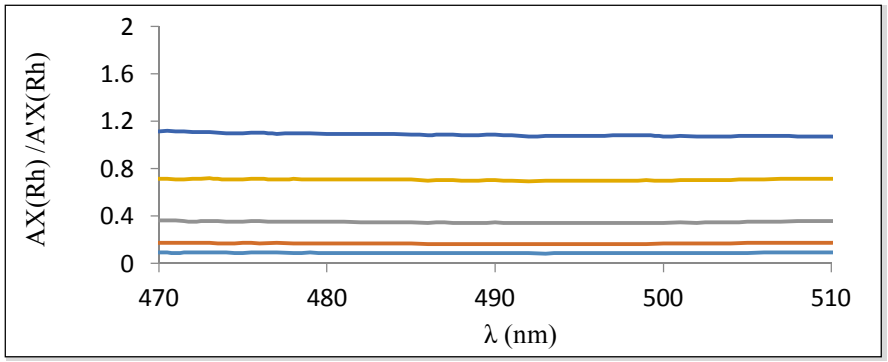
شکل (۲-۳۹)- طیف‌های جذبی حاصل از تقسیم طیف مخلوط حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر دو رنگ متیل‌ویولت و رودامین بر طیف ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌ویولت بعد از کم کردن ثابت.



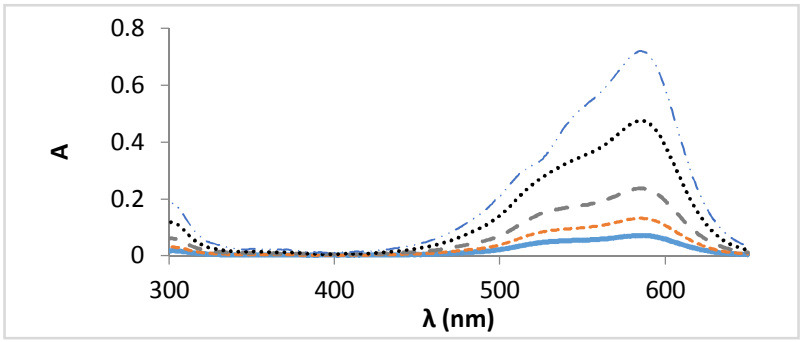
شکل (۲-۴۰)- طیف‌های جذبی حاصل از تقسیم طیف مخلوط حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر دو رنگ متیل‌ویولت و رودامین بر طیف ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌ویولت بعد از کم کردن مقدار ثابت و ضرب در طیف محلول ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیل‌ویولت.

در این روش تأثیر غلظت‌های متفاوت از متیل‌ویولت به عنوان مقسوم‌علیه، بر خطای حاصل از پیش‌بینی غلظت رودامین بررسی شد که نتایج نشان داد اختلاف معناداری بین آنها وجود ندارد.

با توجه به شکل (۲-۳۶) غلظت متیل‌ویولت را در مخلوط می‌توان به طور مستقیم با اندازه‌گیری سیگنال جذب در مخلوط و قرار دادن در منحنی کالیبراسیون آن به دست آورد. با این حال برای مقایسه، روش‌های دیگر همچون روش EXRSM جهت تعیین غلظت متیل‌ویولت در مخلوط به کار گرفته شد. روش کار بدین صورت بود که ابتدا طیف خالص مرتبه صفر به دست آمده برای رودامین (شکل (۲-۴۰)) به طیف غلظت معلوم (مثلاً ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از محلول رودامین تقسیم شد. طیف نسبی حاصل در ۴۹۰ -۴۸۰ نانومتر دارای مقدار ثابتی برای هر محلول است و همانطور که در شکل (۲-۴۱) مشاهده می‌شود، برای هر محلول خط صافی به موازات محور طول موج حاصل می‌شود (در این شکل $A_{X(Rh)}$ بیانگر جذب محلول‌های خالص مرتبه صفر رودامین حاصل از مخلوط و $A'_{X(Rh)}$ بیانگر جذب محلول رودامین با غلظت معین می‌باشد). سپس طیف مخلوط را نیز به طیف غلظت مشخصی از رودامین (مثلاً ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) تقسیم شد. سپس مقدار ثابت حاصل از هر طیف نسبی رودامین خالص از طیف نسبی مخلوط متناظر آن کسر گردید با ضرب طیف‌های نسبی حاصل از مرحله قبل در طیف محلول رودامین با غلظت معلوم به عنوان مقسوم‌علیه (مثلاً ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) استفاده شده بود، طیف خالص متیل‌ویولت به دست آمد (شکل (۲-۴۲)). با استفاده از طیف خالص مرتبه صفر به دست آمده، جذب در طول موج ماکزیمم متیل‌ویولت اندازه‌گیری شده و در منحنی کالیبراسیون حاصل از محلول‌های استاندارد خالص متیل‌ویولت قرار داده شد و غلظت متیل‌ویولت در هر مخلوط به دست آمد. صحت روش ذکر شده با استفاده از ۵ ترکیب سری تست که در کالیبراسیون استفاده نشده بودند، مورد سنجش قرار گرفت که نتایج به دست آمده در جدول (۲-۲۶) ارائه شده است.



شکل (۲-۴۱)- طیف‌های نسبی حاصل از تقسیم طیف خالص حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از رنگ رودامین بر طیف ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رودامین.



شکل (۲-۴۲)- طیف‌های جذبی مرتبه صفر متیل ویولت حاصل از تقسیم طیف مخلوط حاوی ۰/۵۰، ۱/۰۰، ۲/۰۰، ۴/۰۰، ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر دو رنگ متیل‌ویولت و رودامین بر طیف ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رودامین بعد از کم کردن مقدار ثابت و ضرب در طیف محلول ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رودامین.

ب- تعیین غلظت متیل‌ویولت و رودامین در مخلوط دو جزئی با استفاده از روش کم کردن نسبی همزمان (*SRSM*)

روش اسپکتروفتومتری دیگری که برای اندازه‌گیری همزمان متیل‌ویولت و رودامین به کار برده شد، روش کم کردن نسبی همزمان (SRSM) بود. در این روش طیف مخلوط‌ها و طیف محلول‌های خالص استاندارد رودامین بر غلظت معینی از متیل‌ویولت به عنوان مقسوم‌علیه (مثلاً ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) تقسیم شد. پس از تقسیم طیف مخلوط‌ها بر طیف مقسوم‌علیه، مقدار ثابت برای هر مخلوط در ناحیه‌ی طول موجی ۵۹۰-۵۷۷ نانومتر به دست آمد. سپس مقدار ثابت هر مخلوط از طیف نسبی همان مخلوط کم شد (شکل (۲-۳۹)). آنگاه مقدار نسبی جذب در طول موج ماکزیمم رودامین برای هر مخلوط از روی طیف نسبی حاصل پس از کم کردن مقدار ثابت

اندازه‌گیری شد. با استفاده از این مقادیر و منحنی کالیبراسیون مربوط، غلظت رودامین در هر مخلوط محاسبه گردید. برای رسم منحنی کالیبراسیون رودامین به این صورت عمل شد که طیف محلول‌های خالص استاندارد رودامین بر غلظت معینی از متیل‌ویولت به عنوان مقسوم‌علیه (مثلاً ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) تقسیم شد و مقدار نسبی جذب در طول موج ماکزیمم رودامین (۵۲۶ نانومتر) در هر محلول برحسب غلظت رودامین ترسیم شد. برای به دست آوردن غلظت متیل‌ویولت نیز بدین صورت عمل شد که طیف محلول‌های خالص متیل‌ویولت به طیف غلظت معینی از متیل‌ویولت به عنوان طیف مقسوم علیه (مثلاً ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) تقسیم شد و مقدار ثابت برای هر محلول استاندارد حاصل شد. سپس منحنی کالیبراسیون با ترسیم مقدار ثابت برحسب غلظت متیل‌ویولت به دست می‌آید. آنگاه با جایگذاری مقدار ثابت حاصل از هر مخلوط در منحنی کالیبراسیون مربوط (مقدار ثابت برحسب غلظت متیل‌ویولت) غلظت متیل‌ویولت در مخلوط محاسبه شد. صحت روش ذکر شده با استفاده از ۵ ترکیب سری تست که در کالیبراسیون استفاده نشده بودند، مورد سنجش قرار گرفت که نتایج حاصل در جدول (۲-۲۶) ارائه شده است.

ج- تعیین غلظت متیل‌ویولت و رودامین در مخلوط دو جزئی با استفاده از روش دو طول موجی

با توجه به خاصیت جمع‌پذیری سیگنال جذب که در محلول‌های تک‌جزئی و دو جزئی رنگ وجود داشت، روش دو طول موجی به عنوان سومین روش جهت تعیین غلظت متیل‌ویولت و رودامین در مخلوط دو جزئی مورد بررسی قرار گرفت. در این روش با استفاده از کالیبراسیون مستقیم به دست آمده در طول موج ۵۸۴ نانومتر، غلظت متیل‌ویولت در مخلوط محاسبه شد. همچنین یک منحنی کالیبراسیون برای متیل‌ویولت در طول موج ماکزیمم رودامین (۵۲۶ نانومتر) ترسیم شد (معادله (۲-۲۸)) و با توجه به غلظت متیل‌ویولت که در طول موج ۵۸۴ نانومتر تعیین گردید، جذب متیل‌ویولت در مخلوط در طول موج ۵۲۶ نانومتر با استفاده از معادله (۲-۲۸) به دست آمد. سپس جذب متیل‌ویولت از جذب مخلوط در طول موج ۵۲۶ نانومتر کسر گردید. جذب

حاصل برابر جذب رودامین در مخلوط است که با استفاده از این جذب و منحنی کالیبراسیون رودامین در ۵۲۶ نانومتر (معادله (۲-۲۹))، غلظت رودامین در مخلوط تعیین گردید. در معادلات (۲-۲۸) و (۲-۲۹)، A_{MV}، A_{Rh}، C_{MV}، C_{Rh} به ترتیب جذب متیل‌ویولت، جذب رودامین در طول موج۵۲۶ نانومتر، غلظت متیل‌ویولت و غلظت رودامین برحسب میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. اطلاعات کالیبراسیون مربوط به این معادلات در جدول (۱-۹پیوست) آورده شده است.

$$A_{MV}=۰/۰۶۹۹C_{MV}+۰/۰۰۲۳ \qquad R^2=۰/\,۹۹۶۸ \qquad (۲۸-۲)$$

$$A_{Rh}=۰/۱۵۳۵\,C_{Rh}+۰/۰۳۶۳ \qquad R^2=۰/\,۹۹۶۸ \qquad (۲۹-۲)$$

صحت روش ذکر شده با استفاده از ۵ ترکیب سری تست مورد سنجش قرار گرفت که نتایج به دست آمده در جدول (۲-۲۶) ارائه شده است. با مقایسه مقادیر غلظت‌های پیش‌بینی شده با مقادیر غلظت‌های واقعی توسط هر روش می‌توان نتیجه گرفت که هر سه روش صحت تقریباً مشابهی دارند. بنابراین با توجه به سادگی روش دو طول موجی، در ادامه‌ی کار برای تعیین غلظت متیل‌ویولت و رودامین از این روش استفاده شد.

جدول (۲-۲۶)- مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده برای رنگ‌های متیل ویولت و رودامین در مخلوط دو جزئی با روش‌های متفاوت پیشنهادی.

غلظت پیش‌بینی شده با روش دو طول موجی (میلی‌گرم بر لیتر)		**غلظت پیش‌بینی شده با روش SRSM (میلی‌گرم بر لیتر)**		**غلظت پیش‌بینی شده با روش EXRSM (میلی‌گرم بر لیتر)**		**غلظت واقعی (میلی‌گرم بر لیتر)**	
رودامین	متیل ویولت	رودامین	متیل ویولت	رودامین	متیل ویولت	رودامین	متیل ویولت
۰/۷۱	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۷۵
۰/۹۹	۲/۰۰	۱/۱۰	۲/۰۱	۱/۰۰	۲/۰۱	۱/۰۰	۲/۰۰
۳/۱۸	۲/۹۹	۳/۲۵	۳/۰۰	۳/۲۰	۲/۹۹	۳/۰۰	۳/۰۰
۵/۲۱	۵/۰۲	۵/۲۴	۵/۰۱	۵/۲۵	۴/۹۹	۵/۰۰	۵/۰۰
۲/۶۱	۸/۸۸	۲/۷۴	۸/۸۲	۲/۶۵	۸/۸۲	۳/۰۰	۹/۰۰

۲-۲-۱۳-۲- بررسی پارامترهای مؤثر بر فرایند جذب در مخلوط دو جزئی متیل‌ویولت و رودامین

الف- بررسی اثر *pH* در سیستم دوجزئی متیل ویولت و رودامین

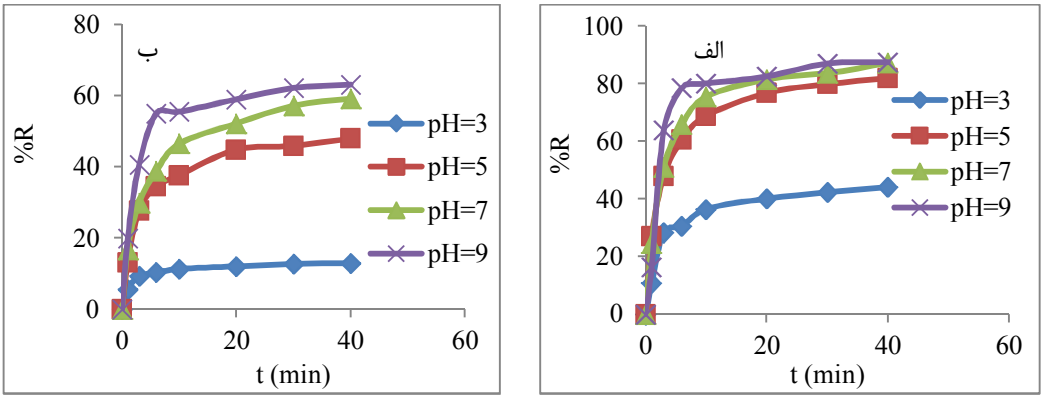
برای بررسی pH در سیستم دوجزئی شامل مخلوط دو رنگ،۰/۰۳۵۰گرم جاذب مغناطیسی تهیه شده به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر (نسبت به هر رنگ) اضافه شد. pH محلول با استفاده از هیدروکلریک اسید یا سدیم هیدروکسید در گستره ۳/۰ تا ۹/۰ تنظیم گردید. سپس درصد حذف رنگ در فاصله‌های زمانی مشخص با استفاده از معادله‌ی (۲-۱) محاسبه گردید. ذکر این نکته ضروری است که غلظت متیل ویولت در مخلوط دو رنگ در هر فاصله زمانی با استفاده از روش کالیبراسیون مستقیم و غلظت رودامین در سیستم دوجزئی از روش دو طول موجی تعیین شد. همانطور که نتایج به دست آمده نشان می‌دهد (جداول (۲-۲۷)، (۲-۲۸) و شکل (۲-۴۳)) درصد حذف رنگ در سیستم مخلوط دو رنگ همانند محلول تک جزئی رنگ در pH تقریباً خنثی و بازی مطلوب‌تر است. در واقع می‌توان گفت که با توجه به pH بار صفر جاذب، در این محیط‌ها سطح جاذب بیشتر دارای بار منفی بوده و به موجب آن میزان برهمکنش‌های الکتروستاتیکی بین گونه‌های کاتیونی و سطح جاذب با بار منفی، افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه تغییرات درصد حذف در pH=۷/۰ و pH=۹/۰ چندان اختلاف نداشت، pH=۷/۰ به عنوان pH بهینه انتخاب گردید. همچنین بررسی‌های زمانی در این شکل‌ها نشان می‌دهد که بعد از ۴۰ دقیقه سیستم به تعادل رسیده است.

جدول (۲-۲۷)- مقادیر درصد حذف رنگ متیل‌ویولت در pHها و زمان‌های مختلف.

زمان (دقیقه)	pH=۳/۰	pH=۵/۰	pH=۷/۰	pH=۹/۰
۰	۰	۰	۰	۰
۱	۱۱	۲۵	۲۷	۱۶
۳	۲۸	۴۸	۵۱	۶۴
۶	۳۱	۶۰	۶۶	۷۹
۱۰	۳۶	۶۹	۷۵	۸۰
۲۰	۴۰	۷۷	۸۱	۸۳
۳۰	۴۲	۸۰	۸۴	۸۷
۴۰	۴۵	۸۲	۸۷	۸۸

جدول (۲-۲۸)- مقادیر درصد حذف رنگ رودامین در pHها و زمان‌های مختلف.

زمان (دقیقه)	pH=۳/۰	pH=۵/۰	pH=۷/۰	pH=۹/۰
۰	۰	۰	۰	۰
۱	۶	۱۳	۱۷	۲۰
۳	۱۰	۲۸	۳۰	۴۰
۶	۱۰	۳۴	۳۹	۵۵
۱۰	۱۱	۳۸	۴۶	۵۶
۲۰	۱۲	۴۵	۵۲	۵۹
۳۰	۱۳	۴۶	۵۷	۶۲
۴۰	۱۳	۴۸	۵۹	۶۳



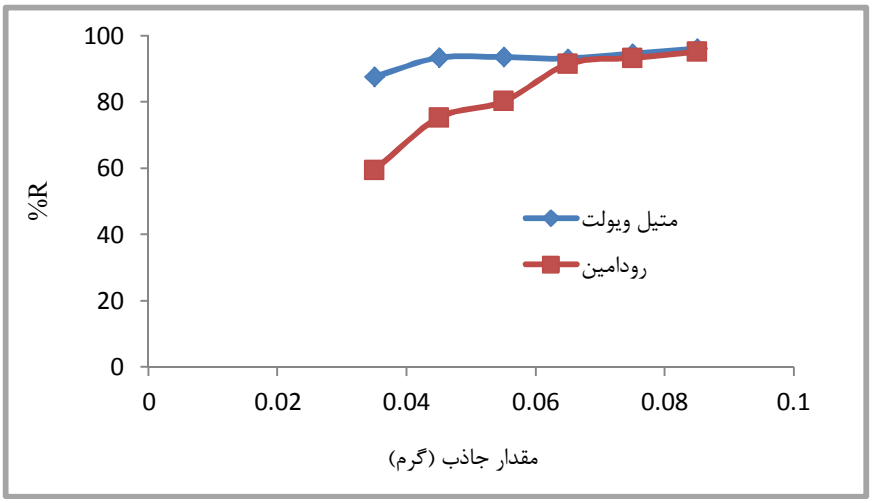
شکل (۲-۴۳)- بررسی تغییرات درصد حذف الف- متیل‌ویولت، ب- رودامین برحسب زمان در pHهای مختلف (مخلوط ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ با ۰/۰۳۵۰گرم جاذب و دمای ۳۵ درجه سانتیگراد)

ب- بررسی مقدار جاذب مصرفی در سیستم دوجزئی رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین

برای مطالعه اثر مقدار جاذب بر روی میزان حذف رنگ در سیستم دو جزئی، مقادیر متفاوتی از جاذب (۰/۰۳۵۰ تا ۰/۰۸۵۰ گرم) به ۵۰ میلی‌لیتر مخلوط دو رنگ (۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ) در pH=۷/۰ اضافه شد. نتایج مقدار درصد حذف رنگ برحسب میزان جاذب مصرفی در جدول (۲-۲۹) و شکل (۲-۴۴) نمایش داده شده است. همانطور که در شکل (۲-۴۴) مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار جاذب تا ۰/۰۷۵۰ گرم درصد حذف افزایش یافته و بعد از آن تقریباً ثابت شده است (هر چند که برای متیل‌ویولت در مقادیر کمتر مقدار درصد حذف ثابت شده است) بنابراین مقدار بهینه این پارامتر، مقدار ۰/۰۷۵۰ گرم انتخاب شد.

جدول (۲-۲۹)- مقادیر درصد حدف متیل‌ویولت و رودامین در مخلوط دو جزئی در مقادیر متفاوت جاذب.

درصد حذف رودامین	درصد حذف متیل‌ویولت	مقدار جاذب (گرم)
۵۹	۸۸	۰/۰۳۵۰
۷۵	۹۳	۰/۰۴۵۰
۸۰	۹۳	۰/۰۵۵۰
۹۱	۹۴	۰/۰۶۵۰
۹۳	۹۵	۰/۰۷۵۰
۹۵	۹۶	۰/۰۸۵۰



شکل (۲-۴۴)- بررسی اثر مقدار جاذب بر روی درصد حذف متیل‌ویولت و رودامین در مخلوط ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ، pH =۷/۰، زمان ۴۰ دقیقه و دمای ۳۵ درجه سانتیگراد.

ج- اثر غلظت اولیه رنگ در سیستم دو جزئی متیل‌ویولت و رودامین

برای بررسی اثر غلظت اولیه رنگ در سیستم دو جزئی مورد مطالعه بدین صورت عمل شد که مقدار ۰/۰۷۵۰ گرم جاذب به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول شامل مخلوط دو رنگ با غلظت‌های متفاوت در pH =۷/۰، اضافه شد. غلظت‌های مورد مطالعه به ترتیب شامل ۴۰/۰، ۶۰/۰، ۸۰/۰، ۱۰۰/۰ و ۱۲۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ بود. نتایج این بررسی‌ها در جداول (۲-۳۰) و (۲-۳۱) و شکل‌های (۲-۴۵) و (۲-۴۶) ارائه شده است. همانند سیستم تک‌جزئی با افزایش غلظت، مقدار درصد حذف کاهش می‌یابد. همچنین همانطور که در شکل‌های (۲-۴۵) و (۲-۴۶)

قابل مشاهده است، با افزایش مقدار غلظت ماده رنگزا، مقدار گرم ماده جذب شده به ازای گرم جاذب (q) افزایش می‌یابد. ولی با این حال مقدار این کمیت برای سیستم دوتایی نسبت به سیستم تک جزئی (با غلظت اولیه یکسان) کمتر شده است.

نوع رفتار در یک سیستم خاص بر اساس محاسبه‌ی پارامتری به نام نسبت ظرفیت جذب[1] (r) که از رابطه (۲-۳۰) به دست می‌آید، تعیین می‌شود [۸۲].

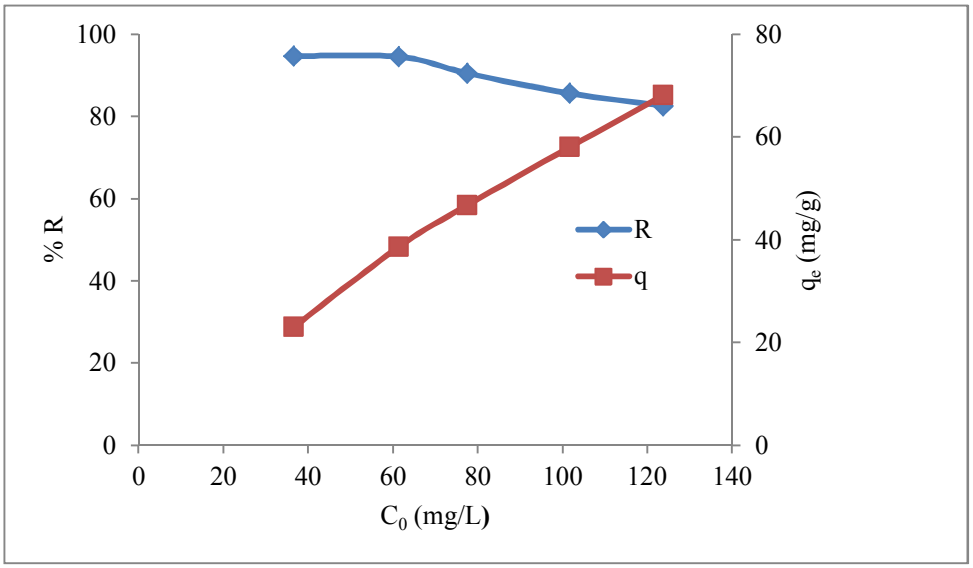
$$r = \frac{q_{b,i}}{q_{s,i}} \qquad (۳۰-۲)$$

در این معادله $q_{b,i}$ و $q_{s,i}$ به ترتیب مربوط به مقدار جذب شده گونه iام به ازای گرم جاذب در حالت تعادل در سیستم دوجزئی و سیستم تک‌جزئی (با غلظت اولیه یکسان) می‌باشد. بر اساس گزارشات ثبت شده اگر مقدار کمیت r بزرگتر از یک باشد، یعنی جذب گونه iام در حضور گونه‌ی دیگر افزایش یافته است و بین دو جذب شونده اثر همکاری[2] وجود دارد. اگر مقدار این کمیت برابر یک باشد، یعنی جذب شونده‌ها هیچ اثری بر هم ندارند (بدون برهم کنش[3]) و در حالتی که مقدار آن کوچکتر از یک باشد، یعنی جذب گونه iام در حضور گونه دیگر کاهش یافته است و اثر رقابتی[4] بین دو جزء وجود دارد [۸۳ , ۸۲]. بر اساس نتایج جداول (۲-۳۰) و(۲-۳۱) مقدار این کمیت برای سیستم دوجزئی مورد مطالعه کمتر از یک است. بنابراین نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که رنگ‌های مورد بررسی در سیستم دو جزئی اثرات رقابتی بر یکدیگر دارند و در واقع به دلیل اثر رقابتی مقدار درصد حذف و مقدار گرم جذب شده نسبت به سیستم تک‌جزئی کاهش یافته است.

[1] - ratio of the sorption capacity
[2] - synergism effect
[3] - Non-interaction effect
[4] - Competitive effect

جدول (۲-۳۰)- تغییرات درصد حذف رنگ در سیستم دوجزئی و q_e برای متیل‌ویولت در سیستم دوجزئی و تک‌جزئی در غلظت اولیه رنگزا.

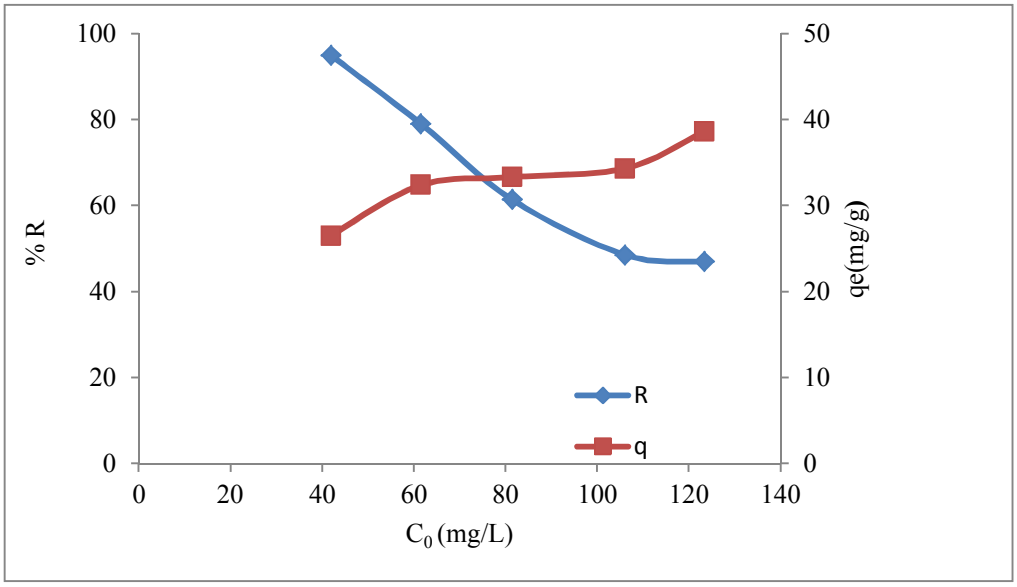
غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت تعادلی (میلی‌گرم بر لیتر)	درصد حذف رنگ (R)	میلی‌گرم جذب شده به ازای گرم جاذب در زمان تعادل (q_e) در سیستم دو جزئی	میلی‌گرم جذب شده به ازای گرم جاذب در زمان تعادل (q_e) در سیستم تک جزئی
۳۶/۶	۱/۹	۹۵	۱۲۲۳	۴۲/۵
۶۱/۴	۳/۳	۹۵	۳۸/۷	۶۰/۱
۷۷/۵	۷/۳	۹۰	۸۲۴۶	۸۴/۶
۱۰۱/۶	۱۴/۵	۸۶	۵۸/۱	۹۸/۴
۱۲۳/۶	۲۱/۴	۸۳	۶۸/۲	۱۱۴/۷



شکل (۲-۴۵) نمودار تغییرات درصد حذف رنگ و q برای متیل‌ویولت در سیستم دوجزئی برحسب غلظت اولیه رنگزا (شرایط ۵۰/۰۰ میلی لیتر محلول رنگ با غلظت‌های متفاوت در pH=۷/۰ با ۰/۰۷۵۰ گرم جاذب).

جدول (۲-۳۱)- تغییرات درصد حذف رنگ در سیستم دوجزئی و q_e برای رودامین در سیستم دوجزئی و تک جزئی در غلظت اولیه رنگزا.

میلی‌گرم جذب شده به ازای گرم جاذب در زمان تعادل(q_e) در سیستم تک جزئی	میلی‌گرم جذب شده به ازای گرم جاذب در زمان تعادل(q_e) در سیستم دو جزئی	درصد حذف رنگ(R)	غلظت تعادلی (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)
۳۳/۸	۲۶/۵	۹۵	۲/۱	۴۱/۹
۴۶/۲	۳۲/۴	۷۹	۱۲/۹	۶۱/۵
۵۹/۰	۳۳/۳	۶۱	۳۱/۴	۸۱/۴
۶۶/۲	۳۴/۳	۴۸	۵۴/۵	۱۰۶/۱
۶۸/۵	۳۸/۶	۴۵	۴۵۶۵	۱۲۳/۴



شکل (۲-۴۶)- نمودار تغییرات درصد حذف رنگ و q برای رودامین در سیستم دوجزئی برحسب غلظت اولیه رنگزا (شرایط ۵۰/۰۰ میلی لیتر محلول رنگ با غلظت‌های متفاوت در pH=۷/۰ با ۰/۰۷۵۰ گرم جاذب).

۲-۲-۱۳-۳- بررسی ایزوترم جذب در محلول‌های شامل مخلوط دو رنگ

برای توصیف فرایند جذب در سیستم دوجزئی مورد مطالعه، ایزوترم شیندروف[1] (به عنوان یک نوع ایزوترم فروندلیچ) و ایزوترم لانگموئر بسط یافته که به ترتیب توسط رابطه‌های (۲-۳۱) و (۲-۳۲) تعریف می‌شوند، به کار گرفته شدند [۸۵ , ۸۴].

$$q_{e,i}^{j} = k_{f,i} c_{e,i} (c_{e,i} + \theta_{ij} c_{e,j})^{\left(\frac{1}{n_i}-1\right)} \qquad (۳۱-۲)$$

$$q_{e,i} = \frac{q_{max,i} k_{l,i} c_{e,i}}{1 + \sum_{i=1}^{2} k_{l,i} c_{e,i}} \qquad (۳۲-۲)$$

در این روابط $c_{e,i}$، $c_{e,j}$ و $q^{j}{}_{e,i}$ نیز به ترتیب غلظت تعادلی گونه‌ی iام، غلظت تعادلی گونه‌ی jام و مقدار جذب شده گونه‌ی iام در حضور گونه‌ی jام در حالت تعادل به ازای گرم جاذب می‌باشد. $k_{f,i}$ و n_i ثابت‌های فروندلیچ می‌باشند که از ایزوترم فروندلیچ در محلول‌های تک‌جزئی به دست می‌آیند. θ_{ij} ضریب رقابتی است و در واقع نشان دهنده‌ی بازداری گونه iام برای جذب توسط گونه jام را نشان می‌دهد که از طریق برازش غیرخطی توسط نرم‌افزار متلب (با ترسیم $q^{j}{}_{e,i}$ برحسب $c_{e,i}$ و $c_{e,j}$) محاسبه شد. مقدار این کمیت برای رودامین در مقایسه با متیل‌ویولت بیشتر است. این موضوع نشان می‌دهد که اثر بازداری متیل‌ویولت بر روی رنگ رودامین بیشتر است. در ایزوترم لانگموئر بسط داده شده $q_{\max,i}$ و $k_{l,i}$ به ترتیب ماکزیمم ظرفیت جذب (برحسب mg/g) برای گونه iام و ثابت لانگموئر (برحسب L/mg) مربوط به گونه iام می‌باشد. مقادیر این پارامترها نیز از طریق برازش غیرخطی (با ترسیم $q_{e,i}$ برحسب $c_{e,i}$های متیل‌ویولت و رودامین) به دست آمدند (جدول ۲-۳۲). باید به این نکته اشاره کرد که $q_{e,i}$ با استفاده از رابطه (۲-۲) در زمان تعادل (زمان ۴۰ دقیقه) محاسبه می‌شود. معیار برای انتخاب ایزوترم مناسب، مقدار پارامترهای آماری ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا در نظر گرفته شد. بدین ترتیب که هر چه R^2 بزرگتر و جذر میانگین مربعات

[1] - Sheindorf-Rebuhn-Sheintuch

خطا کمتر باشد، ایزوترم مناسب‌تر است. با توجه به مقادیر این پارامترها، ایزوترم لانگموئر بسط یافته بهتر می‌تواند رفتار جذب را در سیستم دو جزئی توصیف کند. همچنین به دلیل حضور گونه دیگر در محیط q_{max} (ماکزیمم ظرفیت جذب) برای هر گونه کاهش می‌یابد. کاهش مقدار این پارامتر برای هر رنگ در حضور رنگ دیگر مؤید وجود برهم‌کنش‌های رقابتی بین دو رنگ برای اتصال بر روی سایت‌های جاذب می‌باشد.

جدول (۲-۳۲)- مقادیر پارامترهای ایزوترم‌های چند جزئی در سیستم دو جزئی مورد مطالعه.

ایزوترم	پارامتر	متیل ویولت	رودامین
شیندروف	θ_{ij}	۰/۴۳۵	۷/۰۲۴
	R^2	۰/۸۱۵۵	۰/۱۶۱۸
	RMSE	۸/۱۹	۸/۹۳
لانگموئر بسط یافته	q_{max} (mg/g)	۱۰۰/۸۰	۳۷/۲۳
	$k_{l,1}$ (L/mg)	۰/۱۹۷۳	۱/۷۰۳
	$k_{l,2}$ (L/mg)	۰/۰۱۶۹	۰/۳۶۵
	R^2	۰/۹۶۰۹	۰/۹۴۹۸
	RMSE	۳/۷۷	۱/۸۵

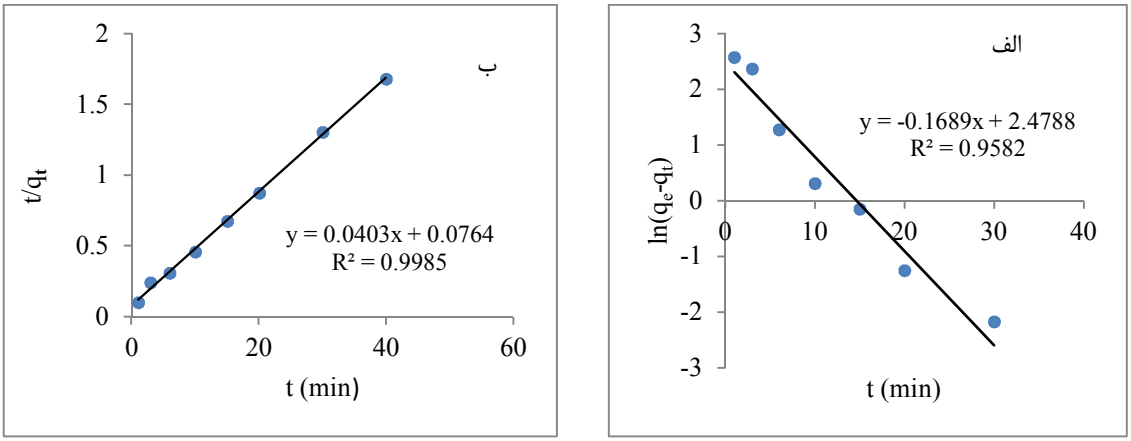
۲-۲-۱۳-۴- مطالعه سینتیک فرایند جذب در سیستم دوجزئی رنگ

برای بررسی سینتیک و تعیین سرعت واکنش در سیستم مخلوط، مدل سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم استفاده شد. بدین منظور در حالی که مقدار جاذب و pH در مقدار بهینه به ترتیب ۰/۰۷۵۰ گرم و ۷/۰ ثابت شده بود، تغییرات غلظت ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر (نسبت به هر رنگ) به صورت تابعی از زمان اندازگیری شد که نتایج به دست آمده برای متیل-

ویولت و رودامین به ترتیب در جداول (۲-۳۳) و (۲-۳۴) آورده شده است. مقدار q_t برای هر رنگ در سیستم مخلوط با استفاده از رابطه (۲-۲) محاسبه گردید. سپس نمودار $\ln(q_e - q_t)$ برحسب زمان و نمودار $\frac{t}{q_t}$ برحسب زمان برای رنگ‌های مورد مطالعه بر اساس معادلات (۲-۱۰) و (۲-۱۱) ترسیم شد (شکل‌های (۲-۴۷) و (۲-۴۸)). با توجه به مقدار ضریب تعیین و میزان توافق بین q_e تجربی و q_e محاسبه شده توسط مدل (جدول (۲-۳۵))، می‌توان نتیجه گرفت که در سیستم مخلوط دو جزئی همانند سیستم تک جزئی سینتیک واکنش از مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم تبعیت می‌کند.

جدول (۲-۳۳)- اطلاعات مربوط به سینتیک شبه مرتبه اول و سینتیک شبه مرتبه دوم برای رنگ متیل‌ویولت.

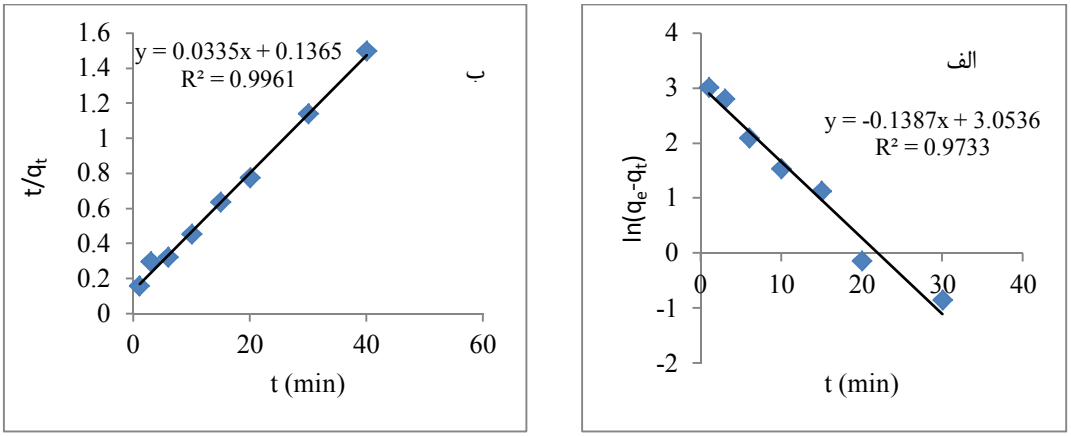
t (min)	غلظت (mg/L)	q_t (mg/g)	$\ln(q_e-q_t)$	t/q_t (min.g/mg)
۱	۲۱/۸۱	۹/۸۷	۲/۵۸	۰/۱۰
۳	۱۷/۹۳	۱۲/۴۴	۲/۳۷	۰/۲۴
۶	۷/۳۵	۱۹/۵۱	۱/۲۸	۰/۳۱
۱۰	۳/۹۹	۲۱/۷۵	۰/۳۲	۰/۴۶
۱۵	۳/۲۲	۲۲/۲۷	-۰/۱۵	۰/۶۷
۲۰	۲/۳۵	۲۲/۸۳	-۱/۲۵	۰/۸۷
۳۰	۲/۰۹	۲۳/۰۰	-۲/۱۶	۱/۳۰
۴۰	۱/۹۳	۲۳/۱۲		۱/۶۸



شکل (۲-۴۷)- نمودار سینتیکی الف- شبه مرتبه اول و ب- شبه مرتبه دوم برای جذب متیل‌ویولت در سیستم دو جزئی (شرایط: ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ، pH=۷/۰ ، مقدار جاذب ۰/۰۷۵۰ گرم و دما ۳۵ درجه سانتیگراد).

جدول (۲-۳۴)- اطلاعات مربوط به سینتیک شبه مرتبه اول و سینتیک شبه مرتبه دوم برای رنگ رودامین.

t (min)	غلظت (mg/L)	q_t (mg/g)	$\ln(q_e-q_t)$	t/q_t (min.g/mg)
۱	۳۳/۴۹	۶/۲۷	۳/۰۲	۰/۱۶
۳	۲۷/۷۴	۱۰/۱۰	۲/۸۱	۰/۳۰
۶	۱۵/۰۷	۱۸/۵۵	۲/۱۰	۰/۳۲
۱۰	۹/۸۱	۲۲/۰۶	۱/۵۳	۰/۴۵
۱۵	۷/۴۹	۲۳/۶۱	۱/۱۳	۰/۶۳
۲۰	۴/۱۶	۲۵/۸۲	-۰/۱۴	۰/۷۷
۳۰	۳/۵۰	۲۶/۲۷	-۰/۸۵	۱/۱۴
۴۰	۲/۸۶	۲۶/۶۹	_____	۱/۵۰



شکل (۲-۴۸)- نمودار سینتیکی الف) شبه مرتبه اول، ب) شبه مرتبه دوم برای جذب رودامین در سیستم دو جزئی (شرایط: ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ، pH=۷/۰ ، مقدار جاذب ۰/۰۷۵۰ گرم و دما ۳۵ درجه).

جدول (۲-۳۵)- پارامترهای سینتیکی در فرایند جذب رنگ‌های متیل‌ویولت و رودامین در مخلوط دو جزئی.

	شبه مرتبه اول				**شبه مرتبه دوم**		
غلظت (mg/L)	$q_{e(exp.)}$ (mg/g)	$q_{e(cal.)}$ (mg/g)	k_1 (min^{-1})	R^2	$q_{e(cal.)}$ (mg/g)	k_1 ($mgg^{-1}min^{-0.5}$)	R^2
متیل ویولت							
۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر	۲۳/۱	۱۱/۹	۰/۱۷	۰/۹۵۸۲	۲۴/۸	۰/۰۲۱	۰/۹۹۸۵
رودامین							
۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر	۲۶/۷	۲۱/۲	۰/۱۴	۰/۹۷۳۳	۲۹/۸	۰/۰۰۸۲	۰/۹۹۶۱

۲-۳- کاربرد مخروط کاج اصلاح شده در حذف رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت از محلول‌های تک‌جزئی و دوجزئی

در طول چند دهه‌ی اخیر استفاده از مواد پسماند و مواد جانبی حاصل از محصولات کشاورزی و صنایع مختلف به طور گسترده‌ای جهت حذف رنگ از محیط‌های آبی به کار گرفته شده است. سالانه مقادیر زیادی مخروط کاج (به عنوان محصول جانبی کشاورزی) در سراسر جهان تولید می‌شود. در مقایسه با مقدار تولید این محصول، کاربردهای محدودی برای آن گزارش شده است [۴۳]. بنابراین می‌تواند به عنوان یک جاذب ارزان‌قیمت و کم هزینه به کار گرفته شود. حذف رنگ‌های اسید سبز ۲۵[۱]، اسید سیاه ۲۶[۲] به وسیله مخروط کاج توسط محمودی و همکارانش انجام شد [۸۶]. یعقوب[۳] و همکارانش حذف متیلن‌بلو بر روی مخروط کاج و مخروط کاج اصلاح شده با سدیم هیدروکسید را مورد بررسی قرار دادند [۸۷]. مخروط کاج تیمار شده با اسید برای حذف رنگ آنیونی کنگو رد[۴] استفاده شد [۸۸]. همچنین مطالعات دیگری برای حذف فلزات مانند مس، سرب، کروم و کادمیم توسط دیگر محققان انجام شده است [۸۸ , ۴۲].

یکی از روش‌های کارامد برای افزایش ظرفیت جذب، اصلاح سطوح این مواد با گروههای عاملی همچون کربوکسیل، هیدروکسیل و آمین می‌باشد[۸۹]. چااو[۵] و همکارانش سطح پوسته بادام زمینی را با این سه گروه عاملی در حضور حلال اصلاح کردند. نتایج نشان داد که گروههای کربوکسیل عامل مهم‌تری در جذب رنگ‌های کاتیونی هستند [۹۰]. محققان دیگر نیز جاذب‌های متفاوت را با استفاده از گروههای کربوکسیل اصلاح کردند و برای حذف رنگ‌های کاتیونی [۸۹] استفاده کردند. با این حال در اغلب روش‌های انجام شده، از حلال‌های آلی استفاده شده که بسیار سمی هستند. در این مطالعه برای اولین بار مخروط کاج با استفاده از ایزوپروپیلیدن مالونات (به عنوان ماده در دسترس،

[1]- Acid green 25
[2] - Acid black 26
[3] - Yagub
[4] - Congo red
[5] - Chao

پایدار و غیرسمی [۹۱]) از طریق یک واکنش بدون حضور حلال آلی اصلاح گردید و کارایی آن برای حذف سافرانین و متیل‌ویولت از محلول‌های تک جزئی و دو جزئی مورد بررسی قرارگرفت.

به طور کلی اهداف کار حاضر عبارتست از:

۱- تعیین غلظت رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت در محلول‌های دو جزئی با استفاده از روش مشتقی و روش حداقل مربعات جزئی

۲- اصلاح سطح مخروط کاج با گروه‌های کربوکسیل و مشخصه‌یابی سطح آن

۳- ارزیابی قابلیت کاربرد جاذب اصلاح شده برای حذف رنگ از محلول‌های آبی

۴- بررسی سینتیک و ایزوترم توصیف کننده رفتار فرایند جذب

۵- ارزیابی قابلیت بازیابی جاذب پیشنهاد شده

۶- مدل‌سازی فرایند حذف رنگ از محلول‌های دو جزئی با استفاده از روش‌های محاسباتی.

۲-۳-۱- تهیه مخروط کاج اصلاح شده با گروههای کربوکسیلات

به خوبی معلوم شده است که ترکیباتی مانند مخروط کاج به دلیل داشتن سلولز در ساختارشان دارای گروههای هیدروکسیل می‌باشند. از طرفی ترکیباتی همچون ایزوپروپیلیدن مالونات می‌توانند با گروههای نوکلئوفیل همچون هیدروکسیل یا آمین، واکنش دهند [۹۲]. به این دلیل از این ترکیب برای افزایش تعداد گروههای کربوکسیل در ساختار مخروط کاج استفاده شد. روش کار بدین صورت بود که ابتدا مخروط کاج از محوطه دانشگاه جمع‌آوری گردید. بعد از پودر کردن با آسیاب گلوله‌ای و تیمار کردن با محلول سدیم هیدروکسید، چندین بار با آب مقطر شسته شده تا موم، چربی و دیگر مواد محلول از سطح آن جدا شود و محلول زیر صافی کاملاً بیرنگ و pH خنثی را نشان دهد. سپس مخروط کاج خشک شده و ایزوپروپیلیدن مالونات با نسبت‌های متفاوت (۱:۱، ۱:۲، ۱:۳، ۱:۴و۱:۵) در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد در حمام روغن به صورت مغناطیسی همزده شد[۹۱]. بعد از

گذشت ۴ ساعت از انجام واکنش، ترکیب حاصل در یک دستگاه سوکسله در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۰ ساعت شسته شد تا ایزوپروپیلیدن مالونات واکنش نکرده از سطح جدا شود.

تعداد گروههای کربوکسیلیک اسید (n_{COOH}) جاذب از طریق تیتراسیون برگشتی[1] با محلول اسید تعیین گردید [۹۱ , ۴۵]. روش کار بدین صورت بود که ۲ نمونه‌ی ۰/۱۰ گرمی از جاذب اصلاح شده به ارلن‌هایی که شامل ۱۰۰/۰ میلی‌لیتر از محلول استاندارد سدیم هیدروکسید (۰/۰۱۰مولار) بود، منتقل شد. محلول دورن هر ارلن به مدت ۳۰ دقیقه به صورت مغناطیسی همزده شد. سپس مخلوط حاصل از هر ارلن به طور جداگانه صاف گردید و از محلول زیر صافی حاصل از هر ارلن سه محلول آبی ۲۰/۰۰ میلی‌لیتری برداشته شد و هر محلول با محلول استاندارد هیدروکلریک اسید (۰/۱۰ مولار) و در حضور شناساگر فنل فتالئین تیتر شد. تعداد گروههای کربوکسیلیک اسید به ازای گرم جاذب با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$n_{COOH} = \left(\frac{C_{NaOH} V_{NaOH} - C_{HCl} V_{HCl} f}{w} \right) \times 100 \qquad (۳۳-۲)$$

در این رابطه C_{NaOH} غلظت محلول استاندارد سدیم هیدروکسید (مول بر لیتر)، C_{HCl} غلظت محلول استاندارد هیدروکلریک اسید (مول بر لیتر)، V_{NaOH} حجم محلول استاندارد سدیم هیدروکسید (لیتر)، V_{HCl} حجم محلول استاندارد هیدروکلریک اسید مصرف شده در واکنش با محلول سدیم هیدروکسید واکنش نکرده، w وزن جاذب به کار گرفته شده و f فاکتور تبدیل[2] که در این واکنش مقدار آن برابر ۵ می‌باشد (حجم‌های ۲۰/۰۰ میلی‌لیتری). نتایج حاصل در جدول (۲-۳۶) نشان داده شده است.

جدول (۲-۳۶)- نتایج حاصل از بهینه سازی مقدار ایزوپروپیلیدن مالونات در اصلاح شیمیایی مخروط کاج.

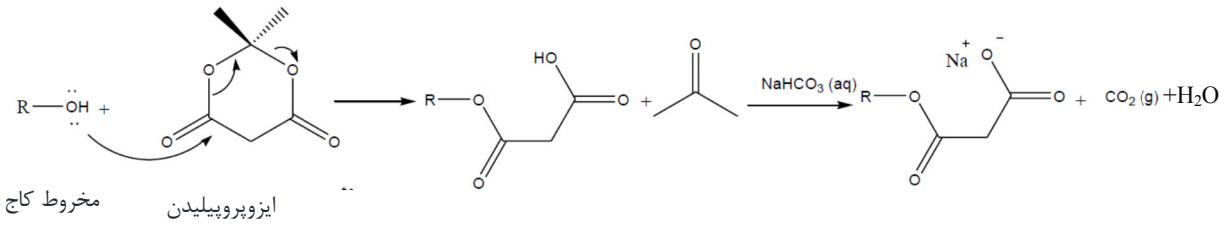
نسبت مخروط کاج به ایزوپروپیلیدن مالونات	۱:۱	۱:۲	۱:۳	۱:۴	۱:۵
n_{COOH}	۳/۳۹±۰/۲۹	۴/۰۲±۰/۰۶	۴/۵۹±۰/۱۸	۴/۸۹±۰/۲۲	۵/۱۰±۰/۱۴

[1] - Back titration

[2]- Conversion factor

همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود، افزایش مقدار ایزوپروپیلیدن مالونات از ۱/۰ به ۳/۰ گرم، منجر به افزایش n_{COOH} می‌شود و افزایش بیشتر مقدار ایزوپروپیلیدن مالونات تأثیر چندانی بر میزان افزایش تعداد گروههای کربوکسیلیک اسید ندارد. بنابراین به منظور کاهش هزینه تولید جاذب همان نسبت ۱:۳ به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد.

باید به این نکته اشاره کرد که جاذب اصلاح شده در مجاورت محلول سدیم بیکربنات اشباع قرار گرفت تا پروتون‌های اسیدی با سدیم جایگزین شود [۹۳]. بنابراین واکنش شیمیایی کلی که در طی فرایند اصلاح جاذب رخ می‌دهد، را می‌توان به صورت زیر بیان کرد [۹۱]:



شکل (۲-۴۹)- واکنش ایزوپروپیلیدن مالونات با گروههای هیدروکسیل سطح مخروط کاج [۹۱].

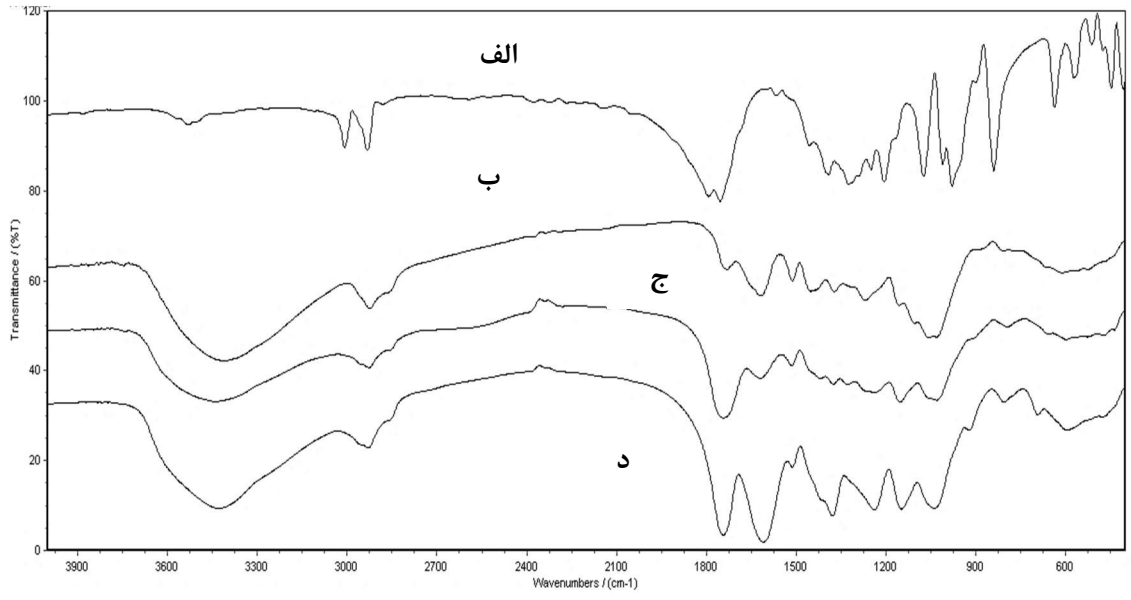
همانطور که واکنش نشان می‌دهد، در اثر شستشوی مخروط کاج اصلاح شده با ایزوپروپیلیدن مالونات توسط سدیم بیکربنات، گروههای کربوکسیلیک اسید به یون‌های کربوکسیلات تبدیل می‌گردند.

مشخصه‌یابی مخروط کاج و مخروط کاج اصلاح شده

الف- آنالیز *FT-IR*

به منظور شناسایی گروههای عاملی روی سطح مخروط کاج و مخروط کاج اصلاح شده با ایزوپروپیلیدن، طیفهای FT-IR مربوط به این ترکیبات در ناحیه‌ی عدد موجی بین ۴۰۰ تا cm^{-1} ۴۰۰۰ ثبت گردید (شکل (۲-۵۰)). برای مخروط کاج (شکل (۲-۵۰ ب)) پیک پهن در ناحیه حدود $3418cm^{-1}$ را می‌توان به گروههای هیدروکسیل سلولز نسبت داد. پیک‌ها در ناحیه‌ی cm^{-1} ۲۹۳۱ و $1460cm^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی و خمشی C-H گروههای متیل و متیلن هستند [۳۳, ۴۷].

پیک‌های موجود در ناحیه $1730\ cm^{-1}$ و ۱۶۲۴به ترتیب مربوط به ارتعاش کششی گروههای C=O به خاطر حضور گروه‌های کربوکسیل یونی (COO^-) و غیریونی (COOH) می‌باشد [۳۳]. پیک‌های ناحیه ۱۰۰۰ تا $1300\ cm^{-1}$به ارتعاش کششی C-O در کربوکسیلیک اسیدها و الکل‌ها مربوط می‌شود [۵۰]. همانطورکه در شکل(۲-۵۰ ج) مشاهده می‌شود، برای مخروط کاج اصلاح شده، دو پیک جدید در ناحیه‌ی$1155\ cm^{-1}$ و$1748cm^{-1}$ ظاهر شده است. پیک پرشدت در ناحیه $1748\ cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش کششی گروههای C=O می‌باشد. این پیک حاصل همپوشانی پیک جذبی گروههای C=O در استرها و پیک جذبی گروههایC=O کربوکسیلیک اسید است [۹۵ , ۹۴]. پیک ناحیه‌ی$1155\ cm^{-1}$ مربوط ارتعاش کششی پیوند C-O-C می‌باشد [۵۰]. کاهش شدت پیک در ناحیه‌ی$3481cm^{-1}$ نیز گواه این موضوع هست که گروههای هیدروکسیل الکلی و فنلی به گروههای اسیدی تبدیل شده است [۵۰]. بعداز شستشوی جاذب با سدیم بیکربنات، ارتعاش کششی متقارن و نامتقارن کربوکسیلات در ناحیه $1384cm^{-1}$ و$1608cm^{-1}$ افزایش یافته است (طیف۲-۵۰ د). این نتیجه نشان می‌دهد که برخی گروههای کربوکسیلیک اسید به یون‌های کربوکسیلات تبدیل شده‌اند.



شکل (۲-۵۰)- طیف‌های FT-IR برای الف- ایزوپروپیلیدن مالونات، ب- مخروط کاج، ج- مخروط کاج اصلاح شده در فرم اسیدی، د- مخروط کاج اصلاح شده در فرم بازی.

ب- آنالیز *BET* و *SEM* مخروط کاج و مخروط کاج اصلاح شده

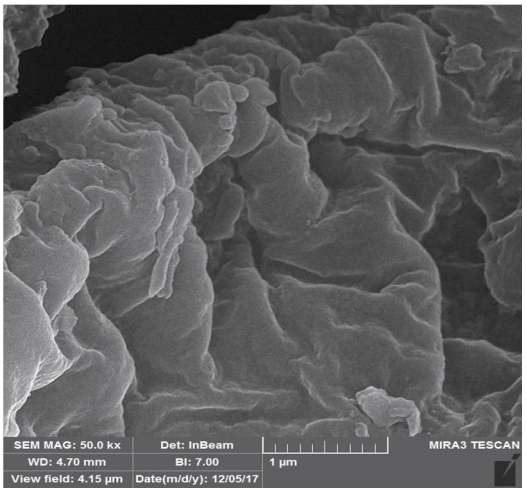
پارامترهای حاصل از جذب و واجذب فیزیکی نیتروژن و آنالیز BET شامل مساحت سطح، حجم حفرات کل، حجم میکرومتخلخل‌ها و میانگین قطر حفرات جاذب در جدول (۲-۳۷) گزارش شده است. بر اساس داده‌های این جدول بعد از تیمار با محلول سدیم هیدروکسید و اصلاح با گروههای اسیدی، مساحت سطح ویژه مخروط کاج اصلاح شده تقریبا ۲/۵ برابر مساحت سطح مخروط کاج شده است. سایر پارامترها نیز در مخروط کاج اصلاح شده افزایش یافته است که همه این عوامل باعث افزایش میزان جذب مولکول‌های رنگ می‌گردد. لازم به ذکر است که بر اساس پارامترهای این جدول جاذب تهیه شده جزء مواد مزومتخلخل است.

جدول (۲-۳۷)- پارامترهای فیزیکوشیمیایی مخروط کاج و مخروط کاج اصلاح شده

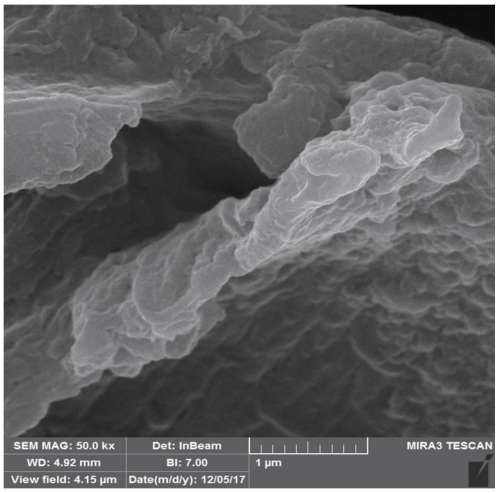
جاذب	مساحت سطح ویژه ($m^2 g^{-1}$)	حجم حفرات کلی ($cm^3 g^{-1}$)	میانگین قطر حفرات (nm)	حجم میکروپر ($cm^3 g^{-1}$)
مخروط کاج	۰/۱۳۲	۰/۰۰۰۵	۱۵/۵۰	۰/۰۳۰
مخروط کاج اصلاح شده	۰/۳۱۷	۰/۰۰۴۴	۵۵/۵	۰/۰۷۳

تصاویر SEM مربوط به مخروط کاج و مخروط کاج اصلاح شده در شکل (۲-۵۱ الف) و(۲-۵۱ ب)) نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که بعد از اصلاح شیمیایی سطح جاذب ناهموارتر شده است.

ب



الف



شکل (۲-۵۱)- تصاویر SEM برای الف- مخروط کاج، ب- مخروط کاج اصلاح شده (مقیاس: ۱ میکرومتر).

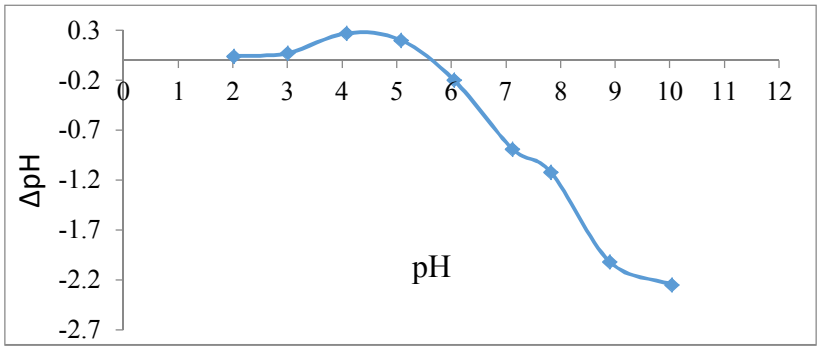
ج- pH_{zpc} مخروط کاج اصلاح شده

تعیین pH_{zpc} مربوط به جاذب تهیه شده بر اساس روش ذکر شده در بخش (۲-۲-۲-۲) انجام گردید که داده‌های مربوطه در جدول (۲-۳۸) و شکل (۲-۵۲) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج مقدار این کمیت برابر ۵/۷ بدست آمد. توافق بسیار خوبی بین این مقدار و مقدار گزارش شده توسط ملو[1] و همکارانش در سلولز اصلاح شده با مالئیک انیدرید وجود دارد [۹۳].

جدول (۲-۳۸)- تغییرات pH ۵۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۰/۱۰ مولار پتاسیم نیترات و ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب بعد از گذشت ۶ ساعت.

pH	ΔpH
۲/۰	۰/۰۴
۳/۱	۰/۰۷
۴/۱	۰/۳
۵/۱	۰/۲
۶/۰	-۰/۲
۷/۱	-۰/۹
۷/۸	-۱/۱
۸/۹	-۲/۰
۱۰/۰	-۲/۲

[1] - Melo



شکل (۲-۵۲)- تعیین pH_{zpc} مخروط کاج اصلاح شده با ایزوپروپیلیدن مالونات.

۲-۳-۲- تعیین غلظت سافرانین و متیل‌ویولت در محلول‌های تک‌جزئی و دوجزئی

تعیین غلظت رنگ در سیستم تک‌جزئی از طریق کالیبراسیون مستقیم (که با اندازه‌گیری جذب محلول‌های استاندارد سافرانین و متیل‌ویولت به ترتیب در طول موج‌های ۵۱۸ و ۵۸۴ نانومتر و رسم جذب برحسب غلظت هر کدام) به دست آمد (جدول (۲-۳۹) و شکل (۲-۵۳)). ولی همانطور که در شکل (۲-۵۴) مشاهده می‌شود، به علت هم‌پوشانی پیک سافرانین و متیل ویولت در مخلوط دو رنگ، امکان اندازه‌گیری همزمان این دو رنگ با استفاده از روش‌های معمول اسپکتروفتومتری وجود ندارد. برای حل این مشکل می‌توان از روش‌هایی مانند اسپکتروفتومتری مشتقی و حداقل مربعات جزئی (PLS) استفاده کرد.

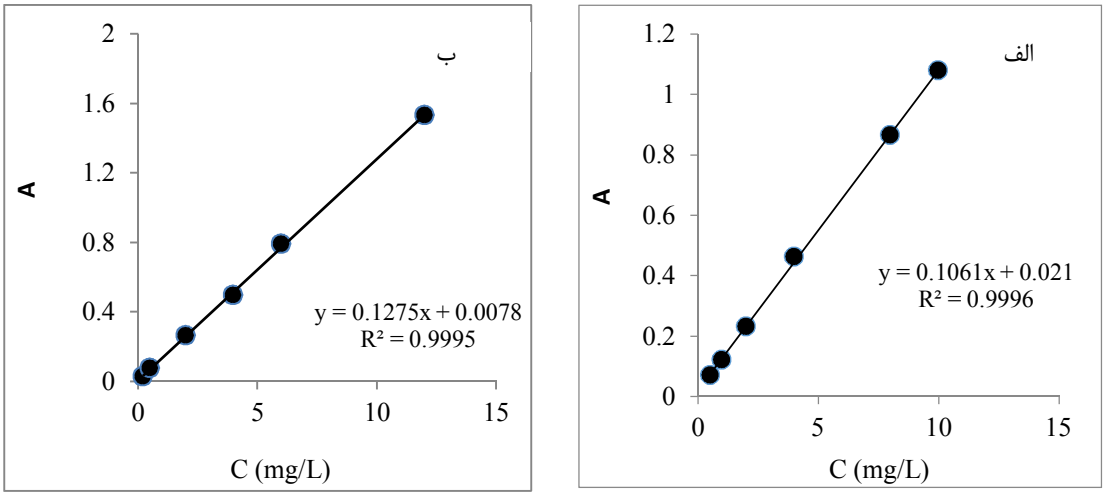
جدول (۲-۳۹)- اطلاعات مربوط به داده‌های کالیبراسیون الف- سافرانین، ب- متیل‌ویولت

الف

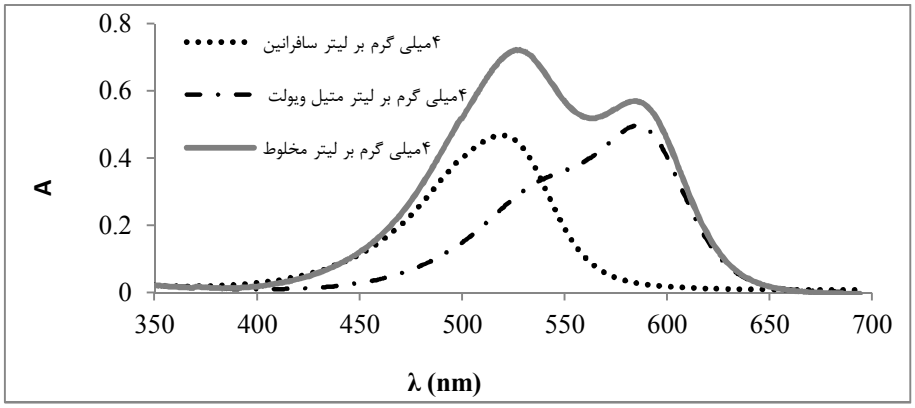
جذب (A)	غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)
۰/۰۷۱	۰/۵۰
۰/۱۲۱	۱/۰۰
۰/۲۳۲	۲/۰۰
۰/۴۶۲	۴/۰۰
۰/۸۶۶	۸/۰۰
۱/۰۷۹	۱۰/۰۰

ب

جذب (A)	غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)
۰/۰۲۹	۰/۲۰
۰/۰۷۸	۰/۵۰
۰/۲۶۶	۲/۰۰
۰/۴۹۷	۴/۰۰
۰/۷۹۲	۶/۰۰
۱/۵۳۵	۱۲/۰۰



شکل (۲-۵۳)- نمودار کالیبراسیون مستقیم برای الف- سافرانین در طول موج ماکزیمم ۵۱۸ نانومتر، ب- متیل‌ویولت در طول موج ماکزیمم ۵۸۴ نانومتر



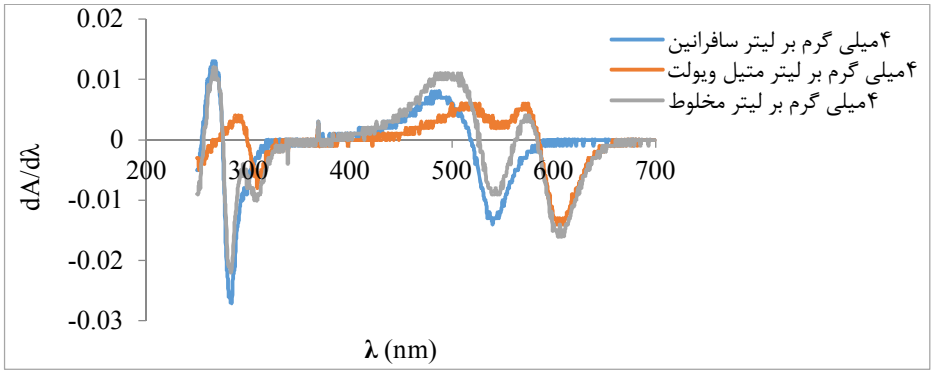
شکل (۲-۵۴)- طیف جذبی برای غلظت ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سافرانین و متیل‌ویولت در محلول‌های تک‌جزئی و دو جزئی.

۲-۳-۲- ۱- تعیین همزمان غلظت سافرانین و متیل‌ویولت به روش مشتقی

آنالیز همزمان دو رنگ به روش مشتقی بدین صورت انجام شد که طیف مشتق مرتبه اول برای محلول‌های تک جزئی و مخلوط دوجزئی (۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) آنها با استفاده از نرم افزار متلب محاسبه و ترسیم شد (شکل (۲-۵۵)). همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، طیف مشتقی

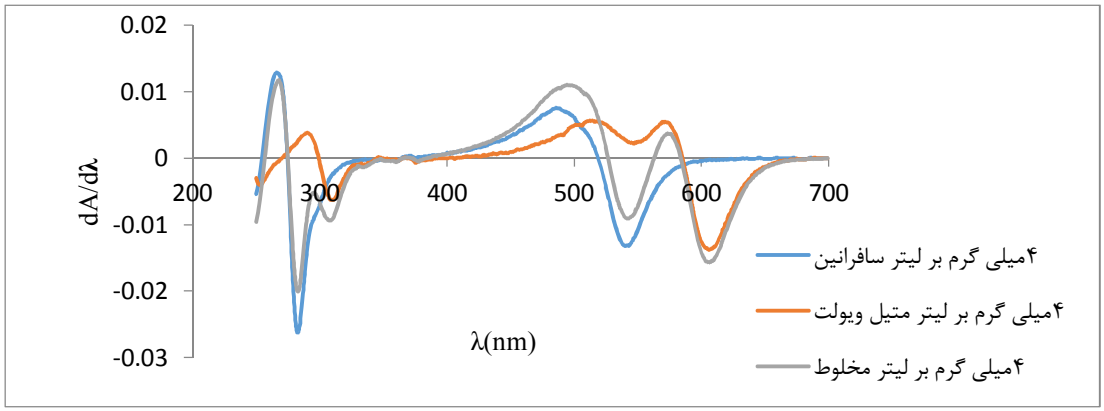
حاوی مقدار زیادی نوفه[1] می‌باشد. دستورالعمل هموارسازی[2] بر روی نمودار جذب برحسب طول موج (با استفاده از فیلتر ساویتزکی- گولی در نرم‌افزار متلب) برای از بین بردن نوفه‌ی اضافی اجرا شد (شکل (۲-۵۶)). با توجه به طیف هموار شده، در ۴۱۴ نانومتر جذب محلول تکی متیل‌ویولت تقریباً صفر می‌باشد، بنابراین احتمالاً این طول موج می‌تواند برای آنالیز کمی سافرانین در محلول دوتایی استفاده گردد. حال به منظور بررسی امکان استفاده از این طول موج، منحنی کالیبراسیون طیف‌های مشتقی محلول‌هایی با غلظت‌های متفاوت سافرانین و غلظت ثابت از متیل‌ویولت (شکل (۲-۵۷) و جدول (۲-۱پیوست)) در این طول موج ترسیم گردید.

همانطور که در شکل (۲-۵۶) مشخص است، در طول موج ۶۲۴ نانومتر نیز جذب سافرانین برابر صفر می‌باشد. بنابراین این طول موج می‌تواند به عنوان طول موج مناسب برای اندازه‌گیری غلظت متیل‌ویولت در محلوهای دوتایی به کار گرفته شود. بنابراین منحنی کالیبراسیون طیف‌های مشتقی محلول‌هایی با غلظت‌های متفاوت متیل‌ویولت و غلظت ثابت از سافرانین (شکل (۲-۵۸) و جدول (۲-۱پیوست)) در این طول موج ترسیم گردید. تعیین غلظت مخلوط‌های دوتایی از رنگ که در سری کالیبراسیون حضور نداشتند (سری تست)، برای تعیین صحت طول موج انتخاب شده به کار گرفته شد که نتایج آن در جدول (۲-۴۰) آورده شده است.

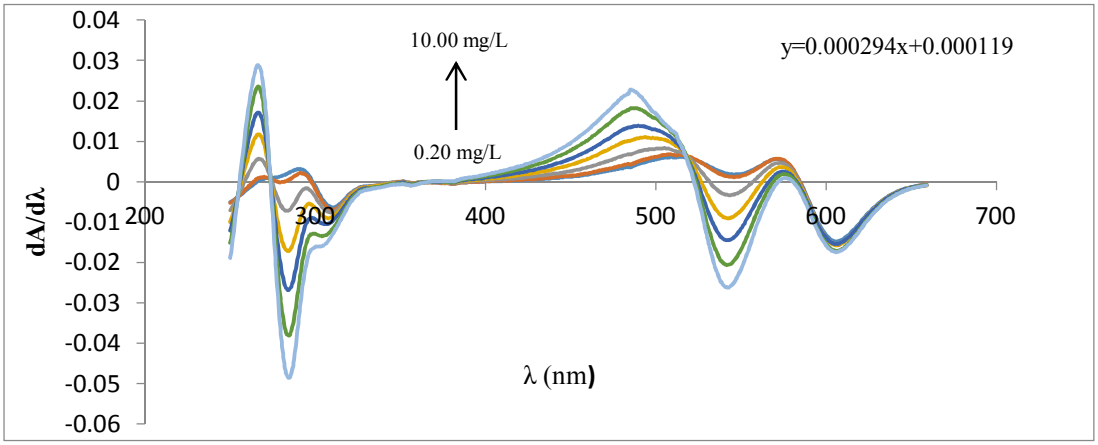


شکل (۲-۵۵)- طیف جذبی مشتق مرتبه اول برای غلظت ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سافرانین و متیل‌ویولت در محلول-های تک‌جزئی و دو جزئی.

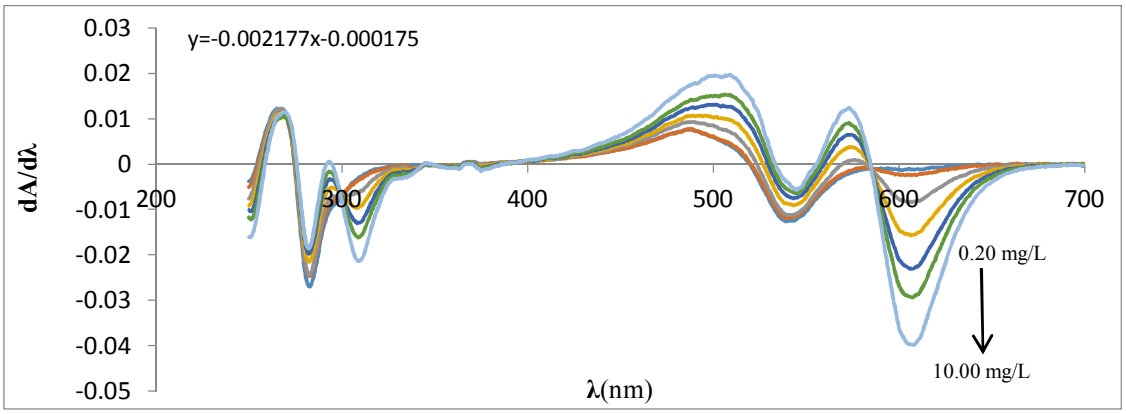
[1] - Noise
[2] - Smoothing



شکل (۲-۵۶)- طیف جذبی مشتق مرتبه اول هموار شده برای غلظت ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سافرانین و متیل‌ویولت در محلول تک‌جزئی و دو جزئی.



شکل (۲-۵۷)- طیف جذبی مشتق مرتبه اول برای سافرانین در مخلوط دو جزئی در محدوده‌ی ۱۰/۰۰-۰/۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت ثابت (۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) متیل‌ویولت.



شکل (۲-۵۸)- طیف جذبی مشتق مرتبه اول برای متیل‌ویولت در مخلوط دو جزئی در محدوده‌ی ۱۰/۰۰-۰/۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت ثابت (۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) سافرانین.

جدول(۲-۴۰)- نتایج مربوط به پیش‌بینی غلظت رنگ در مخلوط دوجزئی، برای تعیین صحت طول موج انتخاب شده توسط روش مشتقی.

خطای مطلق		غلظت اندازه‌گیری شده (میلی‌گرم بر لیتر)		غلظت واقعی (میلی‌گرم بر لیتر)	
متیل‌ویولت	سافرانین	متیل‌ویولت	سافرانین	متیل‌ویولت	سافرانین
۰/۰۰	-۰/۲۵	۱/۰۰	-۰/۰۵۰	۱/۰۰	۰/۲۰
-۰/۰۳	-۰/۳۶۳	۰/۲۷	-۰/۰۶۳	۰/۳۰	۰/۳۰
-۰/۱۶	-۰/۱۷	۲/۸۴	۲/۸۳	۳/۰۰	۳/۰۰
-۰/۰۹	۰/۰۶	۳/۰۹	۵/۰۶	۳/۰۰	۵/۰۰
-۰/۲۲	۰/۵۳	۴/۷۸	۶/۵۳	۵/۰۰	۶/۰۰
۰/۱۱	۰/۲۷	۷/۱۱	۷/۲۷	۷/۰۰	۷/۰۰
۰/۴۷	۰/۴۰	۵/۴۷	۷/۴۰	۵/۰۰	۷/۰۰
۰/۰۴۵	**۰/۱۱**				MSE

۲-۳-۲- ۲- تعیین همزمان غلظت سافرانین و متیل‌ویولت به روش حداقل مربعات جزئی

برای انجام رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS)، دو سری محلول استاندارد به صورت مخلوط دوتایی سافرانین و متیل‌ویولت که غلظت‌ها در گستره‌ی خطی منحنی‌های کالیبراسیون دو رنگ قرار داشت، با استفاده از طرح مربعی تهیه شد. سری اول از این محلول‌ها که به سری کالیبراسیون (۴۹ ترکیب از غلظت‌های مختلف دو رنگ) معروف است، برای بهینه‌سازی تعداد متغیرهای پنهان[1] در روش PLS به کار گرفته شد. سری دوم (سری تست) برای ارزیابی توانایی مدل ساخته شده در پیش‌بینی غلظت، استفاده گردید. ترکیب سری کالیبراسیون و سری تست به ترتیب در جداول (۲-۴۱) و (۲-۴۲) ارائه شده است.

[1] -Latent variable

جدول (۲-۴۱)- ترکیب مخلوط‌های متفاوت از سافرانین و متیل‌ویولت در سری داده‌های کالیبراسیون.

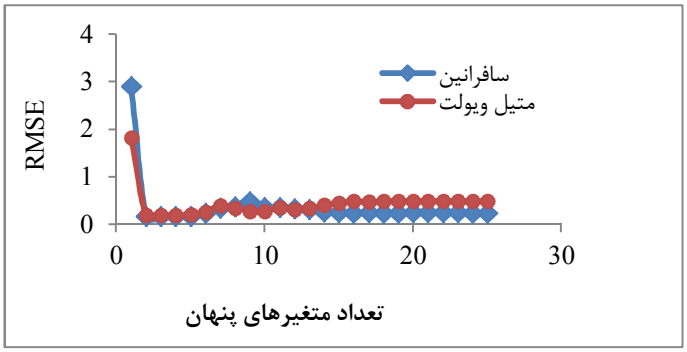
نمونه	سافرانین (میلی‌گرم بر لیتر)	متیل‌ویولت (میلی‌گرم بر لیتر)	نمونه	سافرانین (میلی‌گرم بر لیتر)	متیل‌ویولت (میلی‌گرم بر لیتر)
۱	۰/۲۰	۰/۲۰	۲۶	۰/۲۰	۱۰/۰۰
۲	۱۰/۰۰	۲/۰۰	۲۷	۲/۰۰	۴/۰۰
۳	۰/۲۰	۴/۰۰	۲۸	۶/۰۰	۲/۰۰
۴	۸/۰۰	۰/۲۰	۲۹	۰/۲۰	۰/۵۰
۵	۰/۲۰	۸/۰۰	۳۰	۰/۵۰	۱۰/۰۰
۶	۶/۰۰	۱۰/۰۰	۳۱	۲/۰۰	۲/۰۰
۷	۰/۲۰	۲/۰۰	۳۲	۴/۰۰	۲/۰۰
۸	۰/۵۰	۰/۵۰	۳۳	۸/۰۰	۱۰/۰۰
۹	۱۰/۰۰	۶/۰۰	۳۴	۰/۲۰	۶/۰۰
۱۰	۰/۵۰	۲/۰۰	۳۵	۲/۰۰	۰/۲۰
۱۱	۰/۵۰	۴/۰۰	۳۶	۰/۵۰	۰/۲۰
۱۲	۱۰/۰۰	۱۰/۰۰	۳۷	۱۰/۰۰	۰/۲۰
۱۳	۸/۰۰	۴/۰۰	۳۸	۶/۰۰	۶/۰۰
۱۴	۶/۰۰	۰/۵۰	۳۹	۰/۵۰	۶/۰۰
۱۵	۴/۰۰	۱۰/۰۰	۴۰	۱۰/۰۰	۸/۰۰
۱۶	۴/۰۰	۸/۰۰	۴۱	۲/۰۰	۱۰/۰۰
۱۷	۲/۰۰	۰/۵۰	۴۲	۴/۰۰	۰/۲۰
۱۸	۸/۰۰	۲/۰۰	۴۳	۰/۵۰	۸/۰۰
۱۹	۲/۰۰	۶/۰۰	۴۴	۸/۰۰	۰/۵۰
۲۰	۲/۰۰	۸/۰۰	۴۵	۱۰/۰۰	۰/۵
۲۱	۶/۰۰	۰/۲۰	۴۶	۸/۰۰	۸/۰۰
۲۲	۶/۰۰	۸/۰۰	۴۷	۱۰/۰۰	۴/۰۰
۲۳	۴/۰۰	۶/۰۰	۴۸	۸/۰۰	۶/۰۰
۲۴	۴/۰۰	۰/۵۰	۴۹	۴/۰۰	۴/۰۰
۲۵	۶/۰۰	۴/۰۰			

تعداد متغیرهای پنهان برای هر رنگ به روش ارزیابی تقاطعی تعیین شد [۹۶,۹۷] و حداقل‌سازی جذر میانگین مربعات خطا به عنوان معیار بهینه‌سازی انتخاب شد (معادله (۲-۳۴)).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(\hat{C}_i - C_i)^2}{n}} \qquad (۳۴-۲)$$

در این رابطه C_i غلظت واقعی، $\hat{C}_i$ غلظت پیش‌بینی شده گونه iام توسط مدل و n تعداد نمونه‌های کالیبراسیون است. در این راستا RMSE برای اولین متغیر پنهان (که مدل PLS در مرحله کالیبراسیون را می‌سازد)، محاسبه گردید. سپس متغیر دوم اضافه شده و RMSE مجدداً محاسبه شد.

برای ۲۵-۱ متغیر پنهان (نصف تعداد محلول‌های استاندارد به اضافه یک[۹۶]) محاسبات تکرار شد. تعداد متغیرهای پنهانی که کمترین مقدار RMSE ایجاد کند، به عنوان تعداد متغیر بهینه در نظر گرفته شد. در این مطالعه همانطور که شکل (۲-۵۹) نشان می‌دهد، برای هر دو رنگ تعداد متغیر پنهان ۲ به عنوان مقدار بهینه به دست آمد.



شکل (۲-۵۹)- مقادیر RMSE سری کالیبراسیون برحسب تعداد متغیرهای پنهان.

صحت مدل ساخته شده با روش PLS، توسط سری تست (۷ ترکیب) که در مرحله مدل‌سازی استفاده نشده بودند، تعیین شد. نتایج به دست آمده (جدول (۲-۴۲)) نشان می‌دهد که مدل ارائه شده توسط روش PLS نسبت به روش مشتقی با صحت بیشتری (مخصوصاً برای سافرانین) می‌تواند غلظت رنگ را در مخلوط دو جزئی پیش‌بینی کند. بنابراین برای بررسی‌های بعدی مدل PLS برای تعیین غلظت سافرانین و متیل‌ویولت در هر زمانی در مخلوط‌های دوتایی استفاده شد.

جدول(۲-۴۲)- نتایج مربوط به پیش بینی غلظت رنگ در مخلوط‌های دوتایی توسط PLS.

خطای مطلق		غلظت اندازه‌گیری شده (میلی‌گرم برلیتر)		غلظت واقعی (میلی‌گرم بر لیتر)	
متیل‌ویولت	سافرانین	متیل‌ویولت	سافرانین	متیل‌ویولت	سافرانین
۰/۰۷	۰/۰۰	۱/۰۷	۰/۲۰	۱/۰۰	۰/۲۰
۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۳۰
-۰/۱۵	-۰/۰۹	۲/۸۵	۲/۹۱	۳/۰۰	۳/۰۰
۰/۰۲	۰/۱۴	۳/۰۲	۵/۱۴	۳/۰۰	۵/۰۰
-۰/۰۱	-۰/۴۷	۶/۹۹	۶/۵۳	۷/۰۰	۷/۰۰
۰/۳۳	۰/۱۹	۵/۳۳	۷/۱۹	۵/۰۰	۷/۰۰
-۰/۳۵	۰/۲۳	۴/۶۵	۶/۲۳	۵/۰۰	۶/۰۰
۰/۰۳۷	۰/۰۴۸				MSE

۲-۳-۳- روش مطالعه‌ی پارامترهای مؤثر بر میزان حذف رنگ به صورت ناپیوسته[1]

برای بررسی کارایی جاذب تهیه شده، مقدار مشخصی از مخروط کاج اصلاح شده به یک ارلن که حاوی۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول رنگ با غلظت مشخصی بود، اضافه گردید. پس از تنظیم pH، محلول در دمای ۲ ± ۲۵ درجه سانتیگراد همزده شد تا اثر پارامترهایی همچون pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه رنگ، زمان تماس و قدرت یونی که بر روی کارایی فرایند جذب مؤثرند، مورد بررسی قرار گیرند. سپس در فاصله‌های زمانی معین، مقدار مشخصی از نمونه (حدود ۲/۰ میلی‌لیتر) در ۳۵۰۰ دور بر ثانیه به مدت یک دقیقه سانتریفیوژ شد و غلظت رنگ در محلول رویی به صورت اسپکتروفتومتری و با استفاده از منحنی کالیبراسیون مستقیم (در محلول‌های تک جزئی) و روش حداقل مربعات جزئی (در محلول‌های دو جزئی) تعیین مقدار شد. سپس درصد حذف رنگ و میلی‌گرم جذب شده رنگ به ازای گرم جاذب (q) با استفاده از روابط (۲-۱) و (۲-۲) محاسبه گردید.

۲-۳-۳- ۱- اثر pH روی جذب سافرانین و متیل ویولت در مخلوط دوتایی

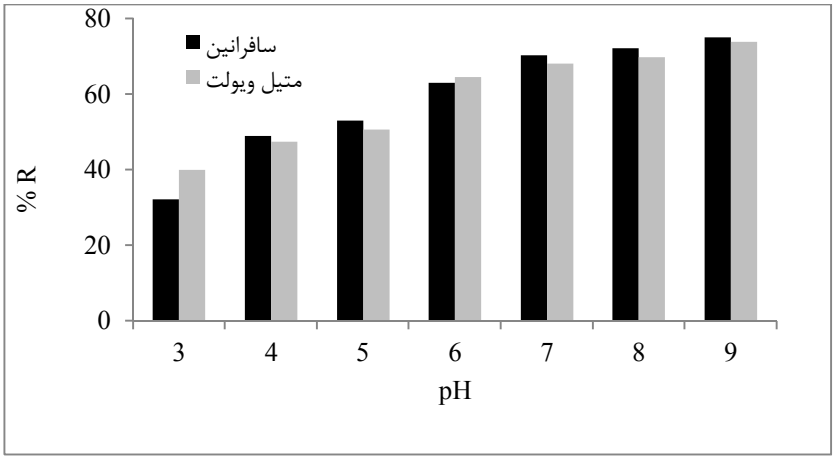
همانطور که در بخش قبل اشاره شد، pH یکی از پارامتراهای کلیدی در فرایند جذب می‌باشد. در این مطالعه، مقدار ۰/۰۱۵۰ گرم جاذب تهیه شده به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول شامل۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر (نسبت به هر رنگ) اضافه شد. pH این محلول‌ها در ناحیه بین ۳/۰ تا ۹/۰ تنظیم گردید و در دمای محیط به مدت ۲۵ دقیقه همزده شد. میزان درصد حذف با استفاده از رابطه (۲-۱) محاسبه گردید. بر طبق نتایج به دست آمده (جدول (۲-۴۳) و شکل (۲-۶۰))، جذب رنگ‌های مورد مطالعه بر روی مخروط کاج اصلاح شده وابسته به pH محلول می‌باشد. pH_{ZPC} به دست آمده برای این جاذب برابر با ۵/۷ است. از طرفی رنگ‌های مورد مطالعه نیز در دامنه pH مورد مطالعه به فرم

[1] - batch

کاتیونی هستند. بنابراین در pHهای اسیدی به دلیل مثبت بودن سطح جاذب، جذب گونه‌های کاتیونی رنگ کاهش می‌یابد. ولی با افزایش pH (به خصوص $pH > pH_{ZPC}$) گروههای عاملی همانند هیدروکسیل وکربوکسیل پروتون از دست می‌دهند و بیشتر به فرم آنیونی هستند و بنابراین به طور مؤثری با مولکول‌های کاتیونی رنگ برهم‌کنش می‌کنند و به موجب آن درصد حذف رنگ افزایش می‌یابد. در این مطالعه با توجه به مقادیر درصد حذف به دست آمده، pH=۷/۰ به عنوان pH بهینه انتخاب شد.

جدول (۲-۴۳)- مقادیر درصد حذف رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت در سیستم دوجزئی در pHهای مختلف.

pH	درصد حذف سافرانین (R%)	درصد حذف متیل‌ویولت (R%)
۳/۰	۳۲	۴۰
۴/۰	۴۹	۴۷
۵/۰	۵۳	۵۰
۶/۰	۶۳	۶۵
۷/۰	۷۰	۶۸
۸/۰	۷۲	۷۰
۹/۰	۷۵	۷۴



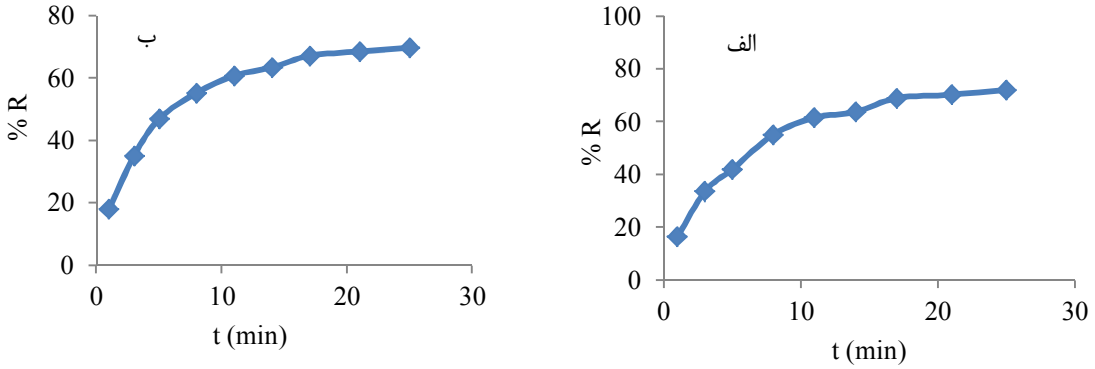
شکل (۲-۶۰)- اثر pH بر میزان درصد حذف رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت در مخلوط دوجزئی (شرایط: ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول حاوی سافرانین و متیل‌ویولت هر یک با غلظت ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر، زمان تماس ۲۵ دقیقه، ۰/۰۱۵۰ گرم جاذب و دمای محیط).

۲-۳-۳- ۲- بررسی اثر مدت زمان تماس بر میزان درصد حذف رنگ سافرانین و متیل ویولت

به منظور مشخص شدن زمان تعادل و همچنین بررسی سینتیک واکنش، میزان حذف سافرانین و متیل‌ویولت در مخلوط دوتایی برحسب زمان مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه مقدار۰/۰۱۵۰ گرم جاذب به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول با pH=۷/۰ که دارای۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر رنگ بود، اضافه گردید. سپس در حالی که محلول توسط همزن مغناطیسی همزده می‌شد، در فاصله‌های زمانی معین (جدول (۲-۴۴))، پس از سانتریفیوژ، جذب محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری و غلظت هر رنگ توسط روش حداقل مربعات جزئی محاسبه گردید و بر اساس غلظت به دست آمده در زمان‌های مختلف میزان درصد حذف محاسبه گردید. نتایج به دست آمده (جدول (۲-۴۴) و شکل (۲-۶۱)) نشان می‌دهد که جذب مخلوط دو رنگ در ۱۰ دقیقه اول خیلی سریع است. بعد از این مرحله فرایند جذب با سرعت کمتری ادامه می‌یابد و نهایتاً در ۲۵ دقیقه به تعادل می‌رسد. جذب سریع رنگ در مرحله‌ی ابتدایی می‌تواند بر این اساس توجیه شود که در حقیقت در زمان‌های اولیه گرادیان غلظت بالا بوده و تعداد زیادی از سایت‌های جذب خالی می‌باشند. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده، زمان ۲۵ دقیقه به عنوان زمان بهینه انتخاب شد.

جدول (۲-۴۴)- مقادیر درصد حذف رنگ در سیستم دو جزئی در زمان‌های متفاوت.

t (min)	درصد حذف سافرانین (R %)	درصد حذف متیل ویولت (R %)
۱	۱۶	۱۸
۳	۳۴	۳۵
۵	۴۲	۴۷
۸	۵۵	۵۵
۱۱	۶۲	۶۱
۱۴	۶۴	۶۳
۱۷	۶۹	۶۷
۲۱	۷۰	۶۹
۲۵	۷۲	۷۰



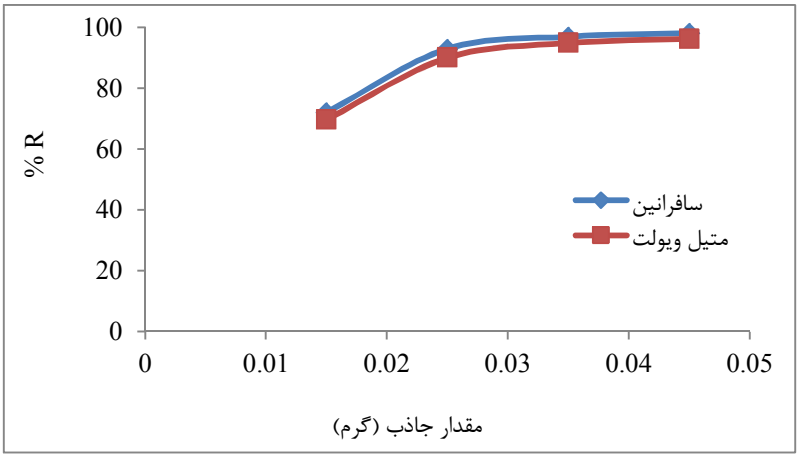
شکل (۲-۶۱)- اثر زمان تماس بر روی درصد حذف رنگ‌های الف- سافرانین، ب- متیل ویولت (۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول دوجزئی ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، pH =۷/۰ و ۰/۰۱۵۰ گرم جاذب).

۲-۳-۳- ۳- بررسی اثر مقدار جاذب مصرفی بر میزان درصد حذف رنگ

به منظور مطالعه اثر مقدار جاذب مصرفی بر روی میزان درصد حذف رنگ، مقادیر متفاوتی از مخروط کاج اصلاح شده به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول درpH=۷/۰ که شامل ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ بود، اضافه گردید و در دمای محیط به مدت ۲۵ دقیقه همزده شد. همانطور که در جدول (۲-۴۵) و شکل (۲-۶۲) مشاهده می‌شود، در مقدار ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب میزان درصد حذف رنگ در مخلوط دو رنگ بالای ۹۰ درصد است و افزایش بیشتر مقدار جاذب تأثیر چندانی در افزایش مقدار جذب رنگ ندارد. بنابراین این مقدار جاذب به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته شد.

جدول (۲-۴۵)- مقادیر درصد حذف رنگ در سیستم دو جزئی در مقادیر متفاوت جاذب.

درصد حذف متیل‌ویولت	درصد حذف سافرانین	مقدار جاذب (گرم)
۷۰	۷۲	۰/۰۱۵۰
۹۰	۹۳	۰/۰۲۵۰
۹۵	۹۷	۰/۰۳۵۰
۹۶	۹۸	۰/۰۴۵۰



شکل (۲-۶۲)- اثر مقدار جاذب مصرفی بر روی درصد حذف رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت (۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول دوجزئی ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، pH =۷/۰ و زمان تماس ۲۵ دقیقه).

۲-۳-۴- مطالعه سینتیک فرایند جذب سافرانین و متیل‌ویولت در سیستم تک‌جزئی و دو جزئی

جهت بررسی سینتیک فرایند جذب در محلول‌های تک‌جزئی و دو جزئی، تغییرات غلظت محلول ۵۰/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رنگ برحسب زمان (در حالی که pH محلول برابر ۷/۰ و مقدار جاذب ۰/۰۳۵۰ گرم در نظر گرفته شده بود) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. با استفاده از معادله (۲-۲) مقادیر q_t محاسبه شد. سپس داده های به دست آمده با استفاده از سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم (جداول (۲-۴۶) و (۲-۴۷)) مورد آنالیز قرار گرفت. روابط ریاضی و جزئیات دقیق محاسبه این پارامترها در بخش (۲-۲-۶) توضیح داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده (جدول (۲-۴۸)) برای هر دو رنگ چه در محلول تک‌جزئی و چه در محلول دوجزئی، مقدار ضریب تعیین و نزدیکی بین مقدار q_e تجربی و مقدار q_e محاسبه شده توسط مدل نشان می‌دهد که سینتیک جذب یک سینتیک شبه مرتبه دوم می‌باشد.

جدول (۲-۴۶)- اطلاعات مربوط به سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم حذف رنگ سافرانین.

t (min)	C (mg/L) در محلول تک‌جزئی	C (mg/L) در محلول دوجزئی	$\ln(q_e-q_t)$ در محلول تک‌جزئی	$\ln(q_e-q_t)$ در محلول دوجزئی	t/q_t (min.g/mg) در محلول تک‌جزئی	t/q_t (min.g/mg) در محلول دوجزئی
۰	۵۰/۵۷	۴۷/۶۹	_____	_____	_____	_____
۱	۲۲/۶۹	۳۱/۴۲	۳/۳۹	۳/۷۶	۰/۰۲۵	۰/۰۴
۳	۹/۸۸	۱۷/۸۹	۲/۴۴	۳/۱۶	۰/۰۵	۰/۰۷
۵	۶/۶۹	۹/۸۶	۱/۹۴	۲/۴۹	۰/۰۷۹	۰/۰۹
۸	۴/۴۵	۴/۹۸	۱/۳۲	۱/۶۳	۰/۱۲	۰/۱۳
۱۱	۴/۱۷	۲/۹۳	۱/۲۱	۰/۷۷	۰/۱۶	۰/۱۷
۱۴	۳/۳۳	۱/۹۹	۰/۷۶	-۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۱
۱۷	۲/۷۶	۱/۸۹	۰/۲۹	-۰/۳۸	۰/۲۵	۰/۲۵
۲۱	۲/۳۹	۱/۸۵	-۰/۲۲	-۰/۴۷	۰/۳۰	۰/۳۲
۲۵	۱/۸۳	۱/۴۱	_____	_____	۰/۳۶	۰/۳۸

جدول (۲-۴۷)- اطلاعات مربوط به سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم حذف رنگ متیل‌ویولت.

t (min)	C (mg/L) در محلول تک‌جزئی	C (mg/L) در محلول دوجزئی	$\ln(q_e-q_t)$ در محلول تک‌جزئی	$\ln(q_e-q_t)$ در محلول دوجزئی	t/q_t (min.g/mg) در محلول تک‌جزئی	t/q_t (min.g/mg) در محلول دوجزئی
۰	۴۸/۷۵	۴۶/۷۹	_____	_____	_____	_____
۱	۲۳/۰۳	۲۹/۴۳	۳/۴۱	۳/۶۵	۰/۰۲۷	۰/۰۴
۳	۸/۱۰	۱۷/۱۸	۲/۲۰	۳/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۷
۵	۳/۸۶	۹/۹۹	۱/۰۹	۲/۳۹	۰/۰۷۸	۰/۰۹
۸	۳/۱۵	۵/۸۹	۰/۶۶	۱/۶۲	۰/۱۲	۰/۱۴
۱۱	۲/۶۷	۳/۴۸	۰/۲۳	۰/۴۷	۰/۱۷	۰/۱۸
۱۴	۲/۳۵	۳/۰۶	-۰/۲۲	-۰/۰۰۳	۰/۲۱	۰/۲۲
۱۷	۲/۱۶	۲/۷۵	-۰/۶۴	-۰/۵۷	۰/۲۵	۰/۲۷
۲۱	۲/۰۳	۲/۹۴	-۱/۰۷	-۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۳۳
۲۵	۱/۷۹	۲/۳۶	_____	_____	۰/۳۷	۰/۳۹

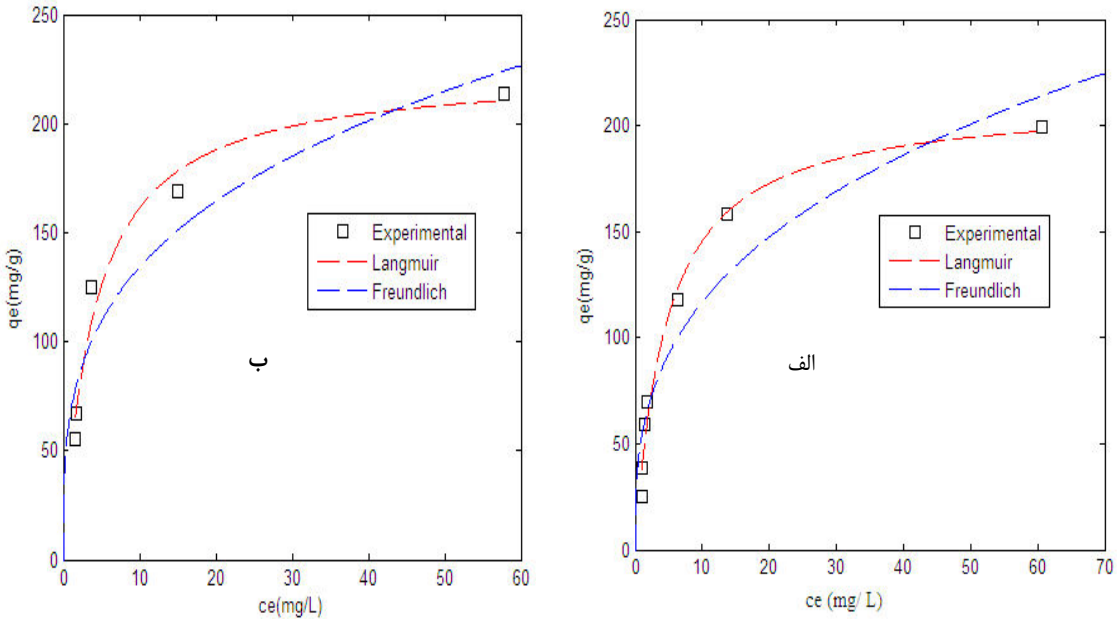
جدول (۲-۴۸)- پارامترهای سینتیکی در فرایند جذب سافرانین و متیل‌ویولت بر روی جاذب تهیه شده در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی.

		شبه مرتبه اول				شبه مرتبه دوم		
سیستم	C (mg/L)	$q_{e(exp.)}$ (mg/g)	$q_{e(cal.)}$ (mg/g)	k_1 (min^{-1})	R^2	$q_{e(cal.)}$ (mg/g)	k_1 ($mgg^{-1}min^{-0.5}$)	R^2
تک جزئی	سافرانین ۵۰/۰(mg/L)	۶۹/۶	۲۰/۴	۰/۱۶۲	۰/۹۴۲۰	۷۱/۴	۰/۰۱۸۷	۰/۹۹۹۹
	متیل‌ویولت ۵۰/۰(mg/L)	۶۷/۱	۲۳/۵	۰/۲۰۱	۰/۸۹۳۳	۶۹/۰	۰/۰۲۶	۰/۹۹۹۷
دو جزئی	سافرانین ۵۰/۰(mg/L)	۶۶/۱۰	۳۲/۱۷	۰/۲۲۰	۰/۹۰۳۷	۷۱/۴۳	۰/۰۰۸۳	۰/۹۹۸۵
	متیل‌ویولت ۵۰/۰(mg/L)	۶۳/۴۷	۳۹/۲۵	۰/۲۳۰	۰/۹۱۸۳	۶۸/۰۳	۰/۰۰۹۹	۰/۹۹۸۹

۲-۳-۵- مطالعه ایزوترم‌های جذب سافرانین و متیل‌ویولت در سیستم تک‌جزئی و دوجزئی

به طور کلی هر جاذبی الگوی جذب مشخصی برای یک گونه جذب شونده خاص دارد که می‌تواند با استفاده از معادلات ریاضی که ایزوترم جذب نامیده می‌شوند، بیان شود. قابلیت کاربرد یک فرایند جذب با استفاده از خواص فیزیکوشیمیایی که از این ایزوترم‌ها استخراج می‌شوند، تعیین می‌گردد. انواع متفاوت ایزوترم جذب برای توصیف داده‌های تعادلی موجود در فرایند جذب آلاینده در سطح یک جامد وجود دارد. در این مطالعه برای سیستم تک‌جزئی ایزوترم لانگموئر و ایزوترم فروندلیچ (روابط (۲-۳) و (۲-۴)) و برای سیستم دوجزئی ایزوترم لانگموئر یافته و ایزوترم شیندروف (روابط (۲-۳۱) و (۲-۳۲)) به کار گرفته شد. ثابت‌های مربوط به هر ایزوترم با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی در نرم‌افزار متلب به دست آمد. جزئیات دقیق مربوط به محاسبه این مقادیر به ترتیب در بخش (۲-۲-۵) و (۲-۲-۱۳-۳) بیان شده است. لازم به ذکر است که مقدار جاذب ۰/۰۳۵۰ گرم، pH

محلول برابر ۷ و زمان تعادل ۲۵ دقیقه در نظر گرفته شد. بر اساس مقادیر ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا (جداول (۲-۴۹) و (۲-۵۰)) می‌توان نتیجه گرفت که در سیستم تک‌جزئی ایزوترم لانگموئر و در سیستم دوجزئی ایزوترم لانگموئر بسط یافته مناسب‌تر می‌باشد. شکل (۲-۶۳) نیز این نتیجه را تأیید می‌کند.



شکل (۲-۶۳)- مدل‌های ایزوترم جذب برای الف- سافرانین. ب- متیل ویولت در محلول تک جزئی (شرایط ۵۰/۰۰ میلی لیتر محلول رنگ با غلظت‌های متفاوت در pH=۷/۰ با ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب در مدت زمان تعادل ۲۵ دقیقه)

جدول (۲-۴۹)- ثابت‌های ایزوترم‌ها و پارامترهای آماری در محلول‌های تک جزئی

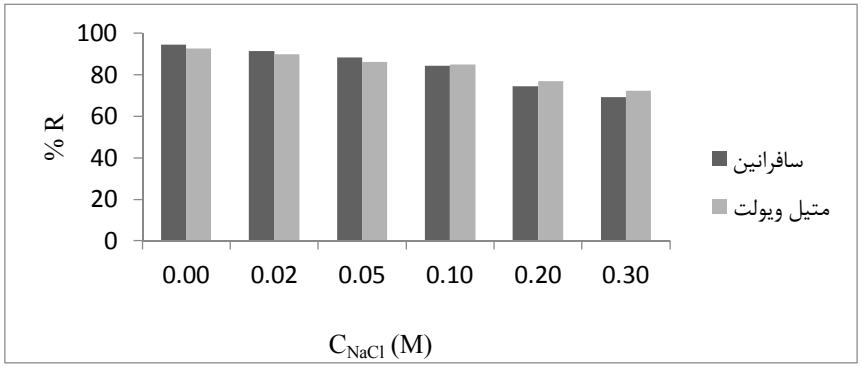
ایزوترم	پارامتر	سیستم تک‌جزئی	
		سافرانین	متیل ویولت
فروندلیچ	k_f (mg g^{-1}) (L/ mg)$^{1/n}$	۶۵/۸۷	۶۸/۲۵
	1/n	۰/۲۸	۰/۲۹
	R^2	۰/۹۴۳۰	۰/۹۰۱۰
	RMSE	۱۲/۶۵	۱۸/۸۴
لانگموئر	q_{max} (mg/g)	۲۰۸/۰۰	۲۲۵/۰۰
	k_l(L/mg)	۰/۲۴	۰/۲۵
	R^2	۰/۹۸۲۷	۰/۹۷۳۹
	RMSE	۶/۰۳	۹/۷۰

جدول (۲-۵۰)- مقادیر پارامترهای ایزوترم‌های چند جزئی در سیستم دو جزئی سافرانین و متیل ویولت.

ایزوترم	پارامتر	رنگ	
		سافرانین	متیل ویولت
شیندروف	θ_{ij}	۰/۹۵	۱/۲۴
	R^2	۰/۵۳۵۵	۰/۹۴۲۷
	RMSE	۲۳/۰۴	۸/۲۸
لانگموئر بسط یافته	q_{max} (mg/g)	۱۱۲/۳۰	۱۱۶/۷۰
	$k_{l,1}$ (L/mg)	۰/۵۷	۱/۷۰
	$k_{l,2}$ (L/mg)	$۵/۵۴\times۱۰^{-۱۳}$	$۱/۴۶\times۱۰^{-۱۳}$
	R^2	۰/۹۰۸۵	۰/۹۹۴۶
	RMSE	۱۱/۴۳	۲/۸۶

۲-۳- ۶- اثر قدرت یونی

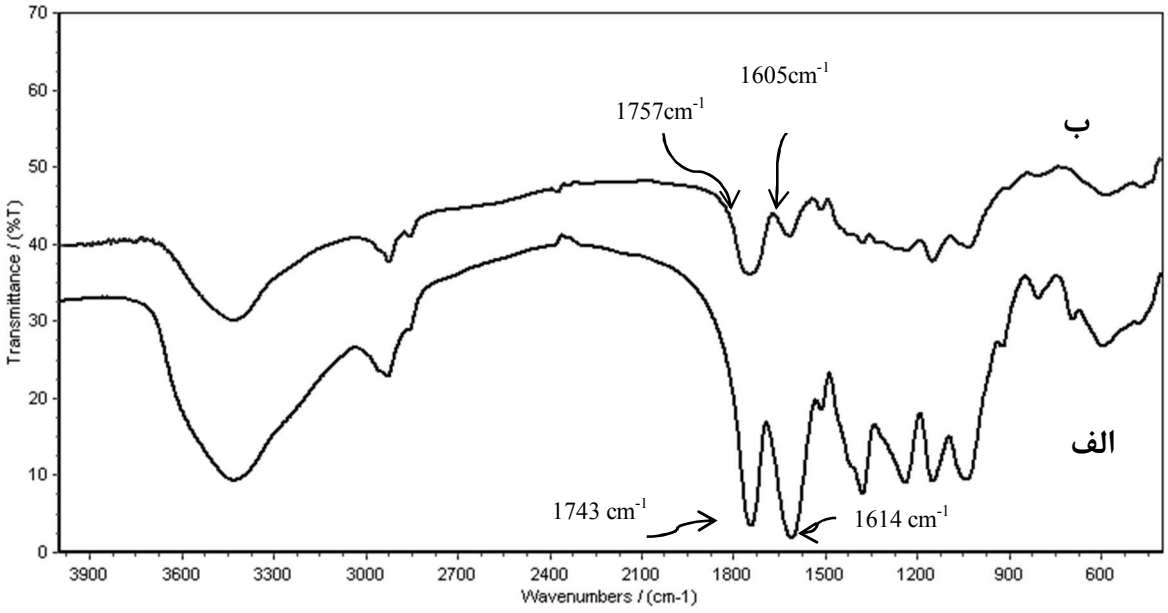
برای بررسی اثر قدرت یونی، سدیم کلرید در گستره‌ی غلظتی ۰/۰۰ تا ۰/۳۰ مولار به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول دو جزئی با غلظت ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ که حاوی ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب در pH=۷/۰ بود، اضافه گردید. نتایج به دست آمده (شکل(۲-۶۴)) نشان داد که درصد حذف با افزایش غلظت نمک کاهش می‌یابد. مشاهده این نتایج که با نتایج به دست آمده در بررسی pH سازگاری دارد را می‌توان به رقابت بین یون‌های Na^+ و مولکول‌های کاتیونی رنگ برای اتصال به سایت‌های فعال موجود در جاذب نسبت داد.



شکل (۲-۶۴)- اثر قدرت یونی بر میزان درصد حذف رنگ در مخلوط دو جزئی (شرایط: ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر از هر دو رنگ، pH=۷، ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب، زمان تماس ۲۵ دقیقه).

۲-۲-۷- مکانیسم احتمالی در فرایند جذب رنگ‌های مورد مطالعه

برای تعیین مکانیسم احتمالی واکنش طیف FT-IR مربوط به مخروط کاج اصلاح شده قبل از جذب رنگ و بعد از جذب رنگ با یکدیگر مقایسه شد. همانطور که در شکل (۲-۶۵) مشاهده می‌شود، مهمترین پیک‌هایی که جابه جا شده‌اند، شامل پیک جذبی کربونیل از ناحیه cm^{-1} ۱۷۴۳ به ناحیه‌ی cm^{-1} ۱۷۵۷، پیک ناحیه cm^{-1} ۱۶۱۴ (مربوط به C=C حلقه‌های آروماتیک و حتی گروههای کربوکسیلات) به ناحیه cm^{-1} ۱۶۰۵ می‌باشد. بنابراین می‌توان اینگونه استنباط کرد که برهمکنش‌های متفاوت همچون برهمکنش π-π بین حلقه‌های آروماتیک رنگ‌ها با حلقه‌های غیراشباع روی سطح جاذب و جاذبه‌های الکتروستاتیکی بین گروههای کربونیل و کربوکسیلات با اتم‌های دارای بار مثبت روی مولکول‌های رنگ احتمالاً برهمکنش‌های اصلی در فرایند جذب رنگ هستند [۹۹ , ۹۸].



شکل (۲-۶۵)- طیف FT-IR الف) مخروط کاج اصلاح شده و ب) مخروط کاج اصلاح شده بعد از جذب مخلوط رنگ‌ها

۲-۳- ۸- بازیابی جاذب

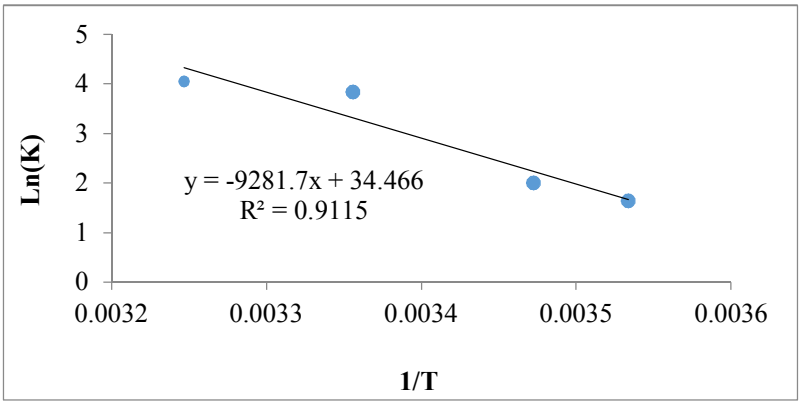
همانطور که بررسی اثر pH نشان داد (بخش (۲-۳-۳-۱))، بین یون‌های H^+ و گونه‌های کاتیونی رنگ برای اتصال با گروههای کربوکسیل موجود در سطح جاذب، رقابت وجود دارد. بنابراین برای بازیابی جاذب استفاده شده محلول هیدروکلریک اسید۰/۱۰ مولار به کار گرفته شد. همچنین به دلیل حلالیت بالای رنگ در حلال آلی (همچون اتانول) [۱۰۰] و رقابتی که بین Na^+ و مولکول‌های کاتیونی رنگ برای اتصال روی سایت‌های فعال جاذب وجود دارد، محلول سدیم هیدروکسید- اتانول نیز به عنوان حلال شوینده استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد که کارایی جاذب بازیابی شده با اسید به ۶۵٪ کاهش یافته است. محققان مشاهده این اثر را به آسیب دیدن[1] پیوندهای استری در محیط‌های اسیدی نسبت داده‌اند [۱۰۲ , ۱۰۱]. ولی زمانی که از مخلوط سدیم هیدروکسید- اتانول به عنوان حلال شوینده استفاده گردید، بعد از ۳ بار بازیابی کارایی جاذب در حدود ۸۰٪ بود. بنابراین جاذب با این حلال شوینده کارایی مناسب‌تری ارائه داد. لازم بذکر است که جزئیات فرایند بازیابی بدین صورت بود که مقدار ۱/۰ گرم از جاذب استفاده شده درون ۵/۰ میلی‌لیتر حلال شوینده به مدت چهار ساعت همزده شد. سپس چندین بار با آب شسته شد تا خنثی گردد. بعد از خشک شدن جاذب، مقدار ۰/۰۳۵۰ گرم از جاذب درون ۵۰/۰ میلی‌لیتر محلول که نسبت به هر دو رنگ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر بود، اضافه شد و بعد از مدت زمان ۲۵ دقیقه غلظت باقیمانده رنگ‌ها به صورت اسپکتروفتومتری تعیین و درصد حذف هر یک از رنگ‌ها محاسبه گردید.

۲-۳-۹- بررسی دما و پارامترهای ترمودینامیکی

به منظور بررسی اثر دما بر ظرفیت جذب جاذب، آزمایش‌ها با ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول در۷/۰=pH که شامل ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ (سافرانین و متیل‌ویولت) بود، در گستره دمایی ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد انجام شد. بر اساس جداول (۲-۵۱) و (۲-۵۲) راندمان حذف و ظرفیت جذب

[1] - Damaging

برای هر دو رنگ با افزایش دمای واکنش افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده گرماگیر بودن فرایند جذب رنگ‌های کاتیونی مورد مطالعه بر روی جاذب اصلاح شده می‌باشد. همچنین علامت پارامتر ΔG بیانگر خود به خودی بودن واکنش است. لازم به ذکر است که مقادیر این پارامترها بر اساس روابط (۲-۱۴) تا (۲-۱۶) محاسبه گردید.

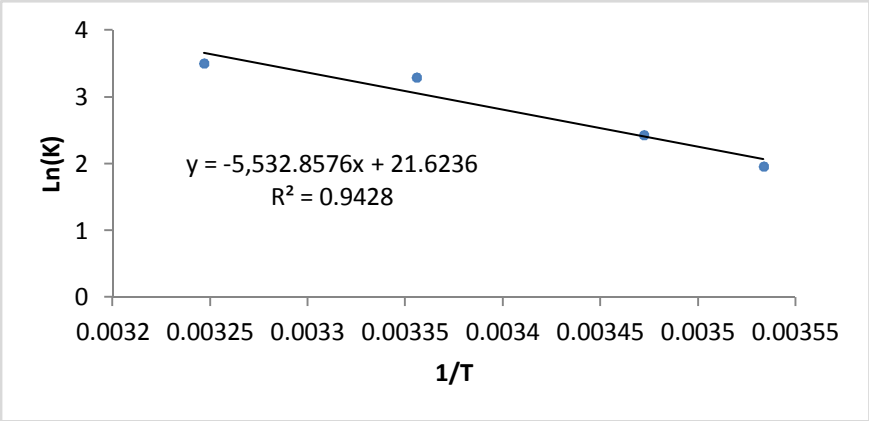


شکل (۲-۶۶)- نمودار Ln(K) برحسب 1/T برای رنگ سافرانین (شرایط: ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول با غلظت ۵۰/۰ میلی-گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ در pH=۷/۰ با ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب و زمان تعادل ۲۵ دقیقه).

جدول (۲-۵۱)- پارامترهای ترمودینامیکی در حذف رنگ سافرانین.

دما (°C)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e^* (mg/g)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (kJ /mol.K)	ΔG° (kJ/mol)
۱۰	۵۲/۲	۱۱/۳	۵۸/۵	۷۷/۲	۰/۳	-۷/۷
۱۵	۵۳/۴	۸/۶	۶۴/۰			-۹/۲
۲۵	۴۷/۷	۱/۴	۶۶/۱			-۱۲/۲
۳۵	۴۹/۵	۱/۱	۷۰/۴			-۱۵/۲

* حجم محلول برابر ۵۰ میلی‌لیتر، مقدار جاذب برابر ۰/۰۳۵۰ گرم و زمان تعادل ۲۵ دقیقه در نظر گرفته شد.



شکل (۲-۶۷)- نمودار Ln(K) برحسب ۱/T برای رنگ متیل‌ویولت (شرایط: ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول با غلظت ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ در pH=۷/۰ با ۰/۰۳۵۰ گرم جاذب و زمان تعادل ۲۵ دقیقه).

جدول (۲-۵۲)- پارامترهای ترمودینامیکی در حذف رنگ متیل‌ویولت.

دما (°C)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e^* (mg/g)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (kJ /mol.K)	ΔG° (kJ/mol)
۱۰	۴۷/۸	۸/۰	۵۶/۹	۴۶/۰	۰/۲	-۱۰/۶
۱۵	۴۸/۸	۵/۴	۶۲/۰			-۱۱/۶
۲۵	۴۶/۸	۲/۳	۶۳/۶			-۱۳/۶
۳۵	۵۱/۴	۲/۱	۷۰/۴			-۱۵/۶

* حجم محلول برابر ۵۰ میلی‌لیتر، مقدار جاذب برابر ۰/۰۳۵۰ گرم و زمان تعادل ۲۵ دقیقه در نظر گرفته شد.

۲-۳-۱۰- مدل‌سازی

۲-۳-۱۰-۱- مدل‌سازی حذف همزمان رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت در مخلوط‌های دوجزئی توسط شبکه عصبی مصنوعی

در این کار یک شبکه سه لایه رو به جلو با الگوریتم یادگیری پس انتشار به کار گرفته شد تا درصد حذف سافرانین و متیل ویولت را در مخلوط دوتایی به صورت تابعی از pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه رنگ و مدت زمان تماس پیش‌بینی کند.

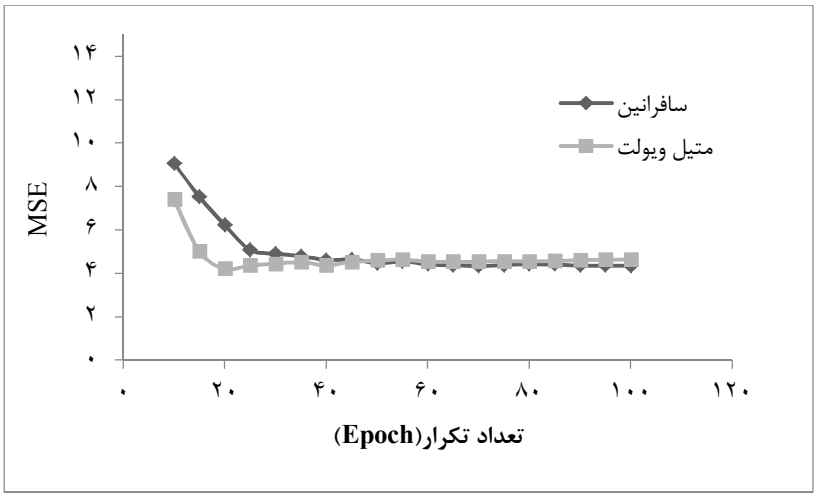
برای هر دو رنگ متغیرهای ورودی به شبکه شامل pH (۳/۰، ۵/۰ و۷/۰)، مقدار جاذب استفاده شده (۰/۰۱۵۰، ۰/۰۲۵۰ و ۰/۰۳۵۰ گرم)، غلظت اولیه رنگ (۲۰/۰، ۵۰/۰، ۹۰/۰ و ۱۳۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر) و زمان تماس (۲۵-۱ دقیقه) بودند و متغیر خروجی شبکه مقدار درصد حذف رنگ در زمان‌های تماس متفاوت بود. بنابراین بر اساس این متغیرهای ورودی ۳۲۴ داده تجربی برای رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت به دست آمد. این داده‌ها به صورت کاملاً تصادفی به مجموعه آموزش (۷۵٪ داده‌ها) و مجموعه تست (۲۵٪ داده‌ها) تقسیم شدند ((جدول (۲-۲) تا (۲-۵) پیوست). داده-های آموزش برای بهینه‌کردن پارامترهای مؤثر بر کارایی شبکه و مجموعه داده‌های تست برای ارزیابی قدرت پیشگویی مدل بهینه ایجاد شده توسط شبکه به کار گرفته شد. جزئیات فرایند بهینه‌سازی پارامترهای شبکه همانند روش توضیح داده شده در بخش (۲-۲-۱۱-۱) بود و در اینجا برای جلوگیری از تکرار فقط نتایج مربوط به مینیم مقدار خطا با توابع آموزش و توابع انتقال متفاوت در جداول (۲-۵۳) و (۲-۵۴) گردآوری شده است. بر اساس نتایج به دست آمده تابع آموزش لونبرگ مارکوارت و تابع انتقال تانژانت سیگموئیدی کمترین خطا را در پیش‌بینی درصد حذف رنگ در مخلوط‌های دوتایی دارد. در ادامه برای جلوگیری از برازش اضافی، تعداد تکرار فرایند آموزش بهینه گردید که بر اساس شکل (۲-۶۸) برای رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت در مخلوط‌های دوتایی به ترتیب تعداد تکرار ۴۰ و ۲۰ مقدار بهینه می‌باشد.

جدول (۲-۵۳)- مینیمم مقدار خطای سری آموزش در پیش‌بینی درصد حذف رنگ سافرانین به روش ارزیابی تقاطعی در توابع آموزش و انتقال متفاوت.

No.	تعداد گره لایه ورودی	تعداد گره لایه پنهان	تابع آموزش	تابع انتقال	MSE
۱	۴	۴	BR	tansig	۷/۶۸
۲	۴	۷	BR	logsig	۱۰/۹۶
۳	۴	۸	LM	tansig	**۴/۶۰**
۴	۴	۸	LM	logsig	۱۰/۴۹

جدول (۲-۵۴)- مینیمم مقدار خطای سری آموش در پیش‌بینی درصد حذف رنگ متیل‌ویولت به روش ارزیابی تقاطعی در توابع آموزش و انتقال متفاوت.

No.	تعداد گره لایه ورودی	تعداد گره لایه پنهان	تابع آموزش	تابع انتقال	MSE
۱	۴	۴	BR	tansig	۵/۷۲
۲	۴	۹	BR	logsig	۷/۷۹
۳	۴	۸	LM	tansig	**۴/۲۰**
۴	۴	۸	LM	logsig	۶/۷۴



شکل (۲-۶۸)- میانگین مربعات خطا برحسب تعداد تکرارهای فرایند آموزش برای پیش بینی درصد حذف سافرانین متیل ویولت در مخلوط دو جزئی.

بدین ترتیب ساختار شبکه بهینه شده برای پیش‌بینی درصد حذف رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت را می‌توان به ترتیب در جداول (۲-۵۵) و (۲-۵۶) خلاصه کرد.

جدول (۲-۵۵) - توابع و مقادیر پارامترهای بهینه شده شبکه عصبی برای پیش بینی درصد حذف سافرانین

تابع آموزش	Train LM
تابع انتقال لایه پنهان	Tansig
تابع انتقال لایه خروجی	pure line
تعداد گره لایه پنهان	۸
تعداد متغیرهای ورودی	۴
تعداد دورهای آموزش	۴۰

جدول (۲-۵۶) - توابع و مقادیر پارامترهای بهینه شده شبکه عصبی برای پیش بینی درصد حذف متیل‌ویولت

تابع آموزش	Train LM
تابع انتقال لایه پنهان	Tansig
تابع انتقال لایه خروجی	pure line
تعداد گره لایه پنهان	۸
تعداد متغیرهای ورودی	۴
تعداد دورهای آموزش	۲۰

نتایج مربوط به پیش‌بینی سری آموزش به روش ارزیابی تقاطعی برای رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت با استفاده از مدل بهینه ایجاد شده توسط شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب در جدول (۲-۶- پیوست) و جدول (۲- ۸- پیوست) آورده شده است.

۲-۳- ۱۰-۲- مدل‌سازی توسط روش جنگل تصادفی

متغیرهای ورودی و خروجی برای مدل‌سازی با روش جنگل تصادفی همان متغیرهای بیان شده در شبکه بودند. جزئیات مراحل بهینه‌سازی همانند روش ذکر شده در بخش (۲-۲-۱۱-۲) انجام شد و در اینجا به طور خلاصه اشاره می‌شود که برای بهینه نمودن پارامترهای مؤثر بر مدل جنگل تصادفی، به طور همزمان تعداد درخت (ntree) از ۵۰ تا ۵۰۰ با گام ۲۵، تعداد متغیرهای انتخاب شده در هر مرحله تقسیم‌بندی (Mtry از ۱ تا ۴ با گام یک) و تعداد مشاهدات باقیمانده در هر گره (Node size) از۲ تا ۹ با گام یک تغییر داده شد و در هر مرحله مقدار MSE مربوط به مجموعه OOB محاسبه گردید. مقادیر MSE مربوط به داده‌های OOB برای رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت برای چندین حالت که کمترین MSE را دارند، در جداول (۲-۵۷) و (۲-۵۸) آورده شده است.

جدول (۲-۵۷)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف سافرانین.

ntree	Mtry	Node size	MSE (OOB)
۴۷۵	۲	۳	۱۵/۶۵
۱۵۰	۲	۲	**۱۴/۴۶**
۲۰۰	۲	۴	۱۵/۹۵
۴۷۵	۲	۲	۱۴/۳۴

جدول (۲-۵۸)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف متیل‌ویولت.

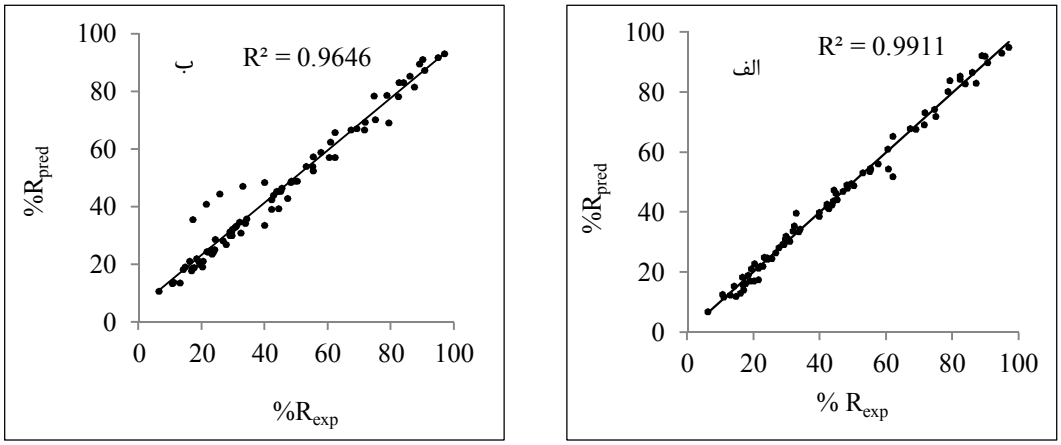
ntree	Mtry	Node siz	MSE (OOB)
۲۲۵	۲	۲	۱۲/۱۶
۲۷۵	۲	۲	**۱۱/۸۴**
۳۲۵	۲	۳	۱۲/۷۲
۴۵۰	۲	۴	۱۴/۱۶

بر اساس این مقادیر MSE برای سافرانین در ntree=۱۵۰ و mtry=۲ مقادیر خطای OOB حداقل است. در حالی که برای متیل‌ویولت در ntree=۲۷۵ و mtry=۲ خطا حداقل می‌باشد.

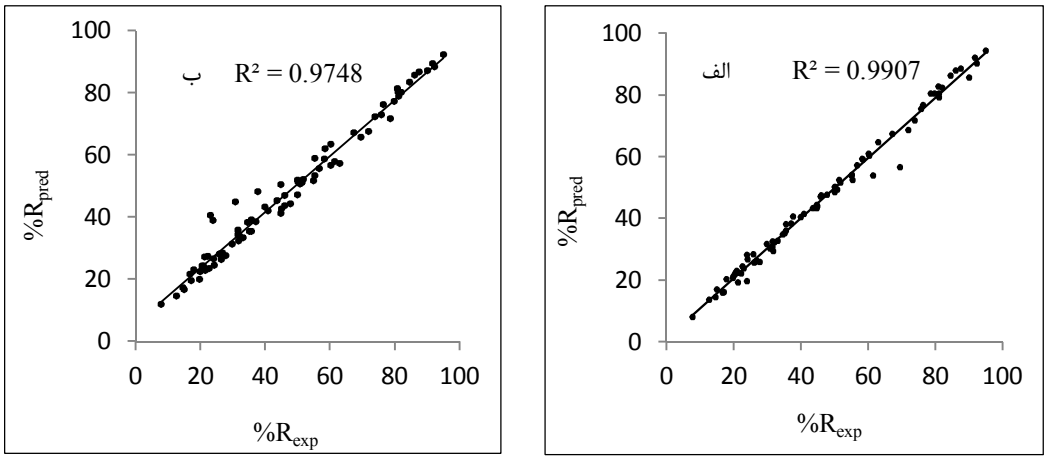
نتایج مربوط به پیش‌بینی سری آموزش برای رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت به ترتیب در جدول (۲- ۶- پیوست) و جدول (۲- ۸- پیوست) آورده شده است.

۲-۳- ۱۰-۳- ارزیابی مدل‌های ساخته شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی

به طور ایده‌ال، ارزیابی قدرت پیشگویی یک مدل ساخته شده با استفاده از یک مجموعه داده-ها که به داده‌های تست معروف هستند و در فرایند ساخت و آموزش مدل استفاده نشده‌اند، تعیین می‌گردد. با توجه به این موضوع درصد حذف ۸۱ نمونه تست (جدول (۲-۳- پیوست) و جدول (۲- ۵- پیوست)) که در شرایط آمایشگاهی متفاوت اندازه‌گیری شده بودند، با استفاده از مدل پیشنهاد شده توسط شبکه عصبی مصنوعی و جنگل تصادفی، پیش‌بینی گردید که نتایج به دست آمده در جدول‌های (۲-۷- پیوست) و (۲-۹- پیوست) ارائه شده است. شکل‌های (۲-۶۹) و (۲-۷۰) مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف هر رنگ در سیستم دوجزئی توسط هر مدل برحسب مقادیر تجربی برای سری تست رنگ‌های سافرانین و متیل ویولت در سیستم دوجزئی مورد مطالعه نشان می‌دهد. صحت پیش‌بینی مدل‌های ساخته شده با استفاده از پارامترهای آماری مختلف مورد سنجش قرار گرفت (جداول (۲-۵۹) و (۲-۶۰)). روابط ریاضی مربوط به این پارامترها در بخش (۲-۲-۱۱-۴) بیان شده است.



شکل(۲-۶۹)– نمودار مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری تست رنگ سافرانین **الف)** با مدل شبکه عصبی مصنوعی **ب)** با مدل جنگل تصادفی.



شکل(۲-۷۰)– نمودار مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری تست رنگ متیل‌ویولت، **الف)** با مدل شبکه عصبی مصنوعی **ب)** با مدل جنگل تصادفی.

جدول (۲-۵۹)- پارامترهای آماری برای مقایسه صحت مدل‌ها (برای رنگ سافرانین).

پارامتر	شبکه عصبی مصنوعی	جنگل تصادفی
MSE	۵/۳۴	۲۴/۶۸
MRE	۴/۸۸	۱۱/۴۱
R^2	۰/۹۹۱۱	۰/۹۶۴۶

جدول (۲-۶۰)- پارامترهای آماری برای مقایسه صحت مدل‌ها (برای رنگ متیل‌ویولت).

پارامتر	شبکه عصبی مصنوعی	جنگل تصادفی
MSE	۵/۱۹	۱۸/۰۹
MRE	۳/۹۴	۹/۴۳
R^2	۰/۹۹۰۷	۰/۹۷۴۸

مقادیر این پارامترها تأیید می‌کند که شبکه عصبی مصنوعی دارای قدرت پیشگویی بهتری در پیش‌بینی درصد حذف رنگ‌های سافرانین و متیل‌ویولت در مخلوط‌های دوتایی در شرایط آزمایشگاهی متفاوت را دارد. همچنین بر اساس روشی که در بخش (۲-۲-۱۱-۵) اشاره گردید، اهمیت متغیرها در شبکه عصبی مصنوعی محاسبه گردید (شکل (۲-۷۱)). همانطور که مشاهده می‌شود، غلظت اولیه رنگزا بیشترین تأثیر را بر روی میزان حذف رنگ دارد.



شکل (۲-۷۱)- اهمیت متغیرها در شبکه عصبی مصنوعی برای الف) سافرانین و ب) متیل‌ویولت.

۲-۳-۱۱- بررسی ماکزیمم ظرفیت جذب مخروط کاج اصلاح شده با برخی جاذب‌های گزارش شده در مقالات برای حذف سافرانین و متیل ویولت

در جدول زیر تعدادی از جاذب‌های گزارش شده برای حذف متیل‌ویولت و سافرانین آورده شده است. با توجه به اینکه تا به حال در هیچ مقاله‌ای حذف همزمان این دو رنگ گزارش نشده است، ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب پیشنهاد شده با ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب‌های موجود در مقالات در محلول‌های تک‌جزئی این دو رنگ مقایسه شد. جاذب پیشنهاد شده در این تحقیق دارای ظرفیت جذب مناسبی است و حتی از نظر مدت زمان لازم برای انجام فرایند حذف نیز بسیار مناسب‌تر از جاذب‌های گزارش شده در مقالات است.

جدول (۲-۶۱)- مقایسه بین ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب‌های متفاوت پیشنهاد شده برای حذف رنگ‌های کاتیونی سافرانین و متیل‌ویولت از محلول‌های آبی.

مرجع	زمان (دقیقه)	ماکزیمم ظرفیت جذب (میلی گرم بر گرم)	رنگ	جاذب
[۷۶]	۴۸۰	۱۰۶/۴۰	متیل ویولت	سلولز اصلاح شده
[۱۰۳]	۱۴۰	۹۵/۴۰	متیل ویولت	دکستران
[۱۰۴]	۸۰۰	۱۱۱/۰۰	متیل ویولت	نانورس
کار حاضر	۲۵	۲۲۵/۰۰	متیل ویولت	مخروط کاج اصلاح شده
[۱۰۵]	۹۰	۶۸/۶۰	سافرانین	MCM-41
[۱۰۶]	۹۰	۸۹/۴۰	سافرانین	پسماند خاک سرخ اصلاح شده
[۱۰۷]	۲۸۸۰	۵۷۶/۰۰	سافرانین	کربن فعال
[۱۰۸]	۹۰	۱۰۷/۰۰	سافرانین	استخوان کلسینه شده
کار حاضر	۲۵	۲۰۸/۰۰	سافرانین	مخروط کاج اصلاح شده

۲-۴- کاربرد نانوسیلیکا استخراج شده از ساقه جارو برای حذف همزمان کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو

پسماندهای کشاورزی همچون پوست برنج، ساقه نیشکر و ساقه جارو منبع غنی از سیلیس می‌باشند [۱۱۰ , ۱۰۹]. در این پروژه از ساقه جارو استفاده شده است زیرا ساقه جارو در مقایسه با ساقه برنج و ساقه نیشکر کاربردهای کمتری دارد و حتی نمی‌تواند به عنوان خوراک دام استفاده شود. در حالی که ساقه نیشکر و پوست برنج دارای کاربردهای متفاوت هستند. به عنوان مثال از ساقه نیشکر می‌توان کاغذ صافی و مقوا تهیه کرد یا پوست برنج در تهیه اتانول، استیک اسید، فوفورال به کار می‌رود. همچنین منبع مناسبی از ویتامین B بوده، مصرف دارویی داشته و حتی می‌تواند به عنوان خوراک دام مورد استفاده قرار گیرد [۱۰۹].

اگرچه تهیه‌ی نانوسیلیکای استخراج شده از ساقه جارو به عنوان ماده اولیه‌ی تهیه نانو زئولیت جهت ساخت یک حسگر الکتروشیمیایی در سال ۲۰۱۶ توسط کاویان و همکارانش گزارش شده است [۱۱۱] ولی تاکنون هیچ بررسی مبنی بر استفاده از این جاذب ارزان قیمت جهت حذف رنگ چه به صورت تک و چه به صورت مخلوط انجام نشده است و در این پژوهش برای اولین بار این مطالعه صورت گرفته است.

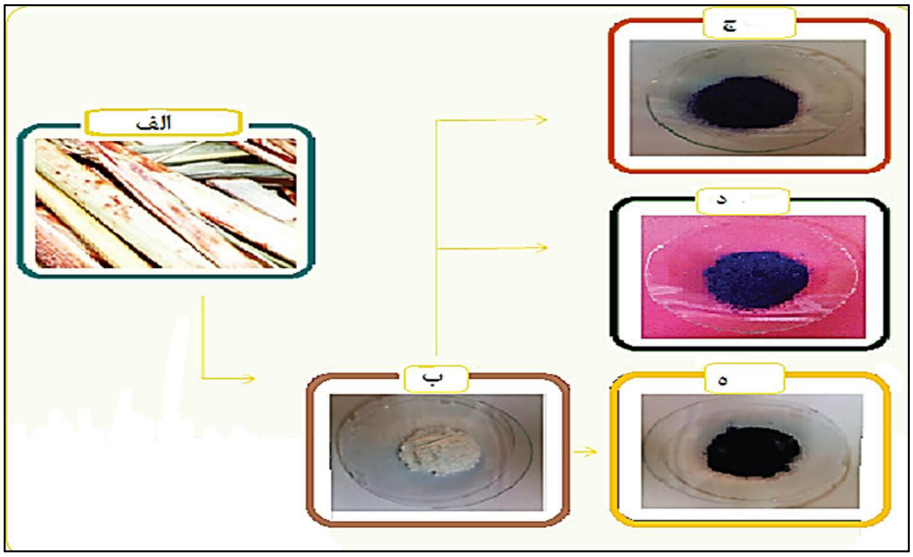
۲-۴-۱- استخراج نانوسیلیکا از ساقه جارو

تهیه نانو ذرات سیلیکا طبق گزارش کاویان و همکارانش انجام شد [۱۱۱]. روش کار بدین صورت بود که ابتدا ساقه جارو در هوای آزاد سوزانده و به خاکستر سیاه تبدیل شد. سپس در کوره در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ ساعت کلسینه شد. در ادامه ۱۰/۰ گرم خاکستر تکلیس شده از این مرحله به مدت ۳ ساعت در ۱۰۰/۰ میلی‌لیتر محلول سدیم هیدروکسید یک مولار تحت رفلاکس و همزدن شدید قرار گرفت. سپس مخلوط به دست آمده صاف گردید. پسماند با ۱۰۰/۰ میلی‌لیترآب مقطر تحت رفلاکس قرار گرفت و مجدداً مخلوط صاف شد. مایع زیر صافی (سدیم سیلیکات) حاصل از دو مرحله قبل به هم اضافه و با محلول هیدروکلریک اسید یک مولار خنثی گردید. در این مرحله رنگ محلول شیری رنگ شد که تأیید کننده تشکیل ژل سیلیسیک اسید می‌باشد. ژل به دست آمده به مدت ۲۴ ساعت ساکن نگه داشته شد تا پلیمریزه شود. بعد از این مرحله ژل به دست آمده چندین بار با آب شسته شده تا Na^+ جذب سطحی شده جدا گردد. سپس در آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد خشک گردید. در نهایت نیز جامد به دست آمده در هاون خرد شده تا یک پودر یکنواخت به دست آید. شکل (۲-۷۲) مراحل تهیه نانوذرات سیلیکا را نشان می‌دهد. در این تحقیق از هر۱۰/۰ گرم خاکستر تکلیس شده حدود ۳/۵ گرم نانوذرات سیلیکا می‌توان تهیه کرد. مشخصه‌یابی این نانوذرات با تکنیک‌های متفاوتی انجام گرفت.



شکل (۲-۷۲)- مراحل تهیه نانوسیلیکا از ساقه جارو

بر اساس شکل (۲-۷۳)، قابلیت جاذب تهیه شده برای جذب کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو از محلول‌های تک‌جزئی و دوجزئی، با تغییر رنگ نانوسیلیکا بعد از تماس با محلول‌های رنگ تأیید شد.



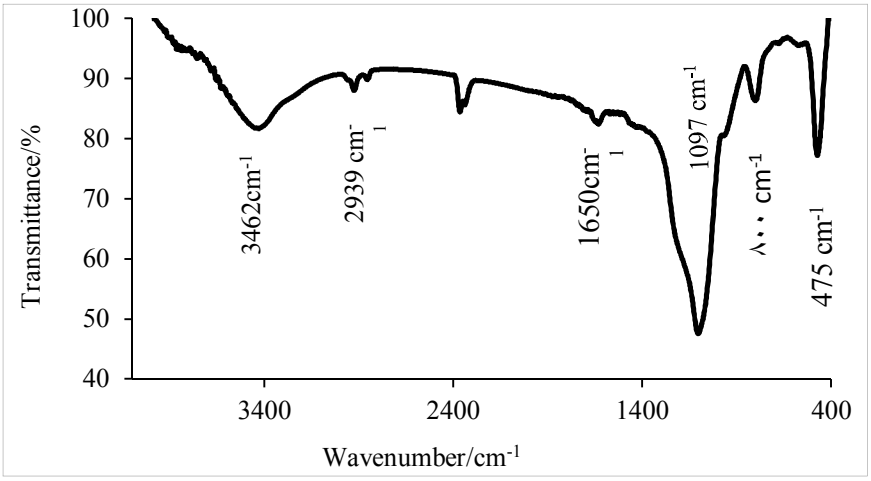
شکل (۲-۷۳)- تصویر الف) ساقه جارو، ب) نانوسیلیکا استخراج شده از ساقه جارو، ج) کریستال ویولت جذب شده روی سطح نانوسیلیکا، د) متیلن بلو جذب شده روی سطح نانوسیلیکا و ه) مخلوط کریستال ویولت و متیلن‌بلو جذب شده روی سطح نانوسیلیکا.

مشخصه‌یابی نانوسیلیکا تهیه شده از ساقه جارو

به منظور شناسایی و تأیید ساختار نانوسیلیکای تهیه شده از تکنیک FT-IR استفاده گردید. همچنین برای بررسی ریخت شناسی[1]، اندازه تقریبی حفرات و مساحت سطح ویژه نانوذرات تهیه شده از روش SEM و BET استفاده شد.

الف- بررسی *FT-IR* نانوسیلیکا تهیه شده از ساقه جارو

طیف FT-IR نانوسیلیکا استخراج شده از ساقه جارو (که با استفاده از قرص KBr با نسبت ۱:۴۰ گرفته شده بود) در محدوده‌ی $4000-400 cm^{-1}$ مورد بررسی قرار گرفت (شکل (۲-۷۴)). پیک‌های جذبی مشاهده شده در $475 cm^{-1}$، $800 cm^{-1}$ و $1097 cm^{-1}$ به ترتیب ناشی از ارتعاشات خمشی، کششی متقارن و کششی نامتقارن پیوندهای سیلوکسان (O-Si-O) می‌باشد. پیک‌های جذبی در $3462 cm^{-1}$ ناشی از ارتعاشات کششی گروه‌های O-H سیلانول، ترکیبات سلولزی موجود در ساقه جارو یا مولکول‌های آبی است که درون شبکه‌های نانوسیلیکا گیر افتاده‌اند. پیک نسبتاً ضعیف مشاهده شده در $1650 cm^{-1}$ مربوط به ارتعاش خمشی H-O-H مولکول‌های آبی می‌باشد که درون حفرات نانوسیلیکا به دام افتاده‌اند و با حرارت به طور کامل حذف نشده‌اند [۱۱۵-۱۱۲].

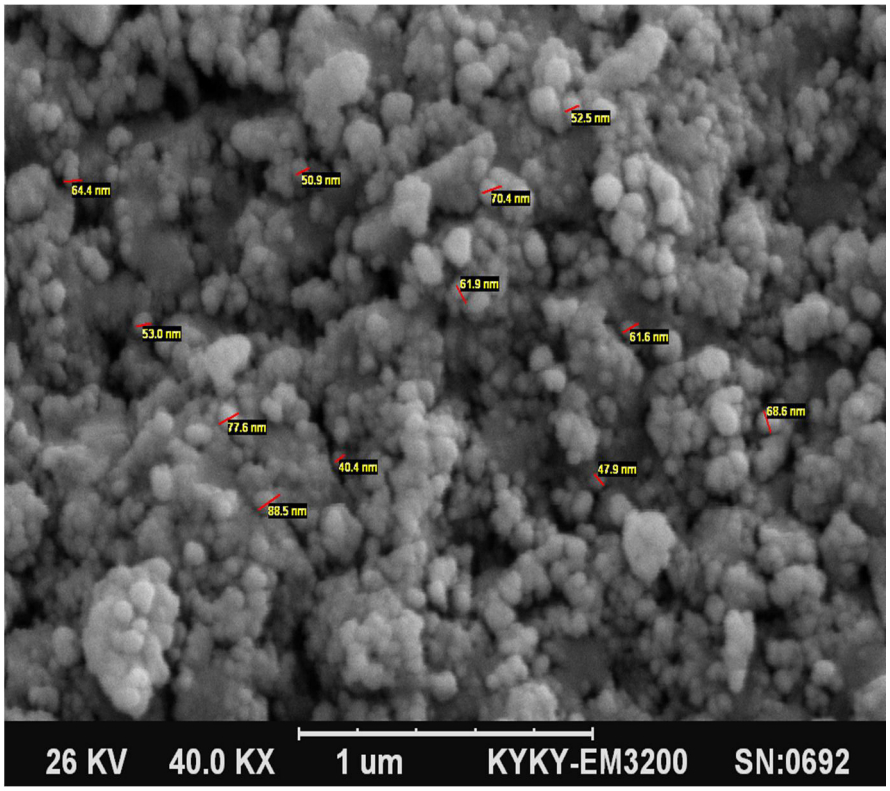


شکل (۲-۷۴)- طیف FT-IR نانوذرات سیلیکا.

[1] -Morphology

ب- بررسی *SEM* نانوسیلیکا استخراج شده از ساقه جارو

تصویر SEM نانوذرات سیلیکا استخراج شده از ساقه جارو در شکل (۲-۷۵) نشان داده شده است تصویر به دست آمده، تشکیل نانوذرات کروی با میانگین اندازه تقریبی کمتر از ۱۰۰ نانومتر را نشان می‌دهد.

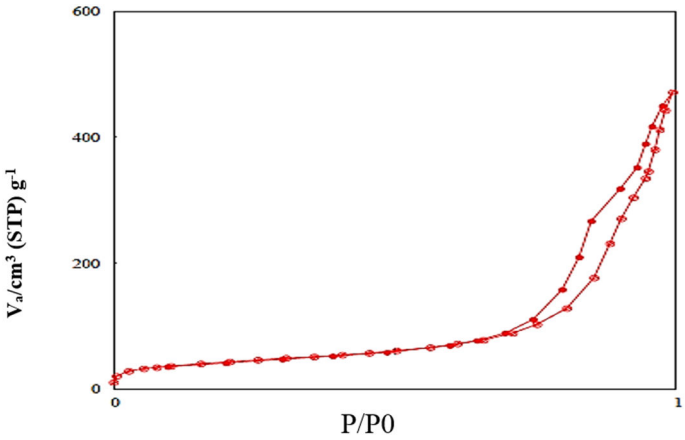


شکل (۲-۷۵)- تصویر SEM نانوذرات سیلیکا استخراج شده.

ج- بررسی *BET* نانوسیلیکا

به منظور بررسی تخلخل و مساحت سطح نانوسیلیکا تهیه شده از روش جذب و واجذب نیتروژن استفاده گردید. همانطور که در همدمای جذب و واجذب (شکل (۲-۷۶)) مشاهده می‌شود، یک حلقه پسماند مشاهده می‌شود. حلقه پسماند حضور مزومتخلخل‌ها را نشان می‌دهد. پارامترهای حاصل از جذب و واجذب فیزیکی نیتروژن و آنالیز BET شامل مساحت سطحBET، حجم حفرات کل، حجم میکرومتخلخل و میانگین قطر حفرات در جدول (۲-۶۲) گزارش شده است. بر اساس این جدول

متوسط قطر حفرات نانوذرات تهیه شده ۱۸/۵ نانومتر می‌باشد که این خود گواه وجود ذرات مزومتخلخل می‌باشد.



شکل (۲-۷۶)- همدمای جذب و واجذب نیتروژن، برای نانوسیلیکای سنتز شده.

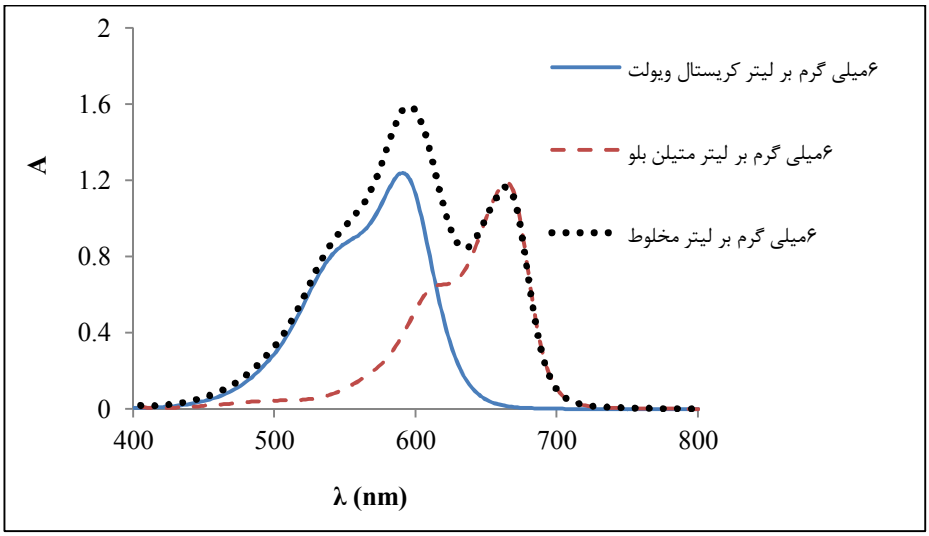
.جدول (۲-۶۲)- پارامترهای فیزیکوشیمیایی نانوسیلیکای سنتز شده.

حجم میکرومتخلخل (cm^3g^{-1})	میانگین قطر حفرات (nm)	حجم حفرات کل (cm^3g^{-1})	مساحت سطح BET (m^2g^{-1})
۳۴/۸۸	۱۸/۵	۰/۷۱۹۳	۱۵۲

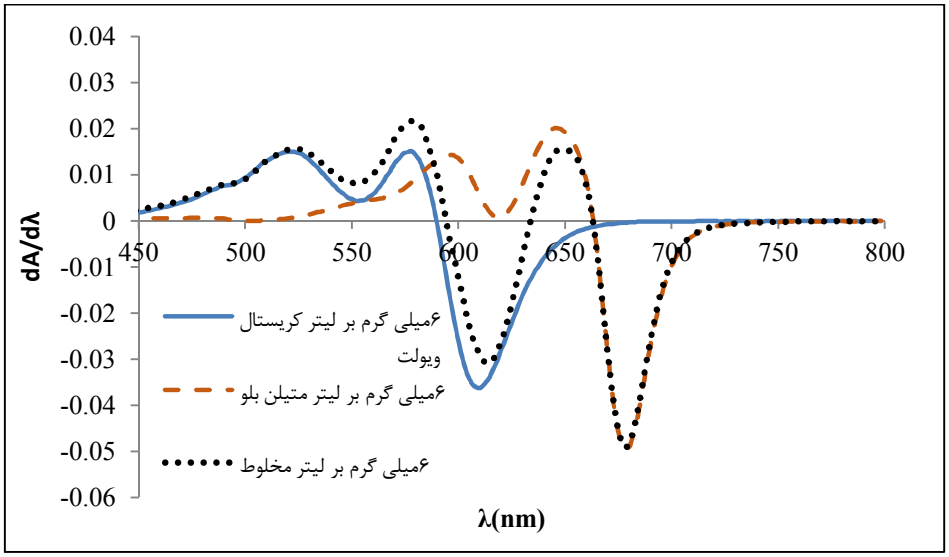
۲-۴-۲- تعیین همزمان کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی

در محلول‌های تک جزئی با اندازه‌گیری سیگنال جذب در طول موج ماکزیمم رنگ‌های کریستال ویولت (۵۹۰ نانومتر) و متیلن بلو (۶۶۴ نانومتر) و با استفاده از منحنی کالیبراسیون مربوطه، غلظت هر رنگ تعیین می‌شود. ولی همانطور که طیف ثبت شده برای مخلوط این دو رنگ نشان می‌دهد (شکل (۲-۷۷))، در طول موج ماکزیمم مربوط به کریستال ویولت تداخل طیفی وجود دارد. به دلیل این همپوشانی طیفی، استفاده از منحنی کالیبراسیون مستقیم، مانع از تعیین صحیح غلظت کریستال ویولت در مخلوط دو جزئی می‌شود. برای حل این مشکل از روش مشتقی استفاده

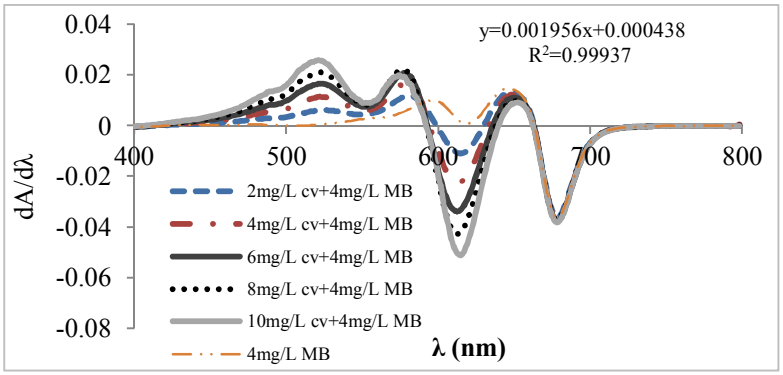
شد. بر اساس شکل (۲-۷۸) در طول موج ۵۰۶ نانومتر سیگنال مربوط به متیلن‌بلو برابر صفر بوده و این طول موج می‌تواند برای اندازه‌گیری غلظت کریستال ویولت در محلول‌های دوجزئی استفاده شود. بنابراین منحنی کالیبراسیون طیف‌های مشتقی محلول‌هایی با غلظت‌های متفاوت کریستال ویولت و غلظت ثابت از متیلن‌بلو در این طول موج ترسیم گردید (شکل (۲-۷۹)).



شکل(۲-۷۷)- طیف جذبی مرتبه صفر محلول ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیترکریستال ویولت و متیلن بلو در مخلوط تک جزئی و دو جزئی.



شکل(۲-۷۸)- طیف جذبی مرتبه اول محلول ۶/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کریستال ویولت و متیلن بلو در مخلوط تک جزئی و دو جزئی.



شکل(۲-۷۹)- طیف جذبی مشتق مرتبه اول کریستال ویولت در مخلوط دو جزئی در دامنه‌ی ۱۰/۰۰-۲/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کریستال ویولت و غلظت ثابت ۴/۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متیلن بلو.

به این ترتیب طول موج ۶۶۴ نانومتر در طیف مرتبه صفر و طول موج ۵۰۶ نانومتر در طیف مشتقی مرتبه اول به ترتیب برای تعیین غلظت متیلن بلو و کریستال ویولت در محلول‌های دو جزئی استفاده شد. اطلاعات مربوط به داده‌های کالیبراسیون در جدول (۳-۱پیوست) آورده شده است. میزان صحت طول موج‌های انتخاب شده، با استفاده از ۱۱ مخلوط دو جزئی که در آن‌ها غلظت‌های متیلن‌بلو و کریستال ویولت متفاوت بود و در سری کالیبراسیون استفاده نشده بودند، بررسی گردید. نتایج به دست آمده (جدول (۲-۶۳)) صحت طول موج‌های انتخاب شده را تأیید کرد.

جدول(۲-۶۳)- نتایج مربوط به پیش‌بینی غلظت رنگ کریستال ویولت و متیلن‌بلو در مخلوط دوتایی برای تعیین صحت طول موج انتخاب شده.

خطای نسبی (٪)		غلظت پیش‌بینی شده (میلی‌گرم برلیتر)		غلظت واقعی (میلی‌گرم بر لیتر)	
متیلن بلو	کریستال ویولت	متیلن بلو	کریستال ویولت	متیلن بلو	کریستال ویولت
۶/۰۰	۱/۶۸	۳/۱۸	۹/۶۶	۳/۰۰	۹/۵۰
-۲/۲۹	-۱/۳۴	۲/۹۳	۲/۹۶	۳/۰۰	۳/۰۰
۰/۴۲	———	۵/۰۲	———	۵/۰۰	۰/۰۰
-۳/۲۸	۳/۳۷	۴/۸۴	۴/۸۳	۵/۰۰	۵/۰۰
-۲/۱۹	———	۶/۸۵	———	۷/۰۰	۰/۰۰
-۰/۹۸	۱/۱۷	۶/۹۳	۷/۰۸	۷/۰۰	۷/۰۰
———	-۴/۰۰	———	۶/۷۲	۰/۰۰	۷/۰۰
-۳/۶۴	۲/۲۲	۸/۶۷	۹/۲۰	۹/۰۰	۹/۰۰
-۲/۸۸	۱/۰۹	۴/۳۷	۱۱/۱۲	۴/۵۰	۱۱/۰۰
———	-۱/۵۰	———	۵/۹۱	۰/۰۰	۶/۰۰
-۰/۶۷	۰/۰۸۳	۱۴/۹۰	۱۲/۰۱	۱۵/۰۰	۱۲/۰۰

۲-۴-۳- بررسی میزان کارایی نانوسیلیکا

برای بررسی کارایی جاذب تهیه شده، مقدار مشخصی از نانوسیلیکا تهیه شده به یک ارلن که حاوی ۵۰/۰ میلی‌لیتر مخلوط دو رنگ با غلظت مشخصی بود، اضافه گردید. پس از تنظیم pH، محلول در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد همزده شد تا اثر پارامترهایی همچون pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه رنگ و مدت زمان تماس که بر روی کارایی فرایند جذب مؤثرند، مورد بررسی قرار گیرند. سپس در فاصله‌های زمانی معین، مقدار مشخصی از نمونه (حدود ۲/۰ میلی‌لیتر) در ۳۵۰۰ دور بر ثانیه به مدت یک دقیقه سانتریفیوژ شد و غلظت رنگ در محلول رویی به صورت اسپکتروفتومتری و با استفاده از منحنی کالیبراسیون مستقیم (در محلول‌های تک‌جزئی) و روش مشتقی (در محلول‌های دو جزئی) تعیین مقدار شد. سپس درصد حذف رنگ با استفاده از رابطه (۲-۱) محاسبه گردید.

۲-۴-۳-۱- اثر pH بر روی جذب همزمان کریستال ویولت و متیلن‌بلو در مخلوط دوجزئی

برای بررسی اثر pH، مقدار ۰/۰۴۰۰ گرم از جاذب تهیه شده به۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول در دمای۲±۳۰ درجه سانتیگراد که نسبت به هر دو رنگ دارای غلظت۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر بود و در pHهای ۳/۰ تا ۱۰/۰ تنظیم شده بود، اضافه گردید. بعد از گذشت مدت زمان ۸۰ دقیقه حدود ۲/۰ میلی‌لیتر از محلول سانتریفیوژ شد و غلظت رنگ باقیمانده با استفاده از طیف جذبی به دست آمده و روش مشتقی پیشنهاد شده، محاسبه گردید. سپس با استفاده از معادله‌ی (۲-۱) میزان درصد حذف در pHهای مختلف ترسیم گردید. بر اساس نتایج به دست آمده (جدول (۲-۶۴) و شکل (۲-۸۰)) با افزایش pH مقدار درصد حذف افزایش می‌یابد. کاهش میزان درصد حذف در pHهای اسیدی را می‌توان به پروتونه شدن گروههای سیلانول و دافعه ایجاد شده بین این گروهها و رنگ‌های کاتیونی کریستال ویولت و متیلن بلو نسبت داد. با افزایش pH و کاهش میزان یون‌های هیدروژن، احتمال پروتونه شدن گروههای سیلانول کاهش یافته و به موجب آن، گونه‌های کاتیونی رنگ شانس بیشتری

برای جذب روی سطح نانوسیلیکا دارند [۲]. باید اشاره کرد که حتی در pHهای بازی گروههای سیلانول می‌توانند به صورت SiO^- حضور داشته باشند و با استفاده از برهم‌کنش‌های الکتروستاتیکی گونه‌های کاتیونی را جذب کنند. بنابراین واکنش‌های انجام شده در pH های اسیدی و بازی برای جاذب نانوسیلیکا را می‌توان به صورت روابط زیر نوشت [۲ و ۱۱۶]:

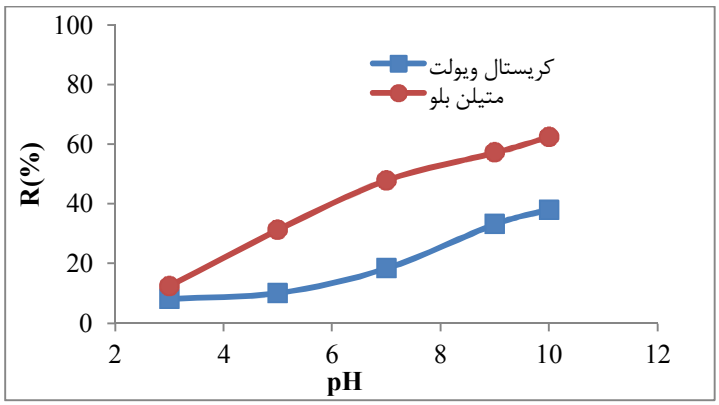
$$\equiv SiOH + H^+ \rightarrow SiOH_2^+$$

$$\equiv SiOH + OH^- \rightarrow SiO^- + H_2O$$

لازم به ذکر است که به دلیل تخریب رنگ (به خصوص کریستال ویولت) در محیط‌های شدیداً بازی، pHهای بالاتر از ۱۰/۰ بررسی نشد.

جدول (۲-۶۴)- مقادیر درصد حذف رنگ‌های کریستال ویولت و متیلن بلو در سیستم دوجزئی در pHهای مختلف.

pH	درصد حذف کریستال ویولت	درصد حذف متیلن بلو
۳/۰	۸	۱۲
۵/۰	۱۰	۳۱
۷/۰	۱۸	۴۸
۹/۰	۳۳	۵۷
۱۰/۰	۳۸	۶۲



شکل (۲-۸۰)- اثر pH بر میزان درصد حذف رنگ‌های کریستال ویولت و متیلن بلو در مخلوط دوجزئی (شرایط: ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول حاوی کریستال ویولت و متیلن‌بلو هر یک با غلظت ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر، زمان تماس ۸۰ دقیقه، دمای ۳۰ درجه سانتیگراد و مقدار ۰/۰۴۰۰ گرم جاذب).

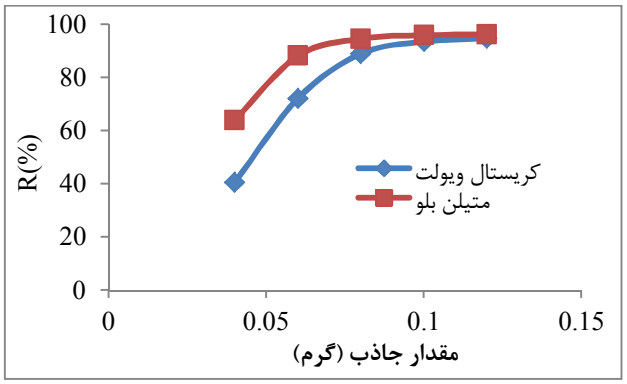
بر اساس نتایج به دست آمده، pH=۱۰/۰ به عنوان pH بهینه انتخاب گردید و بقیه آزمایشات در این مقدار بهینه انجام شد.

۲-۴-۳-۲- اثر مقدار نانوسیلیکا بر روی میزان درصد همزمان کریستال ویولت و متیلن‌بلو

در این بخش از تحقیق مقادیر متفاوتی از جاذب (۰/۱۲۰۰-۰/۰۴۰۰گرم) به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول با pH=۱۰/۰ که نسبت به هر دو رنگ دارای غلظت ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر بود، اضافه گردید و میزان درصد حذف آنها بعد از گذشت مدت زمان ۸۰ دقیقه محاسبه گردید. همانطور که جدول (۲-۶۵) و شکل (۲-۸۱) نشان می‌دهد، مقدار ۰/۱۰۰۰ گرم نانوسیلیکا را می‌توان به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفت.

جدول (۲-۶۵)- مقادیر درصد حذف رنگ‌های کریستال ویولت و متیلن بلو در سیستم دو جزئی در مقادیر متفاوت جاذب.

درصد حذف متیلن بلو	درصد حذف کریستال ویولت	مقدار جاذب (گرم)
۶۳	۳۸	۰/۰۴۰۰
۸۸	۷۲	۰/۰۶۰۰
۹۵	۸۹	۰/۰۸۰۰
۹۶	۹۳	۰/۱۰۰۰
۹۶	۹۵	۰/۱۲۰۰



شکل (۲-۸۱)- اثر مقدار جاذب مصرفی بر روی درصد حذف رنگ‌های کریستال ویولت و متیلن بلو (۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول دوجزئی رنگ هر یک با غلظت ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر، دمای ۳۰ درجه سانتیگراد، pH =۱۰/۰ و زمان تماس ۸۰ دقیقه).

۲-۴-۳-۳- بررسی اثر مدت زمان تماس و غلظت رنگ بر میزان درصد حذف همزمان کریستال ویولت و متیلن بلو

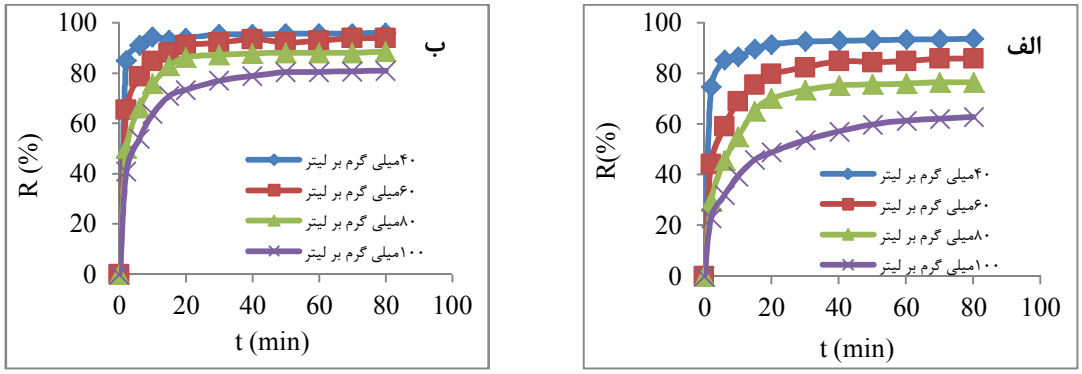
به منظور تعیین زمان لازم برای رسیدن به تعادل، میزان درصد حذف غلظت‌های متفاوت از کریستال ویولت و متیلن بلو در مخلوط‌های دوجزئی برحسب زمان تماس در pH=۱۰/۰، با ۰/۱۰۰۰ گرم جاذب مورد مطالعه قرار گرفت (جداول (۲-۶۶) و (۲-۶۷) و شکل (۲-۸۲)). نتایج به دست آمده نشان داد که سرعت جذب برای هر دو رنگ در زمان‌های تماس اولیه بالاست. با گذشت زمان به دلیل کاهش تعداد سایتهای فعال و احتمالاً دافعه‌های الکتروستاتیکی بین مولکول‌های رنگ جذب شده در سطح جاذب و مولکول‌های رنگ موجود در توده محلول، سرعت واکنش کاهش می‌یابد و نهایتاً به دلیل اشباع شدن سطح جاذب در زمان رسیدن به تعادل درصد حذف ثابت می‌شود. بر اساس شکل‌های (۲-۸۲ الف) و (۲-۸۲ ب) زمان ۸۰ دقیقه، مدت زمان مناسبی برای رسیدن به تعادل برای غلظت‌های متفاوت از متیلن‌بلو و کریستال ویولت در مخلوط دوجزئی می‌باشد. همچنین همانطور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، یک ارتباط معکوس بین غلظت رنگ و میزان درصد حذف رنگ وجود دارد. به بیان دیگر با افزایش غلظت رنگ میزان درصد حذف کاهش می‌یابد. مشاهده‌ی این نتایج را می‌توان به نسبت تعداد سایت‌های فعال در دسترس جاذب به تعداد مول‌های رنگزا نسبت داد.

جدول(۲-۶۶)- تغییرات درصد حذف رنگ کریستال ویولت در غلظت‌های متفاوت برحسب زمان

t (min)	۴۰/۰ (mg/L)	۶۰/۰ (mg/L)	۸۰/۰ (mg/L)	۱۰۰/۰ (mg/L)
۰	۰	۰	۰	۰
۲	۷۵	۴۴	۳۰	۲۳
۶	۸۵	۵۹	۴۶	۳۲
۱۰	۹۱	۶۹	۵۵	۳۹
۱۵	۹۰	۷۶	۶۵	۴۶
۲۰	۹۱	۸۰	۷۰	۴۹
۳۰	۹۳	۸۲	۷۳	۵۴
۴۰	۹۳	۸۵	۷۵	۵۷
۵۰	۹۳	۸۴	۷۶	۶۰
۶۰	۹۳	۸۵	۷۶	۶۱
۷۰	۹۳	۸۶	۷۶	۶۲
۸۰	۹۴	۸۶	۷۶	۶۳

جدول(۲-۶۷)- تغییرات درصد حذف رنگ متیلن بلو در غلظت‌های متفاوت برحسب زمان بر روی جاذب نانوسیلیکا.

t (min)	۴۰/۰ (mg/L)	۶۰/۰ (mg/L)	۸۰/۰ (mg/L)	۱۰۰/۰ (mg/L)
۰	۰	۰	۰	۰
۲	۸۵	۶۶	۵۰	۴۱
۶	۹۱	۷۹	۶۶	۵۴
۱۰	۹۴	۸۵	۷۶	۶۴
۱۵	۹۳	۸۸	۸۳	۷۱
۲۰	۹۴	۹۱	۸۶	۷۴
۳۰	۹۶	۹۲	۸۷	۷۷
۴۰	۹۶	۹۴	۸۸	۷۹
۵۰	۹۶	۹۲	۸۸	۸۰
۶۰	۹۶	۹۳	۸۸	۸۱
۷۰	۹۶	۹۴	۸۸	۸۱
۸۰	۹۶	۹۴	۸۹	۸۱



شکل (۲-۸۲) الف: نمودار تغییرات درصد حذف برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت کریستال ویولت ب: نمودار تغییرات درصد حذف برحسب زمان در غلظت‌های متفاوت متیلن بلو در ۵۰ میلی لیتر مخلوط دو جزئی توسط ۰/۱۰۰۰ گرم جاذب در pH =۱۰/۰، زمان ۸۰ دقیقه و دمای ۲±۳۰ درجه سانتیگراد.

۲-۴-۴- سینتیک فرایند جذب

برای تعیین سینتیک و سرعت واکنش در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی، تغییرات غلظت ۵۰/۰ میلی‌لیتر رنگ (در حالی که مقدار جاذب و pH در مقدار بهینه به ترتیب ۰/۱۰۰۰ گرم و ۱۰/۰ ثابت شده بود)، در طی مدت زمان ۸۰ دقیقه اندازگیری شد. سپس فرایند جذب با استفاده از سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم (معادلات (۲-۱۰) و (۲-۱۱)) مورد آنالیز قرار گرفت. نتایج

بررسی‌ها (جدول (۲-۶۸)) نشان داد که برای هر دو رنگ چه در محلول تک جزئی و چه در محلول دو جزئی، مقدار ضریب تعیین و نزدیکی بین مقدار q_e تجربی و مقدار q_e محاسبه شده با مدل نشان می‌دهد که سینتیک جذب یک سینتیک شبه مرتبه دوم می‌باشد. لازم به ذکر است که جزئیات محاسبه این پارامترها در بخش (۲-۲-۶) توضیح داده شده است.

جدول (۲-۶۸)- پارامترهای سینتیکی در فرایند جذب کریستال‌ویولت و متیلن بلو بر روی جاذب تهیه شده در محلول-های تک جزئی و دو جزئی.

		شبه مرتبه اول				شبه مرتبه دوم		
سیستم	غلظت (mg/L)	$q_{e(exp.)}$ (mg/g)	$q_{e(cal.)}$ (mg/g)	k_1 (min^{-1})	R^2	$q_{e(cal.)}$ (mg/g)	k_1 ($mgg^{-1}min^{-0.5}$)	R^2
تک‌جزئی	کریستال ویولت							
	۴۰/۰	۱۹/۹	۴/۹	۰/۰۸۰۰	۰/۸۳۸۲	۲۰/۱	۰/۰۵۵۰	۰/۹۹۹۹
	۶۰/۰	۲۶/۵	۱۲/۲	۰/۰۶۹۲	۰/۹۳۶۶	۲۷/۳	۰/۰۱۱۰	۰/۹۹۹۷
	۸۰/۰	۳۵/۵	۱۸/۳	۰/۰۶۳۱	۰/۹۴۰۳	۳۶/۹	۰/۰۰۸	۰/۹۹۹۷
	۱۰۰/۰	۳۸/۹	۲۳/۴	۰/۰۶۱۶	۰/۹۸۸۶	۴۱/۳	۰/۰۰۵	۰/۹۹۸۶
	متیلن‌بلو							
	۴۰/۰	۱۹/۷	۲/۶	۰/۰۹۵	۰/۹۳۴۵	۱۹/۸	۰/۱۰	۱/۰۰۰
	۶۰/۰	۲۸/۹	۱۳/۸	۰/۰۶۹	۰/۹۷۹۵	۲۹/۷	۰/۰۱۴	۰/۹۹۹۵
	۸۰/۰	۳۶/۱	۲۱/۷	۰/۰۶۷	۰/۹۶۰۷	۳۷/۷	۰/۰۰۹	۰/۹۹۹۳
	۱۰۰/۰	۳۹/۸	۲۹/۵	۰/۰۵۲	۰/۹۷۱۰	۴۱/۳	۰/۰۰۶۲	۰/۹۹۷۶
دو جزئی	کریستال ویولت							
	۴۰/۰	۱۷/۹	۵/۳	۰/۰۶۶	۰/۸۲۵۶	۱۸/۳	۰/۰۳۳	۰/۹۹۹۷
	۶۰/۰	۵۴۲۲	۱۴/۹	۰/۰۵۲	۰/۹۷۵۲	۲۳/۹	۰/۰۰۷	۰/۹۹۶۹
	۸۰/۰	۲۵/۴	۱۸/۷	۰/۰۴۳	۰/۹۵۸۹	۲۷/۲	۰/۰۰۴۴	۰/۹۹۴۰
	۱۰۰/۰	۲۶/۷	۲۱/۰	۰/۰۴	۰/۹۶۱۰	۱۵۲۹	۰/۰۰۲۹	۰/۹۹۲۲
	متیلن‌بلو							
	۴۰/۰	۲۰/۳	۵/۳	۰/۰۹۶	۰/۹۲۵۵	۲۰/۵	۰/۰۶۴	۱/۰۰۰
	۶۰/۰	۲۵/۹	۱۴/۰	۰/۰۶۷	۰/۹۷۵۴	۲۶/۸	۰/۰۰۱۰	۰/۹۹۹۵
	۸۰/۰	۳۱/۷	۱۷/۶	۰/۰۵۳	۰/۹۴۷۰	۳۲/۸	۰/۰۰۸۰	۰/۹۹۸۹
	۱۰۰/۰	۳۴/۸	۱۹/۶	۰/۰۶۴	۰/۹۴۱۹	۳۶/۸	۰/۰۰۵۰	۰/۹۹۸۵

۲-۴-۵- بررسی ایزوترم‌های جذب کریستال ویولت و متیلن بلو در سیستم‌های تک‌جزئی و دوجزئی

در این بررسی ایزوترم‌های لانگموئر و فروندلیچ (روابط (۲-۳) و (۲-۴)) برای سیستم تک‌جزئی، ایزوترم لانگموئر بسط داده شده و ایزوترم شیندروف (روابط (۲-۳۱) و (۲-۳۲)) برای سیستم دوجزئی به کار گرفته شد. ثابت‌های مربوط به هر ایزوترم با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی در نرم‌افزار متلب به دست آمد. مقادیر پارامترهای آماری (ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا) که برای انتخاب مدل برتر به کار گرفته شده بود (جداول (۲-۶۹) و (۲-۷۰))، نشان داد که در محلول‌های تک جزئی ایزوترم لانگموئر و در سیستم دو جزئی ایزوترم لانگموئر بسط داده شده بهتر می‌تواند داده‌های تجربی را توصیف کند. لازم به ذکر است که جزئیات محاسبه این ثابت‌ها در بخش (۲-۲-۵) و (۲-۲-۱۳-۳) بیان شده است. فقط در اینجا باید اشاره کرد که مقدار جاذب برابر ۰/۱۰۰۰ گرم، pH برابر با ۱۰/۰، زمان تعادل برابر ۸۰ دقیقه و غلظت‌های استفاده شده ۲۰/۰، ۴۰/۰، ۶۰/۰، ۸۰/۰ و ۱۰۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر بود.

جدول (۲-۶۹)- ثابت‌های ایزوترم‌ها و پارامترهای آماری در محلول‌های تک جزئی کریستال ویولت و متیلن‌بلو.

ایزوترم	پارامتر	رنگ	
		کریستال ویولت	متیلن بلو
فروندلیچ	k_f ($(mg\ g^{-1})(L/mg)^{1/n}$)	۱۵/۱۳	۱۷/۰۹
	1/n	۰/۳۴	۰/۳۱
	R^2	۰/۹۰۷۱	۰/۹۰۳۱
	RMSE	۳/۲۶	۳/۴۲
لانگموئر	q_{max} (mg/g)	۴۵/۷۱	۴۴/۸۱
	k_L (L/mg)	۰/۳۴	۰/۴۹
	R^2	۰/۹۸۳۳	۰/۹۹۳۰
	RMSE	۱/۳۹	۰/۹۲

جدول (۲-۷۰)- ثابت‌های ایزوترم‌ها و پارامترهای آماری در محلول‌های دو جزئی کریستال ویولت و متیلن‌بلو.

ایزوترم	پارامتر	رنگ	
		کریستال ویولت	متیلن بلو
شیندروف	θ_{ij}	۲/۴۵	۰/۴۱۶
	R^2	۰/۹۱۸۶	۰/۸۷۷۱
	RMSE	۱/۷۷	۳/۰۸
لانگموئر بسط یافته	q_{max} (mg/g)	۲۹/۱۶	۳۸/۹۴
	$k_{l,1}$ (L/mg)	۰/۲۷۲	۰/۳۵۵
	$k_{l,2}$ (L/mg)	۰/۰۰۸۰	۰/۰۱۳
	R^2	۰/۹۷۰۹	۰/۹۵۳۲
	RMSE	۱/۰۷	۱/۹۰

۲-۴-۶- بازیابی جاذب

برای ارزیابی قابلیت بازیابی جاذب استفاده شده، ۲/۰ میلی‌لیتر مایع ظرفشویی پریل به ۵۰/۰ میلی‌لیتر آب مقطر که حاوی یک گرم جاذب بود، اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه همزده شد، سپس چندین بار با آب مقطر شسته شد. سپس مقدار۰/۱۰ گرم از جاذب شسته شده و خشک شده به ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول که شامل مخلوط دو رنگ با غلظت ۴۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر نسبت به هر رنگ بود، اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۸۰ دقیقه همزده شد. بعد از گذشت این مدت زمان میزان رنگ جذب شده توسط جاذب بازیابی شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در اولین سیکل بازیابی کارایی جاذب در حدود ۹۰ درصد می‌باشد. بعد از ۵ سیکل بازیابی کارایی جاذب به ۸۰ درصد رسید. این نتایج نشان می‌دهد که مایع ظرفشویی به عنوان یک ماده ارزان قیمت می‌تواند به طور موفقیت آمیزی جاذب استفاده شده را بازیابی کند.

۲-۴-۷- مدل‌سازی

۲-۴-۷-۱- مدل‌سازی حذف همزمان رنگ‌های کریستال ویولت و متیلن بلو در مخلوط‌های دوجزئی توسط جنگل تصادفی

برای هر دو رنگ مورد بررسی متغیرهای ورودی به الگوریتم جنگل تصادفی عبارتند از:

غلظت اولیه رنگ (۲۰/۰، ۴۰/۰، ۸۰/۰ و ۱۰۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر)، مقدار جاذب (۰/۰۶۰۰، ۰/۰۸۰۰ ، ۱۰۰۰/ ۰، و ۰/۱۲۰۰ گرم) و زمان تماس (۸۰-۲ دقیقه) بودند و متغیر خروجی شبکه مقدار درصد حذف رنگ در مخلوط‌های دو جزئی در زمان‌های تماس متفاوت بود. لازم به ذکر است که در تمامی این محلول‌ها، pH در مقدار بهینه قرار داده شد. بر اساس این متغیرهای ورودی ۲۲۰ داده تجربی برای رنگ‌های متیلن‌بلو و کریستال‌ویولت به دست آمد. این داده‌ها به صورت کاملاً تصادفی به دو گروه آموزش (۷۵٪) و تست (۲۵٪) تقسیم شدند ((جداول (۳- ۲) تا (۳- ۵) پیوست). داده‌های آموزش برای بهینه‌کردن پارامترهای مؤثر بر مدل جنگل تصادفی و مجموعه داده‌های تست برای ارزیابی قدرت پیشگویی مدل بهینه ایجاد شده توسط جنگل تصادفی به کار گرفته شدند. به منظور به دست آوردن بهترین مدل، پارامترهای موثر بر مدل بهینه شدند. در این راستا Ntree از ۲۵ تا ۵۰۰ (با گام‌های ۲۵)، mtry از ۱ تا ۳ (با گام ۱) و node size از (۲ تا ۹ با گام ۱) تغییر داده شد. روند بهینه‌سازی پارامترها مشابه روش توضیح داده شده در بخش (۲-۲-۱۱-۲) بود و در اینجا برای جلوگیری از تکرار فقط مقادیر MSE مربوط به داده‌های OOB برای رنگ‌های کریستال ویولت و متیلن بلو برای چندین حالت که کمترین MSE را دارد، در جداول (۲-۷۱) و (۲-۷۲) آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، برای کریستال ویولت در ntree = ۲۰۰ و mtry = ۲ و برای متیلن-بلو در ntree= ۱۷۵ و mtry = ۲ کمترین مقدار خطا در پیش بینی درصد حذف وجود دارد.

جدول (۲-۷۱)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف کریستال‌ویولت.

ntree	Mtry	Node size	MSE (OOB)
۱۵۰	۲	۳	۳/۰۲
۲۰۰	۲	۲	**۲/۷۳**
۳۰۰	۲	۲	۲/۶۰

جدول (۲-۷۲)- کمترین مقادیر MSE همراه با ntree، Mtry و Node siz متناظر آن‌ها در پیش‌بینی درصد حذف متیلن بلو

ntree	Mtry	Node size	MSE (OOB)
۱۵۰	۲	۳	۴/۵۰
۱۷۵	۲	۲	**۴/۱۱**
۲۰۰	۲	۲	۴/۳۰

نتایج حاصل از پیش‌بینی سری آموزش با روش جنگل تصادفی در جداول (۳-۲- پیوست) و (۳-۴- پیوست) آورده شده است

۲-۴-۷-۲- مدل‌سازی حذف همزمان کریستال ویولت و متیلن بلو از محلول‌های دو جزئی با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه

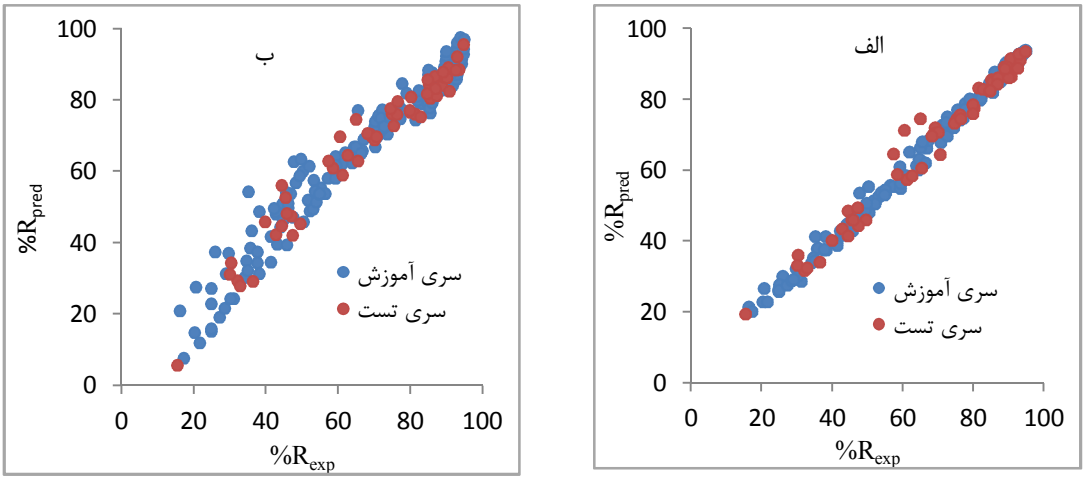
به منظور بررسی احتمال وجود یک ارتباط خطی بین متغیرهای ورودی و میزان کارایی حذف رنگ، روش رگرسیون خطی چندگانه بر روی مجموعه داده‌های سری آموزش اعمال شد که معادلات مربوطه برای رنگ‌های کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو در روابط (۲-۳۵) و (۲-۳۶) خلاصه شده است.

Removal of CV = ۶۴/۶۸۶ – ۰/۸۴۷ Concentration + ۱۹۷/۴۶۲ Adsorbent dose + ۰/۱۳۱ Contact time (۳۵-۲)

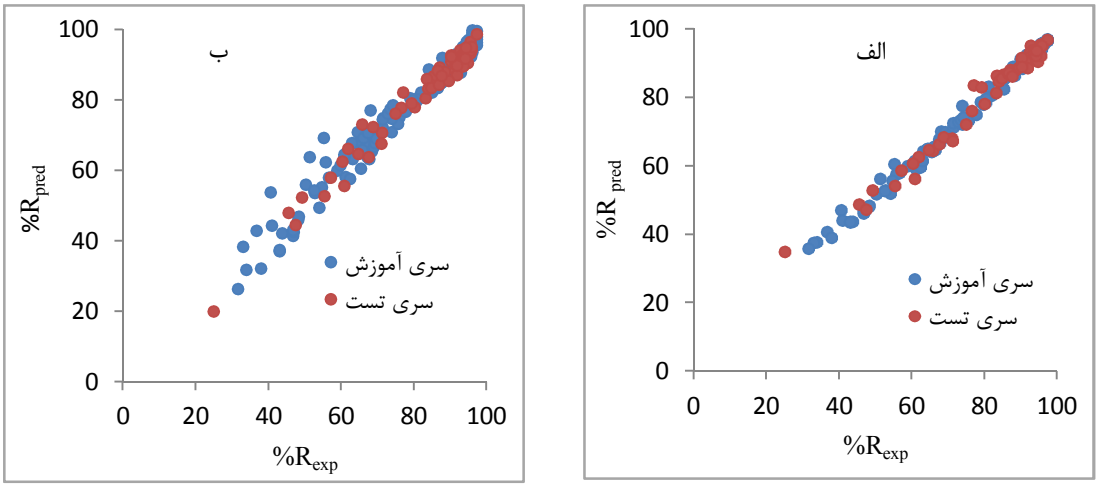
Removal of MB = ۷۸/۴۴۴ -۰/۸۶۴ Concentration + ۱۳۰/۱۹۰ Adsorbent dose + ۰/۰۸۱Contact time (۳۶-۲)

نتایج حاصل از پیش‌بینی سری آموزش با روش رگرسیون خطی در جداول (۳-۲- پیوست) و (۳-۴- پیوست) آورده شده است. صحت پیش‌بینی مدل‌های ساخته شده توسط جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از داده‌های سری تست که در فرایند مدل‌سازی استفاده نشده

بودند، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه این ارزیابی در شکل‌های (۲-۸۳) و (۲-۸۴) و جداول (۲-۷۳) و (۲-۷۴)) آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که مدل ارائه شده توسط جنگل تصادفی نسبت به روش رگرسیون خطی توانمندتر است.



شکل(۲-۸۳)– نمودار مقادیر پیش‌بینی شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری آموزش و سری تست رنگ کریستال ویولت الف) با مدل جنگل تصادفی ب) با مدل رگرسیون خطی چندگانه.



شکل(۲-۸۴)– نمودار مقادیر پیش‌بینی‌شده درصد حذف برحسب مقادیر تجربی برای سری آموزش و سری تست رنگ متیلن‌بلو الف) با مدل جنگل تصادفی ب) با مدل رگرسیون خطی چندگانه.

جدول (۲-۷۳)- پارامترهای آماری سری تست برای مقایسه صحت مدل‌ها (برای رنگ کریستال ویولت).

پارامتر	جنگل تصادفی	رگرسیون خطی
MRE	۴/۳۶	۶/۷۴
RMSE	۳/۲۹	۴/۴۴
R^2	۰/۹۷۵۴	۰/۹۵۴۰

جدول (۲-۷۴)- پارامترهای آماری سری تست برای مقایسه صحت مدل‌ها (برای رنگ متیلن‌بلو).

پارامتر	جنگل تصادفی	رگرسیون خطی
MRE	۲/۶۹	۳/۱۷
RMSE	۲/۴۱	۲/۶۸
R^2	۰/۹۷۸۱	۰/۹۷۱۱

۲-۴-۸- بررسی ماکزیمم ظرفیت جذب نانوسیلیکا با جاذب‌های گزارش شده در مقالات برای حذف کریستال‌ویولت و متیلن‌بلو

بر اساس مقایسه‌ای که بین نانوجاذب سنتز شده و دیگر جاذب‌های گزارش شده انجام گرفت (جدول (۲-۷۵))، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد جاذب اصلاح شده (به خصوص در مقابل جاذب-هایی از جنس سیلیکا) رضایت بخش است. یکی از مزیت‌های جاذب تهیه شده بازیابی آن با مایع ظرفشویی (به عنوان یک حلال در دسترس و ارزان قیمت) می‌باشد.

جدول (۲-۷۵)- مقایسه بین ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب‌های متفاوت پیشنهاد شده برای حذف رنگ‌های کریستال-ویولت و متیلن‌بلو از محلول‌های آبی.

جاذب	رنگ	ظرفیت جذب (میلی‌گرم بر گرم)	مرجع
سیلیکا (تهیه شده از دیاتومیت)	متیلن‌بلو	۵۶/۲۰	[۱۱۷]
سیلیکا آمورف	متیلن‌بلو	۲۲/۰	[۱۱۸]
نانوذرات سیلیکا امین دار شده	متیلن‌بلو	۵۰۰	[۱۱۹]
خاکستر بادی[1]	متیلن‌بلو	۵/۶۰	[۱۲۰]
برگ مرده پوزیدونیا اقیانوسیه[2]	متیلن‌بلو	۲۱۷/۳۹	[۱۲۱]
نانوسیلیکا (از ساقه جارو)	متیلن‌بلو	۴۴/۸۱	کار حاضر
خاک	کریستال ویولت	۲۰	[۱۲۲]
$CaFe_2O_4$	کریستال ویولت	۰/۸۷	[۱۲۳]
زغال سنگ	کریستال ویولت	۶/۲۵	[۱۲۴]
نانوسیلیکا (از ساقه جارو)	کریستال ویولت	۴۵/۷۱	کار حاضر

[1] -Fly ash
[2] - Posidonia oceanica dead Leave

۲-۵- کاربرد پوست گردو عامل‌دار شده با گروههای کربوکسیلیک اسید در حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب از محلول‌های آبی تک جزئی و دو جزئی

به طور کلی در پساب صنایع مختلف همچون صنعت نساجی و صنعت رنگ اغلب ترکیباتی همچون سرب و متیلن‌بلو به طور همزمان وجود دارد [۱۲۵]. آب‌های سطحی در حضور این ترکیبات بسیار سمی می‌شوند و می‌توانند اثرات ناخوشایندی بر روی اکوسیستم ایجاد کنند [۱۲۶, ۱۲۵]. بنابراین حذف همزمان این ترکیبات امری ضروری است. در این راستا جاذب‌های متعددی برای حذف این ترکیبات از محلول‌های تک‌جزئی استفاده شده است [۱۲۹ , ۳۷]. همچنین حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب با استفاده از کربن فعال تهیه شده از پوست گردو نیز توسط قائدی و همکارانش گزارش شده است [۱۳۰]. ولی در اغلب مطالعات انجام شده، ظرفیت جذب جاذب‌های پیشنهاد شده اغلب پایین است. در این تحقیق پوست گردو با استفاده از ایزوپروپیلیدن مالونات اصلاح گردید و کارایی آن برای حذف همزمان گونه‌های کاتیونی بیان شده مورد مطالعه قرار گرفت.

۲-۵-۱- تهیه پوست گردو عامل‌دار شده با گروههای کربوکسیلیک اسید

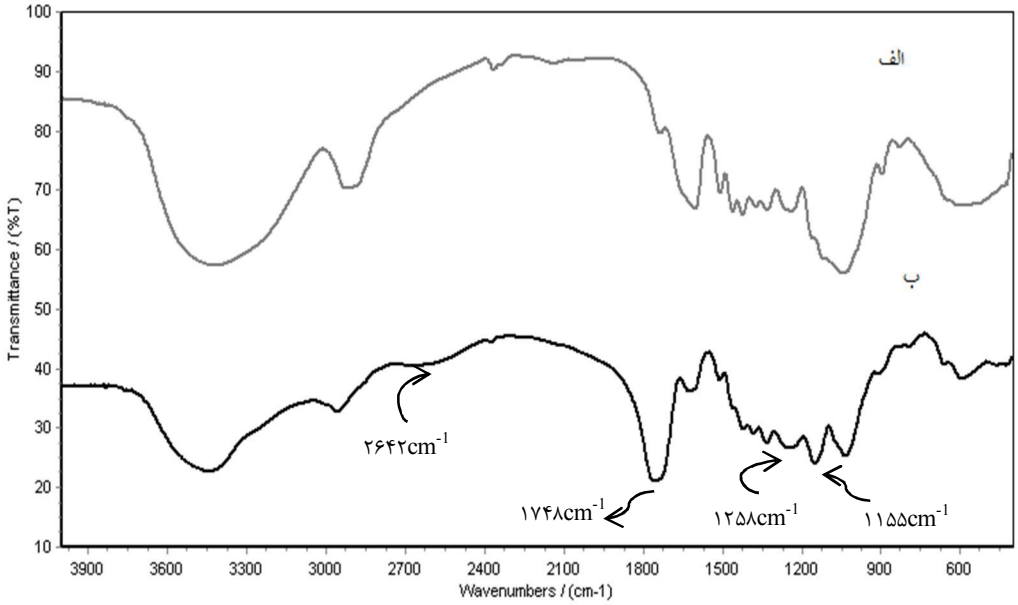
روش مورد استفاده برای عامل‌دار کردن پوست گردو مشابه روش به کار گرفته شده برای اصلاح مخروط کاج بود (بخش ۲-۳-۱). بدین صورت که ۵/۰۰ گرم پوست گردو که با محلول سود تیمار شده بود و کاملاً خنثی گردیده بود، با۱۵/۰۰ گرم از ایزوپروپیلیدن مالونات مخلوط گردید و در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد در حمام روغن همزده شد. پس از ۴ ساعت از انجام واکنش، مخلوط در دمای اتاق سرد شد و با آب مقطر و محلول سدیم هیدروژن بی‌کربنات ۰/۱۰ مولار کاملاً خنثی گردید.

در نهایت، بیوجاذب اصلاح شده با کربوکسیلیک اسید در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد برای آزمایش-های بعدی خشک گردید. لازم به ذکر است که مکانیسم انجام واکنش مشابه مکانیسم بیان شده در بخش (۲-۳-۱) می‌باشد.

مشخصه‌یابی پوست گردو و پوست گردو عامل‌دار شده با گروههای کربوکسیلیک اسید

الف- آنالیز *FT-IR*

آنالیز گروههای عاملی موجود در سطح پوست گردو (شکل (۲-۸۵ الف)) در بخش (۲-۲-۲-۱) توضیح داده شده است. همانطور که در شکل (۲-۸۵ ب) مشاهده می‌شود، بعد از عامل‌دار کردن پوست گردو با گروههای کربوکسیلیک اسید، مهم‌ترین تغییراتی که در طیف مشاهده می‌شود، ظاهر شدن پیک‌های جدید در ناحیه‌ی cm^{-1} ۱۱۵۵، cm^{-1} ۱۲۵۸، cm^{-1} ۱۷۴۸ و cm^{-1} ۲۶۴۲ می‌باشد. پیک پرشدت در ناحیه cm^{-1} ۱۷۴۸مربوط به ارتعاش کششی گروههای C=O می‌باشد. این پیک حاصل همپوشانی پیک جذبی C=O در استرها و پیک جذبی گروه کربونیل کربوکسیلیک اسیدها است [۹۵ , ۹۴]. پیک ناحیه‌ی cm^{-1} ۱۱۵۵مربوط به ارتعاش کششی پیوند C-O-C می‌باشد. پیک ناحیه‌ی cm^{-1} ۲۶۴۲ مربوط به پیوند هیدروژنی هست که توسط دیمر اسیدهای کربوکسیلیک غیراشباع ایجاد شده است [۴۵]. پیک ضعیف در ناحیه cm^{-1} ۳۴۰۵ مربوط به پیوند هیدوژنی درون مولکولی می‌باشد [۹۳]. ظهور این پیک‌ها می‌تواند شواهد کافی برای حضور گروههای کربوکسیلیک اسید بر سطح جاذب باشد.



شکل (۲-۸۵)- طیف FT-IR الف- پوست گردو و ب- پوست گردو عامل‌دار شده.

ب- آنالیز عنصری پوست گردو و پوست گردوی عامل‌دار شده

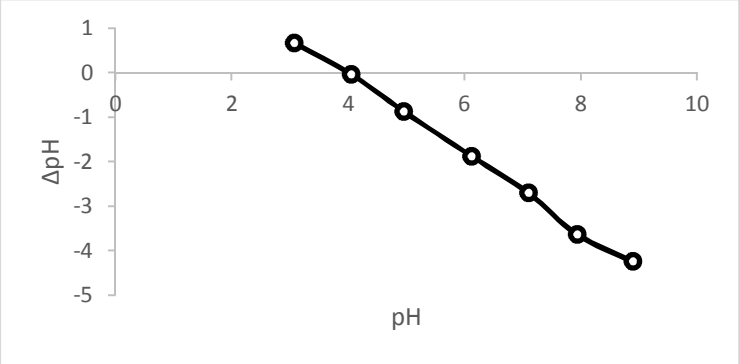
آنالیز عنصری که برای پوست گردو و پوست گردوی عامل‌دار شده انجام شد، نشان داد که مقدار کربن، هیدروژن، نیتروژن و اکسیژن برای پوست گردو به ترتیب برابر با ۴۹/۷۸، ۶/۰۱، ۰/۲۱۶ و۴۴/۰۰ می‌باشد. در حالی که مقادیر این عناصر برای جاذب عامل‌دار شده به ترتیب برابر با ۵۰/۵۱، ۳/۹۲، ۰/۱۷۳ و۴۵/۴۰ است. این نتایج تأیید بر حضور گروههای کربوکسیلیک اسید بر سطح جاذب عامل‌دار شده می‌باشد.

ج- pH_{zpc} پوست گردوی عامل‌دار شده با گروههای کربوکسیلیک اسید

تعیین pH_{zpc} مربوط به جاذب تهیه شده بر اساس روش ذکر شده در بخش (۲-۲-۲-۲) انجام گردید که داده‌های مربوطه در جدول (۲-۷۶) و شکل (۲-۸۶) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج مقدار این کمیت برابر ۴/۰ به دست آمد.

جدول (۲-۷۶)- تغییرات pH ۵۰ میلی‌لیتر محلول حاوی ۰/۱۰ مولار پتاسیم نیترات و ۰/۰۷۳ گرم جاذب بعد از ۶ ساعت.

pH (اولیه)	ΔpH
۳/۱	۰/۷
۴/۰	-۰/۰۳
۴/۹	-۰/۹
۶/۱	-۱/۹
۷/۱	-۲/۷
۷/۹	-۳/۶
۸/۹	-۴/۲



شکل (۲-۸۶)- تعیین pH_{zpc} پوست گردو عامل‌دار شده.

۲-۵-۲- روش مطالعه در بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر حذف همزمان متیلن بلو و سرب با استفاده از پوست گردو عامل‌دار شده

برای بررسی کارایی جاذب تهیه شده، آزمایش‌های حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب بر روی بیوجاذب اصلاح شده در شرایط مختلفی که بر اساس طراحی آزمایش (روش باکس- بنکن) پیشنهاد شده بود، در یک ارلن حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محلول در دمای اتاق انجام شد تا مقدار بهینه‌ی pH، مقدار جاذب، مدت زمان تماس و غلظت اولیه‌ی متیلن بلو و سرب به دست آید. طراحی باکس بنکن به منظور بررسی و ارزیابی اثر هر یک از عوامل و تأثیرات احتمالی آنها بر درصد همزمان حذف متیلن بلو و سرب انجام شد. غلظت یونهای سرب به روش اسپکتروسکوپی جذب اتمی شعله‌ای و با استفاده از

منحنی کالیبراسیون (شکل (۲-۸۷) و جدول (۲-۷۷)) تعیین گردید. در حالی که غلظت محلول رنگ متیلن‌بلو باقیمانده به صورت اسپکتروسکوپی مولکولی در طول موج ۶۶۴ نانومتر با استفاده از منحنی کالیبراسیون (شکل(۲-۸۷) و جدول (۲-۷۷)) تعیین گردید. سپس درصد حذف و میلی‌گرم جذب شده از هر آنالیت به ازای گرم جاذب با استفاده از روابط (۲-۱) و (۲-۲) محاسبه گردید.

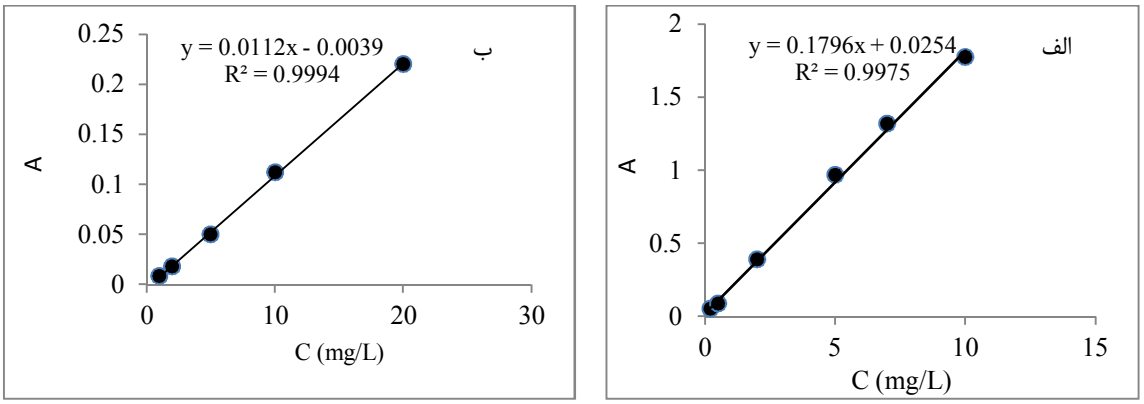
جدول (۲-۷۷)- اطلاعات مربوط به نمودار کالیبراسیون الف- متیلن بلو در طول موج ماکزیمم ۶۶۴ نانومتر ، ب- سرب در طول موج ماکزیمم ۲۸۳/۳ نانومتر.

الف

غلظت متیلن بلو (میلی‌گرم بر لیتر)	جذب
۰/۲۰	۰/۰۵۰
۰/۵۰	۰/۰۸۸
۲/۰۰	۰/۳۹۰
۵/۰۰	۰/۹۶۷
۷/۰۰	۱/۳۱۹
۱۰/۰۰	۱/۷۷۵

ب

غلظت سرب (میلی‌گرم بر لیتر)	جذب
۱/۰۰	۰/۰۰۸
۲/۰۰	۰/۰۱۸
۵/۰۰	۰/۰۵۰
۱۰/۰۰	۰/۱۱۲
۲۰/۰۰	۰/۲۲۰



شکل (۲-۸۷) - منحنی کالیبراسیون مستقیم برای الف- متیلن‌بلو در طول موج ماکزیمم ۶۶۴ نانومتر، ب- سرب در طول موج ماکزیمم ۲۸۳/۳ نانومتر و pH=۵/۰.

۲-۵-۳- بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب

بر اساس نتایجی که در مقالات برای حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب گزارش شده بود، مشخص گردید که فاکتورهای مؤثر بر حذف همزمان رنگ و فلز عبارتند از pH، مقدار جاذب، مدت زمان تماس، غلظت رنگ و غلظت فلز [۱۲۶]. آزمایشات انجام شده به صورت یک متغیر در یک زمان (پیوست۴)، علاوه بر تأیید این نتایج، سطوح هر یک از پارامترها را نیز مشخص کرد. بر اساس این سطوح انتخاب شده، برای تعیین مقادیر بهینه هر کدام از این فاکتورها از روش بهینه‌سازی باکس بنکن استفاده شد. در این طراحی فاکتورهای موثر به دست آمده در سه سطح بالا، میانی و پایین مورد بررسی قرار گرفتند (جدول (۲-۷۸)). تعداد آزمایش‌ها در طراحی باکس بنکن، هنگامی که ۵ فاکتور و با چهار تکرار در نقطه مرکزی مورد بررسی قرار گیرد، برابر با ۴۴ آزمایش می‌باشد. در جدول (۲-۷۹) طراحی ارائه شده توسط روش باکس بنکن و پاسخ‌های تجربی مربوطه آورده شده است.

جدول (۲-۷۸)- نام و سطوح فاکتوهای مؤثر بر حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب

فاکتور	نشانه	سطح پایین(۱-)	سطح میانی(۰)	سطح بالا(۱+)
pH	A	۳/۰	۴/۰	۵/۰
مقدار جاذب (گرم)	B	۰/۰۴۰۰	۰/۰۶۰۰	۰/۰۸۰۰
زمان (دقیقه)	C	۱	۱۳	۲۵
غلظت سرب (میلی‌گرم بر لیتر)	D	۷۵/۰	۱۰۰/۰	۱۲۵/۰
غلظت متیلن بلو (میلی‌گرم بر لیتر)	E	۲۵/۰	۵۰/۰	۷۵/۰

جدول (۲-۷۹)- طرح باکس بنکن و پاسخ‌های به دست آمده با ۵ فاکتور برای حذف همزمان متیلن بلو و سرب.

شماره آزمایش	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت سرب (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت متیلن-بلو (میلی‌گرم بر لیتر)	درصد حذف متیلن بلو	درصد حذف سرب
۱	۱	۰	۰	۰	-۱	۹۳/۷	۹۲/۷
۲	۰	۰	-۱	۰	-۱	۵۸/۲	۷۳/۱
۳	-۱	-۱	۰	۰	۰	۳۴/۰	۲۷/۶
۴	۱	۰	۱	۰	۰	۸۷/۰	۹۴/۹
۵	۰	۰	۱	۰	۱	۶۷/۰	۸۸/۹
۶	۰	۰	۱	-۱	۰	۹۳/۳	۹۷/۲
۷	-۱	۰	۰	-۱	۰	۷۸/۵	۷۱/۳
۸	۰	-۱	۰	۰	-۱	۶۶/۶	۶۷/۲
۹	-۱	۰	-۱	۰	۰	۳۶/۷	۴۳/۴
۱۰	۰	۰	۰	-۱	-۱	۹۷/۷	۹۵/۲
۱۱	۱	-۱	۰	۰	۰	۴۷/۱	۸۱/۵
۱۲	۰	۰	-۱	-۱	۰	۵۶/۳	۷۹/۹
۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۷۷/۰	۸۹/۴
۱۴	-۱	۱	۰	۰	۰	۸۷/۱	۷۳/۳
۱۵	۱	۰	-۱	۰	۰	۳۵/۲	۵۱/۳
۱۶	۰	۱	۰	-۱	۰	۹۵/۱	۹۷/۱
۱۷	-۱	۰	۰	۰	۱	۵۴/۱	۵۷/۲
۱۸	-۱	۰	۱	۰	۰	۶۴/۰	۳۷/۴
۱۹	۰	-۱	-۱	۰	۰	۲۵/۰	۵۵/۱
۲۰	۰	۰	۰	-۱	۱	۶۷/۰	۸۹/۲
۲۱	۰	۰	۱	۱	۰	۷۴/۲	۷۷/۸
۲۲	۰	۰	۰	۰	۰	۷۵/۱	۸۴/۶
۲۳	۰	-۱	۰	۰	۱	۳۲/۱	۶۶/۰
۲۴	۰	۱	۰	۰	-۱	۹۵/۴	۹۴/۶
۲۵	۰	-۱	۰	۱	۰	۳۷/۰	۶۴/۳
۲۶	۰	۰	۱	۰	-۱	۹۵/۱	۹۳/۱
۲۷	۰	۰	۰	۰	۰	۷۸/۷	۸۷/۱
۲۸	-۱	۰	۰	۰	-۱	۹۲/۱	۶۴/۶
۲۹	۰	۱	-۱	۰	۰	۵۲/۰	۸۷/۱
۳۰	۰	۰	-۱	۱	۰	۳۳/۰	۴۸/۱
۳۱	۱	۰	۰	-۱	۰	۸۱/۰	۸۸/۳
۳۲	۱	۰	۰	۰	۱	۵۴/۲	۸۷/۱
۳۳	۰	۰	۰	۱	۱	۵۸/۱	۷۵/۲
۳۴	۰	۰	۰	۰	۰	۷۲/۸	۹۰/۷
۳۵	-۱	۰	۰	۱	۰	۷۰/۱	۵۲/۲
۳۶	۰	۰	-۱	۰	۱	۳۳/۹	۵۲/۲
۳۷	۰	۰	۰	۱	-۱	۹۲/۹	۸۸/۰
۳۸	۰	-۱	۰	-۱	۰	۵۰/۰	۷۴/۰

ادامه جدول (۲-۷۹)- طرح باکس بنکن و پاسخ‌های به دست آمده با ۵ فاکتور برای حذف همزمان متیلن بلو و سرب.

شماره آزمایش	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت سرب (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت متیلن-بلو (میلی‌گرم بر لیتر)	درصد حذف متیلن بلو	درصد حذف سرب
۳۹	۰	۱	۱	۰	۰	۹۶/۳	۹۶/۰
۴۰	۰	۱	۰	۱	۰	۹۰/۱	۹۴/۱
۴۱	۰	۱	۰	۰	۱	۸۱/۷	۹۳/۰
۴۲	۱	۱	۰	۰	۰	۹۴/۸	۹۸/۴
۴۳	۰	-۱	۱	۰	۰	۵۶/۹	۷۲/۱
۴۴	۱	۰	۰	۱	۰	۶۹/۴	۸۶/۹

جداول (۲-۸۰) و (۲-۸۱) ضرائب رگرسیون و سایر پارامترهای آماری مربوط به فاکتورهای داده شده در مدل که شامل خود فاکتورها و برهمکنش‌های آن‌ها می‌باشد، را نشان می‌دهد. برای هر ضریب یک انحراف استاندارد گزارش شده که نشان دهنده‌ی اندازه خطای تجربی است که روی ضریب تاثیر می‌گذارد. مقدار T گزارش شده در جداول نشان می‌دهد که ضریب در برابر خطای استاندارد چقدر بزرگ است. مقدار T از تقسیم کردن هر ضریب بر خطای استاندارد به دست می‌آید. برای تعیین اهمیت فاکتورها، میزان احتمال (ارزش P) کمتر از ۰/۰۵ (P <۰/۰۵) به عنوان نقطه حد در نظر گرفته شد. بنابراین فاکتورها با ارزش P کمتر از ۰/۰۵ به عنوان فاکتور مهم در پاسخ و فاکتورها با ارزش P بیشتر از ۰/۰۵ به عنوان فاکتورهای غیر مهم بر پاسخ می‌باشند. بنابراین تمام فاکتورهای اصلی، برهمکنش‌های توان دوم pH و زمان برای هر دو پاسخ متیلن بلو و سرب دارای مقدار p کمتر از ۰/۰۵ بوده و به طور آماری معنی‌دار هستند. برای متیلن‌بلو برهمکنش توان دوم مقدار جاذب دارای مقدار p کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد. همچنین برهمکنش دوتایی زمان و pH برای هر دو پاسخ متیلن‌بلو و سرب و برهمکنش دوتایی pH و مقدار جاذب برای پاسخ سرب دارای مقدار p کمتر از ۰/۰۵ بوده و به طور آماری معنی‌دار هستند. سایر برهمکنش‌های دوتایی برای هر پاسخ دارای p بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشد. نمودارهای پرتو[1] (شکل (۲-۸۸) نیز این نتایج را تأیید می‌کنند.

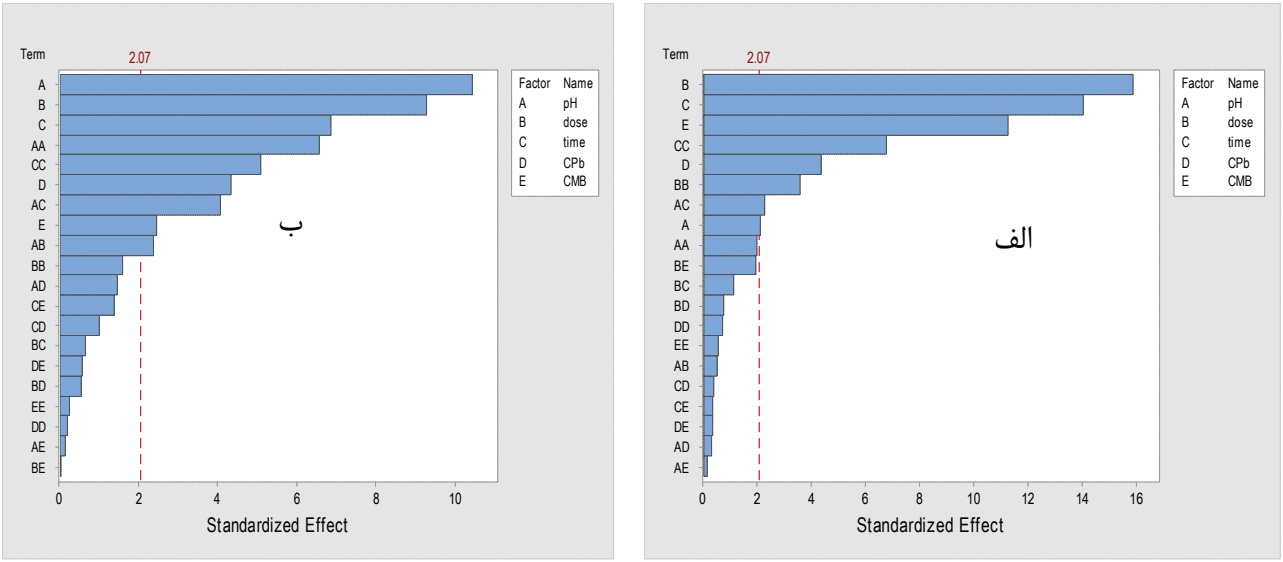
[1] -Pareto plots

جدول (۲-۸۰)- پارامترهای آماری برای طرح باکس- بنکن برای متیلن‌بلو.

عبارت	ضریب	خطای استاندارد	T	P
Constant	۷۵/۹۱	۲/۷۱	۲۸/۰۵	۰/۰۰۰
A	۲/۸۶	۱/۳۵	۲/۱۱	۰/۰۴۸
B	۲۱/۵۰	۱/۳۵	۱۵/۸۹	۰/۰۰۰
C	۱۸/۹۸	۱/۳۵	۱۴/۰۲	۰/۰۰۰
D	-۵/۸۷	۱/۳۵	-۴/۳۳	۰/۰۰۰
E	-۱۵/۲۶	۱/۳۵	-۱۱/۲۸	۰/۰۰۰
AA	-۳/۹۳	۱/۹۹	-۱/۹۷	۰/۰۶
BB	-۷/۱۰	۱/۹۹	-۳/۵۶	۰/۰۰۲
CC	-۱۳/۵۱	۱/۹۹	-۶/۷۸	۰/۰۰۰
DD	۱/۴۲	۱/۹۹	۰/۷۱	۰/۴۸۳
EE	۱/۱۰	۱/۹۹	۰/۵۵	۰/۵۸۵
AB	-۱/۳۵	۲/۷۱	-۰/۵۰	۰/۶۲۴
AC	۶/۱۳	۲/۷۱	۲/۲۷	۰/۰۳۳
AD	-۰/۷۷	۲/۷۱	-۰/۲۹	۰/۷۷۷
AE	-۰/۳۸	۲/۷۱	-۰/۱۴	۰/۸۹۰
BC	۳/۱۰	۲/۷۱	۱/۱۴	۰/۲۶۵
BD	۲/۰۲	۲/۷۱	۰/۷۴	۰/۴۶۴
BE	۵/۲۱	۲/۷۱	۱/۹۳	۰/۰۶۷
CD	۱/۰۳	۲/۷۱	۰/۳۸	۰/۷۰۷
CE	-۰/۹۴	۲/۷۱	-۰/۳۵	۰/۷۳۱
ED	-۰/۹۴	۲/۷۱	-۰/۳۵	۰/۷۳۲

جدول (۲-۸۱)- پارامترهای آماری برای طرح باکس- بنکن برای سرب.

عبارت	ضریب	خطای استاندارد	T	P
Constant	۸۷/۹۳	۳/۰۴	۲۸/۹۰	۰/۰۰۰
A	۱۵/۸۸	۱/۵۲	۱۰/۴۴	۰/۰۰۰
B	۱۴/۱۱	۱/۵۲	۹/۲۸	۰/۰۰۰
C	۱۰/۴۵	۱/۵۲	۶/۸۷	۰/۰۰۰
D	-۶/۶۰	۱/۵۲	-۴/۳۴	۰/۰۰۰
E	-۳/۷۳	۱/۵۲	-۲/۴۵	۰/۰۲۲
AA	-۱۴/۶۸	۲/۲۴	-۶/۵۶	۰/۰۰۰
BB	-۳/۵۸	۲/۲۴	-۱/۶۰	۰/۱۲۴
CC	-۱۱/۳۸	۲/۲۴	-۵/۰۸	۰/۰۰۰
DD	-۰/۴۴	۲/۲۴	-۰/۲۰	۰/۸۴۶
EE	-۰/۵۹	۲/۲۴	-۰/۲۶	۰/۷۹۵
AB	-۷/۲۰	۳/۰۴	-۲/۳۷	۰/۰۲۷
AC	۱۲/۳۹	۳/۰۴	۴/۰۷	۰/۰۰۰
AD	۴/۴۵	۳/۰۴	۱/۴۶	۰/۱۵۷
AE	۰/۴۴	۳/۰۴	۰/۱۵	۰/۸۸۶
BC	-۲/۰۰	۳/۰۴	-۰/۶۶	۰/۵۱۷
BD	۱/۷۰	۳/۰۴	۰/۵۶	۰/۵۸۲
BE	-۰/۱۰	۳/۰۴	-۰/۰۳	۰/۹۷۳
CD	۳/۰۸	۳/۰۴	۱/۰۱	۰/۳۲۲
CE	۴/۱۸	۳/۰۴	۱/۳۸	۰/۱۸۲
ED	-۱/۷۲	۳/۰۴	-۰/۵۷	۰/۵۷۷



شکل (۲-۸۸)- نمودار پرتو اثر فاکتورها برای الف) متیلن بلو و ب) سرب.

با حذف عوامل غیرمهم، ساده‌ترین مدل برای پیش‌بینی درصد حذف متیلن بلو به صورت زیر پیشنهاد می‌شود که در این معادله R، همان پاسخ است.

$$R^2=۹٤/۷۹\%$$
$$\text{Response} = ۷۵/۱۷+۲\ /۸۶\ A+ ۲۱/۵۰B + ۱۸/۹۸\ C\ -۵/۸۷D\ -۱۵/۲٦\ E – ۶/۷۹\ B^2 – ۱۳/۲۱C^2\ +۶/۱۳\ AC \qquad (۳۷-۲)$$

همچنین ساده‌ترین مدل برای پیش‌بینی درصد حذف سرب نیز به صورت زیر پیشنهاد می‌شود.

$$R^2=۹۱/۷۷\%$$
$$\text{Response} = ۸۵/۵۳+۱۵\ /۸۸\ A+ ۱۴/۱۱B + ۱۰/۴۵\ C\ -۶/۶۰D\ -۳/۷۳\ E – ۱۳/۶۸\ A^2 – ۱۰/۳۸C^2\ -۷/۲۰AB\ +۱۲/۳۹\ AC \qquad (۳۸-۲)$$

در این معادلات ضرائب مثبت نشان دهنده‌ی این است که با افزایش در مقدار سطح عامل مورد نظر، پاسخ افزایش می‌یابد. در این معادلات به جز غلظت گونه‌های مورد مطالعه، بقیه فاکتورهای اصلی دارای ضریب مثبت هستند که دلیل هر کدام در کارهای قبلی توضیح داده شده است.

۲-۵-۳-۱- ارزیابی مدل

برای اطمینان از اینکه مدل به دست آمده، مدل مناسبی است که توانایی پیش‌بینی نمونه‌های مختلفی از یک جمعیت را داراست، باید مدل را ارزیابی کرد. برای ارزیابی مدل به دست آمده از روش تحلیل واریانس[1] و بررسی باقی‌مانده‌ها استفاده گردید که این ارزیابی‌ها از طریق شاخص‌های کمی بوده و به وسیله آنها صحت نتایج ارائه شده توسط مدل مورد سنجش قرار می‌گیرند.

الف- تحلیل واریانس

با در نظر گرفتن فاکتورهای اصلی، یک مدل ریاضی برای فرایند جذب همزمان متیلن‌بلو و سرب بر روی جاذب پیشنهاد شده به دست آمد. با توجه به آماره F به دست آمده توسط مدل با F بحرانی موجود در جدول ($F_{(8,35,\alpha=0.05)}$ =۲/۲۱)، می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر تغییرات سیستم به کمک مدل توصیف می‌شود و مابقی آن مربوط به خطاهای تصادفی است. در روش تحلیل واریانس اثرات خطی، درجه دوم و برهمکنش‌ها در نظر گرفته شده‌اند.

جدول (۲-۸۲)- تحلیل واریانس طرح عاملی باکس بنکن برای متیلن‌بلو در فرایند حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب.

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	۸	۱۹۶۳۱/۷	۲۴۵۳/۹۷	۷۹/۶۸	۰/۰۰۰
Linear	۵	۱۷۵۶۲/۱	۳۵۱۲/۴۲	۱۱۴/۰۴	۰/۰۰۰
Square	۲	۱۹۱۹/۲	۹۵۹/۶۰	۳۱/۱۶	۰/۰۰۰
Interaction	۱	۱۵۰/۴	۱۵۰/۴۱	۴/۸۸	۰/۰۳۴
Error	۳۵	۱۰۷۸/۰	۳۰/۸۰		
Lack-of-Fit	۳۲	۱۰۵۹/۰	۳۳/۰۹	۵/۲۳	۰/۱۰
Pure Error	۳	۱۹/۰	۶/۳۳		
Total	۴۳	۲۰۷۰۹			

[1] -Analysis of variance

جدول (۲-۸۳)- تحلیل واریانس طرح عاملی باکس بنکن برای سرب در فرایند حذف همزمان متیلن بلو و سرب

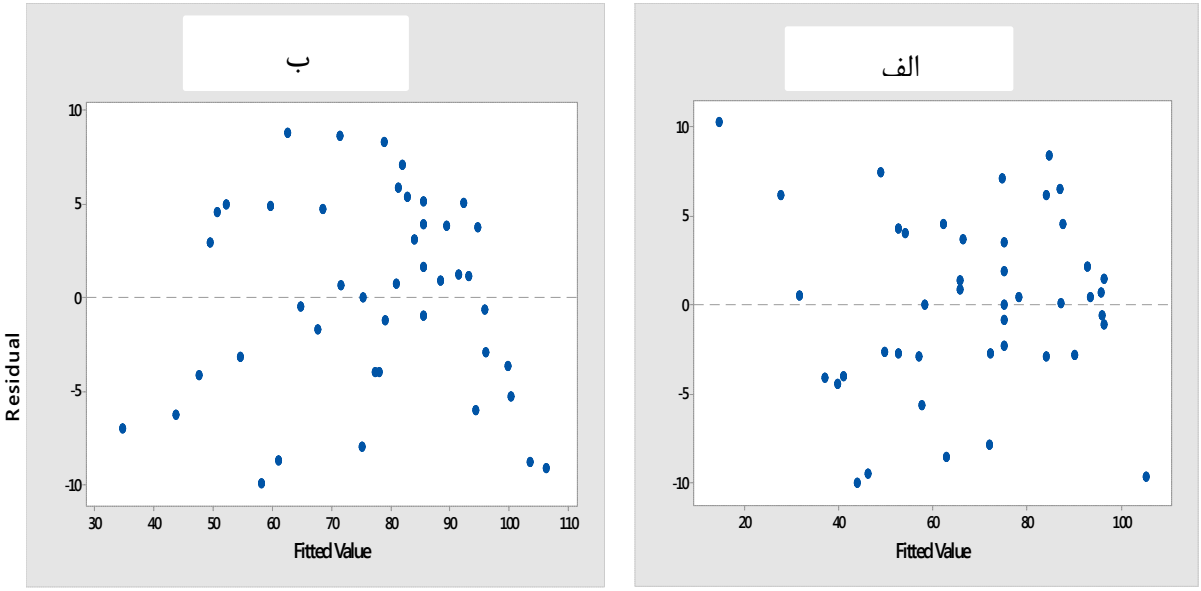
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	۹	۱۳۱۹۲/۴	۱۴۶۵/۸۲	۴۲/۱۰	۰/۰۰۰
Linear	۵	۹۸۸۴/۵	۱۹۷۶/۸۹	۵۶/۷۸	۰/۰۰۰
Square	۲	۲۴۸۶/۲	۱۲۴۳/۱۰	۳۵/۷۱	۰/۰۰۰
Interaction	۲	۸۲۱/۷۰	۴۱۰/۸۶	۱۱/۸۰	۰/۰۰۰
Error	۱۷	۲۰۱۹۷۲۵	۱۱۸۸۰۷		
Lack-of-Fit	۳۱	۱۱۶۲/۲	۳۷/۴۹	۵/۲۳	۰/۰۹۸
Pure Error	۳	۲۱/۵			
Total	۴۳	۱۴۳۷۶/۱			

داده‌های جداول (۲-۸۲) و (۲-۸۳) به خوبی نشان می‌دهد که مقدار آماره F برای فاکتورهای اصلی بیشتر است. این نتیجه بیانگر این است که این فاکتورها نسبت به برهمکنش‌هایشان اثر بیشتری بر روی پاسخ هر دو آنالیت دارند. همچنین مقدار P مربوط به فقدان برازش[1] بیشتر از ۰/۰۵ بوده (۰/۱۰ برای پاسخ متیلن بلو و ۰/۰۹۸ برای پاسخ سرب) و نشان‌دهنده انطباق خوب مدل و داده‌های تجربی می‌باشد.

ب- نمودار باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش شده

رسم نمودار باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش شده متناظر نمایشگر یک الگوی تصادفی باقیمانده‌ها در طرفین خط صفر است (شکل (۲-۸۹)). اگر مدل برازش شده مناسب باشد، این نمودار بایستی نسبت به خط باقیمانده صفر متقارن بوده و نقاط حول این خط تقریباً به طور یکنواخت پراکنده شده باشند. این وضعیت عدم وجود خطای معین در داده‌ها را نشان می‌دهد[۲۴]. داده‌های مربوط به این نمودارها در جدول (۴- ۱پیوست) و (۴-۲ پیوست) آورده شده است.

[1] - Lack of fit

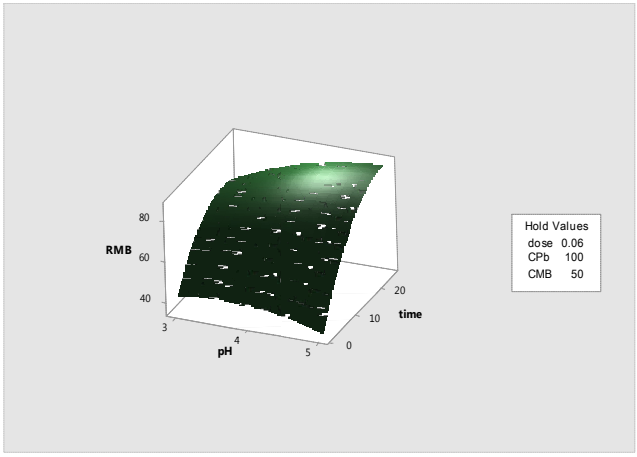


شکل (۲-۸۹) الف) نمودار باقیمانده‌ها در مقابل مقادیر برازش شده مربوط به درصد حذف متیلن‌بلو ب) نمودار باقیمانده‌ها در مقابل مقدار برازش شده مربوط به درصد حذف سرب در حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب با پوست گردو عامل‌دار شده.

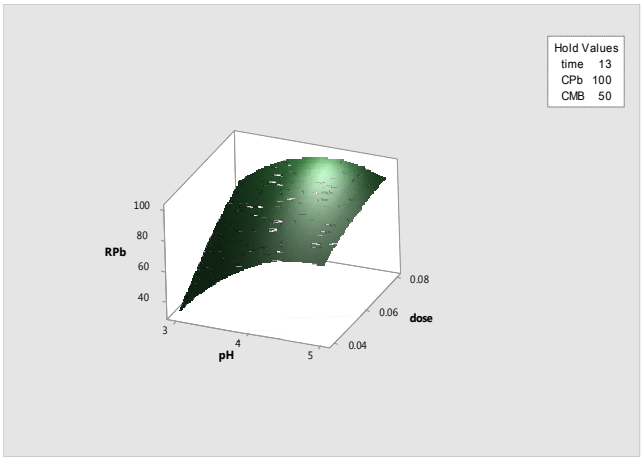
۲-۵-۳-۲- نمودارهای رویه پاسخ[1]

از منحنی‌های رویه پاسخ سه بعدی برای نشان دادن رابطه و برهمکنش‌های بین خود متغیرها و نیز اثر این متغیرها به صورت تک‌تک روی پاسخ استفاده می‌شود. برهمکنش pH و مدت زمان تماس بر روی درصد حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب به ترتیب در شکل (۲-۹۰) و (۲-۹۱) نشان داده شده است. مشاهده این رفتار را می‌توان بر اساس pH_{zpc} توجیه کرد. معمولاً جذب گونه‌های کاتیونی در pHهای بالاتر از pH_{zpc} مطلوبتر است. در این تحقیق pH_{zpc} برای پوست گردو اصلاح شده برابر با ۴/۰ به دست آمد. بنابراین گروههای عاملی موجود در سطح جاذب (همچون کربوکسیل) بیشتر به فرم آنیونی می‌باشند که می‌توانند گونه‌های کاتیونی را بر اساس جاذبه‌های الکتروستاتیکی جذب کند. همچنین با افزایش زمان، گونه‌های کاتیونی فرصت بیشتری برای انتقال از توده محلول به سطح جاذب و جذب بر روی سطوح فعال و نفوذ درون حفرات دارند و به موجب آن درصد حذف افزایش می‌یابد.

[1] - Response surface plots



شکل (۲-۹۰)- منحنی رویه پاسخ در مقابل pH و مدت زمان تماس مربوط به پاسخ متیلن‌بلو در حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب با پوست گردو عامل‌دار شده



شکل (۲-۹۱)- منحنی رویه پاسخ در مقابل pH و مدت زمان تماس مربوط به پاسخ سرب در حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب با پوست گردو عامل‌دار شده.

۲-۵-۳-۳- سطح بهینه فاکتورهای مؤثر

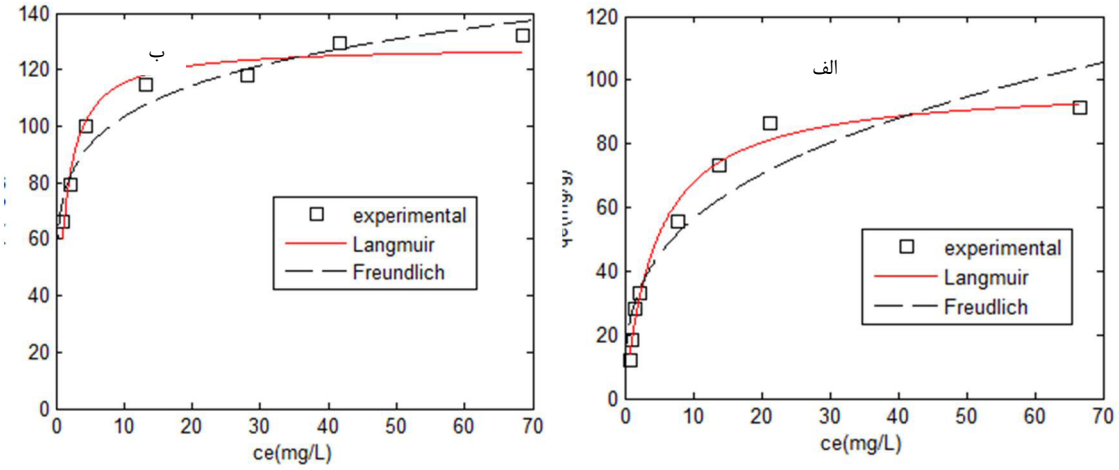
هدف اصلی از طراحی آزمایش تعیین مقادیر بهینه عامل‌ها است. یعنی در چه مقادیری از عامل‌های مؤثر بر پاسخ، بیشترین میزان پاسخ را داریم. تابع مطلوبیت[1] یک روش معمول برای شناخت شرایط بهینه‌سازی است. مقادیر این تابع بین صفر تا یک متغیر است. هر چه مقدار این تابع به ۱ نزدیکتر باشد، نشان از امکان‌پذیری بیشتر مقدار پیش‌بینی شده برای نقطه بهینه است و هر چه به صفر

[1] - Desirability function

نزدیکتر باشد، نشان می‌دهد که احتمال مقدار پیش‌بینی شده کمتر است. طبق بیش‌بینی برنامه در مقادیر pH محلول برابر با ۴/۳، مقدار جاذب ۰/۰۷۳گرم، مدت زمان تماس ۲۲/۵ دقیقه، غلظت رنگ متیلن‌بلو برابر با۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت سرب برابر با ۱۱۵/۵میلی‌گرم بر لیتر، میزان حذف متیلن‌بلو برابر با ۹۴/۹۰ درصد و میزان حذف سرب برابر با ۹۹/۹۶ را با مقدار مطلوبیت ۰/۹۸ خواهیم داشت. برای تأیید نتیجه بدست آمده از طراحی آزمایش، سه بار تکرار با مقادیر بهینه انجام شد که برای میزان درصد حذف متیلن‌بلو و سرب به ترتیب مقادیر (۲/۴۳±)۹۲/۶۱ و (۱/۵۵±)۹۷/۱۴ درصد بدست آمد. این نتایج حاکی از تطابق خوب آنچه برنامه پیش‌بینی کرده با مقدار واقعی برای حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب می‌باشد.

۲-۵-۴- مطالعه ایزوترم‌های جذب فرایند جذب متیلن بلو و سرب در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی

برای مطالعه ایزوترم‌های جذب، در ترکیب غلظتی متفاوت از هر دو آلاینده (غلظت‌هایی بالاتر و پایین‌تر از غلظت‌های بهینه) مقادیر q (میلی‌گرم جذب شده به ازای گرم جاذب) و c_e (غلظت باقیمانده از رنگ در شرایط تعادلی) را در شرایطی که دیگر فاکتورهای مؤثر بر فرایند جذب، در مقادیر بهینه پیشنهاد شده توسط طراحی آزمایش تنظیم شده بود، محاسبه گردید. نمودارهای لانگمویر و فروندلیچ برای داده‌ها در سیستم تک‌جزئی ترسیم شد (شکل (۲-۹۲)). ثابت‌های مورد نظر و ضریب همبستگی آنها بر اساس معادلات (۲-۳) و (۲-۴) محاسبه و نتایج مربوط به این بررسی در جدول (۲-۸۴) ارائه گردید. همانطورکه مشاهده می‌شود، جذب آلاینده‌های مورد بررسی در محلول-های تک جزئی از ایزوترم لانگموئر تبعیت می‌کند. بنابراین در سیستم دو جزئی نیز از ایزوترم لانگموئر یافته (معادله (۲-۳۲)) استفاده گردید که نتایج به دست آمده در جدول (۲-۸۵) نمایش داده شده است. این نوع ایزوترم تشکیل جذب تک لایه را پیشنهاد می‌کند.



شکل (۲-۹۲)- مدل های ایزوترم جذب برای حذف الف) متیلن‌بلو و ب) سرب از محلول‌های آبی.

جدول (۲-۸۴)- ثابت‌های ایزوترم‌ها و پارامترهای آماری در محلول‌های تک جزئی متیلن‌بلو و سرب.

ایزوترم	پارامتر	آلاینده	
		متیلن‌بلو	سرب
فروندلیچ	k_f	۲۶/۶۸	۷۳/۶۳
	n	۳/۰۹	۶/۸۰
	R^2	۰/۸۹۱۶	۰/۹۴۲۱
	RMSE	۱۱/۰۹	۶/۶۱
لانگموئر	q_{max}	۹۸/۸۹	۱۲۸/۴۰
	k_L	۰/۲۲	۰/۸۷
	R^2	۰/۹۸۴۸	۰/۹۶۲۸
	RMSE	۴/۱۴	۵/۳۰

جدول (۲-۸۵)- ثابت‌های ایزوترم‌ها و پارامترهای آماری در محلول‌های دو جزئی متیلن‌بلو و سرب.

ایزوترم	پارامتر	آلاینده	
		متیلن بلو	سرب
لانگموئر بسط داده شده	q_{max}	۵۵/۷۸	۱۰۰/۴
	$k_{l,1}$	۲۰/۵۶	۲/۴۲
	$k_{l,2}$	۱/۶۷	۰/۲۲
	R^2	۰/۸۷۵۰	۰/۹۰۱۰
	RMSE	۴/۶۳	۹/۹۰

۲-۵-۵- بررسی سینتیک فرایند جذب متیلن‌بلو و سرب در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی

در شرایطی که مقادیر pH، مقدار جاذب، غلظت و زمان را در مقادیر بهینه پیشنهاد شده توسط باکس بنکن تنظیم شده بود، مقادیر q_t با استفاده از رابطه (۲-۲) محاسبه و سپس با استفاده از مدل-های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم (معادلات (۲-۱۰) و (۲-۱۱)) مورد آنالیز قرار گرفت (جدول (۲-۸۶)). بر اساس ضریب تعیین و میزان نزدیکی بین q_e تجربی و q محاسبه شده توسط مدل، می‌توان نتیجه گرفت که سینتیک جذب یک سینتیک شبه مرتبه دوم بوده و بنابراین فرایند جذب مورد مطالعه یک فرایند شیمیایی است. لازم به ذکر است که جزئیات دقیق محاسبه این پارامترها در بخش (۲-۲-۶) توضیح داده شده است.

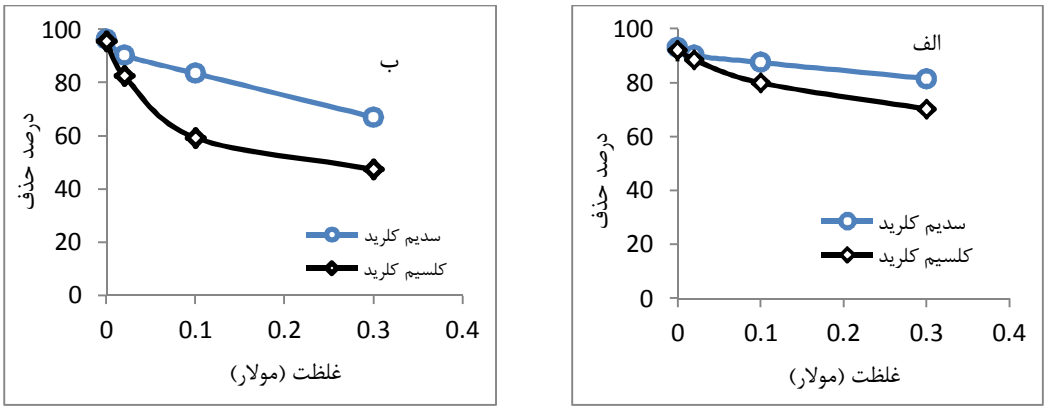
جدول (۲-۸۶)- پارامترهای سینتیکی در فرایند جذب متیلن‌بلو و سرب بر روی جاذب تهیه شده در محلول‌های تک جزئی و دو جزئی.

		شبه مرتبه اول				شبه مرتبه دوم		
سیستم	غلظت (mg/L)	$q_{e(exp.)}$ (mg/g)	$q_{e(cal.)}$ (mg/g)	k_1 (min^{-1})	R^2	$q_{e(cal.)}$ (mg/g)	k_1 ($mgg^{-1}min^{-0.5}$)	R^2
تک‌جزئی	متیلن‌بلو ۵۰	۳۵/۰۲	۹/۲۸	۰/۱۹	۰/۹۰۵۵	۳۵/۹۷	۰/۰۴۴	۰/۹۹۹۸
	سرب ۱۱۵/۵۰	۷۸/۵۸	۱۴/۱۱	۰/۲۰	۰/۹۵۲۹	۸۰/۰۰	۰/۰۳۹	۰/۹۹۹۹
دوجزئی	متیلن‌بلو ۵۰	۳۲/۶۹	۳۷/۹	۰/۲۴	۰/۹۴۳۸	۳۶/۵۹	۰/۰۰۷	۰/۹۹۴۵
	سرب ۱۱۵/۵	۷۶/۱۸	۴۳/۸۵	۰/۱۸	۰/۹۸۰۵	۸۱/۹۶	۰/۰۰۷۳	۰/۹۹۷۷

۲-۵-۶- بررسی اثر قدرت یونی

به منظور بررسی اثر قدرت یونی، نمک‌های تک ظرفیتی و دو ظرفیتی (همچون سدیم کلرید و کلسیم

کلرید) به ۵۰ میلی‌لیتر محلول که شامل ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر متیلن‌بلو و ۱۱۵/۵ میلی‌گرم بر لیتر سرب، ۰/۰۷۳ گرم جاذب درpH برابر با ۴/۳ بود، اضافه گردید و درصد حذف را در شرایطی که دیگر پارامترهای موثر بر فرایند جذب را در مقادیر بهینه تعیین شده توسط طراحی آزمایش قرار داده شده بود، بررسی گردید. نتایج این بررسی‌ها در شکل (۲-۹۳) ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که قدرت یونی اثر بیشتری بر روی درصد حذف سرب دارد و این نتیجه تأیید می‌کند که برهمکنش‌های الکتروستاتیکی در فرایند جذب سرب مهم‌تر است. همچنین همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، در حضور یونهای دوظرفیتی میزان حذف آلاینده بیشتر کاهش می‌یابد. دو[1] و همکارانش این نتیجه را اینگونه توجیه کردند که میزان تمایل بین کاتیون‌ها و سایت‌های جاذب به میزان دانسیته بارالکتریکی کاتیون وابسته است [۱۰۱]. بنابراین کاتیون‌های دو ظرفیتی با دانسیته بار الکتریکی بیشتر اثر بازدارندگی[2] بیشتری بر میزان درصد حذف آلاینده‌ها دارند.



شکل (۲-۹۳)- الف) اثر قدرت یونی بر روی درصد حذف همزمان الف) متیلن‌بلو ب) سرب.

۲-۵-۷- مکانیسم فرایند جذب

برای بررسی مکانیسم جذب، طیف FT-IR جاذب عامل‌دار شده بعد از جذب سرب و متیلن‌بلو ثبت گردید (شکل (۲-۹۴)). همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، سطح جاذب دارای گروههای

[1] -Du
[2] - Inhibitory effect

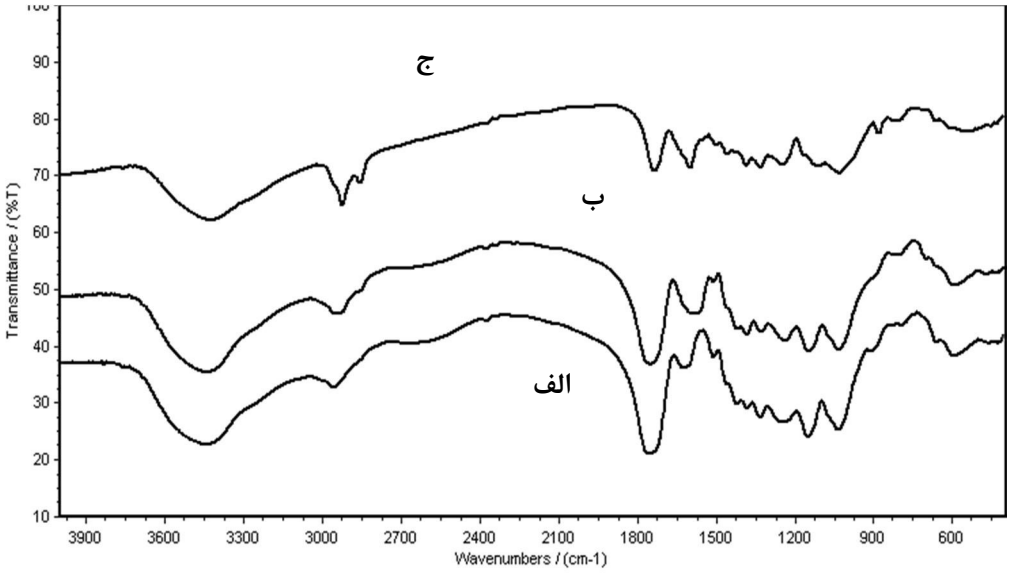
کربوکسیل می‌باشد. در pHهای بالاتراز pH_{ZPC} این گروهها بیشتر به فرم آنیونی هستند و بنابراین می‌توانند آلاینده (به خصوص یونهای سرب) را توسط جاذبه‌های الکتروستاتیکی جذب کنند. همانطور که در طیف FT-IR (شکل (۲-۹۴ ب)) مشاهده می‌شود، بعد از جذب محلول سرب یک پیک پهن در ناحیه حدود cm^{-1} ۱۵۹۰-۱۵۵۰ ظاهر شده است که نشان دهنده‌ی دپروتونه شدن گروههای کربوکسیلیک اسید می‌باشد [۱۳۱ ,۴۵]. بنابراین هر یک از واکنش‌های زیر می‌تواند در فرایند جذب یون‌های سرب اتفاق بیفتد.

$$2RCOO^{-} + Pb^{+2} \rightarrow (RCOO)_2 Pb \qquad (۲-۳۹)$$

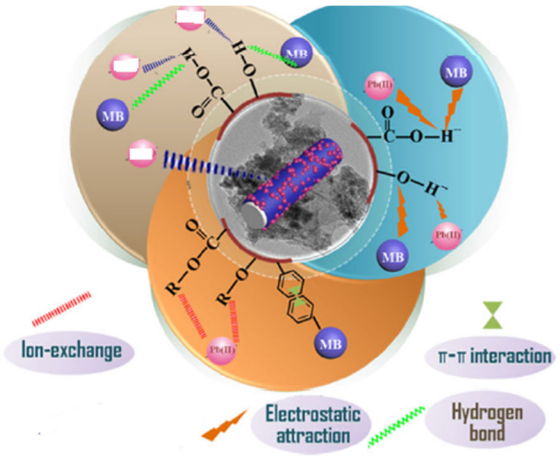
$$2RCOOH + Pb^{+2} \rightarrow (RCOO)_2 Pb + 2H^{+} \qquad (۲-۴۰)$$

همچنین پیک گروه کربونیل از cm^{-1} ۱۷۴۸ به cm^{-1} ۱۷۴۲جا به جا شده است و شدت این پیک نیز کاهش یافته است. از این مشاهده می‌توان این نتیجه را گرفت که گروههای کربونیل هم می تواند بر اساس جاذبه الکتروستاتیکی یونهای سرب را جذب کنند.

برای رنگ متیلن‌بلو، مهم‌ترین تغییراتی که در طیف FT-IR مربوط به جاذب رخ داده است (شکل (۲-۹۴ج))، شامل جابجایی طیف جذبی گروه هیدروکسیل از ناحیه cm^{-1} ۳۴۴۲ به ناحیه cm^{-1} ۳۴۲۷، طیف جذبی کربونیل از ناحیه cm^{-1} ۱۷۴۸ به ناحیه cm^{-1} ۱۷۲۶، پیک ناحیه cm^{-1} ۱۶۱۴ به ناحیه cm^{-1} ۱۶۰۱، پیک ناحیه cm^{-1} ۱۱۵۶ به ناحیه cm^{-1} ۱۱۱۱، پیک ناحیه cm^{-1} ۱۲۵۴ به ناحیه cm^{-1} ۱۲۴۸ می‌باشد. همچنین شدت این پیک‌ها نیز نسبتاً کاهش یافته است. با توجه به اینکه پیک ناحیه cm^{-1} ۳۴۴۲ مربوط به گروههای هیدروکسیل، پیک ناحیه cm^{-1} ۱۷۴۸ مربوط به گروه کربونیل، پیک ناحیه cm^{-1} ۱۶۱۲ مربوط به C=C حلقه‌های آروماتیک، پیک ناحیه cm^{-1} ۱۱۵۶ مربوط به گروههای C-O می‌باشد، بنابراین می‌توان بر اساس شکل (۲-۹۵) نتیجه گرفت که برهمکنش‌های متفاوت همچون برهمکنش π-π بین حلقه‌های آروماتیک متیلن‌بلو با حلقه‌های غیر اشباع روی سطح جاذب، تشکیل پیوند هیدروژنی، جاذبه‌های الکتروستاتیکی در فرایند جذب دخالت دارند [۹۹].



شکل (۲-۹۴)- طیف FT-IR الف) پوست گردوی عامل‌دار شده، ب) پوست گردوی عامل‌دار شده بعد از جذب سرب و ج) پوست گردوی عامل‌دار شده بعد از جذب متیلن بلو.

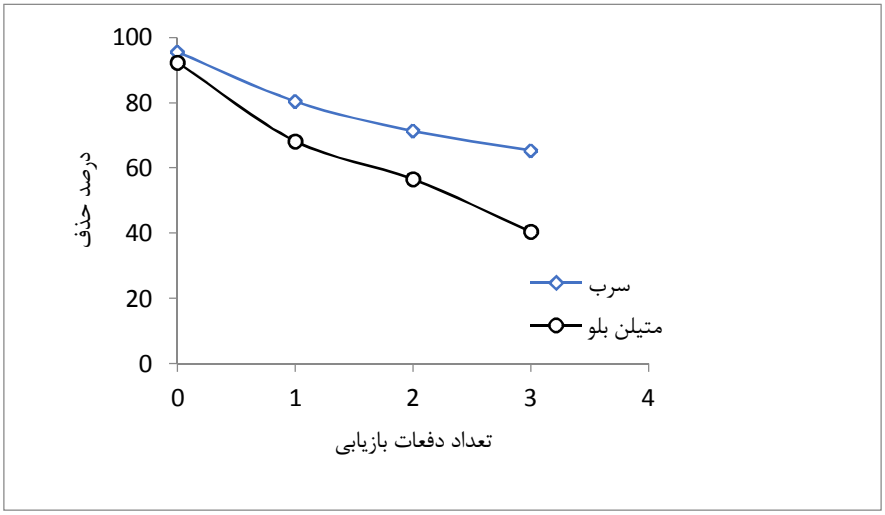


شکل (۲-۹۵)- مکانیسم احتمالی جذب همزمان متیلن‌بلو و سرب بر روی پوست گردوی عامل‌دار شده [۹۹].

۲-۵-۸- بازیابی جاذب

با توجه به اینکه در مخروط کاج اصلاح شده با گروههای کربوکسیلیک اسید زمانی که از محلول سدیم هیدروکسید - اتانول به عنوان حلال شوینده استفاده می‌شد، جاذب بازیابی شده کارایی بهتری را برای جذب گونه های کاتیونی از خود نشان داد، بنابراین در این تحقیق نیز از محلول سدیم

هیدروکسید- اتانول به عنوان حلال شوینده استفاده شد. جزئیات فرایند به کار رفته برای بازیابی جاذب مطابق بخش (۲-۳-۸) انجام شد. نتایج به دست آمده (شکل (۲-۹۶)) نشان داد که بازیابی جاذب نسبتاً رضایت‌بخش است



شکل (۲-۹۶)- کارایی جاذب بازیابی شده در حذف همزمان متیلن بلو و سرب.

۲-۵-۹- بررسی ماکزیمم ظرفیت جذب پوست گردوی عامل‌دار شده با ماکزیمم ظرفیت جذب برخی جاذب‌های گزارش شده در مقالات برای حذف همزمان متیلن بلو و سرب

جدول (۲-۸۷) ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب تهیه شده در این تحقیق و برخی دیگر از جاذب‌ها که برای حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب گزارش شده است، نمایش می‌دهد. همانطور که در این جدول مشخص است، جاذب تهیه شده نسبت به این جاذب‌ها کارایی مناسبی را نشان می‌دهد. از مزیت‌های دیگر جاذب تهیه شده، اصلاح سطح جاذب بدون حضور حلال آلی می‌باشد که از نظر محیط زیستی بسیار حائز اهمیت هست. همچنین زمان لازم برای حذف همزمان متیلن‌بلو و سرب در این تحقیق کوتاه است که در واقع از نظر صنعتی ارزشمند می‌باشد.

جدول (۲-۸۷)- بررسی ماکزیمم ظرفیت جذب جاذب پوست گردو اصلاح شده با ماکزیمم ظرفیت جذب برخی جاذب-های گزارش شده در مقالات برای حذف همزمان متیلن بلو و سرب

مرجع	زمان (دقیقه)	ماکزیمم ظرفیت جذب (میلی گرم بر گرم)	آلاینده	جاذب
[۲۱]	۶۰/۰	۷/۲	متیلن‌بلو	کربن فعال تهیه شده از درخت گز
[۱۲۵]	۲۷/۰	۱۷۸/۶	متیلن‌بلو	نانوذرات روتینیوم بر روی بستر کربن فعال
[۱۳۰]	۱۱۰/۰	۱۱/۲	متیلن‌بلو	کربن فعال تهیه شده از چوب گردو
کار حاضر	۲۲/۵	۵۵/۸	متیلن‌بلو	پوست گردو عامل‌دار شده با کربوکسیل
[۲۱]	۶۰/۰	۷/۷	سرب	کربن فعال تهیه شده از درخت گز
[۱۲۵]	۲۷/۰	۳۵/۵	سرب	نانوذرات روتینیوم بر روی بستر کربن فعال
[۱۳۰]	۱۱۰/۰	۵۵/۵	سرب	کربن فعال تهیه شده از چوب گردو
کار حاضر	۲۲/۵	۱۰۰/۴	سرب	پوست گردو عامل‌دار شده با کربوکسیل

فصل سوم
نتیجه‌گیری

۳-۱- نتیجه‌گیری

در این تحقیق از جاذب‌های طبیعی و اصلاح شده برای حذف همزمان رنگ یا حذف همزمان رنگ و فلز استفاده شد. در مورد تمامی جاذب‌های تهیه شده و بررسی فرایند حذف آلاینده‌های مورد مطالعه نتایج مشترکی گرفته شد که در زیر آورده شده است.

- ✓ مشخصه‌یابی جاذب‌های تهیه شده با استفاده از تکنیک‌های دستگاهی متفاوت تأیید کرد که جاذب‌های تهیه شده مزو متخلخل هستند. علاوه بر آن گروههای عاملی متفاوتی در سطح دارند که هر دو این عوامل به عنوان عوامل اصلی در جذب آلاینده‌ها محسوب می‌شوند.
- ✓ در pHهای کمتر از pH_{zpc} بار سطح جاذب مثبت بوده و به دلیل دافعه ایجاد شده بین گونه-های کاتیونی و سطح مثبت جاذب، مقدار درصد حذف کاهش می‌یابد. ولی در pHهای بیشتر از pH_{zpc} سطح جاذب دارای بار منفی است. بنابراین بین گونه‌های کاتیونی رنگ و سطح دارای بار منفی جاذب، جاذبه الکتروستاتیکی ایجاد می‌شود. نتیجه کلی این فرایند افزایش میزان حذف آلاینده کاتیونی می‌باشد. پس به طور کلی pHهای بالاتر از pH_{zpc} برای جذب گونه‌های کاتیونی و pHهای کمتر از pH_{zpc} برای جذب گونه‌های آنیونی مطلوبتر است.
- ✓ با افزایش مقدار جاذب، میزان درصد حذف آلاینده افزایش می‌یابد که می‌توان این اثر را به افزایش مساحت سطح و افزایش تعداد سایت‌های فعال در دسترس جاذب نسبت داد.
- ✓ با افزایش غلظت اولیه آلاینده، درصد حذف کاهش می‌یابد که این کاهش میزان حذف به دلیل ثابت بودن تعداد سایت‌های فعال جاذب در برابر افزایش تعداد مولکول‌های آلاینده می-باشد.
- ✓ داده‌های تعادلی در محلول‌های تک‌جزئی با ایزوترم لانگموئر و در محلول‌های دوجزئی با ایزوترم لانگموئر بسط یافته مطابقت دارند. این نوع ایزوترم نشان‌دهنده تشکیل جذب تک لایه است. همچنین به دلیل اثر رقابتی که بین گونه‌های کاتیونی برای اشغال سایت‌های فعال

جاذب وجود دارد، مقدار ماکزیمم ظرفیت جذب در محلول‌های دوجزئی نسبت به محلول‌های تک‌جزئی کمتر است.

- ✓ بررسی مکانیسم فرایند حذف نشان می‌دهد که برای رنگ‌های مورد مطالعه برهمکنش‌های متفاوتی همچون برهمکنش‌های π-π، پیوند هیدروژنی، برهمکنش‌های الکتروستاتیکی در فرایند جذب آلاینده دخالت دارند. در حالی که برای کاتیون فلزات، برهمکنش‌های الکتروستاتیکی مهمترین عامل جذب فلز بر سطح جاذب می‌باشد.
- ✓ از آن‌جایی که یون‌ها جزء لاینفک موجود در پساب‌ها هستند، کارایی جاذب در حضور نمک با غلظت‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که به دلیل رقابت بین گونه‌های کاتیونی نمک و آلاینده‌های مورد بررسی برای اشغال سایت‌های فعال جاذب، میزان درصد حذف کاهش می‌یابد. هر چه غلظت نمک و بار کاتیون‌های آن بیشتر باشد، این اثر بازدارندگی نیز بیشتر خواهد بود.
- ✓ نتایج مربوط به بررسی دما نشان داد که با افزایش دما به دلیل افزایش تحرک مولکول‌های آلاینده و افزایش قطر حفرات جاذب‌ها، درصد حذف افزایش می‌یابد. بنابراین فرایندهای جذب مورد بررسی، فرایندهای گرماگیر و خود به خودی هستند.
- ✓ مدل‌سازی فرایندهای جذب با استفاده از روش‌های خطی و غیرخطی نشان داد که روش‌های غیرخطی مدل بهتری ارائه می‌دهند. در واقع مدل ارائه شده توسط روش غیرخطی قادر است کارایی فرایند جذب را در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با دقت و صحت بیشتری پیش‌بینی کند. این نتایج نشان می‌دهد که فرایندهای جذب مورد مطالعه فرایندهای غیرخطی و پیچیده هستند.
- ✓ نتیجه بررسی میزان اهمیت متغیرهای آزمایشگاهی در مدل‌های خطی و غیرخطی نشان داد که از میان پارامترهای مورد بررسی، غلظت اولیه آلاینده بیشترین تأثیر را بر روی میزان

درصد حذف آلاینده دارد. هر چند از فاکتورهای دیگر هم به دلیل اینکه میزان مشارکت بالای ۱۰ درصد دارند، نمی‌توان چشم‌پوشی کرد.

۳-۲- آینده‌نگری

۱- استفاده از جاذب‌های پیشنهاد شده برای حذف سایر آلاینده‌ها

۲- بررسی کارایی جاذب‌های پیشنهاد شده برای حذف مخلوط‌های چند جزئی (سه جزئی، چهار جزئی و ...)

۳- بررسی کارایی جاذب‌های ارائه شده در سیستم‌های پیوسته[1]

۴- مدل‌سازی فرایند جذب مخلوط‌های چند جزئی با دیگر روشهای محاسباتی همچون روش حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان[2]، سیستم‌های استنتاجی عصبی- فازی[3] و ...

۵- ارائه جاذب‌هایی که به طور همزمان توانایی حذف آلاینده‌های کاتیونی و آنیونی را داشته باشند.

[1] - On line
[2] - Least square support vector machine.
[3] - Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS).

پیوست

پیوست ۱

جدول (۱- ۱)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱	۳	۰/۰۵۵	۱	۷۹/۸	۶۲/۰	۲۲
۲	۳	۰/۰۵۵	۶	۷۹/۸	۴۹/۹	۳۷
۳	۳	۰/۰۵۵	۱۵	۷۹/۸	۴۴/۶	۴۴
٤	۳	۰/۰۵۵	۲۰	۷۹/۸	۴۳/۲	۴۶
٥	۳	۰/۰۵۵	۲۵	۷۹/۸	۴۱/۴	۴۸
٦	۳	۰/۰۵۵	۳۵	۷۹/۸	۴۰/۲	۴۹
۷	۵	۰/۰۵۵	۱	۸۰/۴	۴۰/۵	۵۰
۸	۵	۰/۰۵۵	۶	۸۰/۴	۱۷/۶	۷۸
۹	۵	۰/۰۵۵	۱۰	۸۰/۴	۱۵/۷	۸۰
۱۰	۵	۰/۰۵۵	۱۵	۸۰/۴	۱۵/۰	۸۱
۱۱	۵	۰/۰۵۵	۲۵	۸۰/۴	۱۱/۹	۸۵
۱۲	۵	۰/۰۵۵	۳۰	۸۰/۴	۱۱/۱	۸۶
۱۳	۵	۰/۰۵۵	۳۵	۸۰/۴	۱۰/۷	۸۷
۱٤	۷	۰/۰۵۵	۳	۷۹/۸	۱۴/۶	۸۲
۱۵	۷	۰/۰۵۵	۶	۷۹/۸	۸/۴	۸۹
۱۶	۷	۰/۰۵۵	۱۵	۷۹/۸	۳/۸	۹۵
۱۷	۷	۰/۰۵۵	۲۰	۷۹/۸	۳/۶	۹۵
۱۸	۷	۰/۰۵۵	۲۵	۷۹/۸	۳/۲	۹۶
۱۹	۷	۰/۰۵۵	۳۰	۷۹/۸	۲/۷	۹۷
۲۰	۷	۰/۰۵۵	۳۵	۷۹/۸	۲/۵	۹۷
۲۱	۳	۰/۰۵۵	۱	۱۲۵/۹	۱۰۴/۲	۱۷
۲۲	۳	۰/۰۵۵	۶	۱۲۵/۹	۹۱/۵	۲۷
۲۳	۳	۰/۰۵۵	۱۰	۱۲۵/۹	۸۸/۸	۳۰
۲۴	۳	۰/۰۵۵	۲۰	۱۲۵/۹	۸۴/۳	۳۳
۲۵	۳	۰/۰۵۵	۲۵	۱۲۵/۹	۸۲/۷	۳۴
۲۶	۳	۰/۰۵۵	۳۰	۱۲۵/۹	۸۳/۱	۳۴
۲۷	۳	۰/۰۵۵	۳۵	۱۲۵/۹	۸۰/۹	۳۶
۲۸	۵	۰/۰۵۵	۱	۱۲۲/۴	۷۳/۳	۴۰
۲۹	۵	۰/۰۵۵	۳	۱۲۲/۴	۵۲/۱	۵۷
۳۰	۵	۰/۰۵۵	۱۰	۱۲۲/۴	۳۶/۳	۷۰
۳۱	۵	۰/۰۵۵	۱۵	۱۲۲/۴	۳۳/۷	۷۲

ادامه جدول (۱- ۱)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۳۲	۵	۰/۰۵۵	۲۵	۱۲۲/۴	۳۱/۶	۷۴
۳۳	۵	۰/۰۵۵	۳۰	۱۲۲/۴	۳۱/۰	۷۵
۳۴	۵	۰/۰۵۵	۳۵	۱۲۲/۴	۳۱/۰	۷۵
۳۵	۷	۰/۰۵۵	۱	۱۲۱/۱	۶۵/۱	۴۶
۳۶	۷	۰/۰۵۵	۶	۱۲۱/۱	۲۵/۱	۷۹
۳۷	۷	۰/۰۵۵	۱۰	۱۲۱/۱	۱۸/۱	۸۵
۳۸	۷	۰/۰۵۵	۲۰	۱۲۱/۱	۱۳/۲	۸۹
۳۹	۷	۰/۰۵۵	۲۵	۱۲۱/۱	۱۱/۰	۹۱
۴۰	۷	۰/۰۵۵	۳۵	۱۲۱/۱	۱۰/۷	۹۱
۴۱	۳	۰/۰۵۵	۱	۱۶۲/۶	۱۳۷/۵	۱۵
۴۲	۳	۰/۰۵۵	۶	۱۶۲/۶	۱۲۰/۳	۲۶
۴۳	۳	۰/۰۵۵	۱۵	۱۶۲/۶	۱۱۸/۰	۲۷
۴۴	۳	۰/۰۵۵	۲۰	۱۶۲/۶	۱۱۵/۴	۲۹
۴۵	۳	۰/۰۵۵	۳۰	۱۶۲/۶	۱۱۳/۳	۳۰
۴۶	۳	۰/۰۵۵	۳۵	۱۶۲/۶	۱۱۲/۲	۳۱
۴۷	۵	۰/۰۵۵	۱	۱۵۹/۸	۱۰۰/۷	۳۷
۴۸	۵	۰/۰۵۵	۶	۱۵۹/۸	۶۷/۸	۵۸
۴۹	۵	۰/۰۵۵	۱۵	۱۵۹/۸	۶۰/۵	۶۲
۵۰	۵	۰/۰۵۵	۲۰	۱۵۹/۸	۵۸/۱	۶۴
۵۱	۵	۰/۰۵۵	۲۵	۱۵۹/۸	۵۴/۹	۶۶
۵۲	۵	۰/۰۵۵	۳۰	۱۵۹/۸	۵۳/۶	۶۶
۵۳	۵	۰/۰۵۵	۳۵	۱۵۹/۸	۵۴/۰	۶۶
۵۴	۷	۰/۰۵۵	۱	۱۵۸/۷	۸۳/۲	۴۸
۵۵	۷	۰/۰۵۵	۶	۱۵۸/۷	۴۲/۱	۷۳
۵۶	۷	۰/۰۵۵	۱۰	۱۵۸/۷	۳۳/۹	۷۹
۵۷	۷	۰/۰۵۵	۲۰	۱۵۸/۷	۲۶/۶	۸۳
۵۸	۷	۰/۰۵۵	۲۵	۱۵۸/۷	۲۵/۰	۸۴
۵۹	۷	۰/۰۵۵	۳۰	۱۵۸/۷	۲۴/	۸۵
۶۰	۷	۰/۰۵۵	۳۵	۱۵۸/۷	۲۱/۹	۸۶
۶۱	۳	۰/۰۲۵	۳	۱۲۴/۸	۱۱۰/۱	۱۲
۶۲	۳	۰/۰۲۵	۶	۱۲۴/۸	۱۰۷/۸	۱۴
۶۳	۳	۰/۰۲۵	۱۵	۱۲۴/۸	۱۰۵/۶	۱۵
۶۴	۳	۰/۰۲۵	۲۰	۱۲۴/۸	۱۰۴/۴	۱۶
۶۵	۳	۰/۰۲۵	۲۵	۱۲۴/۸	۱۰۴/۲	۱۷
۶۶	۳	۰/۰۲۵	۳۵	۱۲۴/۸	۱۰۳/۳	۱۷

ادامه جدول (۱- ۱)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۶۷	۷	۰/۰۵۵	۳	۳۹/۷	۳/۵	۹۱
۶۸	۷	۰/۰۵۵	۶	۳۹/۷	۱/۶	۹۶
۶۹	۷	۰/۰۵۵	۱۰	۳۹/۷	۱/۵	۹۶
۷۰	۷	۰/۰۵۵	۱۵	۳۹/۷	۱/۴	۹۶
۷۱	۷	۰/۰۵۵	۲۵	۳۹/۷	۱/۲	۹۷
۷۲	۷	۰/۰۵۵	۳۰	۳۹/۷	۱/۱	۹۷
۷۳	۷	۰/۰۵۵	۳۵	۳۹/۷	۱/۰	۹۷
۷۴	۵	۰/۰۵۵	۱	۳۹/۵	۱۴/۱	۶۴
۷۵	۵	۰/۰۵۵	۶	۳۹/۵	۴/۲	۸۹
۷۶	۵	۰/۰۵۵	۱۰	۳۹/۵	۲/۸	۹۳
۷۷	۵	۰/۰۵۵	۱۵	۳۹/۵	۲/۵	۹۴
۷۸	۵	۰/۰۵۵	۲۰	۳۹/۵	۲/۳	۹۴
۷۹	۵	۰/۰۵۵	۳۰	۳۹/۵	۱/۸	۹۵
۸۰	۵	۰/۰۵۵	۳۵	۳۹/۵	۱/۶	۹۶
۸۱	۳	۰/۰۵۵	۳	۴۱/۴	۲۵/۰	۳۹
۸۲	۳	۰/۰۵۵	۶	۴۱/۴	۲۲/۲	۴۶
۸۳	۳	۰/۰۵۵	۱۰	۴۱/۴	۲۰/۱	۵۱
۸۴	۳	۰/۰۵۵	۲۰	۴۱/۴	۱۸/۱	۵۶
۸۵	۳	۰/۰۵۵	۲۵	۴۱/۴	۱۷/۸	۵۷
۸۶	۳	۰/۰۵۵	۳۰	۴۱/۴	۱۶/۹	۵۹
۸۷	۳	۰/۰۵۵	۳۵	۴۱/۴	۱۶/۲	۶۱
۸۸	۷	۰/۰۳۵	۱	۱۲۱/۹	۸۹/۹	۲۶
۸۹	۷	۰/۰۳۵	۶	۱۲۱/۹	۵۴/۱	۵۶
۹۰	۷	۰/۰۳۵	۱۰	۱۲۱/۹	۴۶/۵	۶۲
۹۱	۷	۰/۰۳۵	۲۰	۱۲۱/۹	۳۹/۰	۶۸
۹۲	۷	۰/۰۳۵	۲۵	۱۲۱/۹	۳۵/۳	۷۱
۹۳	۷	۰/۰۳۵	۳۵	۱۲۱/۹	۳۳/۸	۷۲
۹۴	۳	۰/۰۲۵	۱	۴۱/۴	۳۶/۹	۱۱
۹۵	۳	۰/۰۲۵	۶	۴۱/۴	۳۲/۷	۲۱
۹۶	۳	۰/۰۲۵	۱۵	۴۱/۴	۲۸/۵	۳۱
۹۷	۳	۰/۰۲۵	۲۰	۴۱/۴	۲۸/۳	۳۲
۹۸	۳	۰/۰۲۵	۲۵	۴۱/۴	۲۸/۱	۳۲
۹۹	۳	۰/۰۲۵	۳۰	۴۱/۴	۲۷/۶	۳۳
۱۰۰	۳	۰/۰۲۵	۳۵	۴۱/۴	۲۷/۲	۳۴

ادامه جدول (۱- ۱)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱۰۱	۵	۰/۰۴۵	۱	۷۸/۹	۴۳/۴	۴۵
۱۰۲	۵	۰/۰۴۵	۶	۷۸/۹	۲۲/۲	۷۲
۱۰۳	۵	۰/۰۴۵	۱۰	۷۸/۹	۱۷/۸	۷۷
۱۰۴	۵	۰/۰۴۵	۲۰	۷۸/۹	۱۶/۱	۸۰
۱۰۵	۵	۰/۰۴۵	۲۵	۷۸/۹	۱۴/۶	۸۲
۱۰۶	۵	۰/۰۴۵	۳۰	۷۸/۹	۱۳/۱	۸۳
۱۰۷	۵	۰/۰۴۵	۳۵	۷۸/۹	۱۲/۷	۸۴
۱۰۸	۳	۰/۰۴۵	۱	۱۶۳/۹	۱۴۴/۲	۱۲
۱۰۹	۳	۰/۰۴۵	۶	۱۶۳/۹	۱۳۱/۷	۲۰
۱۱۰	۳	۰/۰۴۵	۱۰	۱۶۳/۹	۱۲۹/۷	۲۱
۱۱۱	۳	۰/۰۴۵	۱۵	۱۶۳/۹	۱۲۸/۳	۲۲
۱۱۲	۳	۰/۰۴۵	۲۰	۱۶۳/۹	۱۲۸/۱	۲۲
۱۱۳	۳	۰/۰۴۵	۳۰	۱۶۳/۹	۱۲۴/۷	۲۴
۱۱۴	۳	۰/۰۴۵	۳۵	۱۶۳/۹	۱۲۴/۰	۲۴
۱۱۵	۷	۰/۰۴۵	۳	۱۵۸/۵	۷۶/۷	۵۲
۱۱۶	۷	۰/۰۴۵	۶	۱۵۸/۵	۵۹/۳	۶۳
۱۱۷	۷	۰/۰۴۵	۱۵	۱۵۸/۵	۴۴/۲	۷۲
۱۱۸	۷	۰/۰۴۵	۲۰	۱۵۸/۵	۳۹/۲	۷۵
۱۱۹	۷	۰/۰۴۵	۲۵	۱۵۸/۵	۳۶/۹	۷۷
۱۲۰	۷	۰/۰۴۵	۳۵	۱۵۸/۵	۳۳/۵	۷۹
۱۲۱	۵	۰/۰۴۵	۱	۱۶۲/۲	۱۱۷/۰	۲۸
۱۲۲	۵	۰/۰۴۵	۳	۱۶۲/۲	۱۰۱/۸	۳۷
۱۲۳	۵	۰/۰۴۵	۶	۱۶۲/۲	۹۱/۹	۴۳
۱۲۴	۵	۰/۰۴۵	۱۰	۱۶۲/۲	۸۶/۰	۴۷
۱۲۵	۵	۰/۰۴۵	۲۰	۱۶۲/۲	۷۸/۰	۵۲
۱۲۶	۵	۰/۰۴۵	۲۵	۱۶۲/۲	۷۷/۳	۵۲
۱۲۷	۵	۰/۰۴۵	۳۵	۱۶۲/۲	۷۵/۴	۵۳
۱۲۸	۷	۰/۰۴۵	۱	۱۲۱/۸	۷۴/۹	۳۸
۱۲۹	۷	۰/۰۴۵	۶	۱۲۱/۸	۳۷/۶	۶۹
۱۳۰	۷	۰/۰۴۵	۱۰	۱۲۱/۸	۲۹/۰	۷۶
۱۳۱	۷	۰/۰۴۵	۲۰	۱۲۱/۸	۲۲/۸	۸۱
۱۳۲	۷	۰/۰۴۵	۲۵	۱۲۱/۸	۲۱/۶	۸۲
۱۳۳	۷	۰/۰۴۵	۳۰	۱۲۱/۸	۱۸/۹	۸۴
۱۳۴	۷	۰/۰۴۵	۳۵	۱۲۱/۸	۱۸/۶	۸۵

ادامه جدول (۱- ۱)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱۳۵	۵	۰/۰۴۵	۳	۱۲۵/۰	۶۳/۰	۵۰
۱۳۶	۵	۰/۰۴۵	۶	۱۲۵/۰	۵۴/۹	۵۶
۱۳۷	۵	۰/۰۴۵	۱۰	۱۲۵/۰	۵۱/۲	۵۹
۱۳۸	۵	۰/۰۴۵	۲۰	۱۲۵/۰	۴۴/۷	۶۴
۱۳۹	۵	۰/۰۴۵	۲۵	۱۲۵/۰	۴۲/۴	۶۶
۱۴۰	۵	۰/۰۴۵	۳۰	۱۲۵/۰	۴۲/۲	۶۶
۱۴۱	۵	۰/۰۴۵	۳۵	۱۲۵/۰	۴۱/۷	۶۶
۱۴۲	۵	۰/۰۴۵	۱	۱۲۵/۴	۱۰۱/۹	۱۹
۱۴۳	۳	۰/۰۴۵	۶	۱۲۵/۴	۹۵/۵	۲۴
۱۴۴	۳	۰/۰۴۵	۱۰	۱۲۵/۴	۹۳/۰	۲۶
۱۴۵	۳	۰/۰۴۵	۱۵	۱۲۵/۴	۹۲/۲	۲۶
۱۴۶	۳	۰/۰۴۵	۲۰	۱۲۵/۴	۸۶/۶	۳۱
۱۴۷	۳	۰/۰۴۵	۳۰	۱۲۵/۴	۸۲/۹	۳۴
۱۴۸	۳	۰/۰۴۵	۳۵	۱۲۵/۴	۸۲/۴	۳۴
۱۴۹	۷	۰/۰۴۵	۳	۸۰/۰	۱۹/۸	۷۵
۱۵۰	۷	۰/۰۴۵	۱۰	۸۰/۰	۸/۷	۸۹
۱۵۱	۷	۰/۰۴۵	۱۵	۸۰/۰	۷/۵	۹۱
۱۵۲	۷	۰/۰۴۵	۲۰	۸۰/۰	۵/۷	۹۳
۱۵۳	۷	۰/۰۴۵	۲۵	۸۰/۰	۵/۷	۹۳
۱۵۴	۷	۰/۰۴۵	۳۵	۸۰/۰	۳/۹	۹۵
۱۵۵	۳	۰/۰۴۵	۱	۸۱/۵	۶۸/۶	۱۶
۱۵۶	۳	۰/۰۴۵	۶	۸۱/۵	۶۰/۲	۲۶
۱۵۷	۳	۰/۰۴۵	۱۵	۸۱/۵	۵۷/۳	۳۰
۱۵۸	۳	۰/۰۴۵	۲۵	۸۱/۵	۵۴/۱	۳۴
۱۵۹	۳	۰/۰۴۵	۳۰	۸۱/۵	۵۳/۲	۳۵
۱۶۰	۳	۰/۰۴۵	۳۵	۸۱/۵	۵۰/۹	۳۷
۱۶۱	۷	۰/۰۴۵	۳	۳۹/۷	۶/۴	۸۴
۱۶۲	۷	۰/۰۴۵	۱۰	۳۹/۷	۲/۸	۹۳
۱۶۳	۷	۰/۰۴۵	۱۵	۳۹/۷	۱/۶	۹۵
۱۶۴	۷	۰/۰۴۵	۲۰	۳۹/۷	۱/۶	۹۶
۱۶۵	۷	۰/۰۴۵	۲۵	۳۹/۷	۱/۴	۹۶
۱۶۶	۷	۰/۰۴۵	۳۰	۳۹/۷	۱/۴	۹۶
۱۶۷	۵	۰/۰۴۵	۱	۳۹/۷	۱۸/۲	۵۴
۱۶۸	۵	۰/۰۴۵	۶	۳۹/۷	۶/۳	۸۴

ادامه جدول (۱- ۱)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱۶۹	۵	۰/۰۴۵	۱۵	۳۹/۷	۳/۶	۹۱
۱۷۰	۵	۰/۰۴۵	۲۰	۳۹/۷	۲/۸	۹۳
۱۷۱	۵	۰/۰۴۵	۲۵	۳۹/۷	۲/۳	۹۴
۱۷۲	۵	۰/۰۴۵	۳۰	۳۹/۷	۲/۲	۹۴
۱۷۳	۵	۰/۰۴۵	۳۵	۳۹/۷	۲/۰	۹۵
۱۷۴	۳	۰/۰۴۵	۳	۴۱/۷	۲۷/۸	۳۳
۱۷۵	۳	۰/۰۴۵	۶	۴۱/۷	۲۳/۷	۴۳
۱۷۶	۳	۰/۰۴۵	۱۵	۴۱/۷	۲۱/۰	۵۰
۱۷۷	۳	۰/۰۴۵	۲۰	۴۱/۷	۱۹/۴	۵۳
۱۷۸	۳	۰/۰۴۵	۳۰	۴۱/۷	۱۸/۲	۵۶
۱۷۹	۳	۰/۰۴۵	۳۵	۴۱/۷	۱۸/۱	۵۷
۱۸۹	۳	۰/۰۲۵	۱	۱۶۲/۲	۱۵۴/۶	۵
۱۸۱	۳	۰/۰۲۵	۶	۱۶۲/۲	۱۴۹/۱	۸
۱۸۲	۳	۰/۰۲۵	۱۰	۱۶۲/۲	۱۴۷/۷	۹
۱۸۳	۳	۰/۰۲۵	۱۵	۱۶۲/۲	۱۴۷/۲	۹
۱۸۴	۳	۰/۰۲۵	۲۵	۱۶۲/۲	۱۴۶/۲	۱۰
۱۸۵	۳	۰/۰۲۵	۳۰	۱۶۲/۲	۱۴۵/۸	۱۰
۱۸۶	۳	۰/۰۲۵	۳۵	۱۶۲/۲	۱۴۵/۵	۱۰
۱۸۷	۷	۰/۰۲۵	۳	۱۶۱/۹	۱۲۵/۳	۲۳
۱۸۸	۷	۰/۰۲۵	۱۰	۱۶۱/۹	۱۱۰/۴	۳۲
۱۸۹	۷	۰/۰۲۵	۱۵	۱۶۱/۹	۱۰۸/۷	۳۳
۱۹۰	۷	۰/۰۲۵	۲۰	۱۶۱/۹	۱۰۱/۹	۳۷
۱۹۱	۷	۰/۰۲۵	۲۵	۱۶۱/۹	۱۰۱/۰	۳۸
۱۹۲	۷	۰/۰۲۵	۳۰	۱۶۱/۹	۹۹/۵	۳۸
۱۹۳	۷	۰/۰۲۵	۳۵	۱۶۱/۹	۹۸/۷	۳۹
۱۹۴	۵	۰/۰۲۵	۳	۱۶۲/۲	۱۳۷/۹	۱۵
۱۹۵	۵	۰/۰۲۵	۶	۱۶۲/۲	۱۳۲/۹	۱۸
۱۹۶	۵	۰/۰۲۵	۱۰	۱۶۲/۲	۱۲۸/۸	۲۱
۱۹۷	۵	۰/۰۲۵	۲۰	۱۶۲/۲	۱۲۵/۶	۲۲
۱۹۸	۵	۰/۰۲۵	۲۵	۱۶۲/۲	۱۲۳/۸	۲۴
۱۹۹	۵	۰/۰۲۵	۳۰	۱۶۲/۲	۱۲۰/۷	۲۶
۲۰۰	۵	۰/۰۲۵	۳۵	۱۶۲/۲	۱۲۰/۳	۲۶
۲۰۱	۷	۰/۰۲۵	۱	۱۱۹/۳	۹۴/۱	۲۱
۲۰۲	۷	۰/۰۲۵	۳	۱۱۹/۳	۷۷/۸	۳۵

ادامه جدول (۱- ۱)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۲۰۳	۷	۰/۰۲۵	۶	۱۱۹/۳	۶۷/۲	۴۴
۲۰۴	۷	۰/۰۲۵	۱۵	۱۱۹/۳	۵۷/۰	۵۲
۲۰۵	۷	۰/۰۲۵	۲۰	۱۱۹/۳	۵۴/۸	۵۴
۲۰۶	۷	۰/۰۲۵	۳۰	۱۱۹/۳	۵۲/۲	۵۶
۲۰۷	۷	۰/۰۲۵	۳۵	۱۱۹/۳	۵۰/۹	۵۷
۲۰۸	۵	۰/۰۲۵	۳	۱۲۴/۷	۹۲/۳	۲۶
۲۰۹	۵	۰/۰۲۵	۶	۱۲۴/۷	۸۷/۳	۳۰
۲۱۰	۵	۰/۰۲۵	۱۵	۱۲۴/۷	۸۱/۶	۳۴
۲۱۱	۵	۰/۰۲۵	۲۰	۱۲۴/۷	۷۹/۹	۳۶
۲۱۲	۵	۰/۰۲۵	۲۵	۱۲۴/۷	۷۸/۲	۳۷
۲۱۳	۵	۰/۰۲۵	۳۰	۱۲۴/۷	۷۶/۸	۳۸
۲۱۴	۵	۰/۰۲۵	۳۵	۱۲۴/۷	۷۶/۳	۳۹
۲۱۵	۷	۰/۰۳۵	۱	۱۵۶/۹	۱۱۷/۱	۲۵
۲۱۶	۷	۰/۰۳۵	۳	۱۵۶/۹	۱۰۱/۹	۳۵
۲۱۷	۷	۰/۰۳۵	۶	۱۵۶/۹	۹۴/۲	۴۰
۲۱۸	۷	۰/۰۳۵	۱۵	۱۵۶/۹	۸۰/۹	۴۸
۲۱۹	۷	۰/۰۳۵	۲۰	۱۵۶/۹	۷۸/۳	۵۰
۲۲۰	۷	۰/۰۳۵	۳۰	۱۵۶/۹	۷۳/۲	۵۳
۲۲۱	۷	۰/۰۳۵	۳۵	۱۵۶/۹	۷۱/۳	۵۵
۲۲۲	۵	۰/۰۳۵	۱	۱۵۸/۷	۱۳۰/۴	۱۸
۲۲۳	۵	۰/۰۳۵	۳	۱۵۸/۷	۱۱۶/۶	۲۶
۲۲۴	۵	۰/۰۳۵	۱۰	۱۵۸/۷	۱۰۱/۹	۳۶
۲۲۵	۵	۰/۰۳۵	۱۵	۱۵۸/۷	۹۶/۶	۳۹
۲۲۶	۵	۰/۰۳۵	۲۰	۱۵۸/۷	۹۵/۹	۳۹
۲۲۷	۵	۰/۰۳۵	۳۰	۱۵۸/۷	۹۳/۱	۴۱
۲۲۸	۵	۰/۰۳۵	۳۵	۱۵۸/۷	۹۱/۳	۴۲
۲۲۹	۳	۰/۰۳۵	۳	۱۶۴/۸	۱۴۹/۴	۹
۲۳۰	۳	۰/۰۳۵	۶	۱۶۴/۸	۱۴۷/۸	۱۰
۲۳۱	۳	۰/۰۳۵	۱۰	۱۶۴/۸	۱۴۵/۴	۱۲
۲۳۲	۳	۰/۰۳۵	۱۵	۱۶۴/۸	۱۴۴/۹	۱۲
۲۳۳	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۱۶۴/۸	۱۴۱/۲	۱۴
۲۳۴	۳	۰/۰۳۵	۳۰	۱۶۴/۸	۱۴۱/۰	۱۴
۲۳۵	۳	۰/۰۳۵	۳۵	۱۶۴/۸	۱۴۰/۹	۱۴
۲۳۶	۵	۰/۰۳۵	۱	۱۲۱/۴	۸۷/۸	۲۸

ادامه جدول (۱- ۱)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۲۳۷	۵	۰/۰۳۵	۳	۱۲۱/۴	۷۵/۱	۳۸
۲۳۸	۵	۰/۰۳۵	۶	۱۲۱/۴	۶۵/۷	۴۶
۲۳۹	۵	۰/۰۳۵	۱۵	۱۲۱/۴	۵۷/۵	۵۳
۲۴۰	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۱۲۱/۴	۵۲/۵	۵۷
۲۴۱	۵	۰/۰۳۵	۳۰	۱۲۱/۴	۵۲/۳	۵۸
۲۴۲	۵	۰/۰۳۵	۳۵	۱۲۱/۴	۵۱/۰	۵۸
۲۴۳	۳	۰/۰۳۵	۳	۱۲۴/۱	۱۰۲/۰	۱۸
۲۴۴	۳	۰/۰۳۵	۶	۱۲۴/۱	۹۹/۷	۲۰
۲۴۵	۳	۰/۰۳۵	۱۵	۱۲۴/۱	۹۴/۲	۲۴
۲۴۶	۳	۰/۰۳۵	۲۰	۱۲۴/۱	۹۳/۷	۲۴
۲۴۷	۳	۰/۰۳۵	۳۰	۱۲۴/۱	۹۱/۰	۲۷
۲۴۸	۳	۰/۰۳۵	۳۵	۱۲۴/۱	۹۰/۶	۲۷
۲۴۹	۷	۰/۰۲۵	۱	۸۰/۱	۵۷/۴	۲۸
۲۵۰	۷	۰/۰۲۵	۳	۸۰/۱	۴۵/۹	۴۳
۲۵۱	۷	۰/۰۲۵	۱۰	۸۰/۱	۳۰/۰	۶۲
۲۵۲	۷	۰/۰۲۵	۱۵	۸۰/۱	۲۶/۲	۶۷
۲۵۳	۷	۰/۰۲۵	۲۰	۸۰/۱	۲۴/۰	۷۰
۲۵۴	۷	۰/۰۲۵	۲۵	۸۰/۱	۲۳/۸	۷۰
۲۵۵	۷	۰/۰۲۵	۳۵	۸۰/۱	۲۰/۴	۷۵
۲۵۶	۵	۰/۰۲۵	۱	۸۰/۸	۵۹/۶	۲۶
۲۵۷	۵	۰/۰۲۵	۳	۸۰/۸	۵۲/۴	۳۵
۲۵۸	۵	۰/۰۲۵	۱۰	۸۰/۸	۴۲/۰	۴۸
۲۵۹	۵	۰/۰۲۵	۱۵	۸۰/۸	۴۰/۴	۵۰
۲۶۰	۵	۰/۰۲۵	۲۰	۸۰/۸	۳۷/۵	۵۳
۲۶۱	۵	۰/۰۲۵	۲۵	۸۰/۸	۳۵/۵	۵۶
۲۶۲	۵	۰/۰۲۵	۳۰	۸۰/۸	۳۵/۳	۵۶
۲۶۳	۵	۰/۰۲۵	۳۵	۸۰/۸	۳۵/۲	۵۶
۲۶۴	۳	۰/۰۲۵	۱	۸۳/۲	۷۶/۴	۸
۲۶۵	۳	۰/۰۲۵	۳	۸۳/۲	۷۲/۲	۱۳
۲۶۶	۳	۰/۰۲۵	۱۰	۸۳/۲	۶۸/۹	۱۷
۲۶۷	۳	۰/۰۲۵	۱۵	۸۳/۲	۶۷/۲	۱۹
۲۶۸	۳	۰/۰۲۵	۲۵	۸۳/۲	۶۵/۸	۲۱
۲۶۹	۳	۰/۰۲۵	۳۵	۸۳/۲	۶۴/۷	۲۲
۲۷۰	۷	۰/۰۳۵	۱	۸۱/۵	۴۹/۷	۳۹

ادامه جدول (۱- ۱)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۲۷۱	۷	۰/۰۳۵	۳	۸۱/۵	۳۳/۸	۵۸
۲۷۲	۷	۰/۰۳۵	۱۰	۸۱/۵	۱۹/۱	۷۶
۲۷۳	۷	۰/۰۳۵	۱۵	۸۱/۵	۱۴/۵	۸۲
۲۷۴	۷	۰/۰۳۵	۲۰	۸۱/۵	۱۴/۱	۸۳
۲۷۵	۷	۰/۰۳۵	۲۵	۸۱/۵	۱۲/۸	۸۴
۲۷۶	۷	۰/۰۳۵	۳۵	۸۱/۵	۱۱/۶	۸۶
۲۷۷	۵	۰/۰۳۵	۱	۸۱/۷	۵۰/۶	۳۸
۲۷۸	۵	۰/۰۳۵	۳	۸۱/۷	۳۸/۳	۵۳
۲۷۹	۵	۰/۰۳۵	۱۰	۸۱/۷	۲۸/۹	۶۵
۲۸۰	۵	۰/۰۳۵	۱۵	۸۱/۷	۲۵/۳	۶۹
۲۸۱	۵	۰/۰۳۵	۲۰	۸۱/۷	۲۴/۷	۷۰
۲۸۲	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۸۱/۷	۲۲/۹	۷۲
۲۸۳	۵	۰/۰۳۵	۳۵	۸۱/۷	۲۰/۷	۷۵
۲۸۴	۳	۰/۰۳۵	۱	۸۲/۸	۷۵/۱	۹
۲۸۵	۳	۰/۰۳۵	۶	۸۲/۸	۶۵/۹	۲۰
۲۸۶	۳	۰/۰۳۵	۱۰	۸۲/۸	۶۲/۰	۲۵
۲۸۷	۳	۰/۰۳۵	۱۵	۸۲/۸	۶۱/۷	۲۵
۲۸۸	۳	۰/۰۳۵	۲۰	۸۲/۸	۶۱/۰	۲۶
۲۸۹	۳	۰/۰۳۵	۳۰	۸۲/۸	۵۹/۲	۲۸
۲۹۰	۳	۰/۰۳۵	۳۵	۸۲/۸	۵۷/۵	۳۱
۲۹۱	۷	۰/۰۳۵	۱	۳۹/۲	۱۹/۶	۵۰
۲۹۲	۷	۰/۰۳۵	۳	۳۹/۲	۹/۹	۷۵
۲۹۳	۷	۰/۰۳۵	۶	۳۹/۲	۵/۲	۸۷
۲۹۴	۷	۰/۰۳۵	۱۵	۳۹/۲	۲/۸	۹۳
۲۹۵	۷	۰/۰۳۵	۲۰	۳۹/۲	۲/۲	۹۴
۲۹۶	۷	۰/۰۳۵	۲۵	۳۹/۲	۲/۰	۹۵
۲۹۷	۷	۰/۰۳۵	۳۰	۳۹/۲	۱/۹	۹۵
۲۹۸	۵	۰/۰۳۵	۱	۳۸/۴	۱۶/۹	۵۶
۲۹۹	۵	۰/۰۳۵	۳	۳۸/۴	۱۱/۹	۶۹
۳۰۰	۵	۰/۰۳۵	۶	۳۸/۴	۸/۳	۷۸
۳۰۱	۵	۰/۰۳۵	۱۵	۳۸/۴	۵/۲	۸۶
۳۰۲	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۳۸/۴	۴/۲	۸۹
۳۰۳	۵	۰/۰۳۵	۳۰	۳۸/۴	۴/۱	۸۹
۳۰۴	۵	۰/۰۳۵	۳۵	۳۸/۴	۴/۰	۹۰

ادامه جدول (۱- ۱)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۳۰۵	۳	۰/۰۳۵	۳	۴۱/۰	۳۱/۴	۲۳
۳۰۶	۳	۰/۰۳۵	۶	۴۱/۰	۲۷/۷	۳۲
۳۰۷	۳	۰/۰۳۵	۱۵	۴۱/۰	۲۵/۳	۳۸
۳۰۸	۳	۰/۰۳۵	۲۰	۴۱/۰	۲۳/۹	۴۲
۳۰۹	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۴۱/۰	۲۳/۸	۴۲
۳۱۰	۳	۰/۰۳۵	۳۵	۴۱/۰	۲۱/۰	۴۹
۳۱۱	۷	۰/۰۲۵	۱	۴۰/۱	۲۴/۶	۳۹
۳۱۲	۷	۰/۰۲۵	۳	۴۰/۱	۱۵/۶	۶۱
۳۱۳	۷	۰/۰۲۵	۶	۴۰/۱	۱۱/۷	۷۱
۳۱۴	۷	۰/۰۲۵	۱۵	۴۰/۱	۸/۲	۷۹
۳۱۵	۷	۰/۰۲۵	۲۰	۴۰/۱	۶/۹	۸۳
۳۱۶	۷	۰/۰۲۵	۳۰	۴۰/۱	۶/۳	۸۴
۳۱۷	۷	۰/۰۲۵	۳۵	۴۰/۱	۶/۱	۸۵
۳۱۸	۵	۰/۰۲۵	۱	۴۰/۱	۲۶/۰	۳۵
۳۱۹	۵	۰/۰۲۵	۳	۴۰/۱	۲۱/۲	۴۷
۳۲۰	۵	۰/۰۲۵	۱۰	۴۰/۱	۱۷/۵	۵۶
۳۲۱	۵	۰/۰۲۵	۱۵	۴۰/۱	۱۶/۸	۵۸
۳۲۲	۵	۰/۰۲۵	۲۰	۴۰/۱	۱۵/۵	۶۱
۳۲۳	۵	۰/۰۲۵	۲۵	۴۰/۱	۱۴/۶	۶۳
۳۲۴	۵	۰/۰۲۵	۳۰	۴۰/۱	۱۴/۰	۶۵

جدول(۱-۲ پیوست)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱	۳	۰/۰۵۵	۳	۷۹/۸	۵۲/۴	۳۴
۲	۳	۰/۰۵۵	۱۰	۷۹/۸	۴۶/۸	۴۱
۳	۳	۰/۰۵۵	۳۰	۷۹/۸	۴۱/۰	۴۹
۴	۵	۰/۰۵۵	۳	۸۰/۴	۲۴/۵	۷۰
۵	۵	۰/۰۵۵	۲۰	۸۰/۴	۱۲/۳	۸۵
۶	۷	۰/۰۵۵	۱	۷۹/۸	۳۲/۸	۵۹
۷	۷	۰/۰۵۵	۱۰	۷۹/۸	۴/۹	۹۴
۸	۳	۰/۰۵۵	۳	۱۲۵/۹	۹۶/۸	۲۳
۹	۳	۰/۰۵۵	۱۵	۱۲۵/۹	۸۷/۵	۳۰
۱۰	۵	۰/۰۵۵	۶	۱۲۲/۴	۳۹/۳	۶۸
۱۱	۵	۰/۰۵۵	۲۰	۱۲۲/۴	۳۲/۹	۷۳
۱۲	۷	۰/۰۵۵	۳	۱۲۱/۱	۳۷/۵	۶۹
۱۳	۷	۰/۰۵۵	۱۵	۱۲۱/۱	۱۵/۱	۸۸
۱۴	۷	۰/۰۵۵	۳۰	۱۲۱/۱	۱۱/۶	۹۰
۱۵	۳	۰/۰۵۵	۳	۱۶۲/۶	۱۲۶/۴	۲۲
۱۶	۳	۰/۰۵۵	۱۰	۱۶۲/۶	۱۱۹/۸	۲۶
۱۷	۳	۰/۰۵۵	۲۵	۱۶۲/۶	۱۱۴/۱	۳۰
۱۸	۵	۰/۰۵۵	۳	۱۵۹/۸	۷۹/۵	۵۰
۱۹	۵	۰/۰۵۵	۱۰	۱۵۹/۸	۶۲/۵	۶۱
۲۰	۷	۰/۰۵۵	۳	۱۵۸/۷	۵۷/۷	۶۴
۲۱	۷	۰/۰۵۵	۱۵	۱۵۸/۷	۲۸/۷	۸۲
۲۲	۳	۰/۰۲۵	۱	۱۲۴/۸	۱۱۵/۱	۸
۲۳	۳	۰/۰۲۵	۱۰	۱۲۴/۸	۱۰۶/۷	۱۴
۲۴	۳	۰/۰۲۵	۳۰	۱۲۴/۸	۱۰۳/۶	۱۷
۲۵	۷	۰/۰۵۵	۱	۳۹/۷	۱۰/۱	۷۴
۲۶	۷	۰/۰۵۵	۲۰	۳۹/۷	۱/۳	۹۷
۲۷	۵	۰/۰۵۵	۳	۳۹/۵	۶/۴	۸۴
۲۸	۵	۰/۰۵۵	۲۵	۳۹/۵	۱/۹	۹۵
۲۹	۳	۰/۰۵۵	۱	۴۱/۴	۳۰/۳	۲۷
۳۰	۳	۰/۰۵۵	۱۵	۴۱/۴	۱۹/۳	۵۳
۳۱	۷	۰/۰۳۵	۳	۱۲۱/۹	۶۶/۱	۴۶
۳۲	۷	۰/۰۳۵	۱۵	۱۲۱/۹	۴۲/۱	۶۵

جدول(۱-۲ پیوست)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۳۳	۷	۰/۰۳۵	۳۰	۱۲۱/۹	۳۴/۹	۷۱
۳۴	۳	۰/۰۲۵	۳	۴۱/۴	۳۴/۵	۱۷
۳۵	۳	۰/۰۲۵	۱۰	۴۱/۴	۳۱/۳	۲۴
۳۶	۵	۰/۰۴۵	۳	۷۸/۹۱	۲۸/۷	۶۴
۳۷	۵	۰/۰۴۵	۱۵	۷۸/۹۱	۱۷/۱	۷۸
۳۸	۳	۰/۰۴۵	۳	۱۶۳/۹	۱۳۶/۱	۱۷
۳۹	۳	۰/۰۴۵	۲۵	۱۶۳/۹	۱۲۶/۹	۲۳
۴۰	۷	۰/۰۴۵	۱	۱۵۸/۵	۱۰۲/۸	۳۵
۴۱	۷	۰/۰۴۵	۱۰	۱۵۸/۵	۵۱/۵	۶۷
۴۲	۷	۰/۰۴۵	۳۰	۱۵۸/۵	۳۴/۸	۷۸
۴۳	۵	۰/۰۴۵	۱۵	۱۶۲/۲	۸۲/۶	۴۹
۴۴	۵	۰/۰۴۵	۳۰	۱۶۲/۲	۷۶/۳	۵۳
۴۵	۷	۰/۰۴۵	۳	۱۲۱/۸	۵۰/۹	۵۸
۴۶	۷	۰/۰۴۵	۱۵	۱۲۱/۸	۲۶/۰	۷۸
۴۷	۵	۰/۰۴۵	۱	۱۲۵/۰	۸۰/۵	۳۶
۴۸	۵	۰/۰۴۵	۱۵	۱۲۵/۰	۴۷/۹	۶۲
۴۹	۳	۰/۰۴۵	۳	۱۲۵/۴	۱۰۲/۲	۱۸
۵۰	۳	۰/۰۴۵	۲۵	۱۲۵/۴	۸۳/۷	۳۳
۵۱	۷	۰/۰۴۵	۱	۸۰/۰۲	۴۲/۳	۴۷
۵۲	۷	۰/۰۴۵	۶	۸۰/۰۲	۱۳/۳	۸۳
۵۳	۷	۰/۰۴۵	۳۰	۸۰/۰۲	۴/۶	۹۴
۵۴	۳	۰/۰۴۵	۳	۸۱/۵۲	۶۰/۳	۲۴
۵۵	۳	۰/۰۴۵	۱۰	۸۱/۵	۵۴/۸	۳۰
۵۶	۳	۰/۰۴۵	۲۰	۸۱/۵	۵۳/۱	۳۲
۵۷	۷	۰/۰۴۵	۱	۳۹/۷	۱۳/۸	۶۵
۵۸	۷	۰/۰۴۵	۶	۳۹/۷	۳/۴	۹۱
۵۹	۷	۰/۰۴۵	۳۵	۳۹/۷	۱/۴	۹۶
۶۰	۵	۰/۰۴۵	۳	۳۹/۷	۹/۲	۷۷
۶۱	۵	۰/۰۴۵	۱۰	۳۹/۷	۵/۸	۸۷
۶۲	۳	۰/۰۴۵	۱	۴۱/۷	۳۳/۰	۲۱
۶۳	۳	۰/۰۴۵	۱۰	۴۱/۷	۲۲/۴	۴۶
۶۴	۳	۰/۰۴۵	۲۵	۴۱/۷	۱۸/۸	۵۵
۶۵	۳	۰/۰۲۵	۳	۱۶۲/۲	۱۵۱/۳	۷
۶۶	۳	۰/۰۲۵	۲۰	۱۶۲/۲	۱۴۶/۹	۹
۶۷	۷	۰/۰۲۵	۱	۱۶۱/۹	۱۳۹/۱	۱۴
۶۸	۷	۰/۰۲۵	۶	۱۶۱/۹	۱۱۷/۳	۲۸
۶۹	۵	۰/۰۲۵	۱	۱۶۲/۲	۱۴۷/۳	۹
۷۰	۵	۰/۰۲۵	۱۵	۱۶۲/۲	۱۲۱/۹	۲۵
۷۱	۷	۰/۰۲۵	۱۰	۱۱۹/۳	۶۲/۲	۴۸

جدول(۱-۲ پیوست)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۷۲	۷	۰/۰۲۵	۲۵	۱۱۹/۳	۵۳/۱	۵۵
۷۳	۵	۰/۰۲۵	۱	۱۲۴/۷	۱۰۴/۲	۱۶
۷۴	۵	۰/۰۲۵	۱۰	۱۲۴/۷	۸۴/۰	۳۳
۷۵	۷	۰/۰۳۵	۱۰	۱۵۶/۹	۸۸/۲	۴۴
۷۶	۷	۰/۰۳۵	۲۵	۱۵۶/۹	۷۴/۸	۵۲
۷۷	۵	۰/۰۳۵	۶	۱۵۸/۷	۱۰۶/۹	۳۳
۷۸	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۱۵۸/۷	۹۴/۷	۴۰
۷۹	۳	۰/۰۳۵	۱	۱۶۴/۸	۱۵۴/۸	۶
۸۰	۳	۰/۰۳۵	۲۰	۱۶۴/۸	۱۴۲/۳	۱۴
۸۱	۵	۰/۰۳۵	۱۰	۱۲۱/۴	۶۱/۰	۵۰
۸۲	۵	۰/۰۳۵	۲۰	۱۲۱/۴	۵۴/۶	۵۵
۸۳	۳	۰/۰۳۵	۱	۱۲۴/۱	۱۱۰/۲	۱۱
۸۴	۳	۰/۰۳۵	۱۰	۱۲۴/۱	۹۷/۲	۲۲
۸۵	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۱۲۴/۱	۹۲/۸	۲۵
۸۶	۷	۰/۰۲۵	۶	۸۰/۱	۳۵/۷	۵۵
۸۷	۷	۰/۰۲۵	۳۰	۸۰/۱	۲۱/۰	۷۴
۸۸	۵	۰/۰۲۵	۶	۸۰/۸	۴۶/۲	۴۳
۸۹	۳	۰/۰۲۵	۶	۸۳/۲	۷۱/۱	۱۴
۹۰	۳	۰/۰۲۵	۲۰	۸۳/۲	۶۶/۹	۲۰
۹۱	۳	۰/۰۲۵	۳۰	۸۳/۲	۶۵/۳	۲۱
۹۲	۷	۰/۰۳۵	۶	۸۱/۵	۲۴/۳	۷۰
۹۳	۷	۰/۰۳۵	۳۰	۸۱/۵	۱۲/۲	۸۵
۹۴	۵	۰/۰۳۵	۶	۸۱/۷	۳۱/۶	۶۱
۹۵	۵	۰/۰۳۵	۳۰	۸۱/۷	۲۱/۸	۷۳
۹۶	۳	۰/۰۳۵	۳	۸۲/۸	۶۷/۷	۱۸
۹۷	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۸۲/۸	۵۹/۸	۲۸
۹۸	۷	۰/۰۳۵	۱۰	۳۹/۲	۳/۳	۹۲
۹۹	۷	۰/۰۳۵	۳۵	۳۹/۲	۱/۹	۹۵
۱۰۰	۵	۰/۰۳۵	۱۰	۳۸/۴	۶/۲	۸۴
۱۰۱	۵	۰/۰۳۵	۲۰	۳۸/۴	۴/۶	۸۸
۱۰۲	۳	۰/۰۳۵	۱	۴۱/۰	۳۶/۰	۱۲
۱۰۳	۳	۰/۰۳۵	۱۰	۴۱/۰	۲۵/۸	۳۷
۱۰۴	۳	۰/۰۳۵	۳۰	۴۱/۰	۲۲/۲	۴۶
۱۰۵	۷	۰/۰۲۵	۱۰	۴۰/۱	۹/۱	۷۷
۱۰۶	۷	۰/۰۲۵	۲۵	۴۰/۱	۶/۵	۸۴
۱۰۷	۵	۰/۰۲۵	۶	۴۰/۱	۱۸/۷	۵۳
۱۰۸	۵	۰/۰۲۵	۳۵	۴۰/۱	۱۳/۶	۶۶

جدول (۱-۳)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی‌مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱	۳	۰/۰۳۵	۰/۵	۴۰/۰	۳۷/۰	۷
۲	۳	۰/۰۳۵	۳	۴۰/۰	۳۴/۸	۱۳
۳	۳	۰/۰۳۵	۱۰	۴۰/۰	۳۲/۷	۱۸
۴	۳	۰/۰۳۵	۱۵	۴۰/۰	۳۲/۵	۱۹
۵	۳	۰/۰۳۵	۲۰	۴۰/۰	۳۲/۲	۲۰
۶	۳	۰/۰۳۵	۳۰	۴۰/۰	۳۱/۶	۲۱
۷	۴	۰/۰۳۵	۰/۵	۴۱/۱	۲۸/۸	۳۰
۸	۴	۰/۰۳۵	۳	۴۱/۱	۲۳/۵	۴۳
۹	۴	۰/۰۳۵	۶	۴۱/۱	۲۱/۲	۴۸
۱۰	۴	۰/۰۳۵	۱۰	۴۱/۱	۱۹/۷	۵۲
۱۱	۴	۰/۰۳۵	۲۰	۴۱/۱	۱۸/۶	۵۵
۱۲	۴	۰/۰۳۵	۲۵	۴۱/۱	۱۸/۰	۵۶
۱۳	۴	۰/۰۳۵	۳۰	۴۱/۱	۱۸/۰	۵۶
۱۴	۵	۰/۰۳۵	۱	۳۹/۷	۲۳/۰	۴۲
۱۵	۵	۰/۰۳۵	۳	۳۹/۷	۱۹/۱	۵۲
۱۶	۵	۰/۰۳۵	۱۰	۳۹/۷	۱۴/۳	۶۴
۱۷	۵	۰/۰۳۵	۱۵	۳۹/۷	۱۴/۵	۶۳
۱۸	۵	۰/۰۳۵	۲۰	۳۹/۷	۱۴/۴	۶۴
۱۹	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۳۹/۷	۱۳/۳	۶۶
۲۰	۵	۰/۰۳۵	۳۰	۳۹/۷	۱۳/۱	۶۷
۲۱	۷	۰/۰۳۵	۰/۵	۴۰/۵	۲۶/۷	۳۴
۲۲	۷	۰/۰۳۵	۳	۴۰/۵	۱۱/۴	۷۲
۲۳	۷	۰/۰۳۵	۶	۴۰/۵	۸/۹	۷۸
۲۴	۷	۰/۰۳۵	۱۵	۴۰/۵	۶/۱	۸۵
۲۵	۷	۰/۰۳۵	۲۰	۴۰/۵	۶/۰	۸۵
۲۶	۷	۰/۰۳۵	۲۵	۴۰/۵	۵/۸	۸۶
۲۷	۷	۰/۰۳۵	۳۰	۴۰/۵	۵/۷	۸۶
۲۸	۳	۰/۰۳۵	۰/۵	۶۲/۹	۵۹	۶
۲۹	۳	۰/۰۳۵	۱	۶۲/۹	۵۷/۸	۸
۳۰	۳	۰/۰۳۵	۶	۶۲/۹	۵۵/۳	۱۲
۳۱	۳	۰/۰۳۵	۱۰	۶۲/۹	۵۵/۱	۱۲
۳۲	۳	۰/۰۳۵	۲۰	۶۲/۹	۵۴/۵	۱۳
۳۳	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۶۲/۹	۵۴/۴	۱۳
۳۴	۳	۰/۰۳۵	۳۰	۶۲/۹	۵۴/۳	۱۴
۳۵	۴	۰/۰۳۵	۰/۵	۶۰/۹	۵۰/۷	۱۷
۳۶	۴	۰/۰۳۵	۳	۶۰/۹	۴۲/۶	۳۰
۳۷	۴	۰/۰۳۵	۶	۶۰/۹	۳۹/۷	۳۵
۳۸	۴	۰/۰۳۵	۱۵	۶۰/۹	۳۸/۴	۳۷
۳۹	۴	۰/۰۳۵	۲۰	۶۰/۹	۳۷/۷	۳۸
۴۰	۴	۰/۰۳۵	۳۰	۶۰/۹	۳۶/۸	۳۹
۴۱	۵	۰/۰۳۵	۰/۵	۶۰/۵	۴۶/۲	۲۴
۴۲	۵	۰/۰۳۵	۳	۶۰/۵	۳۵/۱	۴۲

جدول (۱-۳)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی‌مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۴۳	۵	۰/۰۳۵	۱۰	۶۰/۵	۳۰/۳	۵۰
۴۴	۵	۰/۰۳۵	۱۵	۶۰/۵	۲۹/۱	۵۲
۴۵	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۶۰/۵	۲۸/۶	۵۳
۴۶	۵	۰/۰۳۵	۳۰	۶۰/۵	۲۸/۳	۵۳
۴۷	۷	۰/۰۳۵	۰/۵	۶۰/۷	۴۰/۰	۳۴
۴۸	۷	۰/۰۳۵	۳	۶۰/۷	۲۵/۸	۵۷
۴۹	۷	۰/۰۳۵	۱۰	۶۰/۷	۲۰/۷	۶۶
۵۰	۷	۰/۰۳۵	۱۵	۶۰/۷	۲۰/۵	۶۶
۵۱	۷	۰/۰۳۵	۲۰	۶۰/۷	۲۰/۱	۶۷
۵۲	۷	۰/۰۳۵	۲۵	۶۰/۷	۱۸/۸	۶۹
۵۳	۷	۰/۰۳۵	۳۰	۶۰/۷	۱۸/۸	۶۹
۵۴	۳	۰/۰۳۵	۰/۵	۸۳/۴	۷۹/۱	۵
۵۵	۳	۰/۰۳۵	۳	۸۳/۴	۷۶/۸	۸
۵۶	۳	۰/۰۳۵	۶	۸۳/۴	۷۵/۴	۱۰
۵۷	۳	۰/۰۳۵	۱۵	۸۳/۴	۷۵/۳	۱۰
۵۸	۳	۰/۰۳۵	۲۰	۸۳/۴۵	۷۵/۰۱	۱۰
۵۹	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۸۳/۴	۷۴/۷	۱۰
۶۰	۳	۰/۰۳۵	۳۰	۸۳/۴	۷۳/۸	۱۲
۶۱	۴	۰/۰۳۵	۱	۸۱/۶	۶۶/۶	۱۸
۶۲	۴	۰/۰۳۵	۳	۸۱/۶	۶۲/۵	۲۳
۶۳	۴	۰/۰۳۵	۱۰	۸۱/۶	۵۹/۲	۲۷
۶۴	۴	۰/۰۳۵	۱۵	۸۱/۶	۵۸/۸	۲۸
۶۵	۴	۰/۰۳۵	۲۰	۸۱/۶	۵۸/۳	۲۹
۶۶	۴	۰/۰۳۵	۳۰	۸۱/۶	۵۵/۵	۳۲
۶۷	۵	۰/۰۳۵	۱	۸۲/۳	۵۵/۳	۳۳
۶۸	۵	۰/۰۳۵	۳	۸۲/۳	۵۲/۲	۳۷
۶۹	۵	۰/۰۳۵	۶	۸۲/۳	۴۷/۷	۴۲
۷۰	۵	۰/۰۳۵	۱۰	۸۲/۳	۴۷/۴	۴۲
۷۱	۵	۰/۰۳۵	۲۰	۸۲/۳	۴۶/۵	۴۳
۷۲	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۸۲/۳	۴۶/۰	۴۴
۷۳	۵	۰/۰۳۵	۳۰	۸۲/۳	۴۵/۴	۴۵
۷۴	۷	۰/۰۳۵	۰/۵	۸۰/۱	۵۹/۵	۲۶
۷۵	۷	۰/۰۳۵	۳	۸۰/۱	۴۴/۰	۴۵
۷۶	۷	۰/۰۳۵	۶	۸۰/۱	۴۰/۳	۵۰
۷۷	۷	۰/۰۳۵	۱۰	۸۰/۱	۳۸/۳	۵۲
۷۸	۷	۰/۰۳۵	۱۵	۸۰/۱	۳۷/۹	۵۳
۷۹	۷	۰/۰۳۵	۲۵	۸۰/۱	۳۵/۳	۵۶
۸۰	۷	۰/۰۳۵	۳۰	۸۰/۱	۳۵/۰	۵۶
۸۱	۳	۰/۰۳۵	۱	۱۱۴/۴	۱۱۰/۳	۴
۸۲	۳	۰/۰۳۵	۳	۱۱۴/۴	۱۰۹/۲	۴
۸۳	۳	۰/۰۳۵	۶	۱۱۴/۴	۱۰۷/۳	۶
۸۴	۳	۰/۰۳۵	۱۵	۱۱۴/۴	۱۰۷/۹	۶

جدول (۱-۳)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی‌مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۸۵	۳	۰/۰۳۵	۲۰	۱۱۴/۴	۱۰۷/۷	۶
۸۶	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۱۱۴/۴	۱۰۷/۲	۶
۸۷	۳	۰/۰۳۵	۳۰	۱۱۴/۴	۱۰۶/۹۰	۷
۸۸	۴	۰/۰۳۵	۰/۵	۱۱۵/۳	۱۰۳/۴	۱۰
۸۹	۴	۰/۰۳۵	۳	۱۱۵/۳	۹۶/۷	۱۶
۹۰	۴	۰/۰۳۵	۶	۱۱۵/۳	۹۵/۲	۱۷
۹۱	۴	۰/۰۳۵	۱۵	۱۱۵/۳	۹۳/۷	۱۹
۹۲	۴	۰/۰۳۵	۲۰	۱۱۵/۳	۹۴/۴	۱۸
۹۳	۴	۰/۰۳۵	۳۰	۱۱۵/۳	۹۲/۹	۱۹
۹۴	۵	۰/۰۳۵	۰/۵	۱۱۶/۰	۹۹/۲	۱۴
۹۵	۵	۰/۰۳۵	۳	۱۱۶/۰	۸۹/۸	۲۳
۹۶	۵	۰/۰۳۵	۱۰	۱۱۶/۰	۸۴/۵	۲۷
۹۷	۵	۰/۰۳۵	۱۵	۱۱۶/۰	۸۳/۷	۲۸
۹۸	۵	۰/۰۳۵	۲۰	۱۱۶/۰	۸۲/۹	۲۸
۹۹	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۱۱۶/۰	۸۲/۵	۲۹
۱۰۰	۵	۰/۰۳۵	۳۰	۱۱۶/۰	۸۱/۹	۲۹
۱۰۱	۷	۰/۰۳۵	۰/۵	۱۱۴/۰	۹۲/۲	۱۹
۱۰۲	۷	۰/۰۳۵	۳	۱۱۴/۰	۷۷/۶	۳۲
۱۰۳	۷	۰/۰۳۵	۶	۱۱۴/۰	۷۲/۳	۳۷
۱۰۴	۷	۰/۰۳۵	۱۵	۱۱۴/۰	۷۱/۰	۳۸
۱۰۵	۷	۰/۰۳۵	۲۰	۱۱۴/۰	۷۰/۰	۳۹
۱۰۶	۷	۰/۰۳۵	۲۵	۱۱۴/۰	۶۳/۳	۴۴
۱۰۷	۷	۰/۰۳۵	۳۰	۱۱۴/۰	۶۸/۸	۴۰
۱۰۸	۳	۰/۰۴۵	۰/۵	۴۱/۴	۳۵/۶	۱۴
۱۰۹	۳	۰/۰۴۵	۳	۴۱/۴	۳۳/۰	۲۰
۱۱۰	۳	۰/۰۴۵	۶	۴۱/۴	۳۱/۶	۲۴
۱۱۱	۳	۰/۰۴۵	۱۰	۴۱/۴	۳۱/۰	۲۵
۱۱۲	۳	۰/۰۴۵	۱۵	۴۱/۴	۳۰/۷	۲۶
۱۱۳	۳	۰/۰۴۵	۲۵	۴۱/۴	۳۰/۳	۲۷
۱۱۴	۳	۰/۰۴۵	۳۰	۴۱/۴	۳۰/۳	۲۷
۱۱۵	۴	۰/۰۴۵	۱	۴۱/۸	۲۴/۴	۴۲
۱۱۶	۴	۰/۰۴۵	۳	۴۱/۸	۲۱/۱	۴۹
۱۱۷	۴	۰/۰۴۵	۱۰	۴۱/۸	۱۶/۵	۶۰
۱۱۸	۴	۰/۰۴۵	۱۵	۴۱/۸	۱۶/۵	۶۰
۱۱۹	۴	۰/۰۴۵	۲۰	۴۱/۸	۱۵/۶	۶۳
۱۲۰	۴	۰/۰۴۵	۳۰	۴۱/۸	۱۴/۸	۶۵
۱۲۱	۵	۰/۰۴۵	۰/۵	۴۱/۲	۲۳/۸	۴۲
۱۲۲	۵	۰/۰۴۵	۱	۴۱/۲	۱۷/۴	۵۸
۱۲۳	۵	۰/۰۴۵	۳	۴۱/۲	۱۶/۰	۶۱
۱۲۴	۵	۰/۰۴۵	۶	۴۱/۲	۱۲/۶	۶۹
۱۲۵	۵	۰/۰۴۵	۱۵	۴۱/۲	۱۱/۰	۷۳
۱۲۶	۵	۰/۰۴۵	۲۰	۴۱/۲	۱۰/۰	۷۶
۱۲۷	۵	۰/۰۴۵	۳۰	۴۱/۲	۹/۴	۷۷
۱۲۸	۷	۰/۰۴۵	۰/۵	۳۹/۴	۱۷/۳	۵۶
۱۲۹	۷	۰/۰۴۵	۳	۳۹/۴	۶/۵	۸۳
۱۳۰	۷	۰/۰۴۵	۶	۳۹/۴	۴/۳	۸۹

جدول (۱-۳)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی‌مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱۳۱	۷	۰/۰۴۵	۱۵	۳۹/۴	۴/۰	۹۰
۱۳۲	۷	۰/۰۴۵	۲۰	۳۹/۴	۳/۷	۹۰
۱۳۳	۷	۰/۰۴۵	۲۵	۳۹/۴	۳/۶	۹۱
۱۳۴	۷	۰/۰۴۵	۳۰	۳۹/۴	۳/۵	۹۱
۱۳۵	۳	۰/۰۴۵	۱	۶۲/۲	۵۵/۱	۱۱
۱۳۶	۳	۰/۰۴۵	۳	۶۲/۲	۵۲/۲	۱۶
۱۳۷	۳	۰/۰۴۵	۶	۶۲/۲	۵۲/۱	۱۶
۱۳۸	۳	۰/۰۴۵	۱۵	۶۲/۲	۵۱/۷	۱۷
۱۳۹	۳	۰/۰۴۵	۲۰	۶۲/۲	۵۱/۲	۱۸
۱۴۰	۳	۰/۰۴۵	۲۵	۶۲/۲	۵۰/۳	۱۹
۱۴۱	۳	۰/۰۴۵	۳۰	۶۲/۲	۵۰/۱	۱۹
۱۴۲	۴	۰/۰۴۵	۰/۵	۶۳/۰	۴۹/۵	۲۱
۱۴۳	۴	۰/۰۴۵	۳	۶۳/۰۰	۴۰/۰	۳۷
۱۴۴	۴	۰/۰۴۵	۶	۶۳/۰	۳۷/۲	۴۱
۱۴۵	۴	۰/۰۴۵	۱۰	۶۳/۰	۳۶/۲	۴۳
۱۴۶	۴	۰/۰۴۵	۱۵	۶۳/۰	۳۴/۷	۴۵
۱۴۷	۴	۰/۰۴۵	۲۵	۶۳/۰	۳۴/۵	۴۵
۱۴۸	۴	۰/۰۴۵	۳۰	۶۳/۰	۳۴/۰	۴۶
۱۴۹	۵	۰/۰۴۵	۱	۶۱/۵	۳۲/۳	۴۷
۱۵۰	۵	۰/۰۴۵	۶	۶۱/۵	۲۵/۱	۵۹
۱۵۱	۵	۰/۰۴۵	۱۰	۶۱/۵	۲۳/۴	۶۲
۱۵۲	۵	۰/۰۴۵	۱۵	۶۱/۵	۲۱/۱	۶۶
۱۵۳	۵	۰/۰۴۵	۲۰	۶۱/۵	۲۱/۰	۶۶
۱۵۴	۵	۰/۰۴۵	۳۰	۶۱/۵	۱۹/۹	۶۸
۱۵۵	۷	۰/۰۴۵	۰/۵	۶۱/۳	۳۷/۷	۳۸
۱۵۶	۷	۰/۰۴۵	۳	۶۱/۳	۲۱/۸	۶۴
۱۵۷	۷	۰/۰۴۵	۱۰	۶۱/۳	۱۴/۷	۷۶
۱۵۸	۷	۰/۰۴۵	۲۰	۶۱/۳	۱۴/۱	۷۷
۱۵۹	۷	۰/۰۴۵	۲۵	۶۱/۳	۱۳/۷	۷۸
۱۶۰	۷	۰/۰۴۵	۳۰	۶۱/۳	۱۳/۴	۷۸
۱۶۱	۳	۰/۰۴۵	۱	۸۳/۲	۷۴/۳	۱۱
۱۶۲	۳	۰/۰۴۵	۶	۸۳/۲	۷۱/۷	۱۴
۱۶۳	۳	۰/۰۴۵	۱۰	۸۳/۲	۷۱/۵	۱۴
۱۶۴	۳	۰/۰۴۵	۱۵	۸۳/۲	۷۰/۸	۱۵
۱۶۵	۳	۰/۰۴۵	۲۰	۸۳/۲	۷۰/۶	۱۵
۱۶۶	۳	۰/۰۴۵	۲۵	۸۳/۲	۷۰/۲	۱۶
۱۶۷	۴	۰/۰۴۵	۰/۵	۸۲/۵	۶۴/۴	۲۲
۱۶۸	۴	۰/۰۴۵	۳	۸۲/۵	۵۵/۲	۳۳
۱۶۹	۴	۰/۰۴۵	۱۰	۸۲/۵	۵۰/۴	۳۹
۱۷۰	۴	۰/۰۴۵	۱۵	۸۲/۵	۵۰/۵	۳۹
۱۷۱	۴	۰/۰۴۵	۲۰	۸۲/۵	۵۰/۵	۳۹
۱۷۲	۴	۰/۰۴۵	۲۵	۸۲/۵	۴۹/۹	۳۹
۱۷۳	۴	۰/۰۴۵	۳۰	۸۲/۵	۴۹/۳۰	۴۰
۱۷۴	۵	۰/۰۴۵	۱	۸۰/۹	۴۹/۳	۳۹
۱۷۵	۵	۰/۰۴۵	۳	۸۰/۹	۴۳/۰	۴۷
۱۷۶	۵	۰/۰۴۵	۱۰	۸۰/۹	۳۹/۰	۵۲

جدول (۱-۳)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی‌مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R
۱۷۷	۵	۰/۰۴۵	۱۵	۸۰/۹	۳۸/۳	۵۳
۱۷۸	۵	۰/۰۴۵	۲۵	۸۰/۹	۳۷/۲	۵۴
۱۷۹	۵	۰/۰۴۵	۳۰	۸۰/۹	۳۶/۲	۵۵
۱۸۰	۷	۰/۰۴۵	۰/۵	۸۰/۰	۵۰/۰	۳۷
۱۸۱	۷	۰/۰۴۵	۳	۸۰/۰	۳۲/۱	۶۰
۱۸۲	۷	۰/۰۴۵	۶	۸۰/۰	۲۹/۴	۶۳
۱۸۳	۷	۰/۰۴۵	۱۰	۸۰/۰	۲۸/۸	۶۴
۱۸۴	۷	۰/۰۴۵	۲۰	۸۰/۰	۲۶/۵	۶۷
۱۸۵	۷	۰/۰۴۵	۲۵	۸۰/۰	۲۵/۷	۶۸
۱۸۶	۷	۰/۰۴۵	۳۰	۸۰/۰	۲۵/۵	۶۸
۱۸۷	۳	۰/۰۴۵	۱	۱۱۶/۲	۱۰۷/۹	۷
۱۸۸	۳	۰/۰۴۵	۶	۱۱۶/۲	۱۰۶/۶	۸
۱۸۹	۳	۰/۰۴۵	۱۰	۱۱۶/۲	۱۰۶/۳	۸
۱۹۰	۳	۰/۰۴۵	۱۵	۱۱۶/۲	۱۰۶/۰	۹
۱۹۱	۳	۰/۰۴۵	۲۰	۱۱۶/۲	۱۰۶/۰	۹
۱۹۲	۳	۰/۰۴۵	۲۵	۱۱۶/۲	۱۰۵/۴	۹
۱۹۳	۳	۰/۰۴۵	۳۰	۱۱۶/۲	۱۰۵/۱	۹
۱۹۴	۴	۰/۰۴۵	۱	۱۱۷/۱	۹۷/۸	۱۶
۱۹۵	۴	۰/۰۴۵	۳	۱۱۷/۱	۹۵/۴	۱۹
۱۹۶	۴	۰/۰۴۵	۶	۱۱۷/۱	۹۴/۴	۱۹
۱۹۷	۴	۰/۰۴۵	۱۵	۱۱۷/۱	۹۲/۰	۲۱
۱۹۸	۴	۰/۰۴۵	۲۰	۱۱۷/۱	۹۱/۳	۲۲
۱۹۹	۴	۰/۰۴۵	۲۵	۱۱۷/۱	۸۹/۹	۲۳
۲۰۰	۴	۰/۰۴۵	۳۰	۱۱۷/۱	۹۰/۱	۲۳
۲۰۱	۵	۰/۰۴۵	۰/۵	۱۱۶/۶	۹۴/۹	۱۹
۲۰۲	۵	۰/۰۴۵	۱	۱۱۶/۶	۸۵/۹	۲۶
۲۰۳	۵	۰/۰۴۵	۳	۱۱۶/۶	۸۰/۷	۳۱
۲۰۴	۵	۰/۰۴۵	۱۰	۱۱۶/۶	۷۶/۱	۳۵
۲۰۵	۵	۰/۰۴۵	۱۵	۱۱۶/۶	۷۵/۳	۳۵
۲۰۶	۵	۰/۰۴۵	۲۵	۱۱۶/۶	۷۵/۳	۳۵
۲۰۷	۵	۰/۰۴۵	۳۰	۱۱۶/۶	۷۵/۱	۳۶
۲۰۸	۷	۰/۰۴۵	۱	۱۱۷/۳	۷۶/۳	۳۵
۲۰۹	۷	۰/۰۴۵	۳	۱۱۷/۳	۶۶/۶	۴۳
۲۱۰	۷	۰/۰۴۵	۱۰	۱۱۷/۳	۵۵/۸	۵۲
۲۱۱	۷	۰/۰۴۵	۱۵	۱۱۷/۳	۵۶/۰	۵۲
۲۱۲	۷	۰/۰۴۵	۲۰	۱۱۷/۳	۵۵/۰	۵۳
۲۱۳	۷	۰/۰۴۵	۲۵	۱۱۷/۳	۵۳/۰	۵۵
۲۱۴	۷	۰/۰۴۵	۳۰	۱۱۷/۳	۷۶/۳	۵۵
۲۱۵	۳	۰/۰۵۵	۰/۵	۴۲/۰	۳۵/۸	۱۵
۲۱۶	۳	۰/۰۵۵	۱	۴۲/۰	۳۲/۶	۲۲
۲۱۷	۳	۰/۰۵۵	۳	۴۲/۰	۲۹/۸	۲۹
۲۱۸	۳	۰/۰۵۵	۱۰	۴۲/۰	۲۷/۸	۳۴
۲۱۹	۳	۰/۰۵۵	۱۵	۴۲/۰	۲۷/۶	۳۴
۲۲۰	۳	۰/۰۵۵	۲۵	۴۲/۰	۲۵/۶	۳۹
۲۲۱	۳	۰/۰۵۵	۳۰	۴۲/۰	۲۵/۲	۴۰
۲۲۲	۴	۰/۰۵۵	۰/۵	۴۰/۶	۲۵/۰	۳۸

جدول (۱-۳)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی‌مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۲۲۳	۴	۰/۰۵۵	۱	۴۰/۶	۱۹/۱	۵۳
۲۲۴	۴	۰/۰۵۵	۶	۴۰/۶	۱۶/۳	۶۰
۲۲۵	۴	۰/۰۵۵	۱۰	۴۰/۶	۱۲/۶	۶۹
۲۲۶	۴	۰/۰۵۵	۱۵	۴۰/۶	۱۱/۱	۷۲
۲۲۷	۴	۰/۰۵۵	۲۵	۴۰/۶	۱۰/۰	۷۵
۲۲۸	۴	۰/۰۵۵	۳۰	۴۰/۶	۹/۴	۷۷
۲۲۹	۵	۰/۰۵۵	۱	۴۱/۷	۱۴/۶	۶۵
۲۳۰	۵	۰/۰۵۵	۳	۴۱/۷	۱۱/۴	۷۳
۲۳۱	۵	۰/۰۵۵	۶	۴۱/۷	۸/۷	۷۹
۲۳۲	۵	۰/۰۵۵	۱۰	۴۱/۷	۷/۶	۸۲
۲۳۳	۵	۰/۰۵۵	۲۰	۴۱/۷	۶/۲	۸۵
۲۳۴	۵	۰/۰۵۵	۲۵	۴۱/۷	۵/۶	۸۶
۲۳۵	۵	۰/۰۵۵	۳۰	۴۱/۷	۵/۶	۸۷
۲۳۶	۷	۰/۰۵۵	۰/۵	۳۹/۴	۱۷/۳	۵۶
۲۳۷	۷	۰/۰۵۵	۱	۳۹/۴	۶/۰	۸۵
۲۳۸	۷	۰/۰۵۵	۳	۳۹/۴	۵/۵	۸۶
۲۳۹	۷	۰/۰۵۵	۱۰	۳۹/۴	۳/۶	۹۱
۲۴۰	۷	۰/۰۵۵	۲۰	۳۹/۴	۲/۷	۹۳
۲۴۱	۷	۰/۰۵۵	۲۵	۳۹/۴	۲/۴	۹۴
۲۴۲	۷	۰/۰۵۵	۳۰	۳۹/۴	۲/۲۴	۹۴
۲۴۳	۳	۰/۰۵۵	۱	۶۲/۶	۵۳/۰	۱۵
۲۴۴	۳	۰/۰۵۵	۳	۶۲/۶	۵۲/۱	۱۷
۲۴۵	۳	۰/۰۵۵	۱۰	۶۲/۶	۴۹/۲	۲۱
۲۴۶	۳	۰/۰۵۵	۱۵	۶۲/۶	۴۹/۲	۲۱
۲۴۷	۳	۰/۰۵۵	۲۵	۶۲/۶	۴۸/۸	۲۲
۲۴۸	۳	۰/۰۵۵	۳۰	۶۲/۶	۴۸/۷	۲۲
۲۴۹	۴	۰/۰۵۵	۰/۵	۶۳/۷	۴۵/۷	۲۸
۲۵۰	۴	۰/۰۵۵	۱	۶۰/۷	۳۷/۴	۳۸
۲۵۱	۴	۰/۰۵۵	۶	۶۰/۷	۳۰/۴	۵۰
۲۵۲	۴	۰/۰۵۵	۱۰	۶۰/۷	۲۷/۹	۵۴
۲۵۳	۴	۰/۰۵۵	۱۵	۶۰/۷	۲۷/۰	۵۵
۲۵۴	۴	۰/۰۵۵	۲۰	۶۰/۷	۲۶/۷	۵۶
۲۵۵	۴	۰/۰۵۵	۳۰	۶۰/۷	۲۶/۰	۵۷
۲۵۶	۵	۰/۰۵۵	۰/۵	۵۹/۶	۳۷/۲	۳۸
۲۵۷	۵	۰/۰۵۵	۱	۵۹/۶	۲۸/۷	۵۲
۲۵۸	۵	۰/۰۵۵	۶	۵۹/۶	۱۸/۸	۶۸
۲۵۹	۵	۰/۰۵۵	۱۰	۵۹/۶	۱۷/۹	۷۰
۲۶۰	۵	۰/۰۵۵	۱۵	۵۹/۶	۱۶/۸	۷۲
۲۶۱	۵	۰/۰۵۵	۲۰	۵۹/۶	۱۶/۶	۷۲
۲۶۲	۵	۰/۰۵۵	۲۵	۵۹/۶	۱۶/۲	۷۳
۲۶۳	۵	۰/۰۵۵	۳۰	۵۹/۶	۱۶/۰	۷۳
۲۶۴	۷	۰/۰۵۵	۰/۵	۵۹/۰	۲۶/۸	۵۴
۲۶۴	۷	۰/۰۵۵	۱	۵۹/۰	۱۹/۰	۶۸
۲۶۶	۷	۰/۰۵۵	۶	۵۹/۰	۱۰/۷	۸۲
۲۶۷	۷	۰/۰۵۵	۱۰	۵۹/۰	۱۰/۷	۸۲
۲۶۸	۷	۰/۰۵۵	۲۰	۵۹/۰	۸/۹	۸۵

جدول (۱-۳)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی‌مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۲۶۹	۷	۰/۰۵۵	۳۰	۵۹/۰	۸/۲	۸۶
۲۷۰	۳	۰/۰۵۵	۰/۵	۸۲/۱	۷۵/۷	۸
۲۷۱	۳	۰/۰۵۵	۱	۸۲/۱	۷۲/۹	۱۱
۲۷۲	۳	۰/۰۵۵	۶	۸۲/۱	۶۸/۳	۱۷
۲۷۳	۳	۰/۰۵۵	۱۰	۸۲/۱	۶۸/۵	۱۶
۲۷۴	۳	۰/۰۵۵	۱۵	۸۲/۱	۶۷/۹	۱۷
۲۷۵	۳	۰/۰۵۵	۲۰	۸۲/۱	۶۶/۸	۱۹
۲۷۶	۳	۰/۰۵۵	۳۰	۸۲/۱	۶۶/۵	۱۹
۲۷۷	۴	۰/۰۵۵	۰/۵	۸۳/۴	۶۳/۳	۲۴
۲۷۸	۴	۰/۰۵۵	۱	۸۳/۴	۵۴/۴	۳۵
۲۷۹	۴	۰/۰۵۵	۶	۸۳/۴	۴۶/۰	۴۵
۲۸۰	۴	۰/۰۵۵	۱۰	۸۳/۴	۴۳/۸	۴۸
۲۸۱	۴	۰/۰۵۵	۱۵	۸۳/۴	۴۲/۱	۵۰
۲۸۲	۴	۰/۰۵۵	۲۰	۸۳/۴	۴۱/۷	۵۰
۲۸۳	۴	۰/۰۵۵	۳۰	۸۳/۴	۴۱/۰	۵۱
۲۸۴	۵	۰/۰۵۵	۰/۵	۸۲/۵	۵۰/۸	۳۸
۲۸۵	۵	۰/۰۵۵	۳	۸۲/۵	۳۵/۹	۵۶
۲۸۶	۵	۰/۰۵۵	۶	۸۲/۵	۳۵/۰	۵۸
۲۸۷	۵	۰/۰۵۵	۱۰	۸۲/۵	۳۳/۸	۵۹
۲۸۸	۵	۰/۰۵۵	۱۵	۸۲/۵	۳۲/۵	۶۰
۲۸۹	۵	۰/۰۵۵	۲۵	۸۲/۵	۳۰/۴	۶۳
۲۹۰	۵	۰/۰۵۵	۳۰	۸۲/۵	۳۰/۱	۶۳
۲۹۱	۷	۰/۰۵۵	۰/۵	۸۰/۹	۴۱/۸	۴۸
۲۹۲	۷	۰/۰۵۵	۱	۸۰/۹	۳۳/۴	۵۹
۲۹۳	۷	۰/۰۵۵	۳	۸۰/۹	۲۵/۳	۶۹
۲۹۴	۷	۰/۰۵۵	۱۰	۸۰/۹	۱۸/۳	۷۷
۲۹۵	۷	۰/۰۵۵	۱۵	۸۰/۹	۱۷/۸	۷۸
۲۹۶	۷	۰/۰۵۵	۲۰	۸۰/۹	۱۶/۳	۸۰
۲۹۷	۷	۰/۰۵۵	۲۵	۸۰/۹	۱۵/۹	۸۰
۲۹۸	۳	۰/۰۵۵	۰/۵	۱۱۹/۸	۱۰۶/۵	۱۱
۲۹۹	۳	۰/۰۵۵	۱	۱۱۹/۸	۱۰۴/۲	۱۳
۳۰۰	۳	۰/۰۵۵	۳	۱۱۹/۸	۱۰۳/۴	۱۴
۳۰۱	۳	۰/۰۵۵	۱۰	۱۱۹/۸	۱۰۱/۷	۱۵
۳۰۲	۳	۰/۰۵۵	۲۰	۱۱۹/۸	۱۰۱/۸	۱۵
۳۰۳	۳	۰/۰۵۵	۲۵	۱۱۹/۸	۱۰۱/۵	۱۵
۳۰۴	۳	۰/۰۵۵	۳۰	۱۱۹/۸	۱۰۰/۹	۱۶
۳۰۵	۴	۰/۰۵۵	۱	۱۱۵/۸	۹۰/۱	۲۲
۳۰۶	۴	۰/۰۵۵	۳	۱۱۵/۸	۸۴/۴	۲۷
۳۰۷	۴	۰/۰۵۵	۱۰	۱۱۵/۸	۸۱/۵	۳۰
۳۰۸	۴	۰/۰۵۵	۱۵	۱۱۵/۸	۸۰/۹	۳۰
۳۰۹	۴	۰/۰۵۵	۲۰	۱۱۵/۸	۸۰/۰	۳۱
۳۱۰	۴	۰/۰۵۵	۳۰	۱۱۵/۸	۷۷/۸	۳۳
۳۱۱	۵	۰/۰۵۵	۰/۵	۱۱۶/۵	۸۷/۶	۲۵
۳۱۲	۵	۰/۰۵۵	۱	۱۱۶/۵	۷۷/۴	۳۴
۳۱۳	۵	۰/۰۵۵	۳	۱۱۶/۵	۷۳/۰	۳۷

جدول (۱-۳)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی‌مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۳۱۴	۵	۰/۰۵۵	۱۰	۱۱۶/۵	۶۷/۳	۴۲
۳۱۵	۵	۰/۰۵۵	۱۵	۱۱۶/۵	۶۷/۲	۴۲
۳۱۶	۵	۰/۰۵۵	۲۵	۱۱۶/۵	۶۴/۸	۴۴
۳۱۷	۵	۰/۰۵۵	۳۰	۱۱۶/۵	۶۴/۷	۴۴
۳۱۸	۷	۰/۰۵۵	۰/۵	۱۱۴/۸	۷۱/۶	۳۸
۳۱۹	۷	۰/۰۵۵	۱	۱۱۴/۸	۶۰/۸	٤۷
۳۲۹	۷	۰/۰۵۵	۶	۱۱۴/۸	۴۷/۵	۵۹
۳۲۱	۷	۰/۰۵۵	۱۰	۱۱۴/۸	۴۴/۹	۶۱
۳۲۲	۷	۰/۰۵۵	۱۵	۱۱۴/۸	۴۱/۹	۶۳
۳۲۳	۷	۰/۰۵۵	۲۰	۱۱۴/۸	۴۰/۶	۶۵
۳۲۴	۷	۰/۰۵۵	۲۵	۱۱۴/۸	۳۹/۱	۶۶

جدول (۱-۴) مقادیر درصد حذف سری تست رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱	۳	۰/۰۳۵	۱	۴۰/۰	۳۵/۷	۱۱
۲	۳	۰/۰۳۵	۶	۴۰/۰	۳۴/۷	۱۳
۳	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۴۰/۰	۳۱/۸	۲۱
۴	۴	۰/۰۳۵	۱	۴۱/۱	۲۷/۱	۳۴
۵	۴	۰/۰۳۵	۱۵	۴۱/۱	۱۹/۹	۵۲
۶	۵	۰/۰۳۵	۰/۵	۳۹/۷	۲۹/۵	۲۶
۷	۵	۰/۰۳۵	۶	۳۹/۷	۱۶/۱	۵۹
۸	۷	۰/۰۳۵	۱	۴۰/۵	۱۸/۷	۵۴
۹	۷	۰/۰۳۵	۱۰	۴۰/۵	۶/۱	۸۵
۱۰	۳	۰/۰۳۵	۳	۶۲/۹	۵۶/۶	۱۰
۱۱	۳	۰/۰۳۵	۱۵	۶۲/۹	۵۴/۷	۱۳
۱۲	۴	۰/۰۳۵	۱	۶۰/۹	۴۸/۰	۲۱
۱۳	۴	۰/۰۳۵	۱۰	۶۰/۹	۳۹/۲	۳۵
۱۴	۴	۰/۰۳۵	۲۵	۶۰/۹	۳۷/۲	۳۹
۱۵	۵	۰/۰۳۵	۱	۶۰/۵	۳۹/۱	۳۵
۱۶	۵	۰/۰۳۵	۶	۶۰/۵	۳۱/۵	۴۸
۱۷	۵	۰/۰۳۵	۲۰	۶۰/۵	۲۹/۰	۵۲
۱۸	۷	۰/۰۳۵	۱	۶۰/۷	۳۳/۵	۴۵
۱۹	۷	۰/۰۳۵	۶	۶۰/۷	۲۲/۵	۶۳
۲۰	۳	۰/۰۳۵	۱	۸۳/۴	۷۷/۵	۷
۲۱	۳	۰/۰۳۵	۱۰	۸۳/۴	۷۵/۵	۱۰
۲۲	۴	۰/۰۳۵	۰/۵	۸۱/۶	۷۱/۰	۱۳
۲۳	۴	۰/۰۳۵	۶	۸۱/۶	۵۹/۸	۲۷
۲۴	۴	۰/۰۳۵	۲۵	۸۱/۶	۵۷/۸	۲۹
۲۵	۵	۰/۰۳۵	۰/۵	۸۲/۳	۶۲/۹	۲۴
۲۶	۵	۰/۰۳۵	۱۵	۸۲/۳	۴۷/۳	۴۳
۲۷	۷	۰/۰۳۵	۱	۸۰/۱	۵۱/۹	۳۵
۲۸	۷	۰/۰۳۵	۲۰	۸۰/۱	۳۷/۵	۵۳
۲۹	۳	۰/۰۳۵	۰/۵	۱۱۴/۴	۱۱۲/۰	۲
۳۰	۳	۰/۰۳۵	۱۰	۱۱۴/۴	۱۰۷/۸	۶
۳۱	۴	۰/۰۳۵	۱	۱۱۵/۳	۹۸/۹	۱۴
۳۲	۴	۰/۰۳۵	۱۰	۱۱۵/۳	۹۵/۰	۱۸
۳۳	۴	۰/۰۳۵	۲۵	۱۱۵/۳	۹۳/۵	۱۹
۳۴	۵	۰/۰۳۵	۱	۱۱۶/۰	۹۶/۳	۱۷
۳۵	۵	۰/۰۳۵	۶	۱۱۶/۰	۸۵/۱	۲۷
۳۶	۷	۰/۰۳۵	۱	۱۱۴/۰	۸۲/۷	۲۷

جدول (۱-۴) مقادیر درصد حذف سری تست رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۳۷	۷	۰/۰۳۵	۱۰	۱۱۴/۰	۷۱/۸	۳۷
۳۸	۳	۰/۰۴۵	۱	۴۱/۴	۳۴/۴	۱۷
۳۹	۳	۰/۰۴۵	۲۰	۴۱/۴	۳۰/۲	۲۷
۴۰	۴	۰/۰۴۵	۰/۵	۴۱/۸	۳۰/۱	۲۸
۴۱	۴	۰/۰۴۵	۶	۴۱/۸	۱۷/۳	۵۸
۴۲	۴	۰/۰۴۵	۲۵	۴۱/۸	۱۵/۳	۶۳
۴۳	۵	۰/۰۴۵	۱۰	۴۱/۲	۱۱/۲	۷۳
۴۴	۵	۰/۰۴۵	۲۵	۴۱/۲	۹/۵	۷۷
۴۵	۷	۰/۰۴۵	۱	۳۹/۴	۱۲/۸	۶۷
۴۶	۷	۰/۰۴۵	۱۰	۳۹/۴	۴/۲	۸۹
۴۷	۳	۰/۰۴۵	۰/۵	۶۲/۲	۵۷/۱	۸
۴۸	۳	۰/۰۴۵	۱۰	۶۲/۲	۵۱/۸	۱۷
۴۹	۴	۰/۰۴۵	۱	۶۳/۰	۴۵/۱	۲۸
۵۰	۴	۰/۰۴۵	۲۰	۶۳/۰	۳۵/۱	۴۴
۵۱	۵	۰/۰۴۵	۰/۵	۶۱/۵	۳۹/۸	۳۵
۵۲	۵	۰/۰۴۵	۳	۶۱/۵	۲۷/۰	۵۶
۵۳	۵	۰/۰۴۵	۲۵	۶۱/۵	۲۰/۷	۶۶
۵۴	۷	۰/۰۴۵	۱	۶۱/۳	۲۷/۴	۵۵
۵۵	۷	۰/۰۴۵	۶	۶۱/۳	۱۶/۳	۷۳
۵۶	۷	۰/۰۴۵	۱۵	۶۱/۳	۱۴/۲	۷۷
۵۷	۳	۰/۰۴۵	۰/۵	۸۳/۲	۷۸/۵	۶
۵۸	۳	۰/۰۴۵	۳	۸۳/۲	۷۲/۶	۱۳
۵۹	۳	۰/۰۴۵	۳۰	۸۳/۲	۷۰/۱	۱۶
۶۰	۴	۰/۰۴۵	۱	۸۲/۵	۵۹/۸	۲۷
۶۱	۴	۰/۰۴۵	۶	۸۲/۵	۵۰/۷	۳۹
۶۲	۵	۰/۰۴۵	۰/۵	۸۰/۹	۵۵/۹۲	۳۱
۶۳	۵	۰/۰۴۵	۶	۸۰/۹	۴۱/۶	۴۹
۶۴	۵	۰/۰۴۵	۲۰	۸۰/۹	۳۷/۵	۵۴
۶۵	۷	۰/۰۴۵	۱	۸۰/۰	۴۰/۹	۴۹
۶۶	۷	۰/۰۴۵	۱۵	۸۰/۰	۲۸/۱	۶۵
۶۷	۳	۰/۰۴۵	۰/۵	۱۱۶/۲	۱۱۰/۴	۵
۶۸	۳	۰/۰۴۵	۳	۱۱۶/۲	۱۰۷/۰	۸
۶۹	۴	۰/۰۴۵	۰/۵	۱۱۳/۰	۱۰۰/۵	۱۱
۷۰	۴	۰/۰۴۵	۱۰	۱۱۷/۱	۹۳/۷	۲۰
۷۱	۵	۰/۰۴۵	۶	۱۱۷/۱	۷۷/۶	۳۴
۷۲	۵	۰/۰۴۵	۲۰	۱۱۷/۱	۷۶/۱	۳۵
۷۳	۷	۰/۰۴۵	۰/۵	۱۱۶/۶	۸۷/۲	۲۵
۷۴	۷	۰/۰۴۵	۶	۱۱۶/۶	۵۹/۸	۴۹
۷۵	۳	۰/۰۵۵	۶	۴۲/۰	۲۸/۵	۳۲

جدول (۱-۴) مقادیر درصد حذف سری تست رنگ رودامین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۷۶	۳	۰/۰۵۵	۲۰	۴۲/۰	۲۶/۴	۳۷
۷۷	۴	۰/۰۵۵	۳	۴۰/۶	۱۶/۵	۵۹
۷۸	۴	۰/۰۵۵	۲۰	۴۰/۶	۱۱/۱	۷۳
۷۹	۵	۰/۰۵۵	۰/۵	۴۱/۷	۲۱/۴	۴۹
۸۰	۵	۰/۰۵۵	۱۵	۴۱/۷	۷/۴	۸۲
۸۱	۷	۰/۰۵۵	۶	۳۹/۴	۴/۲	۸۹
۸۲	۷	۰/۰۵۵	۱۵	۳۹/۴	۳/۱	۹۲
۸۳	۳	۰/۰۵۵	۰/۵	۶۲/۶	۵۷/۶	۸
۸۴	۳	۰/۰۵۵	۶	۶۲/۶	۵۱/۰	۱۸
۸۵	۳	۰/۰۵۵	۲۰	۶۲/۶	۴۹/۲	۲۱
۸۶	۴	۰/۰۵۵	۳	۶۰/۷	۳۲/۴	۴۷
۸۷	۴	۰/۰۵۵	۲۵	۶۰/۷	۲۶/۴	۵۷
۸۸	۵	۰/۰۵۵	۳	۵۹/۶	۲۲/۶	۶۲
۸۹	۷	۰/۰۵۵	۳	۵۹/۰	۱۷/۲	۷۱
۹۰	۷	۰/۰۵۵	۱۵	۵۹/۰	۱۰/۲	۸۳
۹۱	۷	۰/۰۵۵	۲۵	۵۹/۰	۸/۶	۸۵
۹۲	۳	۰/۰۵۵	۳	۸۲/۱	۷۰/۲	۱۴
۹۳	۳	۰/۰۵۵	۲۵	۸۲/۱	۶۶/۶	۱۹
۹۴	۴	۰/۰۵۵	۳	۸۳/۴	۵۰/۷	۳۹
۹۵	۴	۰/۰۵۵	۲۵	۸۳/۴	۴۱/۲	۵۱
۹۶	۵	۰/۰۵۵	۱	۸۲/۵	۴۳/۹	۴۷
۹۷	۵	۰/۰۵۵	۲۰	۸۲/۵	۳۱/۰	۶۲
۹۸	۷	۰/۰۵۵	۶	۸۰/۹	۲۰/۹	۷۴
۹۹	۷	۰/۰۵۵	۳۰	۸۰/۹	۱۵/۹	۸۰
۱۰۰	۳	۰/۰۵۵	۶	۱۱۹/۸	۱۰۲/۰	۱۵
۱۰۱	۳	۰/۰۵۵	۱۵	۱۱۹/۸	۱۰۱/۸	۱۵
۱۰۲	۴	۰/۰۵۵	۰/۵	۱۱۵/۸	۹۶/۸	۱۶
۱۰۳	۴	۰/۰۵۵	۶	۱۱۵/۸	۸۲/۷	۲۹
۱۰۴	۴	۰/۰۵۵	۲۵	۱۱۵/۸	۷۸/۳	۳۲
۱۰۵	۵	۰/۰۵۵	۶	۱۱۶/۵	۶۸/۵	۴۱
۱۰۶	۵	۰/۰۵۵	۲۰	۱۱۶/۵	۶۵/۸	۴۳
۱۰۷	۷	۰/۰۵۵	۳	۱۱۴/۸	۵۱/۱	۵۵
۱۰۸	۷	۰/۰۵۵	۳۰	۱۱۴/۸	۳۹/۰	۶۶

جدول (۱-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۱	۲۲	۲۳	۲۲	۳۶
۲	۳۷	۳۳	۳۸	۴۳
۳	۴۴	۴۲	۴۴	۴۹
۴	۴۶	۴۲	۴۵	۵۲
۵	۴۸	۴۳	۴۶	۵۵
۶	۵۰	۴۶	۴۷	۶۰
۷	۵۰	۵۱	۵۲	۶۰
۸	۷۸	۷۹	۷۶	۷۰
۹	۸۰	۸۲	۷۹	۷۳
۱۰	۸۱	۸۲	۸۱	۷۵
۱۱	۸۵	۸۶	۸۵	۸۰
۱۲	۸۶	۸۸	۸۶	۸۳
۱۳	۸۷	۸۸	۸۷	۸۵
۱۴	۸۲	۷۸	۷۶	۸۴
۱۵	۸۹	۹۲	۸۸	۸۷
۱۶	۹۵	۹۶	۹۵	۹۳
۱۷	۹۵	۹۶	۹۵	۹۵
۱۸	۹۶	۹۶	۹۵	۹۷
۱۹	۹۷	۹۶	۹۶	۹۹
۲۰	۹۷	۹۶	۹۶	۱۰۰
۲۱	۱۷	۲۰	۲۰	۲۳
۲۲	۲۷	۲۸	۲۸	۳۰
۲۳	۲۹	۳۰	۲۹	۳۳
۲۴	۳۳	۳۴	۳۲	۳۹
۲۵	۳۴	۳۵	۳۴	۴۱
۲۶	۳۴	۳۶	۳۴	۴۳
۲۷	۳۶	۳۷	۳۵	۴۶
۲۸	۴۰	۴۳	۴۴	۴۸
۲۹	۵۷	۵۷	۵۴	۵۷
۳۰	۷۰	۷۰	۷۱	۶۵
۳۱	۷۲	۷۲	۷۳	۶۸
۳۲	۷۴	۷۵	۷۴	۷۳
۳۳	۷۵	۷۵	۷۴	۷۶

جدول (۱-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۳۴	۷۵	۷۶	۷۴	۷۹
۳۵	۴۶	۵۱	۴۷	۶۵
۳۶	۷۹	۸۲	۷۷	۸۱
۳۷	۸۵	۸۷	۸۲	۸۵
۳۸	۸۹	۹۰	۸۸	۹۱
۳۹	۹۱	۹۱	۹۰	۹۴
۴۰	۹۱	۹۲	۹۰	۹۹
۴۱	۱۵	۱۵	۱۷	۱۲
۴۲	۲۶	۲۵	۲۵	۲۰
۴۳	۲۷	۲۸	۲۸	۲۴
۴۴	۲۹	۲۹	۲۹	۲۸
۴۵	۳۰	۳۰	۳۰	۳۳
۴۶	۳۱	۳۰	۳۰	۳۵
۴۷	۳۷	۳۶	۳۸	۳۸
۴۸	۵۸	۵۸	۵۴	۵۲
۴۹	۶۲	۶۲	۵۹	۵۹
۵۰	۶۴	۶۳	۶۱	۶۲
۵۱	۶۵	۶۴	۶۵	۶۵
۵۲	۶۶	۶۶	۶۵	۶۸
۵۳	۶۶	۶۸	۶۴	۶۹
۵۴	۴۸	۴۸	۴۵	۵۸
۵۵	۷۳	۷۳	۶۹	۷۵
۵۶	۷۹	۷۹	۷۸	۸۰
۵۷	۸۳	۸۳	۸۰	۸۷
۵۸	۸۴	۸۴	۸۳	۸۹
۵۹	۸۵	۸۴	۸۴	۹۲
۶۰	۸۶	۸۶	۸۴	۹۵
۶۱	۱۲	۱۲	۱۳	۳
۶۲	۱۴	۱۲	۱۴	۵
۶۳	۱۵	۱۴	۱۶	۹
۶۴	۱۶	۱۴	۱۶	۱۲
۶۵	۱۶	۱۸	۱۶	۱۴

جدول (۱-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۶۶	۱۷	۱۸	۱۷	۱۹
۶۷	۹۱	۸۷	۸۹	۸۸
۶۸	۹۶	۹۶	۹۳	۹۰
۶۹	۹۶	۹۸	۹۵	۹۱
۷۰	۹۶	۹۸	۹۶	۹۴
۷۱	۹۷	۹۸	۹۶	۹۸
۷۲	۹۷	۹۷	۹۷	۱۰۰
۷۳	۹۷	۹۸	۹۶	۱۰۰
۷۴	۶۴	۶۳	۶۶	۶۹
۷۵	۸۹	۸۹	۸۷	۷۵
۷۶	۹۳	۹۰	۹۲	۷۷
۷۷	۹۴	۹۳	۹۳	۸۰
۷۸	۹۴	۹۳	۹۳	۸۲
۷۹	۹۵	۹۳	۹۴	۸۶
۸۰	۹۶	۹۶	۹۴	۸۸
۸۱	۳۹	۴۳	۴۰	۵۲
۸۲	۴۶	۴۸	۴۵	۵۴
۸۳	۵۱	۵۱	۵۱	۵۷
۸۴	۵۶	۵۷	۵۵	۶۲
۸۵	۵۷	۵۸	۵۶	۶۴
۸۶	۵۹	۶۰	۵۷	۶۷
۸۷	۶۱	۶۱	۵۸	۶۹
۸۸	۲۶	۲۹	۳۱	۴۴
۸۹	۵۶	۵۶	۵۴	۵۹
۹۰	۶۲	۶۱	۵۹	۶۳
۹۱	۶۸	۶۷	۶۵	۷۰
۹۲	۷۱	۷۱	۶۷	۷۳
۹۳	۷۲	۷۰	۷۰	۷۸
۹۴	۱۱	۱۰	۱۸	۲۹
۹۵	۲۱	۲۴	۲۵	۳۳
۹۶	۳۱	۲۹	۳۲	۳۸
۹۷	۳۲	۳۱	۳۳	۴۰

جدول (۱-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	REXP	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۹۸	۳۲	۳۲	۳۳	۴۲
۹۹	۳۳	۳۳	۳۳	۴۵
۱۰۰	۳۴	۳۵	۳۴	۴۷
۱۰۱	۴۵	۴۵	۴۹	۵۳
۱۰۲	۷۲	۷۲	۷۲	۶۲
۱۰۳	۷۷	۷۶	۷۷	۶۶
۱۰۴	۸۰	۸۱	۷۹	۷۱
۱۰۵	۸۲	۸۱	۸۰	۷۳
۱۰۶	۸۳	۸۴	۸۳	۷۶
۱۰۷	۸۴	۸۴	۸۴	۷۸
۱۰۸	۱۲	۱۱	۱۵	۳
۱۰۹	۲۰	۱۹	۲۱	۱۰
۱۱۰	۲۱	۲۱	۲۲	۱۲
۱۱۱	۲۲	۲۲	۲۲	۱۵
۱۱۲	۲۲	۲۲	۲۳	۱۷
۱۱۳	۲۴	۲۳	۲۵	۲۲
۱۱۴	۲۴	۲۵	۲۶	۲۵
۱۱۵	۵۲	۵۰	۴۸	۵۵
۱۱۶	۶۳	۶۲	۵۷	۶۳
۱۱۷	۷۲	۷۰	۶۹	۷۲
۱۱۸	۷۵	۷۳	۷۴	۷۶
۱۱۹	۷۷	۷۴	۷۵	۷۹
۱۲۰	۷۹	۷۸	۷۷	۸۴
۱۲۱	۲۸	۲۶	۳۰	۲۷
۱۲۲	۳۷	۳۷	۳۹	۳۳
۱۲۳	۴۳	۴۴	۴۴	۳۸
۱۲۴	۴۷	۴۸	۴۶	۴۲
۱۲۵	۵۲	۵۱	۵۲	۴۹
۱۲۶	۵۲	۵۲	۵۲	۵۱
۱۲۷	۵۳	۵۵	۵۳	۵۶
۱۲۸	۳۸	۴۱	۴۱	۵۵
۱۲۹	۶۹	۷۱	۷۰	۷۱

جدول (۱-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۱۳۰	۷۶	۷۶	۷۶	۷۵
۱۳۱	۸۱	۸۲	۸۰	۸۲
۱۳۲	۸۲	۸۳	۸۱	۸۴
۱۳۳	۸۴	۸۴	۸۳	۸۷
۱۳۴	۸۵	۸۵	۸۳	۹۰
۱۳۵	۵۰	۵۰	۴۷	۴۶
۱۳۶	۵۶	۵۵	۵۶	۵۰
۱۳۷	۵۹	۵۹	۵۹	۵۳
۱۳۸	۶۴	۶۴	۶۳	۶۰
۱۳۹	۶۶	۶۵	۶۶	۶۳
۱۴۰	۶۶	۶۶	۶۶	۶۵
۱۴۱	۶۷	۶۷	۶۶	۶۷
۱۴۲	۱۹	۱۶	۱۸	۱۷
۱۴۳	۲۴	۲۵	۲۴	۲۱
۱۴۴	۲۶	۲۷	۲۵	۲۴
۱۴۵	۲۶	۲۸	۲۶	۲۶
۱۴۶	۳۱	۳۰	۲۹	۳۰
۱۴۷	۳۴	۳۲	۳۲	۳۶
۱۴۸	۳۴	۳۳	۳۳	۳۸
۱۴۹	۷۵	۷۳	۷۰	۷۶
۱۵۰	۸۹	۸۹	۸۸	۸۳
۱۵۱	۹۱	۹۱	۸۹	۸۵
۱۵۲	۹۳	۹۳	۹۲	۸۸
۱۵۳	۹۳	۹۳	۹۲	۹۰
۱۵۴	۹۵	۹۵	۹۴	۹۵
۱۵۵	۱۶	۱۵	۱۸	۲۹
۱۵۶	۲۶	۲۷	۲۷	۳۴
۱۵۷	۳۰	۳۲	۳۰	۳۹
۱۵۸	۳۴	۳۵	۳۴	۴۴
۱۵۹	۳۵	۳۶	۳۶	۴۷
۱۶۰	۳۷	۳۸	۳۸	۵۰
۱۶۱	۸۴	۸۱	۸۴	۸۰

جدول (۱-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۱۶۲	۹۳	۹۵	۹۳	۸۵
۱۶۳	۹۶	۹۶	۹۵	۸۷
۱۶۴	۹۶	۹۷	۹۵	۸۹
۱۶۵	۹۶	۹۷	۹۶	۹۲
۱۶۶	۹۶	۹۶	۹۶	۹۴
۱۶۷	۵۴	۵۷	۵۹	۶۲
۱۶۸	۸۴	۸۵	۸۵	۶۸
۱۶۹	۹۱	۹۲	۹۱	۷۳
۱۷۰	۹۳	۹۳	۹۲	۷۵
۱۷۱	۹۴	۹۳	۹۳	۷۸
۱۷۲	۹۴	۹۴	۹۴	۸۰
۱۷۳	۹۵	۹۵	۹۴	۸۲
۱۷۴	۳۳	۳۶	۳۴	۴۵
۱۷۵	۴۳	۴۱	۴۳	۴۸
۱۷۶	۵۰	۴۹	۵۰	۵۳
۱۷۷	۵۳	۵۰	۵۳	۵۶
۱۷۸	۵۶	۵۶	۵۶	۶۰
۱۷۹	۵۷	۵۶	۵۶	۶۲
۱۸۰	۵	۱	۹	۰
۱۸۱	۸	۸	۱۰	۰
۱۸۲	۹	۸	۱۰	۰
۱۸۳	۹	۹	۱۱	۰
۱۸۴	۱۰	۱۰	۱۲	۰
۱۸۵	۱۰	۱۰	۱۲	۲
۱۸۶	۱۰	۷	۱۳	۵
۱۸۷	۲۳	۲۰	۲۵	۲۶
۱۸۸	۳۲	۳۱	۳۲	۳۴
۱۸۹	۳۳	۳۳	۳۳	۳۷
۱۹۰	۳۷	۳۵	۳۸	۴۱
۱۹۱	۳۸	۳۷	۳۷	۴۴
۱۹۲	۳۸	۳۷	۳۹	۴۶
۱۹۳	۳۹	۴۱	۳۹	۴۹

جدول (۱-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۱۹۴	۱۵	۱۷	۱۹	۷
۱۹۵	۱۸	۱۹	۲۱	۱۱
۱۹۶	۲۱	۲۲	۲۲	۱۴
۱۹۷	۲۳	۲۵	۲۴	۱۹
۱۹۸	۲۴	۲۴	۲۵	۲۲
۱۹۹	۲۶	۲۶	۲۶	۲۵
۲۰۰	۲۶	۲۷	۲۶	۲۷
۲۰۱	۲۱	۱۸	۲۷	۳۶
۲۰۲	۳۵	۳۴	۳۵	۴۳
۲۰۳	۴۴	۴۵	۴۱	۴۸
۲۰۴	۵۲	۵۱	۴۹	۵۵
۲۰۵	۵۴	۵۳	۵۳	۵۸
۲۰۶	۵۶	۵۶	۵۵	۶۳
۲۰۷	۵۷	۵۸	۵۵	۶۶
۲۰۸	۲۶	۲۵	۲۹	۲۴
۲۰۹	۳۰	۳۲	۳۲	۲۷
۲۱۰	۳۴	۳۵	۳۶	۳۳
۲۱۱	۳۶	۳۶	۳۷	۳۵
۲۱۲	۳۷	۳۹	۳۸	۳۸
۲۱۳	۳۸	۳۹	۳۸	۴۱
۲۱۴	۳۹	۳۹	۳۸	۴۳
۲۱۵	۲۵	۲۳	۲۶	۳۴
۲۱۶	۳۵	۳۵	۳۵	۴۰
۲۱۷	۴۰	۴۳	۳۹	۴۴
۲۱۸	۴۸	۴۹	۴۷	۵۳
۲۱۹	۵۰	۵۱	۴۹	۵۶
۲۲۰	۵۳	۵۵	۵۲	۶۲
۲۲۱	۵۵	۵۷	۵۳	۶۵
۲۲۲	۱۸	۱۶	۲۲	۱۵
۲۲۳	۲۶	۲۷	۲۷	۲۱
۲۲۴	۳۶	۳۷	۳۷	۲۹
۲۲۵	۳۹	۳۸	۳۹	۳۳

جدول (۱-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	REXP	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۲۲۶	۳۹	۳۸	۳۹	۳۶
۲۲۷	۴۱	۴۱	۴۱	۴۱
۲۲۸	۴۲	۴۲	۴۲	۴۴
۲۲۹	۹	۱۰	۱۱	۰
۲۳۰	۱۰	۱۲	۱۲	۰
۲۳۱	۱۲	۱۳	۱۲	۰
۲۳۲	۱۲	۱۴	۱۳	۳
۲۳۳	۱۴	۱۵	۱۵	۸
۲۳۴	۱۴	۱۵	۱۵	۱۰
۲۳۵	۱۴	۱۵	۱۶	۱۲
۲۳۶	۲۸	۲۶	۳۱	۳۱
۲۳۷	۳۸	۴۰	۳۹	۳۶
۲۳۸	۴۶	۴۶	۴۶	۴۱
۲۳۹	۵۳	۵۰	۵۱	۴۷
۲۴۰	۵۷	۵۵	۵۵	۵۳
۲۴۱	۵۷	۵۶	۵۶	۵۶
۲۴۲	۵۸	۵۶	۵۶	۵۸
۲۴۳	۱۸	۱۷	۱۷	۱۲
۲۴۴	۲۰	۱۹	۲۱	۱۴
۲۴۵	۲۴	۲۴	۲۴	۲۰
۲۴۶	۲۴	۲۵	۲۵	۲۲
۲۴۷	۲۷	۲۵	۲۷	۲۷
۲۴۸	۲۷	۲۶	۲۷	۲۹
۲۴۹	۲۸	۲۹	۳۳	۴۹
۲۵۰	۴۳	۴۶	۴۵	۵۴
۲۵۱	۶۲	۶۱	۶۳	۶۳
۲۵۲	۶۷	۶۶	۶۵	۶۶
۲۵۳	۷۰	۶۹	۶۸	۶۹
۲۵۴	۷۰	۷۰	۶۸	۷۱
۲۵۵	۷۵	۷۲	۷۱	۷۷
۲۵۶	۲۶	۲۶	۳۱	۳۵
۲۵۷	۳۵	۳۹	۴۰	۳۸

جدول (۱-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	REXP	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۲۵۸	۴۸	۴۴	۵۲	۴۵
۲۵۹	۵۰	۵۱	۵۳	۴۷
۲۶۰	۵۳	۵۲	۵۵	۵۱
۲۶۱	۵۶	۵۳	۵۷	۵۳
۲۶۲	۵۶	۵۵	۵۷	۵۶
۲۶۳	۵۶	۵۶	۵۷	۵۸
۲۶۴	۸	۶	۱۱	۱۵
۲۶۵	۱۳	۱۲	۱۴	۱۷
۲۶۶	۱۷	۱۷	۱۸	۲۱
۲۶۷	۱۹	۱۹	۲۰	۲۴
۲۶۸	۲۱	۲۱	۲۱	۲۹
۲۶۹	۲۲	۲۲	۲۳	۳۳
۲۷۰	۳۹	۳۷	۴۳	۵۸
۲۷۱	۵۸	۶۰	۵۷	۶۵
۲۷۲	۷۷	۷۷	۷۴	۷۳
۲۷۳	۸۲	۸۱	۷۹	۷۷
۲۷۴	۸۳	۸۲	۸۰	۷۹
۲۷۵	۸۴	۸۵	۸۳	۸۱
۲۷۶	۸۶	۸۶	۸۵	۸۶
۲۷۷	۳۸	۳۷	۴۱	۴۴
۲۷۸	۵۳	۵۲	۵۴	۴۹
۲۷۹	۶۵	۶۵	۶۶	۵۶
۲۸۰	۶۹	۶۷	۶۸	۵۹
۲۸۱	۷۰	۷۰	۷۰	۶۱
۲۸۲	۷۲	۷۳	۷۱	۶۴
۲۸۳	۷۵	۷۵	۷۳	۶۹
۲۸۴	۹	۱۲	۱۴	۲۲
۲۸۵	۲۰	۲۲	۲۲	۲۷
۲۸۶	۲۵	۲۲	۲۴	۳۰
۲۸۷	۲۵	۲۴	۲۶	۳۲
۲۸۸	۲۶	۲۷	۲۷	۳۵
۲۸۹	۲۸	۳۰	۳۰	۳۹

جدول (۱-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	REXP	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۲۹۰	۳۱	۳۱	۳۲	۴۲
۲۹۱	۵۰	۵۳	۵۶	۶۹
۲۹۲	۷۵	۷۴	۷۷	۷۳
۲۹۳	۸۷	۸۷	۸۵	۷۶
۲۹۴	۹۳	۹۱	۹۲	۸۱
۲۹۵	۹۴	۹۴	۹۴	۸۳
۲۹۶	۹۵	۹۵	۹۴	۸۵
۲۹۷	۹۵	۹۵	۹۴	۸۷
۲۹۸	۵۶	۵۲	۵۶	۵۶
۲۹۹	۶۹	۶۶	۷۲	۵۹
۳۰۰	۷۸	۷۹	۷۹	۶۱
۳۰۱	۸۶	۸۵	۸۶	۶۶
۳۰۲	۸۹	۸۸	۸۹	۷۱
۳۰۳	۸۹	۹۰	۸۹	۷۳
۳۰۴	۹۰	۹۱	۸۹	۷۵
۳۰۵	۲۳	۲۸	۲۷	۳۷
۳۰۶	۳۲	۳۲	۳۱	۴۰
۳۰۷	۳۸	۳۸	۳۷	۴۵
۳۰۸	۴۲	۴۱	۴۱	۴۷
۳۰۹	۴۲	۴۳	۴۲	۴۹
۳۱۰	۴۹	۴۷	۴۸	۵۵
۳۱۱	۳۹	۴۲	۴۷	۶۱
۳۱۲	۶۱	۶۰	۶۱	۶۵
۳۱۳	۷۱	۷۲	۷۳	۶۷
۳۱۴	۷۹	۷۹	۸۰	۷۳
۳۱۵	۸۳	۸۱	۸۱	۷۵
۳۱۶	۸۴	۸۴	۸۲	۸۰
۳۱۷	۸۵	۸۶	۸۱	۸۲
۳۱۸	۳۵	۳۴	۴۱	۴۷
۳۱۹	۴۷	۴۸	۵۲	۴۹
۳۲۰	۵۶	۵۸	۶۰	۵۳
۳۲۱	۵۸	۵۹	۶۰	۵۶
۳۲۲	۶۱	۶۲	۶۲	۵۸
۳۲۳	۶۳	۶۳	۶۵	۶۱
۳۲۴	۶۵	۶۷	۶۶	۶۳

جدول (۱-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۱	۳۴	۳۳	۳۲	۴۱
۲	۴۱	۳۹	۴۱	۴۶
۳	۴۹	۴۷	۴۷	۵۷
۴	۷۰	۶۸	۶۵	۶۶
۵	۸۵	۸۴	۸۵	۷۸
۶	۵۹	۵۷	۵۹	۷۶
۷	۹۴	۹۴	۹۱	۹۰
۸	۲۳	۲۵	۲۳	۲۷
۹	۳۰	۳۱	۳۰	۳۵
۱۰	۶۸	۶۷	۶۷	۶۲
۱۱	۷۳	۷۳	۷۴	۷۱
۱۲	۶۹	۶۹	۶۴	۷۶
۱۳	۸۸	۸۸	۸۴	۸۹
۱۴	۹۰	۹۱	۸۹	۹۶
۱۵	۲۲	۲۲	۲۱	۱۶
۱۶	۲۶	۲۶	۲۷	۲۲
۱۷	۳۰	۲۹	۳۰	۳۰
۱۸	۵۰	۵۰	۴۷	۴۷
۱۹	۶۱	۶۰	۵۵	۵۶
۲۰	۶۴	۶۲	۵۴	۶۸
۲۱	۸۲	۸۲	۷۹	۸۴
۲۲	۸	۶	۱۳	۰
۲۳	۱۴	۱۴	۱۵	۷
۲۴	۱۷	۱۸	۱۶	۱۶
۲۵	۷۴	۶۵	۷۹	۸۴
۲۶	۹۷	۹۷	۹۶	۹۶
۲۷	۸۴	۸۱	۸۴	۷۳
۲۸	۹۵	۹۵	۹۳	۸۴
۲۹	۲۷	۳۱	۳۳	۴۹
۳۰	۵۳	۵۴	۵۲	۵۹
۳۱	۴۶	۴۵	۴۳	۵۳
۳۲	۶۵	۶۵	۶۲	۶۷

ادامه جدول (۱-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۳۳	۷۱	۷۲	۶۸	۷۶
۳۴	۱۷	۱۸	۲۲	۳۱
۳۵	۲۴	۲۵	۲۹	۳۵
۳۶	۶۴	۶۳	۶۲	۵۹
۳۷	۷۸	۷۸	۷۸	۶۸
۳۸	۱۷	۱۶	۱۷	۷
۳۹	۲۳	۲۳	۲۴	۱۹
۴۰	۳۵	۳۵	۳۵	۴۵
۴۱	۶۷	۶۶	۶۳	۶۷
۴۲	۷۸	۷۷	۷۶	۸۲
۴۳	۴۹	۴۹	۴۸	۴۵
۴۴	۵۳	۵۳	۵۲	۵۳
۴۵	۵۸	۵۸	۵۵	۶۵
۴۶	۷۹	۷۹	۷۸	۷۹
۴۷	۳۶	۳۶	۳۹	۳۹
۴۸	۶۲	۶۲	۶۱	۵۷
۴۹	۱۸	۲۲۲	۱۹	۱۷
۵۰	۳۳	۳۱	۳۱	۳۴
۵۱	۴۷	۴۸	۵۲	۶۷
۵۲	۸۳	۸۵	۸۲	۷۹
۵۳	۹۴	۹۴	۹۳	۹۳
۵۴	۲۴	۲۳	۲۳	۳۲
۵۵	۳۰	۲۹	۲۸	۳۷
۵۶	۳۲	۳۲	۳۲	۴۱
۵۷	۶۵	۶۱	۶۸	۷۷
۵۸	۹۱	۹۳	۹۱	۸۳
۵۹	۹۶	۹۷	۹۵	۹۶
۶۰	۷۷	۷۵	۸۲	۶۶
۶۱	۸۷	۸۸	۸۸	۷۰
۶۲	۲۱	۲۳	۲۸	۴۳
۶۳	۴۶	۴۶	۴۶	۵۰
۶۴	۵۵	۵۳	۵۵	۵۸
۶۵	۷	۶	۱۰	۰

ادامه جدول (۱-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	REXP	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۶۶	۹	۱۰	۱۱	۰
۶۷	۱۴	۱۶	۲۱	۲۰
۶۸	۲۸	۲۹	۲۷	۳۰
۶۹	۹	۶	۱۸	۳
۷۰	۲۵	۲۳	۲۵	۱۸
۷۱	۴۸	۴۷	۴۱	۵۱
۷۲	۵۵	۵۴	۵۴	۶۱
۷۳	۱۶	۱۶	۲۵	۱۹
۷۴	۳۳	۳۳	۳۵	۳۰
۷۵	۴۴	۴۵	۴۰	۴۸
۷۶	۵۲	۵۳	۵۰	۵۹
۷۷	۳۳	۳۳	۳۳	۲۶
۷۸	۴۰	۳۹	۴۰	۳۸
۷۹	۶	۴	۱۰	۰
۸۰	۱۴	۱۳	۱۵	۶
۸۱	۵۰	۴۹	۴۸	۴۴
۸۲	۵۵	۵۴	۵۴	۵۱
۸۳	۱۱	۱۲	۱۵	۸
۸۴	۲۲	۲۲	۲۳	۱۶
۸۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۴
۸۶	۵۵	۵۸	۵۵	۵۹
۸۷	۷۴	۷۳	۷۰	۷۴
۸۸	۴۳	۴۴	۴۸	۴۱
۸۹	۱۴	۱۵	۱۷	۱۹
۹۰	۱۷	۲۰	۲۰	۲۶
۹۱	۲۱	۲۲	۲۲	۳۱
۹۲	۷۰	۷۲	۶۸	۷۰
۹۳	۸۵	۸۵	۸۳	۸۴
۹۴	۶۱	۶۰	۶۳	۵۳
۹۵	۷۳	۷۳	۷۲	۶۷
۹۶	۱۸	۱۸	۱۹	۲۵
۹۷	۲۸	۲۸	۲۸	۳۷
۹۸	۹۲	۹۲	۹۰	۷۸

ادامه جدول (۱-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۹۹	۹۵	۹۵	۹۴	۹۰
۱۰۰	۸۴	۸۳	۸۳	۶۴
۱۰۱	۸۸	۸۷	۸۸	۶۸
۱۰۲	۱۲	۱۵	۲۲	۳۵
۱۰۳	۳۷	۳۷	۳۴	۴۲
۱۰۴	۴۶	۴۵	۴۶	۵۲
۱۰۵	۷۷	۷۶	۷۸	۷۰
۱۰۶	۸۴	۸۲	۸۱	۷۷
۱۰۷	۵۳	۵۴	۵۹	۵۱
۱۰۸	۶۶	۶۸	۷۰	۶۵

جدول (۱-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO.	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۱	۷	۴	۱۱	۲۲
۲	۱۳	۱۷	۱۶	۲۴
۳	۱۸	۱۸	۱۸	۲۸
۴	۱۹	۱۹	۱۹	۳۰
۵	۲۰	۱۹	۱۹	۳۲
۶	۲۱	۲۱	۲۰	۳۷
۷	۳۰	۲۶	۳۴	۳۴
۸	۴۳	۴۴	۴۵	۳۸
۹	۴۸	۴۸	۴۹	۴۰
۱۰	۵۲	۵۱	۵۲	۴۳
۱۱	۵۵	۵۴	۵۵	۴۷
۱۲	۵۶	۵۵	۵۶	۴۹
۱۳	۵۶	۵۶	۵۶	۵۱
۱۴	۴۲	۴۵	۴۵	۴۶
۱۵	۵۲	۵۷	۵۶	۴۸
۱۶	۶۴	۶۴	۶۴	۵۳
۱۷	۶۳	۶۵	۶۴	۵۵
۱۸	۶۴	۶۵	۶۴	۵۷
۱۹	۶۶	۶۷	۶۷	۶۰
۲۰	۶۷	۶۸	۶۷	۶۲
۲۱	۳۴	۴۳	۴۴	۵۸
۲۲	۷۲	۷۳	۷۲	۶۷
۲۳	۷۸	۷۸	۷۸	۶۹
۲۴	۸۵	۸۳	۸۳	۷۴
۲۵	۸۵	۸۴	۸۴	۷۶
۲۶	۸۶	۸۴	۸۴	۷۸
۲۷	۸۶	۸۵	۸۴	۸۰
۲۸	۶	۳	۸	۱۳
۲۹	۸	۷	۹	۱۳
۳۰	۱۲	۱۳	۱۲	۱۷
۳۱	۱۲	۱۲	۱۲	۱۸
۳۲	۱۳	۱۳	۱۳	۲۲
۳۳	۱۳	۱۳	۱۳	۲۴
۳۴	۱۴	۱۴	۱۴	۲۶
۳۵	۱۷	۱۸	۲۲	۲۵

ادامه جدول (۱-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO.	REXP	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۳۶	۳۰	۳۳	۳۳	۳۰
۳۷	۳۵	۳۵	۳۶	۳۲
۳۸	۳۷	۳۸	۳۸	۳۶
۳۹	۳۸	۳۹	۳۹	۳۹
۴۰	۳۹	۴۱	۴۱	۴۳
۴۱	۲۴	۲۷	۲۹	۳۴
۴۲	۴۲	۴۴	۴۴	۴۱
۴۳	۵۰	۵۰	۵۱	۴۶
۴۴	۵۲	۵۲	۵۳	۴۸
۴۵	۵۳	۵۳	۵۳	۵۲
۴۶	۵۳	۵۴	۵۴	۵۴
۴۷	۳۴	۳۳	۳۶	۵۲
۴۸	۵۷	۵۸	۵۸	۶۰
۴۹	۶۶	۶۴	۶۵	۶۵
۵۰	۶۶	۶۶	۶۶	۶۷
۵۱	۶۷	۶۶	۶۷	۶۹
۵۲	۶۹	۶۸	۶۹	۷۲
۵۳	۶۹	۶۸	۶۹	۷۴
۵۴	۵	۲	۷	۴
۵۵	۸	۱۱	۹	۶
۵۶	۱۰	۱۱	۱۰	۸
۵۷	۱۰	۱۱	۱۰	۱۱
۵۸	۱۰	۱۱	۱۰	۱۳
۵۹	۱۰	۱۱	۱۱	۱۵
۶۰	۱۲	۱۱	۱۲	۱۸
۶۱	۱۸	۱۶	۲۱	۱۷
۶۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۰
۶۳	۲۷	۲۶	۲۸	۲۴
۶۴	۲۸	۲۷	۲۸	۲۷
۶۵	۲۹	۲۸	۲۹	۲۹
۶۶	۳۲	۳۲	۳۲	۳۴
۶۷	۳۳	۲۸	۳۲	۳۰
۶۸	۳۷	۳۴	۳۶	۳۲
۶۹	۴۲	۳۹	۴۲	۳۶
۷۰	۴۲	۴۰	۴۲	۳۷
۷۱	۴۳	۴۲	۴۳	۴۲

ادامه جدول (۱-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO.	REXP	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۷۲	۴۴	۴۳	۴۴	۴۴
۷۳	۴۵	۴۳	۴۵	۴۶
۷۴	۲۶	۲۷	۳۰	۴۳
۷۵	۴۵	۴۸	۴۵	۵۱
۷۶	۵۰	۵۰	۴۹	۵۴
۷۷	۵۲	۵۲	۵۱	۵۶
۷۸	۵۳	۵۴	۵۱	۵۹
۷۹	۵۶	۵۶	۵۵	۶۴
۸۰	۵۶	۵۷	۵۴	۶۶
۸۱	۴	۲	۶	۰
۸۲	۴	۷	۶	۰
۸۳	۶	۷	۷	۰
۸۴	۶	۵	۷	۰
۸۵	۶	۶	۷	۰
۸۶	۶	۶	۷	۰
۸۷	۶	۶	۸	۲
۸۸	۱۰	۹	۱۴	۰
۸۹	۱۶	۱۷	۱۸	۴
۹۰	۱۷	۱۸	۱۹	۶
۹۱	۱۹	۱۸	۱۹	۱۰
۹۲	۱۸	۱۸	۱۹	۱۲
۹۳	۱۹	۲۰	۲۱	۱۷
۹۴	۱۴	۱۸	۱۸	۱۰
۹۵	۲۳	۲۴	۲۴	۱۵
۹۶	۲۷	۲۶	۲۸	۲۰
۹۷	۲۸	۲۷	۲۹	۲۳
۹۸	۲۸	۲۸	۲۹	۲۵
۹۹	۲۹	۲۹	۳۰	۲۷
۱۰۰	۲۹	۲۹	۳۱	۲۹
۱۰۱	۱۹	۱۹	۲۲	۲۷
۱۰۲	۳۲	۳۴	۳۳	۳۵
۱۰۳	۳۷	۳۶	۳۷	۳۹
۱۰۴	۳۸	۳۹	۳۸	۴۳
۱۰۵	۳۹	۳۹	۳۹	۴۵
۱۰۶	۴۴	۴۲	۴۱	۵۰
۱۰۷	۴۰	۴۱	۴۰	۴۹

ادامه جدول (۱-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO.	REXP	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۱۰۸	۱۴	۱۱	۱۵	۲۹
۱۰۹	۲۰	۲۲	۲۱	۳۱
۱۱۰	۲۴	۲۴	۲۴	۳۳
۱۱۱	۲۵	۲۵	۲۵	۳۵
۱۱۲	۲۶	۲۷	۲۵	۳۷
۱۱۳	۲۷	۲۹	۲۶	۴۱
۱۱۴	۲۸	۲۹	۲۷	۴۳
۱۱۵	۴۲	۴۲	۴۳	۴۳
۱۱۶	۴۹	۵۲	۵۰	۴۵
۱۱۷	۶۰	۵۹	۶۰	۵۰
۱۱۸	۶۰	۶۱	۶۱	۵۲
۱۱۹	۶۳	۶۲	۶۳	۵۴
۱۲۰	۶۵	۶۵	۶۴	۵۹
۱۲۱	۴۲	۴۳	۴۷	۵۰
۱۲۲	۵۸	۵۷	۵۸	۵۴
۱۲۳	۶۱	۶۵	۶۳	۵۵
۱۲۴	۶۹	۷۰	۶۹	۵۸
۱۲۵	۷۳	۷۴	۷۳	۶۲
۱۲۶	۷۶	۷۵	۷۵	۶۴
۱۲۷	۷۷	۷۷	۷۷	۶۹
۱۲۸	۵۶	۵۲	۵۷	۶۸
۱۲۹	۸۳	۸۲	۸۲	۷۴
۱۳۰	۸۹	۸۸	۸۷	۷۶
۱۳۱	۹۰	۹۰	۸۹	۸۰
۱۳۲	۹۰	۹۱	۹۰	۸۲
۱۳۳	۹۱	۹۲	۹۰	۸۴
۱۳۴	۹۱	۹۱	۹۰	۸۶
۱۳۵	۱۱	۱۲	۱۳	۲۰
۱۳۶	۱۶	۱۵	۱۶	۲۲
۱۳۷	۱۶	۱۷	۱۶	۲۳
۱۳۸	۱۷	۱۸	۱۷	۲۷
۱۳۹	۱۸	۱۹	۱۸	۲۹
۱۴۰	۱۹	۱۹	۱۹	۳۱
۱۴۱	۱۹	۱۹	۲۰	۳۳
۱۴۲	۲۱	۲۴	۲۵	۳۰
۱۴۳	۳۷	۳۹	۳۷	۳۶

ادامه جدول (۱-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO.	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۱۴۴	۴۱	۴۲	۴۰	۳۸
۱۴۵	۴۳	۴۳	۴۲	۴۱
۱۴۶	۴۵	۴۵	۴۴	۴۳
۱۴۷	۴۵	۴۸	۴۵	۴۷
۱۴۸	۴۶	۵۰	۴۵	۴۹
۱۴۹	۴۷	۴۵	۴۶	۴۶
۱۵۰	۵۹	۵۸	۵۹	۵۲
۱۵۱	۶۲	۶۰	۶۱	۵۴
۱۵۲	۶۵	۶۲	۶۳	۵۷
۱۵۳	۶۶	۶۴	۶۵	۵۹
۱۵۴	۶۸	۶۶	۶۶	۶۳
۱۵۵	۳۸	۴۲	۴۰	۵۸
۱۵۶	۶۴	۶۵	۶۳	۶۷
۱۵۷	۷۶	۷۵	۷۴	۷۳
۱۵۸	۷۷	۷۷	۷۶	۷۷
۱۵۹	۷۸	۷۸	۷۷	۷۹
۱۶۰	۷۸	۷۹	۷۸	۸۱
۱۶۱	۱۱	۹	۱۱	۱۱
۱۶۲	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴
۱۶۳	۱۴	۱۴	۱۴	۱۵
۱۶۴	۱۵	۱۴	۱۵	۱۸
۱۶۵	۱۵	۱۴	۱۵	۲۰
۱۶۶	۱۶	۱۵	۱۵	۲۲
۱۶۷	۲۲	۱۹	۲۳	۲۳
۱۶۸	۳۳	۳۱	۳۱	۲۹
۱۶۹	۳۹	۳۶	۳۹	۳۴
۱۷۰	۳۹	۳۷	۳۹	۳۶
۱۷۱	۳۹	۳۸	۳۹	۳۸
۱۷۲	۳۹	۳۹	۳۹	۴۰
۱۷۳	۴۰	۴۰	۴۰	۴۲
۱۷۴	۳۹	۳۷	۳۸	۳۸
۱۷۵	۴۷	۴۵	۴۵	۴۲
۱۷۶	۵۲	۴۹	۵۰	۴۷
۱۷۷	۵۳	۵۱	۵۱	۴۹
۱۷۸	۵۴	۵۳	۵۲	۵۳
۱۷۹	۵۵	۵۴	۵۳	۵۶

ادامه جدول (۱-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO.	REXP	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۱۸۰	۳۷	۳۷	۳۷	۵۲
۱۸۱	۶۰	۵۸	۵۵	۶۲
۱۸۲	۶۳	۶۳	۶۱	۶۴
۱۸۳	۶۴	۶۴	۶۲	۶۶
۱۸۴	۶۷	۶۷	۶۵	۷۱
۱۸۵	۶۸	۶۹	۶۷	۷۳
۱۸۶	۶۸	۷۰	۶۷	۰
۱۸۷	۷	۶	۸	۰
۱۸۸	۸	۹	۹	۰
۱۸۹	۸	۱۰	۹	۰
۱۹۰	۸	۱۰	۹	۲
۱۹۱	۸	۹	۱۰	۳
۱۹۲	۹	۹	۱۰	۶
۱۹۳	۹	۱۱	۱۱	۸
۱۹۴	۱۶	۱۶	۱۹	۹
۱۹۵	۱۹	۲۰	۲۰	۱۱
۱۹۶	۱۹	۲۰	۲۱	۱۳
۱۹۷	۲۱	۲۲	۲۲	۱۷
۱۹۸	۲۲	۲۳	۲۳	۱۹
۱۹۹	۲۳	۲۴	۲۴	۲۲
۲۰۰	۲۳	۲۵	۲۴	۲۴
۲۰۱	۱۹	۱۹	۲۱	۱۷
۲۰۲	۲۶	۲۷	۲۷	۲۲
۲۰۳	۳۱	۳۲	۳۱	۲۵
۲۰۴	۳۵	۳۴	۳۵	۳۰
۲۰۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۲
۲۰۶	۳۵	۳۶	۳۶	۳۶
۲۰۷	۳۶	۳۸	۳۷	۳۸
۲۰۸	۳۵	۳۳	۳۶	۴۱
۲۰۹	۴۳	۴۴	۴۲	۴۶
۲۱۰	۵۲	۵۰	۵۱	۵۴
۲۱۱	۵۲	۵۱	۵۱	۵۶
۲۱۲	۵۳	۵۳	۵۲	۵۸
۲۱۳	۵۵	۵۴	۵۴	۶۱

ادامه جدول (۱-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO.	REXP	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۲۱۴	۵۵	۵۵	۵۳	۶۳
۲۱۵	۱۵	۱۷	۱۷	۳۳
۲۱۶	۲۲	۲۲	۲۱	۳۵
۲۱۷	۲۹	۲۷	۲۷	۳۷
۲۱۸	۳۴	۳۲	۳۵	۴۱
۲۱۹	۳۴	۳۳	۳۶	۴۳
۲۲۰	۳۹	۳۵	۴۰	۴۸
۲۲۱	۴۰	۳۸	۴۰	۵۰
۲۲۲	۳۸	۴۴	۴۲	۴۷
۲۲۳	۵۳	۵۲	۵۳	۵۰
۲۲۴	۶۰	۶۴	۶۱	۵۳
۲۲۵	۶۹	۶۹	۶۸	۵۷
۲۲۶	۷۲	۷۰	۷۰	۶۰
۲۲۷	۷۵	۷۴	۷۴	۶۴
۲۲۸	۷۷	۷۶	۷۵	۶۶
۲۲۹	۶۵	۶۵	۶۵	۶۰
۲۳۰	۷۳	۷۵	۷۱	۶۲
۲۳۱	۷۹	۸۰	۷۹	۶۵
۲۳۲	۸۲	۸۲	۸۱	۶۷
۲۳۳	۸۵	۸۵	۸۳	۷۱
۲۳۴	۸۶	۸۵	۸۴	۷۴
۲۳۵	۸۷	۸۵	۸۴	۷۶
۲۳۶	۵۶	۶۰	۵۹	۷۳
۲۳۷	۸۵	۷۶	۸۱	۷۹
۲۳۸	۸۶	۸۸	۸۴	۸۰
۲۳۹	۹۱	۹۳	۸۹	۸۳
۲۴۰	۹۳	۹۵	۹۲	۸۸
۲۴۱	۹۴	۹۴	۹۲	۹۰
۲۴۲	۹۴	۹۶	۹۲	۹۲
۲۴۳	۱۵	۱۵	۱۶	۲۶
۲۴۴	۱۷	۲۰	۱۷	۲۷
۲۴۵	۲۱	۲۲	۲۱	۳۱
۲۴۶	۲۱	۲۳	۲۱	۳۳
۲۴۷	۲۲	۲۵	۲۳	۳۷
۲۴۸	۲۲	۲۶	۲۳	۳۹
۲۴۹	۲۸	۳۴	۳۱	۳۷

ادامه جدول (۱-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO.	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۲۵۰	۳۸	۳۹	۳۹	۴۱
۲۵۱	۵۰	۵۲	۴۹	۴۶
۲۵۲	۵۴	۵۴	۵۴	۴۹
۲۵۳	۵۵	۵۶	۵۵	۵۱
۲۵۴	۵۶	۵۷	۵۵	۵۴
۲۵۵	۵۷	۵۹	۵۵	۵۸
۲۵۶	۳۸	۴۳	۴۰	۴۹
۲۵۷	۵۲	۵۳	۵۲	۵۳
۲۵۸	۶۸	۶۸	۶۷	۶۰
۲۵۹	۷۰	۷۰	۷۰	۶۲
۲۶۰	۷۲	۷۱	۷۱	۶۴
۲۶۱	۷۲	۷۴	۷۲	۶۶
۲۶۲	۷۳	۷۳	۷۳	۶۸
۲۶۳	۷۳	۷۴	۷۳	۷۰
۲۶۴	۵۵	۵۴	۵۲	۶۹
۲۶۴	۶۸	۶۴	۶۵	۷۳
۲۶۶	۸۲	۸۴	۸۰	۷۹
۲۶۷	۸۲	۸۴	۸۱	۸۰
۲۶۸	۸۵	۸۶	۸۳	۸۵
۲۶۹	۸۶	۸۸	۸۵	۸۹
۲۷۰	۸	۱۲	۱۱	۱۵
۲۷۱	۱۱	۱۲	۱۳	۱۶
۲۷۲	۱۷	۱۶	۱۶	۲۱
۲۷۳	۱۶	۱۷	۱۷	۲۲
۲۷۴	۱۷	۱۸	۱۸	۲۴
۲۷۵	۱۹	۱۷	۱۸	۲۷
۲۷۶	۱۹	۱۹	۱۹	۳۱
۲۷۷	۲۴	۲۶	۲۶	۲۹
۲۷۸	۳۵	۳۲	۳۲	۳۳
۲۷۹	۴۵	۴۳	۴۴	۳۹
۲۸۰	۴۸	۴۴	۴۷	۴۲
۲۸۱	۵۰	۴۷	۴۸	۴۵
۲۸۲	۵۰	۴۸	۴۹	۴۷
۲۸۳	۵۱	۵۱	۴۹	۵۱

ادامه جدول (۱-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO.	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۲۸۴	۳۸	۳۸	۳۵	۴۲
۲۸۵	۵۶	۵۵	۵۳	۵۱
۲۸۶	۵۸	۵۷	۵۶	۵۲
۲۸۷	۵۹	۵۹	۵۸	۵۴
۲۸۸	۶۰	۶۰	۵۸	۵۷
۲۸۹	۶۳	۶۳	۶۱	۶۲
۲۹۰	۶۳	۶۴	۶۱	۶۴
۲۹۱	۴۸	۴۶	۴۵	۶۱
۲۹۲	۵۹	۵۶	۵۵	۶۶
۲۹۳	۶۹	۶۸	۶۵	۷۰
۲۹۴	۷۷	۷۶	۷۵	۷۶
۲۹۵	۷۸	۷۷	۷۶	۷۹
۲۹۶	۸۰	۷۹	۷۹	۸۱
۲۹۷	۸۰	۸۰	۷۹	۸۳
۲۹۸	۱۱	۷	۱۱	۰
۲۹۹	۱۳	۱۰	۱۳	۲
۳۰۰	۱۴	۱۳	۱۴	۳
۳۰۱	۱۵	۱۳	۱۵	۷
۳۰۲	۱۵	۱۴	۱۵	۱۱
۳۰۳	۱۵	۱۵	۱۶	۱۳
۳۰۴	۱۶	۱۵	۱۶	۱۵
۳۰۵	۲۲	۲۲	۲۴	۱۷
۳۰۶	۲۷	۲۶	۲۸	۲۰
۳۰۷	۳۰	۲۹	۳۰	۲۵
۳۰۸	۳۰	۳۰	۳۰	۲۷
۳۰۹	۳۱	۳۱	۳۱	۲۹
۳۱۰	۳۳	۳۳	۳۲	۳۴
۳۱۱	۲۵	۲۸	۲۷	۲۶
۳۱۲	۳۴	۳۴	۳۴	۳۱
۳۱۳	۳۷	۳۸	۳۸	۳۴
۳۱۴	۴۲	۴۴	۴۲	۳۹
۳۱۵	۴۲	۴۴	۴۲	۴۱
۳۱۶	۴۴	۴۶	۴۳	۴۶
۳۱۷	۴۴	۴۷	۴۳	۴۸
۳۱۸	۳۸	۳۸	۳۸	۴۷
۳۱۹	۴۷	۴۶	۴۴	۵۳

ادامه جدول (۱-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با جاذب پوست گردو مغناطیس شده.

NO.	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۳۲۰	۵۹	۵۹	۵۷	۶۱
۳۲۱	۶۱	۶۱	۵۹	۶۴
۳۲۲	۶۳	۶۳	۶۱	۶۷
۳۲۳	۶۵	۶۴	۶۲	۷۰
۳۲۴	۶۶	۶۵	۶۳	۷۲

جدول (۱-۸)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۱	۱۱	۱۰	۱۳	۲۳
۲	۱۳	۱۸	۱۶	۲۶
۳	۲۱	۲۲	۲۰	۳۵
۴	۳۴	۳۳	۴۱	۳۵
۵	۵۲	۵۰	۵۳	۴۵
۶	۲۶	۳۴	۴۱	۴۲
۷	۵۹	۶۱	۶۳	۵۱
۸	۵۴	۵۲	۵۹	۶۲
۹	۸۵	۸۳	۸۲	۷۲
۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۵
۱۱	۱۳	۱۳	۱۳	۲۰
۱۲	۲۱	۲۴	۲۸	۲۶
۱۳	۳۵	۳۶	۳۸	۳۴
۱۴	۳۹	۴۰	۴۱	۴۱
۱۵	۳۵	۳۴	۳۹	۳۸
۱۶	۴۸	۴۸	۴۹	۴۴
۱۷	۵۲	۵۲	۵۳	۵۰
۱۸	۴۵	۴۲	۴۵	۵۵
۱۹	۶۳	۶۳	۶۲	۶۳
۲۰	۷	۴	۸	۵
۲۱	۱۰	۹	۱۰	۹
۲۲	۱۳	۱۳	۲۰	۱۵
۲۳	۲۷	۲۶	۲۶	۲۳
۲۴	۲۹	۳۰	۳۰	۳۱
۲۵	۲۴	۲۱	۲۷	۲۶
۲۶	۴۳	۴۰	۴۳	۳۹
۲۷	۳۵	۳۵	۳۶	۴۷
۲۸	۵۳	۵۴	۵۲	۶۱
۲۹	۲	۲	۶	۰
۳۰	۶	۷	۷	۰
۳۱	۱۴	۱۲	۱۷	۳
۳۲	۱۸	۱۷	۱۹	۸
۳۳	۱۹	۱۸	۲۱	۱۴
۳۴	۱۷	۲۰	۲۱	۱۱
۳۵	۲۷	۲۷	۲۸	۱۹

ادامه جدول (۱-۸)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۳۶	۲۷	۲۴	۲۸	۳۲
۳۷	۳۷	۳۷	۳۸	۴۰
۳۸	۱۷	۱۶	۱۸	۳۰
۳۹	۲۷	۲۸	۲۶	۳۹
۴۰	۲۸	۳۴	۳۹	۴۰
۴۱	۵۸	۵۷	۵۸	۴۸
۴۲	۶۳	۶۴	۶۳	۵۶
۴۳	۷۳	۷۳	۷۲	۶۰
۴۴	۷۷	۷۷	۷۶	۶۷
۴۵	۶۷	۶۵	۶۹	۷۰
۴۶	۸۹	۸۹	۸۸	۷۸
۴۷	۸	۷	۱۲	۱۹
۴۸	۱۷	۱۷	۱۷	۲۵
۴۹	۲۸	۳۱	۳۳	۳۳
۵۰	۴۴	۴۶	۴۴	۴۵
۵۱	۳۵	۳۶	۳۷	۴۲
۵۲	۵۶	۵۵	۵۴	۵۰
۵۳	۶۶	۶۵	۶۵	۶۱
۵۴	۵۵	۵۳	۵۳	۶۳
۵۵	۷۳	۷۴	۷۱	۷۱
۵۶	۷۷	۷۷	۷۶	۷۵
۵۷	۶	۵	۱۰	۸
۵۸	۱۳	۱۲	۱۳	۱۲
۵۹	۱۶	۱۴	۱۶	۲۴
۶۰	۲۷	۲۵	۲۷	۲۶
۶۱	۳۹	۳۵	۳۵	۳۲
۶۲	۳۱	۲۹	۳۱	۳۵
۶۳	۴۹	۴۸	۴۷	۴۳
۶۴	۵۴	۵۲	۵۱	۵۱
۶۵	۴۹	۴۷	۴۴	۵۷
۶۶	۶۵	۶۵	۶۲	۶۸
۶۷	۵	۵	۸	۰
۶۸	۸	۹	۹	۰
۶۹	۱۱	۱۳	۱۶	۶
۷۰	۲۰	۲۲	۲۲	۱۴
۷۱	۳۴	۳۳	۳۴	۲۸

ادامه جدول (۱-۸)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ رودامین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با پوست گردو مغناطیس شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)	Rpred (MLR)
۷۲	۳۵	۳۵	۳۶	۳۴
۷۳	۲۵	۲۶	۲۸	۳۶
۷۴	۴۹	۴۹	۴۶	۵۰
۷۵	۳۲	۲۹	۳۰	۳۹
۷۶	۳۷	۳۴	۴۰	۴۶
۷۷	۵۹	۶۰	۵۸	۵۲
۷۸	۷۳	۷۲	۷۰	۶۱
۷۹	۴۹	۵۳	۵۲	۵۷
۸۰	۸۲	۸۳	۸۱	۶۹
۸۱	۸۹	۹۱	۸۸	۸۲
۸۲	۹۲	۹۳	۹۰	۸۶
۸۳	۸	۱۲	۱۴	۲۳
۸۴	۱۸	۲۱	۱۸	۲۹
۸۵	۲۱	۲۴	۲۲	۳۵
۸۶	۴۷	۴۷	۴۵	۴۴
۸۷	۵۷	۵۸	۵۵	۵۶
۸۸	۶۲	۶۴	۵۸	۵۷
۸۹	۷۱	۷۵	۷۰	۷۴
۹۰	۸۳	۸۵	۸۱	۸۲
۹۱	۸۵	۸۷	۸۴	۸۷
۹۲	۱۴	۱۶	۱۶	۱۸
۹۳	۱۹	۱۹	۱۸	۲۹
۹۴	۳۹	۳۸	۳۵	۳۶
۹۵	۵۱	۴۹	۵۰	۴۹
۹۶	۴۷	۴۴	۴۴	۴۶
۹۷	۶۲	۶۲	۶۰	۵۹
۹۸	۷۴	۷۴	۶۸	۷۴
۹۹	۸۰	۷۹	۷۹	۸۵
۱۰۰	۱۵	۱۴	۱۴	۵
۱۰۱	۱۵	۱۴	۱۵	۹
۱۰۲	۱۶	۱۹	۲۱	۱۴
۱۰۳	۲۹	۲۸	۲۹	۲۲
۱۰۴	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲
۱۰۵	۴۱	۴۱	۴۱	۳۷
۱۰۶	۴۳	۴۵	۴۲	۴۴
۱۰۷	۵۵	۵۷	۵۰	۵۸
۱۰۸	۶۶	۶۵	۶۱	۷۴

جدول (۱-۹)- اطلاعات مربوط به نمودار کالیبراسیون الف- متیل‌ویولت در طول موج ۵۲۶ نانومتر ، ب- رودامین در طول موج ۵۲۶ نانومتر.

الف

غلظت متیل‌ویولت (میلی‌گرم بر لیتر)	جذب (A)
۰/۵۰	۰/۰۴۱
۱/۰۰	۰/۰۶۸
۲/۰۰	۰/۱۳۷
۴/۰۰	۰/۲۷۷
۶/۰۰	۰/۴۴۷
۸/۰۰	۰/۵۵۶
۱۰/۰۰	۰/۷۱۶
۱۲/۰۰	۰/۸۳۲
۱۴/۰۰	۰/۹۸۸

ب

غلظت رودامین (میلی‌گرم بر لیتر)	جذب (A)
۰/۵۰	۰/۰۸۳
۱/۰۰	۰/۱۸۱
۲/۰۰	۰/۳۲۹
۴/۰۰	۰/۶۵۰
۵/۰۰	۰/۸۵۹
۶/۰۰	۰/۹۷۶
۸/۰۰	۱/۳۰۲
۱۰/۰۰	۱/۵۶۲
۱۱/۰۰	۱/۶۷۴

پیوست۲

جدول (۲-۱)- اطلاعات مربوط به نمودار کالیبراسیون مشتق مرتبه اول الف- سافرانین در طول موج ۴۱۴ نانومتر ، ب- متیل‌ویولت در طول موج ۶۲۴ نانومتر.

الف

غلظت سافرانین (میلی‌گرم بر لیتر)	جذب (A)
۰/۲۰	۰/۰۰۰۲۲۴
۰/۵۰	۰/۰۰۰۲۸۴
۲/۰۰	۰/۰۰۰۷۰۹
۴/۰۰	۰/۰۰۱۲۵
۶/۰۰	۰/۰۰۱۷۸
۸/۰۰	۰/۰۰۲۴۸
۱۰/۰۰	۰/۰۰۳۱۲

ب

غلظت متیل‌ویولت (میلی‌گرم بر لیتر)	جذب (A)
۰/۲۰	-۰/۰۰۰۷
۰/۵۰	-۰/۰۰۱۳۹
۲/۰۰	-۰/۰۰۴۷
۴/۰۰	-۰/۰۰۸۸
۶/۰۰	-۰/۰۱۳۱
۸/۰۰	-۰/۰۱۶۶
۱۰/۰۰	-۰/۰۲۲۹

جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱	۳	۰/۰۱۵	۱	۴۷/۹	۴۱/۶	۱۳
۲	۳	۰/۰۱۵	۵	۴۷/۹	۳۷/۰	۲۳
۳	۳	۰/۰۱۵	۱۱	۴۷/۹	۳۴/۰	۲۹
۴	۳	۰/۰۱۵	۱۴	۴۷/۹	۳۳/۵	۳۰
۵	۳	۰/۰۱۵	۱۷	۴۷/۹	۳۳/۵	۳۰
۶	۳	۰/۰۱۵	۲۱	۴۷/۹	۳۳/۱	۳۱
۷	۳	۰/۰۱۵	۲۵	۴۷/۹	۳۲/۸	۳۲
۸	۳	۰/۰۱۵	۱	۹۵/۵	۸۶/۹	۹
۹	۳	۰/۰۱۵	۵	۹۵/۵	۸۲/۷	۱۳
۱۰	۳	۰/۰۱۵	۸	۹۵/۵	۸۱/۳	۱۵
۱۱	۳	۰/۰۱۵	۱۱	۹۵/۴۹	۷۸/۶	۱۸
۱۲	۳	۰/۰۱۵	۱۷	۹۵/۴۹	۷۶/۴	۲۰
۱۳	۳	۰/۰۱۵	۲۱	۹۵/۴۹	۷۴/۹	۲۱
۱۴	۳	۰/۰۱۵	۲۵	۹۵/۴۹	۷۳/۳	۲۳
۱۵	۳	۰/۰۱۵	۳	۱۲۷/۷۳	۱۱۶/۲	۹
۱۶	۳	۰/۰۱۵	۵	۱۲۷/۷۳	۱۱۴/۶	۱۰
۱۷	۳	۰/۰۱۵	۱۱	۱۲۷/۷۳	۱۱۱/۸	۱۲
۱۸	۳	۰/۰۱۵	۱۴	۱۲۷/۷۳	۱۱۳/۲	۱۱
۱۹	۳	۰/۰۱۵	۱۷	۱۲۷/۷۳	۱۱۲/۱	۱۲

ادامه جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۲۰	۳	۰/۰۱۵	۲۱	۱۲۷/۷	۱۱۱/۷	۱۳
۲۱	۳	۰/۰۱۵	۲۵	۱۲۷/۷	۱۱۰/۶	۱۳
۲۲	۵	۰/۰۱۵	۱	۵۱/۰	۴۲/۶	۱۶
۲۳	۵	۰/۰۱۵	۵	۵۱/۰	۳۴/۳	۳۳
۲۴	۵	۰/۰۱۵	۸	۵۱/۰	۳۱/۵	۳۸
۲۵	۵	۰/۰۱۵	۱۴	۵۱/۰	۲۸/۳	۴۴
۲۶	۵	۰/۰۱۵	۱۷	۵۱/۰	۲۷/۶	۴۶
۲۷	۵	۰/۰۱۵	۲۱	۵۱/۰	۲۶/۳	۴۸
۲۸	۵	۰/۰۱۵	۲۵	۵۱/۰	۲۶/۳	۴۸
۲۹	۵	۰/۰۱۵	۱	۹۵/۱	۸۵/۰	۱۱
۳۰	۵	۰/۰۱۵	۳	۹۵/۱	۸۰/۳	۱۵
۳۱	۵	۰/۰۱۵	۸	۹۵/۱	۷۵/۴	۲۱
۳۲	۵	۰/۰۱۵	۱۱	۹۵/۱	۷۳/۲	۲۳
۳۳	۵	۰/۰۱۵	۱۷	۹۵/۱	۷۱/۹	۲۴
۳۴	۵	۰/۰۱۵	۲۱	۹۵/۱	۷۱/۰	۲۵
۳۵	۵	۰/۰۱۵	۲۵	۹۵/۱	۶۷/۹	۲۹
۳۶	۵	۰/۰۱۵	۱	۱۲۷/۲	۱۱۶/۵	۸
۳۷	۵	۰/۰۱۵	۵	۱۲۷/۲	۱۰۷/۹	۱۵
۳۸	۵	۰/۰۱۵	۸	۱۲۷/۲	۱۰۵/۹	۱۷
۳۹	۵	۰/۰۱۵	۱۴	۱۲۷/۲	۱۰۴/۲	۱۸
۴۰	۵	۰/۰۱۵	۱۷	۱۲۷/۲	۱۰۴/۰	۱۸
۴۱	۵	۰/۰۱۵	۲۵	۱۲۷/۲	۱۰۲/۳	۲۰

ادامه جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۴۲	۷	۰/۰۱۵	۱	۴۸/۰	۴۰/۰	۱۶
۴۳	۷	۰/۰۱۵	۵	۴۸/۰	۲۶/۳	۴۵
۴۴	۷	۰/۰۱۵	۱۱	۴۸/۰	۱۸/۴	۶۲
۴۵	۷	۰/۰۱۵	۱۴	۴۸/۰	۱۷/۱	۶۴
۴۶	۷	۰/۰۱۵	۲۱	۴۸/۰	۱۴/۲	۷۰
۴۷	۷	۰/۰۱۵	۲۵	۴۸/۰۰	۱۳/۳	۷۲
۴۸	۷	۰/۰۱۵	۱	۹۳/۶	۸۱/۲	۱۳
۴۹	۷	۰/۰۱۵	۵	۹۳/۶	۶۹/۶	۲۶
۵۰	۷	۰/۰۱۵	۱۱	۹۳/۶	۶۲/۶	۳۳
۵۱	۷	۰/۰۱۵	۱۴	۹۳/۶	۶۰/۵	۳۵
۵۲	۷	۰/۰۱۵	۱۷	۹۳/۶	۵۸/۲	۳۸
۵۳	۷	۰/۰۱۵	۲۱	۹۳/۶	۵۷/۲	۳۹
۵۴	۷	۰/۰۱۵	۲۵	۹۳/۶	۵۵/۹	۴۰
۵۵	۷	۰/۰۱۵	۱	۱۲۴/۵	۱۰۹/۶	۱۲
۵۶	۷	۰/۰۱۵	۵	۱۲۴/۵	۱۰۰/۸	۱۹
۵۷	۷	۰/۰۱۵	۸	۱۲۴/۵	۹۸/۵	۲۱
۵۸	۷	۰/۰۱۵	۱۴	۱۲۴/۵	۹۳/۶	۲۵
۵۹	۷	۰/۰۱۵	۱۷	۱۲۴/۵	۹۲/۰	۲۶
۶۰	۷	۰/۰۱۵	۲۱	۱۲۴/۵	۹۰/۱	۲۸
۶۱	۷	۰/۰۱۵	۲۵	۱۲۴/۵	۸۹/۵	۲۸
۶۲	۳	۰/۰۲۵	۳	۴۹/۱	۳۳/۵	۳۲

ادامه جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۶۳	۳	۰/۰۲۵	۵	۴۹/۱	۲۹/۷	۴۰
۶۴	۳	۰/۰۲۵	۱۱	۴۹/۱	۲۵/۳	۴۸
۶۵	۳	۰/۰۲۵	۱۴	۴۹/۱	۲۵	۴۹
۶۶	۳	۰/۰۲۵	۱۷	۴۹/۱	۲۴/۲	۵۱
۶۷	۳	۰/۰۲۵	۲۵	۴۹/۱	۲۳/۱	۵۳
۶۸	۳	۰/۰۲۵	۳	۸۴/۶	۶۷/۶	۲۰
۶۹	۳	۰/۰۲۵	۵	۸۴/۶	۶۳/۴	۲۵
۷۰	۳	۰/۰۲۵	۸	۸۴/۶	۶۰/۳	۲۹
۷۱	۳	۰/۰۲۵	۱۱	۸۴/۶	۶۰/۲	۲۹
۷۲	۳	۰/۰۲۵	۱۷	۸۴/۶	۵۸/۷	۳۱
۷۳	۳	۰/۰۲۵	۲۱	۸۴/۶	۵۷/۳	۳۲
۷۴	۳	۰/۰۲۵	۲۵	۸۴/۶	۵۵/۶	۳۴
۷۵	۳	۰/۰۲۵	۱	۱۲۷/۵	۱۱۳/۶	۱۱
۷۶	۳	۰/۰۲۵	۵	۱۲۷/۵	۱۰۰/۷	۲۱
۷۷	۳	۰/۰۲۵	۸	۱۲۷/۵	۱۰۲/۵	۲۰
۷۸	۳	۰/۰۲۵	۱۱	۱۲۷/۵	۹۸/۷	۲۳
۷۹	۳	۰/۰۲۵	۱۴	۱۲۷/۵	۹۸/۱	۲۳
۸۰	۳	۰/۰۲۵	۲۱	۱۲۷/۵	۹۶/۳	۲۴
۸۱	۳	۰/۰۲۵	۲۵	۱۲۷/۵	۹۵/۳	۲۵
۸۲	۵	۰/۰۲۵	۳	۴۹/۵	۲۷/۷	۴۴
۸۳	۵	۰/۰۲۵	۵	۴۹/۵	۲۱/۷	۵۶

ادامه جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۸۴	۵	۰/۰۲۵	۸	۴۹/۵	۱۶/۷	۶۶
۸۵	۵	۰/۰۲۵	۱۴	۴۹/۵	۱۰/۸	۷۸
۸۶	۵	۰/۰۲۵	۱۷	۴۹/۵	۸/۸	۸۲
۸۷	۵	۰/۰۲۵	۲۱	۴۹/۵	۸/۸	۸۲
۸۸	۵	۰/۰۲۵	۲۵	۴۹/۵	۷/۶	۸۵
۸۹	۵	۰/۰۲۵	۱	۹۱/۷	۷۴/۱	۱۹
۹۰	۵	۰/۰۲۵	۵	۹۱/۷	۶۰/۵	۳۴
۹۱	۵	۰/۰۲۵	۸	۹۱/۷	۵۵/۰	۴۰
۹۲	۵	۰/۰۲۵	۱۴	۹۱/۷	۴۹/۸	۴۶
۹۳	۵	۰/۰۲۵	۱۷	۹۱/۷	۴۷/۵	۴۸
۹۴	۵	۰/۰۲۵	۲۵	۹۱/۷	۴۴/۵	۵۱
۹۵	۵	۰/۰۲۵	۱	۱۲۴/۸	۱۰۸/۴	۱۳
۹۶	۵	۰/۰۲۵	۵	۱۲۴/۸	۹۳/۷	۲۵
۹۷	۵	۰/۰۲۵	۱۱	۱۲۴/۸	۸۵/۳	۳۱
۹۸	۵	۰/۰۲۵	۱۴	۱۲۴/۸	۸۳/۱	۳۳
۹۹	۵	۰/۰۲۵	۱۷	۱۲۴/۸	۸۱/۸	۳۴
۱۰۰	۵	۰/۰۲۵	۲۱	۱۲۴/۸	۸۱/۱	۳۵
۱۰۱	۵	۰/۰۲۵	۲۵	۱۲۴/۸	۸۰/۶	۳۵
۱۰۲	۷	۰/۰۲۵	۱	۴۹/۲	۳۶/۷	۲۵
۱۰۳	۷	۰/۰۲۵	۵	۴۹/۲	۱۷/۸	۶۴
۱۰۴	۷	۰/۰۲۵	۸	۴۹/۲	۱۲/۸	۷۵
۱۰۵	۷	۰/۰۲۵	۱۴	۴۹/۲	۶/۲	۸۷

ادامه جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱۰۶	۷	۰/۰۲۵	۱۷	۴۹/۲	۵/۰	۹۰
۱۰۷	۷	۰/۰۲۵	۲۱	۴۹/۲	۴/۳	۹۱
۱۰۸	۷	۰/۰۲۵	۲۵	۴۹/۲	۳/۴	۹۳
۱۰۹	۷	۰/۰۲۵	۱	۹۰/۸	۷۴/۳	۱۸
۱۱۰	۷	۰/۰۲۵	۵	۹۰/۸	۵۴/۰	۴۱
۱۱۱	۷	۰/۰۲۵	۸	۹۰/۸	۴۸/۰	۴۷
۱۱۲	۷	۰/۰۲۵	۱۱	۹۰/۸	۴۳/۰	۵۳
۱۱۳	۷	۰/۰۲۵	۱۴	۹۰/۸	۳۸/۷	۵۷
۱۱۴	۷	۰/۰۲۵	۲۱	۹۰/۸	۳۴/۴	۶۲
۱۱۵	۷	۰/۰۲۵	۲۵	۹۰/۸	۳۲/۲	۶۵
۱۱۶	۷	۰/۰۲۵	۳	۱۲۶/۵	۹۰/۶	۲۸
۱۱۷	۷	۰/۰۲۵	۵	۱۲۶/۵	۸۲/۱	۳۵
۱۱۸	۷	۰/۰۲۵	۱۱	۱۲۶/۵	۷۰/۸	۴۴
۱۱۹	۷	۰/۰۲۵	۱۴	۱۲۶/۵	۶۷/۶	۴۷
۱۲۰	۷	۰/۰۲۵	۱۷	۱۲۶/۵	۶۳/۸	۴۹
۱۲۱	۷	۰/۰۲۵	۲۵	۱۲۶/۵	۶۱/۸	۵۱
۱۲۲	۳	۰/۰۳۵	۱	۴۵/۲	۳۴/۶	۲۳
۱۲۳	۳	۰/۰۳۵	۳	۴۵/۲	۲۵/۲	۴۴
۱۲۴	۳	۰/۰۳۵	۵	۴۵/۲	۲۰/۲	۵۵
۱۲۵	۳	۰/۰۳۵	۸	۴۵/۲	۱۷/۰	۶۲
۱۲۶	۳	۰/۰۳۵	۱۴	۴۵/۲	۱۳/۹	۶۹
۱۲۷	۳	۰/۰۳۵	۱۷	۴۵/۲	۱۲/۸	۷۲

ادامه جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱۲۸	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۴۵/۲	۱۳/۰	۷۱
۱۲۹	۳	۰/۰۳۵	۱	۹۳/۰	۷۵/۶	۱۹
۱۳۰	۳	۰/۰۳۵	۵	۹۳/۰	۶۱/۷	۳۴
۱۳۱	۳	۰/۰۳۵	۸	۹۳/۰	۵۶/۲	۴۰
۱۳۲	۳	۰/۰۳۵	۱۴	۹۳/۰	۵۰/۸	۴۵
۱۳۳	۳	۰/۰۳۵	۱۷	۹۳/۰	۵۰/۳	۴۶
۱۳۴	۳	۰/۰۳۵	۲۱	۹۳/۰	۴۸/۵	۴۸
۱۳۵	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۹۳/۰	۴۸/۴	۴۸
۱۳۶	۳	۰/۰۳۵	۳	۱۲۳/۵	۹۵/۹	۲۲
۱۳۷	۳	۰/۰۳۵	۵	۱۲۳/۵	۸۹/۷	۲۷
۱۳۸	۳	۰/۰۳۵	۸	۱۲۳/۵	۸۷/۷	۲۹
۱۳۹	۳	۰/۰۳۵	۱۴	۱۲۳/۵	۸۴/۱	۳۲
۱۴۰	۳	۰/۰۳۵	۱۷	۱۲۳/۵	۸۱/۷	۳۴
۱۴۱	۳	۰/۰۳۵	۲۱	۱۲۳/۵	۸۲/۳	۳۳
۱۴۲	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۱۲۳/۵	۸۰/۶	۳۵
۱۴۳	۵	۰/۰۳۵	۱	۴۹/۲	۳۵/۲	۲۸
۱۴۴	۵	۰/۰۳۵	۵	۴۹/۲	۱۲/۹	۷۴
۱۴۵	۵	۰/۰۳۵	۸	۴۹/۲	۷/۶	۸۴
۱۴۶	۵	۰/۰۳۵	۱۱	۴۹/۲	۴/۷	۹۰
۱۴۷	۵	۰/۰۳۵	۱۴	۴۹/۲	۳/۲	۹۳
۱۴۸	۵	۰/۰۳۵	۲۱	۴۹/۲	۲/۰	۹۶
۱۴۹	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۴۹/۲	۱/۷	۹۶

ادامه جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱۵۰	۵	۰/۰۳۵	۳	۹۵/۶	۵۸/۴	۳۹
۱۵۱	۵	۰/۰۳۵	۸	۹۵/۶	۴۱/۶	۵۶
۱۵۲	۵	۰/۰۳۵	۱۱	۹۵/۶	۳۵/۰	۶۳
۱۵۳	۵	۰/۰۳۵	۱۴	۹۵/۶	۳۴/۶	۶۴
۱۵۴	۵	۰/۰۳۵	۱۷	۹۵/۶	۲۸/۹	۷۰
۱۵۵	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۹۵/۶	۲۴/۸	۷۴
۱۵۶	۵	۰/۰۳۵	۱	۱۲۷/۲	۱۰۰/۷	۲۱
۱۵۷	۵	۰/۰۳۵	۵	۱۲۷/۲	۷۸/۶	۳۸
۱۵۸	۵	۰/۰۳۵	۱۱	۱۲۷/۲	۶۶/۸	۴۷
۱۵۹	۵	۰/۰۳۵	۱۷	۱۲۷/۲	۶۲/۵	۵۱
۱۶۰	۵	۰/۰۳۵	۲۱	۱۲۷/۲	۶۰/۷	۵۲
۱۶۱	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۱۲۷/۲	۵۸/۷	۵۴
۱۶۲	۷	۰/۰۳۵	۳	۴۷/۷	۱۷/۹	۶۲
۱۶۳	۷	۰/۰۳۵	۸	۴۷/۷	۵/۰	۹۰
۱۶۴	۷	۰/۰۳۵	۱۱	۴۷/۷	۲/۹	۹۴
۱۶۵	۷	۰/۰۳۵	۱۴	۴۷/۷	۲/۰	۹۶
۱۶۶	۷	۰/۰۳۵	۱۷	۴۷/۷	۱/۹	۹۶
۱۶۷	۷	۰/۰۳۵	۲۱	۴۷/۷	۱/۸	۹۶
۱۶۸	۷	۰/۰۳۵	۱	۸۶/۳	۶۲/۰	۲۸
۱۶۹	۷	۰/۰۳۵	۵	۸۶/۳	۴۱/۹	۵۱
۱۷۰	۷	۰/۰۳۵	۱۱	۸۶/۳	۲۷/۱	۶۹
۱۷۱	۷	۰/۰۳۵	۱۴	۸۶/۳	۲۳/۵	۷۳

ادامه جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

R_{EXP}	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (گرم)	pH	NO
۷۷	۱۹/۸	۸۶/۳	۱۷	۰/۰۳۵	۷	۱۷۲
۷۹	۱۸/۰	۸۶/۳	۲۱	۰/۰۳۵	۷	۱۷۳
۸۱	۱۶/۲	۸۶/۳	۲۵	۰/۰۳۵	۷	۱۷۴
۲۱	۱۰۴/۵	۱۳۲/۸	۱	۰/۰۳۵	۷	۱۷۵
۳۸	۸۱/۹	۱۳۲/۸	۵	۰/۰۳۵	۷	۱۷۶
۴۹	۶۷/۵	۱۳۲/۸	۱۱	۰/۰۳۵	۷	۱۷۷
۵۲	۶۳/۹	۱۳۲/۸	۱۴	۰/۰۳۵	۷	۱۷۸
۵۷	۵۷/۳	۱۳۲/۸	۲۱	۰/۰۳۵	۷	۱۷۹
۵۸	۵۵/۸	۱۳۲/۸	۲۵	۰/۰۳۵	۷	۱۸۰
۳۰	۱۳/۰	۱۸/۷	۳	۰/۰۱۵	۳	۱۸۱
۳۸	۱۱/۵	۱۸/۷	۵	۰/۰۱۵	۳	۱۸۲
۴۲	۱۰/۹	۱۸/۷	۸	۰/۰۱۵	۳	۱۸۳
۴۴	۱۰/۵	۱۸/۷	۱۱	۰/۰۱۵	۳	۱۸۴
۴۶	۱۰/۱	۱۸/۷	۱۷	۰/۰۱۵	۳	۱۸۵
۴۸	۹/۷	۱۸/۷	۲۱	۰/۰۱۵	۳	۱۸۶
۵۱	۹/۱	۱۸/۷	۲۵	۰/۰۱۵	۳	۱۸۷
۴۰	۱۱/۸	۱۹/۶	۳	۰/۰۱۵	۵	۱۸۸
۶۳	۷/۲	۱۹/۶	۸	۰/۰۱۵	۵	۱۸۹
۷۱	۵/۸	۱۹/۶	۱۱	۰/۰۱۵	۵	۱۹۰
۷۴	۵/۷	۱۹/۶	۱۴	۰/۰۱۵	۵	۱۹۱
۷۸	۴/۳	۱۹/۶	۱۷	۰/۰۱۵	۵	۱۹۲
۷۹	۴/۱	۱۹/۶	۲۱	۰/۰۱۵	۵	۱۹۳

ادامه جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

R_{EXP}	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (گرم)	pH	NO
۸۰	۳/۹	۱۹/۶	۲۵	۰/۰۱۵	۵	۱۹۴
۴۸	۱۰/۵	۲۰/۳	۳	۰/۰۱۵	۷	۱۹۵
۶۰	۸/۱	۲۰/۳	۵	۰/۰۱۵	۷	۱۹۶
۷۳	۵/۵	۲۰/۳	۸	۰/۰۱۵	۷	۱۹۷
۸۴	۳/۲	۲۰/۳	۱۴	۰/۰۱۵	۷	۱۹۸
۸۹	۲/۳	۲۰/۳	۱۷	۰/۰۱۵	۷	۱۹۹
۸۹	۲/۳	۲۰/۳	۲۱	۰/۰۱۵	۷	۲۰۰
۹۲	۱/۶	۲۰/۳	۲۵	۰/۰۱۵	۷	۲۰۱
۳۱	۱۳/۲	۱۹/۰	۱	۰/۰۲۵	۳	۲۰۲
۵۳	۸/۹	۱۹/۰	۳	۰/۰۲۵	۳	۲۰۳
۶۶	۶/۵	۱۹/۰	۵	۰/۰۲۵	۳	۲۰۴
۸۰	۳/۸	۱۹/۰	۱۱	۰/۰۲۵	۳	۲۰۵
۸۲	۳/۴	۱۹/۰	۱۴	۰/۰۲۵	۳	۲۰۶
۸۴	۳/۰	۱۹/۰	۲۱	۰/۰۲۵	۳	۲۰۷
۸۷	۲/۴	۱۹/۰	۲۵	۰/۰۲۵	۳	۲۰۸
۷۰	۵/۹	۱۹/۶	۳	۰/۰۲۵	۷	۲۰۹
۷۸	۴/۳	۱۹/۶	۵	۰/۰۲۵	۷	۲۱۰
۹۱	۱/۸	۱۹/۶	۱۱	۰/۰۲۵	۷	۲۱۱
۹۳	۱/۵	۱۹/۶	۱۴	۰/۰۲۵	۷	۲۱۲
۹۳	۱/۴	۱۹/۶	۱۷	۰/۰۲۵	۷	۲۱۳
۹۴	۱/۲	۱۹/۶	۲۱	۰/۰۲۵	۷	۲۱۴
۹۴	۱/۱	۱۹/۶	۲۵	۰/۰۲۵	۷	۲۱۵

ادامه جدول (۲-۲)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

R_{EXP}	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (گرم)	pH	NO
۶۰	۷/۱	۱۸/۰	۳	۰/۰۲۵	۵	۲۱۶
۸۱	۳/۳	۱۸/۰	۵	۰/۰۲۵	۵	۲۱۷
۸۶	۲/۴	۱۸/۰	۱۱	۰/۰۲۵	۵	۲۱۸
۸۷	۲/۳	۱۸/۰	۱۴	۰/۰۲۵	۵	۲۱۹
۹۰	۱/۹	۱۸/۰	۲۱	۰/۰۲۵	۵	۲۲۰
۹۲	۱/۴	۱۸/۰	۲۵	۰/۰۲۵	۵	۲۲۱
۴۸	۹/۱	۱۷/۵	۱	۰/۰۳۵	۳	۲۲۲
۷۷	۴/۰	۱۷/۵	۳	۰/۰۳۵	۳	۲۲۳
۸۸	۲/۱	۱۷/۵	۸	۰/۰۳۵	۳	۲۲۴
۸۹	۱/۹	۱۷/۵	۱۱	۰/۰۳۵	۳	۲۲۵
۹۱	۱/۶	۱۷/۵	۱۴	۰/۰۳۵	۳	۲۲۶
۹۱	۱/۶	۱۷/۵	۲۱	۰/۰۳۵	۳	۲۲۷
۹۱	۱/۶	۱۷/۵	۲۵	۰/۰۳۵	۳	۲۲۸
۷۸	۴/۰	۱۸/۰	۳	۰/۰۳۵	۵	۲۲۹
۸۸	۲/۲	۱۸/۰	۵	۰/۰۳۵	۵	۲۳۰
۹۲	۱/۴	۱۸/۰	۸	۰/۰۳۵	۵	۲۳۱
۹۲	۱/۴	۱۸/۰	۱۱	۰/۰۳۵	۵	۲۳۲
۹۲	۱/۴	۱۸/۰	۱۴	۰/۰۳۵	۵	۲۳۳
۹۲	۱/۳	۱۸/۰	۱۷	۰/۰۳۵	۵	۲۳۴
۹۲	۱/۴	۱۸/۰	۲۱	۰/۰۳۵	۵	۲۳۵
۹۳	۱/۳	۱۸/۰	۲۵	۰/۰۳۵	۵	۲۳۶
۷۸	۳/۴	۱۵/۹	۳	۰/۰۳۵	۷	۲۳۷
۸۷	۲/۱	۱۵/۹	۵	۰/۰۳۵	۷	۲۳۸
۹۱	۱/۴	۱۵/۹	۱۱	۰/۰۳۵	۷	۲۳۹
۹۲	۱/۳	۱۵/۹	۱۴	۰/۰۳۵	۷	۲۴۰
۹۲	۱/۳	۱۵/۹	۱۷	۰/۰۳۵	۷	۲۴۱
۹۲	۱/۲	۱۵/۹	۲۱	۰/۰۳۵	۷	۲۴۲
۹۴	۰/۹	۱۵/۹	۲۵	۰/۰۳۵	۷	۲۴۳

جدول (۲- ۳)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

R_{EXP}	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (گرم)	*pH*	*NO*
۱۸	۳۹/۱	۴۸/۹۰	۳	۰/۰۱۵	۳	۱
۲۷	۳۵/۱	۴۸/۹	۸	۰/۰۱۵	۳	۲
۱۱	۸۵/۰	۹۵/۵	۳	۰/۰۱۵	۳	۳
۲۰	۷۶/۲	۹۵/۵	۱۴	۰/۰۱۵	۳	۴
۶	۱۱۹/۷	۱۲۷/۷	۱	۰/۰۱۵	۳	۵
۱۱	۱۱۴/۱	۱۲۷/۷	۸	۰/۰۱۵	۳	۶
۲۸	۳۶/۹	۵۱/۰	۳	۰/۰۱۵	۵	۷
۴۳	۲۹/۲	۵۱/۰	۱۱	۰/۰۱۵	۵	۸
۱۹	۷۶/۶	۹۵/۱	۵	۰/۰۱۵	۵	۹
۲۴	۷۲/۷	۹۵/۱	۱۴	۰/۰۱۵	۵	۱۰
۱۳	۱۱۰/۶	۱۲۷/۲	۳	۰/۰۱۵	۵	۱۱
۱۷	۱۰۵/۷	۱۲۷/۲	۱۱	۰/۰۱۵	۵	۱۲
۱۹	۱۰۳/۱	۱۲۷/۲	۲۱	۰/۰۱۵	۵	۱۳
۳۴	۳۱/۸	۴۸/۰	۳	۰/۰۱۵	۷	۱۴
۵۵	۲۱/۵	۴۸/۰	۸	۰/۰۱۵	۷	۱۵
۶۹	۱۴/۸	۴۸/۰	۱۷	۰/۰۱۵	۷	۱۶
۲۰	۷۴/۵	۹۳/۶	۳	۰/۰۱۵	۷	۱۷
۳۰	۶۵/۱	۹۳/۶	۸	۰/۰۱۵	۷	۱۸
۱۷	۱۰۳/۸	۱۲۴/۵	۳	۰/۰۱۵	۷	۱۹
۲۴	۹۴/۵	۱۲۴/۵	۱۱	۰/۰۱۵	۷	۲۰
۲۱	۳۸/۶	۴۹/۱	۱	۰/۰۲۵	۳	۲۱
۴۵	۲۶/۹	۴۹/۱	۸	۰/۰۲۵	۳	۲۲

ادامه جدول (۲- ۳)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

R_{EXP}	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (گرم)	*pH*	*NO*
۵۳	۲۳/۱	۴۹/۱	۲۱	۰/۰۲۵	۳	۲۳
۱۵	۷۲/۲	۸۴/۶	۱	۰/۰۲۵	۳	۲۴
۳۰	۵۹/۴	۸۴/۶	۱۴	۰/۰۲۵	۳	۲۵
۱۴	۱۰۹/۵	۱۲۷/۵	۳	۰/۰۲۵	۳	۲۶
۲۳	۹۸/۳	۱۲۷/۵	۱۷	۰/۰۲۵	۳	۲۷
۲۴	۳۷/۶	۴۹/۶	۱	۰/۰۲۵	۵	۲۸
۷۵	۱۲/۴	۴۹/۶	۱۱	۰/۰۲۵	۵	۲۹
۲۹	۶۵/۱	۹۱/۷	۳	۰/۰۲۵	۵	۳۰
۴۴	۵۱/۲	۹۱/۷	۱۱	۰/۰۲۵	۵	۳۱
۵۰	۴۶/۲	۹۱/۷	۲۱	۰/۰۲۵	۵	۳۲
۲۲	۹۷/۳	۱۲۴/۸	۳	۰/۰۲۵	۵	۳۳
۲۹	۸۸/۸	۱۲۴/۸	۸	۰/۰۲۵	۵	۳۴
۴۸	۲۵/۵	۴۹/۲	۳	۰/۰۲۵	۷	۳۵
۸۲	۸/۷	۴۹/۲	۱۱	۰/۰۲۵	۷	۳۶
۳۲	۶۱/۸	۹۰/۸	۳	۰/۰۲۵	۷	۳۷
۶۰	۳۵/۹	۹۰/۸	۱۷	۰/۰۲۵	۷	۳۸
۱۸	۱۰۴/۲	۱۲۶/۵	۱	۰/۰۲۵	۷	۳۹
۴۰	۷۶/۱	۱۲۶/۵	۸	۰/۰۲۵	۷	۴۰
۵۰	۶۳/۰	۱۲۶/۵	۲۱	۰/۰۲۵	۷	۴۱
۶۷	۱۴/۸	۴۵/۲	۱۱	۰/۰۳۵	۳	۴۲
۷۲	۱۲/۸	۴۵/۲	۲۱	۰/۰۳۵	۳	۴۳
۲۹	۶۵/۸	۹۳/۰	۳	۰/۰۳۵	۳	۴۴

ادامه جدول (۲- ۳)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

R_{EXP}	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (گرم)	*pH*	*NO*
۴۴	۵۲/۳	۹۳/۰	۱۱	۰/۰۳۵	۳	۴۵
۱۶	۱۰۳/۷	۱۲۳/۵	۱	۰/۰۳۵	۳	۴۶
۳۱	۸۵/۲	۱۲۳/۵	۱۱	۰/۰۳۵	۳	۴۷
۵۸	۲۰/۸	۴۹/۲	۳	۰/۰۳۵	۵	۴۸
۹۵	۲/۵	۴۹/۲	۱۷	۰/۰۳۵	۵	۴۹
۲۳	۷۳/۴	۹۵/۶	۱	۰/۰۳۵	۵	۵۰
۴۷	۵۰/۶	۹۵/۶	۵	۰/۰۳۵	۵	۵۱
۷۱	۲۷/۳	۹۵/۶	۲۱	۰/۰۳۵	۵	۵۲
۳۰	۸۹/۶	۱۲۷/۲	۳	۰/۰۳۵	۵	۵۳
۴۲	۷۳/۶	۱۲۷/۲	۸	۰/۰۳۵	۵	۵۴
۴۸	۶۵/۵۷	۱۲۷/۱۸	۱۴	۰/۰۳۵	۵	۵۵
۳۴	۳۱/۴	۴۷/۷	۱	۰/۰۳۵	۷	۵۶
۷۹	۹/۹	۴۷/۷	۵	۰/۰۳۵	۷	۵۷
۹۷	۱/۴	۴۷/۷	۲۵	۰/۰۳۵	۷	۵۸
۴۲	۵۰/۰	۸۶/۴	۳	۰/۰۳۵	۷	۵۹
۶۲	۳۲/۷	۸۶/۴	۸	۰/۰۳۵	۷	۶۰
۳۲	۸۹/۹	۱۳۲/۸	۳	۰/۰۳۵	۷	۶۱
۴۴	۷۴/۰	۱۳۲/۸	۸	۰/۰۳۵	۷	۶۲
۵۵	۵۹/۴	۱۳۲/۸	۱۷	۰/۰۳۵	۷	۶۳
۱۷	۱۵/۵	۱۸/۷	۱	۰/۰۱۵	۳	۶۴
۴۵	۱۰/۳	۱۸/۷	۱۴	۰/۰۱۵	۳	۶۵
۲۱	۱۵/۴	۱۹/۶	۱	۰/۰۱۵	۵	۶۶

ادامه جدول (۲- ۳)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ سافرانین در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۶۷	۵	۰/۰۱۵	۵	۱۹/۶	۸/۸	۵۵
۶۸	۷	۰/۰۱۵	۱	۲۰/۳	۱۵/۱	۲۶
۶۹	۷	۰/۰۱۵	۱۱	۲۰/۳	۴/۳	۷۹
۷۰	۳	۰/۰۲۵	۸	۱۹/۰	۴/۸	۷۵
۷۱	۳	۰/۰۲۵	۱۷	۱۹/۰	۳/۰	۸۴
۷۲	۷	۰/۰۲۵	۱	۱۹/۶	۱۱/۸	۴۰
۷۳	۷	۰/۰۲۵	۸	۱۹/۶	۲/۷	۸۶
۷۴	۵	۰/۰۲۵	۱	۱۸/۰	۱۲/۱	۳۳
۷۵	۵	۰/۰۲۵	۸	۱۸/۰	۳/۲	۸۲
۷۶	۵	۰/۰۲۵	۱۷	۱۸/۰	۱/۸	۹۰
۷۷	۳	۰/۰۳۵	۵	۱۷/۵	۲/۲	۸۷
۷۸	۳	۰/۰۳۵	۱۷	۱۷/۵	۱/۶	۹۱
۷۹	۵	۰/۰۳۵	۱	۱۸/۰	۷/۱	۶۱
۸۰	۷	۰/۰۳۵	۱	۱۵/۹	۶/۰	۶۲
۸۱	۷	۰/۰۳۵	۸	۱۵/۹	۱/۷	۸۹

جدول (۲-۴)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱	۳	۰/۰۱۵	۱	۴۸/۰	۴۲/۲	۱۲
۲	۳	۰/۰۱۵	۵	۴۸/۰	۳۵/۳	۲۶
۳	۳	۰/۰۱۵	۱۱	۴۸/۰	۳۰/۸	۳۶
۴	۳	۰/۰۱۵	۱۴	۴۸/۰	۳۰/۶	۳۶
۵	۳	۰/۰۱۵	۱۷	۴۸/۰	۲۹/۸	۳۸
۶	۳	۰/۰۱۵	۲۱	۴۸/۰	۲۹/۸	۳۸
۷	۳	۰/۰۱۵	۲۵	۴۸/۰	۲۸/۹	۴۰
۸	۳	۰/۰۱۵	۱	۹۰/۸	۸۰/۳	۱۲
۹	۳	۰/۰۱۵	۵	۹۰/۸	۷۳/۸	۱۹
۱۰	۳	۰/۰۱۵	۸	۹۰/۸	۷۲/۰	۲۱
۱۱	۳	۰/۰۱۵	۱۱	۹۰/۸	۶۸/۹	۲۴
۱۲	۳	۰/۰۱۵	۱۷	۹۰/۸	۶۶/۶	۲۷
۱۳	۳	۰/۰۱۵	۲۱	۹۰/۸	۶۶/۲	۲۷
۱۴	۳	۰/۰۱۵	۲۵	۹۰/۸	۶۴/۹	۲۸
۱۵	۳	۰/۰۱۵	۳	۱۳۴/۳	۱۱۸/۹	۱۱
۱۶	۳	۰/۰۱۵	۵	۱۳۴/۳	۱۱۴/۹	۱۴
۱۷	۳	۰/۰۱۵	۱۱	۱۳۴/۳	۱۱۱/۳	۱۷
۱۸	۳	۰/۰۱۵	۱۴	۱۳۴/۳	۱۱۱/۸	۱۷
۱۹	۳	۰/۰۱۵	۱۷	۱۳۴/۳	۱۱۰/۱	۱۸
۲۰	۳	۰/۰۱۵	۲۱	۱۳۴/۳	۱۰۹/۸	۱۸
۲۱	۳	۰/۰۱۵	۲۵	۱۳۴/۳	۱۰۸/۰	۲۰
۲۲	۵	۰/۰۱۵	۱	۴۶/۹	۳۸/۵	۱۸
۲۳	۵	۰/۰۱۵	۵	۴۶/۹	۳۱/۰	۳۴

ادامه جدول (۲-۴)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۲۴	۵	۰/۰۱۵	۸	۴۶/۹	۲۸/۵	۳۹
۲۵	۵	۰/۰۱۵	۱۴	۴۶/۹	۲۶/۰	۴۵
۲۶	۵	۰/۰۱۵	۱۷	۴۶/۹	۲۵/۵	۴۶
۲۷	۵	۰/۰۱۵	۲۱	۴۶/۹	۲۴/۱	۴۹
۲۸	۵	۰/۰۱۵	۲۵	۴۶/۹	۲۴/۴	۴۸
۲۹	۵	۰/۰۱۵	۱	۸۷/۴	۷۶/۳	۱۳
۳۰	۵	۰/۰۱۵	۳	۸۷/۴	۷۲/۴	۱۷
۳۱	۵	۰/۰۱۵	۸	۸۷/۴	۶۷/۰	۲۳
۳۲	۵	۰/۰۱۵	۱۱	۸۷/۴	۶۴/۵	۲۶
۳۳	۵	۰/۰۱۵	۱۷	۸۷/۴	۶۳/۳	۲۸
۳۴	۵	۰/۰۱۵	۲۱	۸۷/۴	۶۳/۷	۲۷
۳۵	۵	۰/۰۱۵	۲۵	۸۷/۳۷	۶۰/۶۱۸	۳۱
۳۶	۵	۰/۰۱۵	۱	۱۲۹/۷	۱۱۹/۵	۸
۳۷	۵	۰/۰۱۵	۵	۱۲۹/۷	۱۱۰/۳	۱۵
۳۸	۵	۰/۰۱۵	۸	۱۲۹/۷	۱۰۸/۳	۱۶
۳۹	۵	۰/۰۱۵	۱۴	۱۲۹/۷	۱۰۵/۹	۱۸
۴۰	۵	۰/۰۱۵	۱۷	۱۲۹/۷	۱۰۵/۲	۱۹
۴۱	۵	۰/۰۱۵	۲۵	۱۲۹/۷	۱۰۲/۵	۲۱
۴۲	۷	۰/۰۱۵	۱	۴۳/۱	۳۵/۳	۱۸
۴۳	۷	۰/۰۱۵	۵	۴۳/۱	۲۲/۸	۴۷
۴۴	۷	۰/۰۱۵	۱۱	۴۳/۱	۱۶/۹	۶۱
۴۵	۷	۰/۰۱۵	۱۴	۴۳/۱	۱۶/۱	۶۲
۴۶	۷	۰/۰۱۵	۲۱	۴۳/۱	۱۳/۵	۶۹
۴۷	۷	۰/۰۱۵	۲۵	۴۳/۱	۱۳/۰	۷۹

ادامه جدول (۲-۴)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۴۸	۷	۰/۰۱۵	۱	۸۵/۱	۷۰/۷	۱۷
۴۹	۷	۰/۰۱۵	۵	۸۵/۱	۶۰/۶	۲۹
۵۰	۷	۰/۰۱۵	۱۱	۸۵/۱	۵۴/۸	۳۵
۵۱	۷	۰/۰۱۵	۱۴	۸۵/۱	۵۳/۱	۳۸
۵۲	۷	۰/۰۱۵	۱۷	۸۵/۱	۵۱/۱	۴۰
۵۳	۷	۰/۰۱۵	۲۱	۸۵/۱	۴۹/۷	۴۲
۵۴	۷	۰/۰۱۵	۲۵	۸۵/۱	۴۸/۹	۴۲
۵۵	۷	۰/۰۱۵	۱	۱۲۹/۸	۱۱۱/۰	۱۴
۵۶	۷	۰/۰۱۵	۵	۱۲۹/۸	۱۰۱/۸	۲۲
۵۷	۷	۰/۰۱۵	۸	۱۲۹/۸	۱۰۰/۴	۲۳
۵۸	۷	۰/۰۱۵	۱۴	۱۲۹/۸	۹۲/۵	۲۹
۵۹	۷	۰/۰۱۵	۱۷	۱۲۹/۸	۹۲/۱	۲۹
۶۰	۷	۰/۰۱۵	۲۱	۱۲۹/۸	۸۹/۱	۳۱
۶۱	۷	۰/۰۱۵	۲۵	۱۲۹/۸	۸۷/۷	۳۲
۶۲	۳	۰/۰۲۵	۳	۵۰/۷	۳۳/۱	۳۵
۶۳	۳	۰/۰۲۵	۵	۵۰/۷	۲۸/۷	۴۳
۶۴	۳	۰/۰۲۵	۱۱	۵۰/۷	۲۳/۵	۵۴
۶۵	۳	۰/۰۲۵	۱۴	۵۰/۷	۲۲/۴	۵۶
۶۶	۳	۰/۰۲۵	۱۷	۵۰/۷	۲۱/۷	۵۷
۶۷	۳	۰/۰۲۵	۲۵	۵۰/۷	۲۰/۱	۶۰
۶۸	۳	۰/۰۲۵	۳	۸۸/۷	۶۷/۱	۲۴
۶۹	۳	۰/۰۲۵	۵	۸۸/۷	۶۱/۵	۳۱
۷۰	۳	۰/۰۲۵	۸	۸۸/۷	۵۶/۹	۳۶
۷۱	۳	۰/۰۲۵	۱۱	۸۸/۷	۵۵/۳	۳۸

ادامه جدول (۲-۴)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۷۲	۳	۰/۰۲۵	۱۷	۸۸/۷	۵۲/۳	۴۱
۷۳	۳	۰/۰۲۵	۲۱	۸۸/۷	۴۹/۶	۴۴
۷۴	۳	۰/۰۲۵	۲۵	۸۸/۷	۴۷/۶	۴۶
۷۵	۳	۰/۰۲۵	۱	۱۲۹/۹	۱۱۳/۱	۱۳
۷۶	۳	۰/۰۲۵	۵	۱۲۹/۹	۹۵/۶	۲۶
۷۷	۳	۰/۰۲۵	۸	۱۲۹/۹	۹۸/۳	۲۴
۷۸	۳	۰/۰۲۵	۱۱	۱۲۹/۹	۹۳/۴	۲۸
۷۹	۳	۰/۰۲۵	۱۴	۱۲۹/۹	۹۲/۰	۲۹
۸۰	۳	۰/۰۲۵	۲۱	۱۲۹/۹	۸۸/۱	۳۲
۸۱	۳	۰/۰۲۵	۲۵	۱۲۹/۹	۸۶/۹	۳۳
۸۲	۵	۰/۰۲۵	۳	۵۲/۰۶	۲۸/۱	۴۶
۸۳	۵	۰/۰۲۵	۵	۵۲/۰۶	۲۲/۶	۵۶
۸۴	۵	۰/۰۲۵	۸	۵۲/۰۶	۱۷/۸	۶۶
۸۵	۵	۰/۰۲۵	۱۴	۵۲/۰۶	۱۲/۲	۷۶
۸۶	۵	۰/۰۲۵	۱۷	۵۲/۰۶	۱۰/۳	۸۰
۸۷	۵	۰/۰۲۵	۲۱	۵۲/۰۶	۱۰/۰	۸۱
۸۸	۵	۰/۰۲۵	۲۵	۵۲/۱	۸/۹	۸۳
۸۹	۵	۰/۰۲۵	۱	۸۷/۸	۶۹/۷	۲۱
۹۰	۵	۰/۰۲۵	۵	۸۷/۸	۵۶/۳	۳۶
۹۱	۵	۰/۰۲۵	۸	۸۷/۸	۵۲/۱	۴۱
۹۲	۵	۰/۰۲۵	۱۴	۸۷/۸	۴۵/۴	۴۸
۹۳	۵	۰/۰۲۵	۱۷	۸۷/۸	۴۳/۷	۵۰
۹۴	۵	۰/۰۲۵	۲۵	۸۷/۸	۴۱/۲	۵۳
۹۵	۵	۰/۰۲۵	۱	۱۲۹/۱	۱۰۸/۷	۱۶

ادامه جدول (۲-۴)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

R_{EXP}	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (گرم)	*pH*	*NO*
۲۷	۹۴/۵	۱۲۹/۱	۵	۰/۰۲۵	۵	۹۶
۳۳	۸۵/۹	۱۲۹/۱	۱۱	۰/۰۲۵	۵	۹۷
۳۴	۸۴/۵	۱۲۹/۱	۱۴	۰/۰۲۵	۵	۹۸
۳۶	۸۲/۶	۱۲۹/۱	۱۷	۰/۰۲۵	۵	۹۹
۳۷	۸۰/۹	۱۲۹/۱	۲۱	۰/۰۲۵	۵	۱۰۰
۳۶	۸۲/۷	۱۲۹/۱	۲۵	۰/۰۲۵	۵	۱۰۱
۲۸	۳۵/۶	۴۹/۶	۱	۰/۰۲۵	۷	۱۰۲
۶۴	۱۷/۸	۴۹/۶	۵	۰/۰۲۵	۷	۱۰۳
۷۴	۱۳/۰	۴۹/۶	۸	۰/۰۲۵	۷	۱۰۴
۸۵	۷/۵	۴۹/۶	۱۴	۰/۰۲۵	۷	۱۰۵
۸۷	۶/۵	۴۹/۶	۱۷	۰/۰۲۵	۷	۱۰۶
۸۹	۵/۷	۴۹/۶	۲۱	۰/۰۲۵	۷	۱۰۷
۹۰	۴/۸	۴۹/۶	۲۵	۰/۰۲۵	۷	۱۰۸
۲۳	۶۸/۴	۸۸/۷	۱	۰/۰۲۵	۷	۱۰۹
۴۴	۴۹/۹	۸۸/۷	۵	۰/۰۲۵	۷	۱۱۰
۴۹	۴۴/۹	۸۸/۷	۸	۰/۰۲۵	۷	۱۱۱
۵۵	۴۰/۱	۸۸/۷	۱۱	۰/۰۲۵	۷	۱۱۲
۵۸	۳۷/۰	۸۸/۷	۱۴	۰/۰۲۵	۷	۱۱۳
۶۲	۳۳/۶	۸۸/۷	۲۱	۰/۰۲۵	۷	۱۱۴
۶۴	۳۱/۶	۸۸/۷	۲۵	۰/۰۲۵	۷	۱۱۵
۳۵	۷۷/۲	۱۱۹/۳	۳	۰/۰۲۵	۷	۱۱۶
۴۱	۷۰/۰	۱۱۹/۳	۵	۰/۰۲۵	۷	۱۱۷
۴۹	۷۰/۰	۱۱۹/۳	۱۱	۰/۰۲۵	۷	۱۱۸
۵۱	۵۸/۸	۱۱۹/۳	۱۴	۰/۰۲۵	۷	۱۱۹

ادامه جدول (۲-۴)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱۲۰	۷	۰/۰۲۵	۱۷	۱۱۹/۳	۵۵/۰	۵۴
۱۲۱	۷	۰/۰۲۵	۲۵	۱۱۹/۳	۵۴/۰	۵۵
۱۲۲	۳	۰/۰۳۵	۱	۴۷/۶	۳۴/۴	۲۸
۱۲۳	۳	۰/۰۳۵	۳	۴۷/۶	۲۳/۹	۵۰
۱۲۴	۳	۰/۰۳۵	۵	۴۷/۶	۱۷/۹	۶۲
۱۲۵	۳	۰/۰۳۵	۸	۴۷/۶	۱۴/۲	۷۰
۱۲۶	۳	۰/۰۳۵	۱۴	۴۷/۶	۱۰/۵	۷۸
۱۲۷	۳	۰/۰۳۵	۱۷	۴۷/۶	۹/۲	۸۱
۱۲۸	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۴۷/۶	۹/۱	۸۱
۱۲۹	۳	۰/۰۳۵	۱	۸۶/۹	۶۸/۱	۲۱
۱۳۰	۳	۰/۰۳۵	۵	۸۶/۹	۵۲/۰	۴۰
۱۳۱	۳	۰/۰۳۵	۸	۸۶/۹	۴۶/۰	۴۷
۱۳۲	۳	۰/۰۳۵	۱۴	۸۶/۹	۴۰/۴	۵۳
۱۳۳	۳	۰/۰۳۵	۱۷	۸۶/۹	۳۹/۸	۵۴
۱۳۴	۳	۰/۰۳۵	۲۱	۸۶/۹	۳۸/۱	۵۶
۱۳۵	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۸۶/۹	۳۷/۳	۵۷
۱۳۶	۳	۰/۰۳۵	۳	۱۲۹/۸	۹۱/۱	۳۰
۱۳۷	۳	۰/۰۳۵	۵	۱۲۹/۸	۸۲/۹	۳۶
۱۳۸	۳	۰/۰۳۵	۸	۱۲۹/۸	۷۹/۴	۳۹
۱۳۹	۳	۰/۰۳۵	۱۴	۱۲۹/۸	۷۴/۶	۴۲
۱۴۰	۳	۰/۰۳۵	۱۷	۱۲۹/۸	۷۱/۳	۴۵
۱۴۱	۳	۰/۰۳۵	۲۱	۱۲۹/۸	۷۱/۸	۴۵
۱۴۲	۳	۰/۰۳۵	۲۵	۱۲۹/۸	۶۹/۲	۴۷
۱۴۳	۵	۰/۰۳۵	۱	۴۹/۷	۳۴/۰	۳۲

ادامه جدول (۲-۴)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱۴۴	۵	۰/۰۳۵	۵	۴۹/۷	۱۳/۸	۷۲
۱۴۵	۵	۰/۰۳۵	۸	۴۹/۷	۹/۰	۸۲
۱۴۶	۵	۰/۰۳۵	۱۱	۴۹/۷	۶/۴	۸۷
۱۴۷	۵	۰/۰۳۵	۱۴	۴۹/۷	۴/۳	۹۱
۱۴۸	۵	۰/۰۳۵	۲۱	۴۹/۷	۳/۴	۹۳
۱۴۹	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۴۹/۷	۲/۵	۹۵
۱۵۰	۵	۰/۰۳۵	۳	۸۹/۹	۵۱/۳	۴۳
۱۵۱	۵	۰/۰۳۵	۸	۸۹/۹	۳۷/۲	۵۹
۱۵۲	۵	۰/۰۳۵	۱۱	۸۹/۹	۳۱/۶	۶۵
۱۵۳	۵	۰/۰۳۵	۱۴	۸۹/۹	۳۱/۶	۶۵
۱۵۴	۵	۰/۰۳۵	۱۷	۸۹/۹	۲۶/۱	۷۱
۱۵۵	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۸۹/۹	۲۳/۱	۷۴
۱۵۶	۵	۰/۰۳۵	۱	۱۳۱/۹	۱۰۲/۰	۲۳
۱۵۷	۵	۰/۰۳۵	۵	۱۳۱/۹	۷۷/۶	۴۱
۱۵۸	۵	۰/۰۳۵	۱۱	۱۳۱/۹	۶۵/۷	۵۰
۱۵۹	۵	۰/۰۳۵	۱۷	۱۳۱/۹	۶۱/۹	۵۳
۱۶۰	۵	۰/۰۳۵	۲۱	۱۳۱/۹	۶۱/۳	۵۴
۱۶۱	۵	۰/۰۳۵	۲۵	۱۳۱/۹	۵۹/۰	۵۵
۱۶۲	۷	۰/۰۳۵	۳	۴۶/۸	۱۷/۲	۶۳
۱۶۳	۷	۰/۰۳۵	۸	۴۶/۸	۵/۹	۸۷
۱۶۴	۷	۰/۰۳۵	۱۱	۴۶/۸	۳/۵	۹۳
۱۶۵	۷	۰/۰۳۵	۱۴	۴۶/۸	۳/۱	۹۳
۱۶۶	۷	۰/۰۳۵	۱۷	۴۶/۸	۲/۸	۹۴
۱۶۷	۷	۰/۰۳۵	۲۱	۴۶/۸	۲/۹	۹۴

ادامه جدول (۲-۴)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

R_{EXP}	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (گرم)	*pH*	*NO*
۳۲	۶۱/۶	۹۱/۲	۱	۰/۰۳۵	۷	۱۶۸
۵۵	۴۱/۲	۹۱/۲	۵	۰/۰۳۵	۷	۱۶۹
۶۸	۲۸/۷	۹۱/۲	۱۱	۰/۰۳۵	۷	۱۷۰
۷۲	۲۵/۶	۹۱/۲	۱۴	۰/۰۳۵	۷	۱۷۱
۷۶	۲۲/۲	۹۱/۲	۱۷	۰/۰۳۵	۷	۱۷۲
۷۸	۲۰/۳	۹۱/۲	۲۱	۰/۰۳۵	۷	۱۷۳
۷۹	۱۸/۸	۹۱/۲	۲۵	۰/۰۳۵	۷	۱۷۴
۲۶	۱۰۱/۰	۱۳۵/۷	۱	۰/۰۳۵	۷	۱۷۵
۴۱	۸۰/۰	۱۳۵/۷	۵	۰/۰۳۵	۷	۱۷۶
۵۱	۶۶/۱	۱۳۵/۷	۱۱	۰/۰۳۵	۷	۱۷۷
۵۴	۶۲/۰	۱۳۵/۷	۱۴	۰/۰۳۵	۷	۱۷۸
۵۸	۵۶/۷	۱۳۵/۷	۲۱	۰/۰۳۵	۷	۱۷۹
۶۰	۵۴/۹	۱۳۵/۷	۲۵	۰/۰۳۵	۷	۱۸۰
۳۸	۱۱/۲	۱۸/۱	۳	۰/۰۱۵	۳	۱۸۱
۴۹	۹/۳	۱۸/۱	۵	۰/۰۱۵	۳	۱۸۲
۵۲	۸/۷	۱۸/۱	۸	۰/۰۱۵	۳	۱۸۳
۵۵	۸/۱	۱۸/۱	۱۱	۰/۰۱۵	۳	۱۸۴
۶۰	۷/۲	۱۸/۱	۱۷	۰/۰۱۵	۳	۱۸۵
۶۳	۶/۶	۱۸/۱	۲۱	۰/۰۱۵	۳	۱۸۶
۶۶	۶/۱	۱۸/۱	۲۵	۰/۰۱۵	۳	۱۸۷
۴۰	۱۲/۴	۲۰/۷	۳	۰/۰۱۵	۵	۱۸۸
۶۱	۸/۱	۲۰/۷	۸	۰/۰۱۵	۵	۱۸۹
۶۸	۶/۷	۲۰/۷	۱۱	۰/۰۱۵	۵	۱۹۰
۷۲	۵/۸	۲۰/۷	۱۴	۰/۰۱۵	۵	۱۹۱

ادامه جدول (۲-۴)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

R_{EXP}	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (گرم)	*pH*	*NO*
۷۷	۴/۸	۲۰/۷	۱۷	۰/۰۱۵	۵	۱۹۲
۷۸	۴/۵	۲۰/۷	۲۱	۰/۰۱۵	۵	۱۹۳
۷۹	۴/۳	۲۰/۷	۲۵	۰/۰۱۵	۵	۱۹۴
۵۱	۱۰/۰	۲۰/۵	۳	۰/۰۱۵	۷	۱۹۵
۶۰	۸/۲	۲۰/۵	۵	۰/۰۱۵	۷	۱۹۶
۷۲	۵/۷	۲۰/۵	۸	۰/۰۱۵	۷	۱۹۷
۸۲	۳/۷	۲۰/۵	۱۴	۰/۰۱۵	۷	۱۹۸
۸۶	۲/۸	۲۰/۵	۱۷	۰/۰۱۵	۷	۱۹۹
۸۵	۳/۰	۲۰/۵	۲۱	۰/۰۱۵	۷	۲۰۰
۹۰	۱/۹	۲۰/۵	۲۵	۰/۰۱۵	۷	۲۰۱
۳۶	۱۱/۷	۱۸/۳	۱	۰/۰۲۵	۳	۲۰۲
۵۹	۷/۵	۱۸/۳	۳	۰/۰۲۵	۳	۲۰۳
۷۳	۵/۰	۱۸/۳	۵	۰/۰۲۵	۳	۲۰۴
۸۶	۲/۶	۱۸/۳	۱۱	۰/۰۲۵	۳	۲۰۵
۸۷	۲/۳	۱۸/۳	۱۴	۰/۰۲۵	۳	۲۰۶
۹۰	۱/۹	۱۸/۳	۲۱	۰/۰۲۵	۳	۲۰۷
۹۰	۱/۷	۱۸/۳	۲۵	۰/۰۲۵	۳	۲۰۸
۷۰	۶/۲	۲۰/۸	۳	۰/۰۲۵	۷	۲۰۹
۷۸	۴/۵	۲۰/۸	۵	۰/۰۲۵	۷	۲۱۰
۸۹	۲/۲	۲۰/۸	۱۱	۰/۰۲۵	۷	۲۱۱
۹۰	۲/۰	۲۰/۸	۱۴	۰/۰۲۵	۷	۲۱۲
۹۱	۱/۹	۲۰/۸	۱۷	۰/۰۲۵	۷	۲۱۳
۹۲	۱/۷	۲۰/۸	۲۱	۰/۰۲۵	۷	۲۱۴
۹۳	۱/۵	۲۰/۸	۲۵	۰/۰۲۵	۷	۲۱۵

ادامه جدول (۲-۴)- مقادیر درصد حذف سری آموزش رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

R_{EXP}	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	زمان تماس (دقیقه)	مقدار جاذب (گرم)	*pH*	*NO*
۶۱	۷/۱۶	۱۸/۴۳	۳	۰/۰۲۵	۵	۲۱۶
۸۱	۳/۵	۱۸/۴	۵	۰/۰۲۵	۵	۲۱۷
۸۴	۲/۹	۱۸/۴	۱۱	۰/۰۲۵	۵	۲۱۸
۸۵	۲/۷	۱۸/۴	۱۴	۰/۰۲۵	۵	۲۱۹
۸۸	۲/۳	۱۸/۴	۲۱	۰/۰۲۵	۵	۲۲۰
۸۹	۲/۱	۱۸/۴	۲۵	۰/۰۲۵	۵	۲۲۱
۵۰	۸/۶	۱۷/۱	۱	۰/۰۳۵	۳	۲۲۲
۷۹	۳/۶	۱۷/۱	۳	۰/۰۳۵	۳	۲۲۳
۸۲	۳/۰	۱۷/۱	۸	۰/۰۳۵	۳	۲۲۴
۸۴	۲/۸	۱۷/۱	۱۱	۰/۰۳۵	۳	۲۲۵
۸۶	۲/۴	۱۷/۱	۱۴	۰/۰۳۵	۳	۲۲۶
۸۶	۲/۴	۱۷/۱	۲۱	۰/۰۳۵	۳	۲۲۷
۸۶	۲/۳	۱۷/۱	۲۵	۰/۰۳۵	۳	۲۲۸
۸۰	۳/۸	۱۸/۵	۳	۰/۰۳۵	۵	۲۲۹
۸۶	۲/۷	۱۸/۵	۵	۰/۰۳۵	۵	۲۳۰
۸۸	۲/۱	۱۸/۵	۸	۰/۰۳۵	۵	۲۳۱
۸۹	۲/۰	۱۸/۵	۱۱	۰/۰۳۵	۵	۲۳۲
۹۰	۱/۹	۱۸/۵	۱۴	۰/۰۳۵	۵	۲۳۳
۸۹	۲/۰	۱۸/۵	۱۷	۰/۰۳۵	۵	۲۳۴
۸۹	۱/۹	۱۸/۵	۲۱	۰/۰۳۵	۵	۲۳۵
۹۰	۱/۸	۱۸/۵	۲۵	۰/۰۳۵	۵	۲۳۶
۸۳	۳/۲	۱۸/۶	۳	۰/۰۳۵	۷	۲۳۷
۸۹	۲/۰	۱۸/۶	۵	۰/۰۳۵	۷	۲۳۸
۹۳	۱/۳	۱۸/۶	۱۱	۰/۰۳۵	۷	۲۳۹
۹۳	۱/۲	۱۸/۶	۱۴	۰/۰۳۵	۷	۲۴۰
۹۴	۱/۱	۱۸/۶	۱۷	۰/۰۳۵	۷	۲۴۱
۹۵	۰/۹	۱۸/۶	۲۱	۰/۰۳۵	۷	۲۴۲
۹۷	۰/۶	۱۸/۶	۲۵	۰/۰۳۵	۷	۲۴۳

جدول (۲-۵)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۱	۳	۰/۰۱۵	۳	۴۸/۰	۳۸/۲	۲۰
۲	۳	۰/۰۱۵	۸	۴۸/۰	۳۲/۹	۳۱
۳	۳	۰/۰۱۵	۳	۹۰/۸	۷۷/۳	۱۵
۴	۳	۰/۰۱۵	۱۴	۹۰/۸	۶۶/۹	۲۶
۵	۳	۰/۰۱۵	۱	۱۳۴/۳	۱۲۳/۸	۸
۶	۳	۰/۰۱۵	۸	۱۳۴/۳	۱۱۴/۸	۱۴
۷	۵	۰/۰۱۵	۳	۴۶/۹	۳۵/۶	۲۴
۸	۵	۰/۰۱۵	۱۱	۴۶/۹	۲۶/۴	۴۴
۹	۵	۰/۰۱۵	۵	۸۷/۴	۶۸/۶	۲۱
۱۰	۵	۰/۰۱۵	۱۴	۸۷/۴	۶۴/۸	۲۶
۱۱	۵	۰/۰۱۵	۳	۱۲۹/۷	۱۱۳/۴	۱۳
۱۲	۵	۰/۰۱۵	۱۱	۱۲۹/۷	۱۰۷/۶	۱۷
۱۳	۵	۰/۰۱۵	۲۱	۱۲۹/۷	۱۰۳/۹	۲۰
۱۴	۷	۰/۰۱۵	۳	۴۳/۱	۲۸/۰	۳۵
۱۵	۷	۰/۰۱۵	۸	۴۳/۱	۱۹/۲	۵۵
۱۶	۷	۰/۰۱۵	۱۷	۴۳/۱	۱۴/۱	۶۷
۱۷	۷	۰/۰۱۵	۳	۸۵/۱	۶۴/۵	۲۴
۱۸	۷	۰/۰۱۵	۸	۸۵/۱	۵۷/۰	۳۳
۱۹	۷	۰/۰۱۵	۳	۱۲۹/۸	۱۰۴/۲	۲۰
۲۰	۷	۰/۰۱۵	۱۱	۱۲۹/۸	۹۳/۸	۲۸
۲۱	۳	۰/۰۲۵	۱	۵۰/۷	۳۹/۹	۲۱
۲۲	۳	۰/۰۲۵	۸	۵۰/۷	۲۵/۳	۵۰
۲۳	۳	۰/۰۲۵	۲۱	۵۰/۷	۲۰/۲	۶۰
۲۴	۳	۰/۰۲۵	۱	۸۸/۷	۷۳/۸	۱۷
۲۵	۳	۰/۰۲۵	۱۴	۸۸/۷	۵۳/۳	۴۰
۲۶	۳	۰/۰۲۵	۳	۱۲۹/۹	۱۰۶/۶	۱۸
۲۷	۳	۰/۰۲۵	۱۷	۱۲۹/۹	۹۱/۲	۳۰
۲۸	۵	۰/۰۲۵	۱	۵۲/۱	۳۸/۱	۲۷

ادامه جدول (۲-۵)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۲۹	۵	۰/۰۲۵	۱۱	۵۲/۱	۱۳/۶	۷۴
۳۰	۵	۰/۰۲۵	۳	۸۷/۸	۶۰/۲	۳۱
۳۱	۵	۰/۰۲۵	۱۱	۸۷/۸	۴۷/۵	۴۶
۳۲	۵	۰/۰۲۵	۲۱	۸۷/۸	۴۲/۷	۵۱
۳۳	۵	۰/۰۲۵	۳	۱۲۹/۱	۱۰۰/۳	۲۲
۳۴	۵	۰/۰۲۵	۸	۱۲۹/۱	۸۸/۲	۳۲
۳۵	۷	۰/۰۲۵	۳	۴۹/۶	۲۴/۹	۵۰
۳۶	۷	۰/۰۲۵	۱۱	۴۹/۶	۱۰/۱	۸۰
۳۷	۷	۰/۰۲۵	۳	۸۸/۷	۵۷/۱	۳۶
۳۸	۷	۰/۰۲۵	۱۷	۸۸/۷	۳۵/۳	۶۰
۳۹	۷	۰/۰۲۵	۱	۱۱۹/۳	۹۲/۴	۲۳
۴۰	۷	۰/۰۲۵	۸	۱۱۹/۳	۶۵/۹	۴۵
۴۱	۷	۰/۰۲۵	۲۱	۱۱۹/۳	۵۳/۵	۵۵
۴۲	۳	۰/۰۳۵	۱۱	۴۷/۶	۱۱/۵	۷۶
۴۳	۳	۰/۰۳۵	۲۱	۴۷/۶	۹/۰	۸۱
۴۴	۳	۰/۰۳۵	۳	۸۶/۹	۵۶/۸	۳۵
۴۵	۳	۰/۰۳۵	۱۱	۸۶/۹	۴۲/۰	۵۲
۴۶	۳	۰/۰۳۵	۱	۱۲۹/۸	۱۰۲/۸	۲۱

ادامه جدول (۲-۵)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۴۷	۳	۰/۰۳۵	۱۱	۱۲۹/۸	۷۶/۷	۴۱
۴۸	۵	۰/۰۳۵	۳	۴۹/۶	۲۰/۶	۵۸
۴۹	۵	۰/۰۳۵	۱۷	۴۹/۶	۳/۸	۹۲
۵۰	۵	۰/۰۳۵	۱	۸۹/۹	۶۶/۵	۲۶
۵۱	۵	۰/۰۳۵	۵	۸۹/۹	۴۵/۰	۵۰
۵۲	۵	۰/۰۳۵	۲۱	۸۹/۹	۲۵/۳	۷۲
۵۳	۵	۰/۰۳۵	۳	۱۳۱/۹	۸۹/۶	۳۲
۵۴	۵	۰/۰۳۵	۸	۱۳۱/۹	۷۲/۷	۴۵
۵۵	۵	۰/۰۳۵	۱۴	۱۳۱/۹	۶۵/۰	۵۱
۵۶	۷	۰/۰۳۵	۱	۴۶/۸	۲۹/۴	۳۷
۵۷	۷	۰/۰۳۵	۵	۴۶/۸	۱۰/۰	۷۹
۵۸	۷	۰/۰۳۵	۲۵	۴۶/۸	۲/۴	۹۵
۵۹	۷	۰/۰۳۵	۳	۹۱/۲	۴۹/۴	۴۶
۶۰	۷	۰/۰۳۵	۸	۹۱/۲	۳۳/۸	۶۳
۶۱	۷	۰/۰۳۵	۳	۱۳۵/۷	۸۷/۴	۳۶
۶۲	۷	۰/۰۳۵	۸	۱۳۵/۷	۷۱/۰	۴۸
۶۳	۷	۰/۰۳۵	۱۷	۱۳۵/۷	۵۸/۷	۵۷
۶۴	۳	۰/۰۱۵	۱	۱۸/۰	۱۳/۸	۲۴
۶۵	۳	۰/۰۱۵	۱۴	۱۸/۰	۷/۶	۵۸
۶۶	۵	۰/۰۱۵	۱	۲۰/۷	۱۵/۹	۲۳
۶۷	۵	۰/۰۱۵	۵	۲۰/۷	۹/۳	۵۵
۶۸	۷	۰/۰۱۵	۱	۲۰/۵	۱۴/۲	۳۱
۶۹	۷	۰/۰۱۵	۱۱	۲۰/۵	۴/۸	۷۶

ادامه جدول (۲-۵)- مقادیر درصد حذف سری تست رنگ متیل‌ویولت در شرایط آزمایشگاهی متفاوت با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	pH	مقدار جاذب (گرم)	زمان تماس (دقیقه)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت باقی مانده (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}
۷۰	۳	۰/۰۲۵	۸	۱۸/۳	۳/۵	۸۱
۷۱	۳	۰/۰۲۵	۱۷	۱۸/۳	۱/۸	۹۰
۷۲	۷	۰/۰۲۵	۱	۲۰/۸	۱۱/۵	۴۵
۷۳	۷	۰/۰۲۵	۸	۲۰/۸	۳/۲	۸۴
۷۴	۵	۰/۰۲۵	۱	۱۸/۴	۱۱/۵	۳۸
۷۵	۵	۰/۰۲۵	۸	۱۸/۴	۳/۵	۸۱
۷۶	۵	۰/۰۲۵	۱۷	۱۸/۴	۲/۳	۸۷
۷۷	۳	۰/۰۳۵	۵	۱۷/۱	۳/۱	۸۲
۷۸	۳	۰/۰۳۵	۱۷	۱۷/۱	۲/۴	۸۶
۷۹	۵	۰/۰۳۵	۱	۱۸/۵	۷/۱	۶۱
۸۰	۷	۰/۰۳۵	۱	۱۸/۶	۵/۷	۶۹
۸۱	۷	۰/۰۳۵	۸	۱۸/۶۴	۱/۵	۹۲

جدول (۲-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ سافرانین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۱	۱۳	۷	۱۷
۲	۲۳	۲۳	۲۵
۳	۲۹	۲۸	۲۹
۴	۳۰	۲۹	۲۹
۵	۳۰	۳۰	۲۹
۶	۳۱	۳۱	۳۰
۷	۳۲	۳۲	۳۰
۸	۹	۵	۱۲
۹	۱۳	۱۴	۱۶
۱۰	۱۵	۱۶	۱۷
۱۱	۱۸	۱۶	۱۹
۱۲	۲۰	۱۸	۲۰
۱۳	۲۱	۱۸	۲۲
۱۴	۲۳	۲۰	۲۳
۱۵	۹	۷	۱۲
۱۶	۱۰	۱۲	۱۳
۱۷	۱۲	۱۳	۱۴
۱۸	۱۱	۱۱	۱۴
۱۹	۱۲	۱۴	۱۴
۲۰	۱۳	۱۴	۱۶
۲۱	۱۳	۱۸	۱۶
۲۲	۱۶	۱۳	۱۹
۲۳	۳۳	۳۲	۳۲
۲۴	۳۸	۳۸	۳۸
۲۵	۴۴	۴۳	۴۶
۲۶	۴۶	۴۴	۴۶
۲۷	۴۸	۴۸	۴۷
۲۸	۴۸	۵۲	۴۷
۲۹	۱۱	۱۰	۱۲
۳۰	۱۵	۱۶	۱۷
۳۱	۲۱	۲۲	۲۱
۳۲	۲۳	۲۲	۲۴
۳۳	۲۴	۲۶	۲۵
۳۴	۲۵	۲۷	۲۶
۳۵	۲۹	۲۸	۳۰

ادامه جدول (۲-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ سافرانین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۳۶	۸	۶	۱۱
۳۷	۱۵	۱۴	۱۶
۳۸	۱۷	۱۷	۱۸
۳۹	۱۸	۱۷	۱۹
۴۰	۱۸	۱۹	۱۹
۴۱	۲۰	۱۹	۲۱
۴۲	۱۶	۲۰	۲۱
۴۳	۴۵	۴۳	۴۵
۴۴	۶۲	۶۰	۶۱
۴۵	۶۴	۶۵	۶۴
۴۶	۷۰	۷۰	۶۷
۴۷	۷۲	۷۷	۶۷
۴۸	۱۳	۱۴	۱۵
۴۹	۲۶	۲۶	۲۷
۵۰	۳۳	۳۳	۳۵
۵۱	۳۵	۳۶	۳۷
۵۲	۳۸	۳۷	۳۷
۵۳	۳۹	۳۹	۳۸
۵۴	۴۰	۴۱	۴۰
۵۵	۱۲	۱۳	۱۴
۵۶	۱۹	۲۰	۲۱
۵۷	۲۱	۲۲	۲۲
۵۸	۲۵	۲۶	۲۶
۵۹	۲۶	۲۶	۲۶
۶۰	۲۸	۲۸	۲۸
۶۱	۲۸	۲۹	۲۹
۶۲	۳۲	۳۳	۳۳
۶۳	۴۰	۳۹	۴۰
۶۴	۴۸	۵۰	۴۹
۶۵	۴۹	۵۰	۴۹
۶۶	۵۱	۵۲	۵۲
۶۷	۵۳	۵۴	۵۴
۶۸	۲۰	۲۲	۲۵
۶۹	۲۵	۲۸	۲۹
۷۰	۲۹	۲۸	۳۰
۷۱	۲۹	۳۰	۳۱

ادامه جدول (۲-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ سافرانین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۷۲	۳۱	۳۳	۳۳
۷۳	۳۲	۳۴	۳۴
۷۴	۳۴	۳۵	۳۶
۷۵	۱۱	۱۰	۱۴
۷۶	۲۱	۲۰	۲۲
۷۷	۲۰	۲۰	۲۲
۷۸	۲۳	۲۳	۲۴
۷۹	۲۳	۲۰	۲۴
۸۰	۲۴	۲۳	۲۶
۸۱	۲۵	۲۳	۲۷
۸۲	۴۴	۴۲	۴۵
۸۳	۵۶	۵۴	۵۷
۸۴	۶۶	۶۲	۶۷
۸۵	۷۸	۷۴	۷۳
۸۶	۸۲	۸۱	۸۰
۸۷	۸۲	۸۲	۸۰
۸۸	۸۵	۸۴	۸۲
۸۹	۱۹	۱۷	۲۰
۹۰	۳۴	۳۵	۳۶
۹۱	۴۰	۳۹	۴۲
۹۲	۴۶	۴۴	۴۷
۹۳	۴۸	۵۰	۴۸
۹۴	۵۱	۵۳	۵۰
۹۵	۱۳	۱۷	۱۶
۹۶	۲۵	۲۶	۲۷
۹۷	۳۲	۳۱	۳۳
۹۸	۳۳	۳۲	۳۴
۹۹	۳۴	۳۴	۳۴
۱۰۰	۳۵	۳۵	۳۴
۱۰۱	۳۵	۳۵	۳۵
۱۰۲	۲۵	۲۷	۳۰
۱۰۳	۶۴	۶۴	۶۲
۱۰۴	۷۵	۷۵	۶۹
۱۰۵	۸۷	۹۰	۸۴
۱۰۶	۹۰	۹۰	۸۷
۱۰۷	۹۱	۹۱	۸۸

ادامه جدول (۲-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ سافرانین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۱۰۸	۹۳	۹۲	۹۰
۱۰۹	۱۸	۲۰	۲۱
۱۱۰	۴۱	۴۰	۴۰
۱۱۱	۴۷	۴۹	۴۶
۱۱۲	۵۳	۵۴	۵۱
۱۱۳	۵۷	۵۵	۵۵
۱۱۴	۶۲	۶۳	۶۰
۱۱۵	۶۵	۶۵	۶۰
۱۱۶	۲۸	۲۹	۲۷
۱۱۷	۳۵	۳۴	۳۳
۱۱۸	۴۴	۴۲	۴۱
۱۱۹	۴۷	۴۵	۴۵
۱۲۰	۴۹	۴۷	۴۸
۱۲۱	۵۱	۵۰	۵۰
۱۲۲	۲۳	۲۸	۲۹
۱۲۳	۴۴	۴۶	۴۶
۱۲۴	۵۵	۵۶	۵۶
۱۲۵	۶۲	۶۴	۶۲
۱۲۶	۶۹	۷۱	۶۹
۱۲۷	۷۲	۷۳	۶۸
۱۲۸	۷۱	۷۶	۶۹
۱۲۹	۱۹	۱۳	۲۳
۱۳۰	۳۴	۳۵	۳۵
۱۳۱	۴۰	۴۰	۴۱
۱۳۲	۴۵	۴۵	۴۶
۱۳۳	۴۶	۴۶	۴۶
۱۳۴	۴۸	۴۸	۴۶
۱۳۵	۴۸	۴۹	۴۷
۱۳۶	۲۲	۲۱	۲۵
۱۳۷	۲۷	۲۶	۲۸
۱۳۸	۲۹	۲۸	۳۰
۱۳۹	۳۲	۳۱	۳۴
۱۴۰	۳۴	۳۳	۳۴
۱۴۱	۳۳	۳۴	۳۴
۱۴۲	۳۵	۳۵	۳۵
۱۴۳	۲۸	۳۲	۳۱

ادامه جدول (۲-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ سافرانین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۱۴۴	۷۴	۷۳	۶۸
۱۴۵	۸۴	۸۴	۸۱
۱۴۶	۹۰	۹۱	۸۸
۱۴۷	۹۳	۹۳	۹۱
۱۴۸	۹۶	۹۳	۹۴
۱۴۹	۹۶	۹۴	۹۴
۱۵۰	۳۹	۳۹	۳۹
۱۵۱	۵۶	۵۵	۵۲
۱۵۲	۶۳	۶۰	۶۰
۱۵۳	۶۴	۶۳	۶۱
۱۵۴	۷۰	۶۶	۶۶
۱۵۵	۷۴	۶۶	۷۰
۱۵۶	۲۱	۲۴	۲۲
۱۵۷	۳۸	۳۸	۳۷
۱۵۸	۴۷	۴۶	۴۷
۱۵۹	۵۱	۵۰	۵۰
۱۶۰	۵۲	۵۳	۵۱
۱۶۱	۵۴	۵۳	۵۳
۱۶۲	۶۲	۶۳	۶۲
۱۶۳	۹۰	۸۸	۸۶
۱۶۴	۹۴	۹۴	۹۱
۱۶۵	۹۶	۹۴	۹۴
۱۶۶	۹۶	۹۴	۹۴
۱۶۷	۹۶	۹۴	۹۵
۱۶۸	۲۸	۲۷	۲۹
۱۶۹	۵۱	۵۸	۴۷
۱۷۰	۶۹	۶۷	۶۵
۱۷۱	۷۳	۷۴	۷۰
۱۷۲	۷۷	۷۵	۷۵
۱۷۳	۷۹	۷۸	۷۷
۱۷۴	۸۱	۸۱	۷۸
۱۷۵	۲۱	۲۰	۲۱
۱۷۶	۳۸	۴۱	۳۸
۱۷۷	۴۹	۴۹	۴۸
۱۷۸	۵۲	۵۱	۵۱
۱۷۹	۵۷	۵۷	۵۵

ادامه جدول (۲-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ سافرانین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۱۸۰	۵۸	۵۸	۵۶
۱۸۱	۳۰	۳۰	۳۷
۱۸۲	۳۸	۳۹	۳۹
۱۸۳	۴۲	۴۲	۴۲
۱۸۴	۴۴	۴۵	۴۳
۱۸۵	۴۶	۵۱	۴۶
۱۸۶	۴۸	۵۰	۴۹
۱۸۷	۵۱	۵۲	۵۰
۱۸۸	۴۰	۴۴	۴۳
۱۸۹	۶۳	۶۳	۶۶
۱۹۰	۷۱	۶۹	۷۲
۱۹۱	۷۴	۷۳	۷۵
۱۹۲	۷۸	۷۶	۷۸
۱۹۳	۷۹	۷۹	۷۹
۱۹۴	۸۰	۷۷	۷۷
۱۹۵	۴۸	۵۱	۴۹
۱۹۶	۶۰	۶۳	۵۹
۱۹۷	۷۳	۷۳	۷۲
۱۹۸	۸۴	۸۳	۸۳
۱۹۹	۸۹	۸۶	۸۷
۲۰۰	۸۹	۸۹	۸۶
۲۰۱	۹۲	۸۹	۸۷
۲۰۲	۳۱	۳۲	۴۱
۲۰۳	۵۳	۵۳	۵۴
۲۰۴	۶۶	۶۶	۶۶
۲۰۵	۸۰	۷۷	۷۹
۲۰۶	۸۲	۷۹	۸۲
۲۰۷	۸۴	۸۴	۸۴
۲۰۸	۸۷	۸۴	۸۶
۲۰۹	۷۰	۶۷	۶۹
۲۱۰	۷۸	۸۱	۷۹
۲۱۱	۹۱	۹۱	۹۰
۲۱۲	۹۲	۹۱	۹۲
۲۱۳	۹۳	۹۲	۹۲
۲۱۴	۹۴	۹۳	۹۳
۲۱۵	۹۴	۹۳	۹۳

ادامه جدول (۲-۶)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ سافرانین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۲۱۶	۶۰	۷۰	۶۵
۲۱۷	۸۱	۷۹	۷۹
۲۱۸	۸۶	۸۶	۸۷
۲۱۹	۸۷	۸۹	۸۸
۲۲۰	۹۰	۹۳	۹۱
۲۲۱	۹۲	۹۴	۹۱
۲۲۲	۴۸	۴۹	۴۹
۲۲۳	۷۷	۷۰	۷۴
۲۲۴	۸۸	۸۸	۸۵
۲۲۵	۸۹	۸۹	۸۸
۲۲۶	۹۱	۹۱	۸۸
۲۲۷	۹۱	۹۰	۸۹
۲۲۸	۹۱	۹۰	۸۸
۲۲۹	۷۸	۷۴	۷۷
۲۳۰	۸۸	۸۵	۸۵
۲۳۱	۹۲	۹۱	۹۰
۲۳۲	۹۲	۹۲	۹۱
۲۳۳	۹۲	۹۳	۹۲
۲۳۴	۹۲	۹۴	۹۲
۲۳۵	۹۲	۹۴	۹۳
۲۳۶	۹۳	۹۵	۹۳
۲۳۷	۷۸	۷۲	۷۸
۲۳۸	۸۷	۸۷	۸۵
۲۳۹	۹۱	۹۳	۹۱
۲۴۰	۹۲	۹۴	۹۲
۲۴۱	۹۲	۹۵	۹۲
۲۴۲	۹۲	۹۵	۹۳
۲۴۳	۹۴	۹۵	۹۴

جدول (۲-۷)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ سافرانین توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۱	۱۸	۱۹	۲۲
۲	۲۷	۲۶	۲۸
۳	۱۱	۱۲	۱۴
۴	۲۰	۱۷	۱۹
۵	۶	۷	۱۱
۶	۱۱	۱۳	۱۳
۷	۲۸	۲۸	۲۷
۸	۴۳	۴۱	۴۴
۹	۱۹	۲۱	۲۰
۱۰	۲۴	۲۵	۲۴
۱۱	۱۳	۱۲	۱۴
۱۲	۱۷	۱۶	۱۹
۱۳	۱۹	۱۷	۲۱
۱۴	۳۴	۳۴	۳۴
۱۵	۵۵	۵۴	۵۷
۱۶	۶۹	۶۸	۶۷
۱۷	۲۰	۲۳	۲۱
۱۸	۳۰	۳۱	۳۲
۱۹	۱۷	۱۸	۱۸
۲۰	۲۴	۲۴	۲۵
۲۱	۲۱	۱۷	۲۴
۲۲	۴۵	۴۴	۴۶
۲۳	۵۳	۵۳	۵۴
۲۴	۱۵	۱۲	۱۹
۲۵	۳۰	۳۲	۳۲
۲۶	۱۴	۱۵	۱۸
۲۷	۲۳	۲۲	۲۵
۲۸	۲۴	۲۵	۲۹
۲۹	۷۵	۷۲	۷۰
۳۰	۲۹	۲۹	۳۱
۳۱	۴۴	۴۴	۴۵
۳۲	۵۰	۵۰	۴۹
۳۳	۲۲	۲۲	۲۴
۳۴	۲۹	۲۹	۳۰
۳۵	۴۸	۴۹	۴۸
۳۶	۸۲	۸۴	۷۸
۳۷	۳۲	۳۴	۳۵
۳۸	۶۰	۶۱	۵۷
۳۹	۱۸	۱۶	۱۹
۴۰	۴۰	۳۹	۳۴

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۴۱	۵۰	۴۹	۴۹
۴۲	۶۷	۶۸	۶۷
۴۳	۷۲	۷۳	۶۹
۴۴	۲۹	۲۹	۳۱
۴۵	۴۴	۴۲	۴۵
۴۶	۱۶	۱۳	۲۱
۴۷	۳۱	۳۰	۳۳
۴۸	۵۸	۵۶	۵۹
۴۹	۹۵	۹۳	۹۲
۵۰	۲۳	۲۵	۲۴
۵۱	۴۷	۴۷	۴۳
۵۲	۷۱	۶۹	۶۷
۵۳	۳۰	۳۱	۳۰
۵۴	۴۲	۴۳	۳۹
۵۵	۴۸	۴۸	۴۹
۵۶	۳۴	۳۴	۳۶
۵۷	۷۹	۸۴	۶۹
۵۸	۹۷	۹۵	۹۳
۵۹	۴۲	۴۲	۴۳
۶۰	۶۲	۶۵	۵۷
۶۱	۳۲	۳۵	۳۱
۶۲	۴۴	۴۷	۳۹
۶۳	۵۵	۵۴	۵۲
۶۴	۱۷	۱۴	۳۶
۶۵	۴۵	۴۶	۴۵
۶۶	۲۱	۲۱	۴۱
۶۷	۵۵	۵۳	۵۴
۶۸	۲۶	۲۵	۴۴
۶۹	۷۹	۸۰	۷۹
۷۰	۷۵	۷۴	۷۸
۷۱	۸۴	۸۳	۸۳
۷۲	۴۰	۴۰	۴۹
۷۳	۸۶	۸۷	۸۵
۷۴	۳۳	۴۰	۴۷
۷۵	۸۲	۸۵	۸۳
۷۶	۹۰	۹۲	۹۱
۷۷	۸۷	۸۳	۸۲
۷۸	۹۱	۹۰	۸۷
۷۹	۶۱	۵۴	۶۲
۸۰	۶۲	۵۲	۶۶
۸۱	۸۹	۹۲	۹۰

جدول (۲-۸)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۱	۱۲	۹	۱۷
۲	۲۶	۲۸	۲۸
۳	۳۶	۳۴	۳۶
۴	۳۶	۳۶	۳۶
۵	۳۸	۳۸	۳۷
۶	۳۸	۳۷	۳۸
۷	۴۰	۴۱	۳۹
۸	۱۲	۸	۱۴
۹	۱۹	۱۹	۲۰
۱۰	۲۱	۲۱	۲۲
۱۱	۲۴	۲۳	۲۴
۱۲	۲۷	۲۴	۲۶
۱۳	۲۷	۲۵	۲۷
۱۴	۲۸	۲۳	۲۸
۱۵	۱۱	۱۳	۱۳
۱۶	۱۴	۱۴	۱۶
۱۷	۱۷	۱۵	۱۸
۱۸	۱۷	۱۶	۱۸
۱۹	۱۸	۱۸	۱۹
۲۰	۱۸	۲۰	۲۰
۲۱	۲۰	۱۹	۲۱
۲۲	۱۸	۱۴	۱۹
۲۳	۳۴	۳۴	۳۳
۲۴	۳۹	۳۹	۳۸
۲۵	۴۵	۴۶	۴۷
۲۶	۴۶	۴۷	۴۸
۲۷	۴۹	۵۰	۵۰
۲۸	۴۸	۵۱	۵۰
۲۹	۱۳	۱۰	۱۵
۳۰	۱۷	۲۰	۱۸
۳۱	۲۳	۲۴	۲۴
۳۲	۲۶	۲۶	۲۷
۳۳	۲۸	۲۹	۲۸
۳۴	۲۷	۳۰	۲۸
۳۵	۳۱	۲۹	۳۲

ادامه جدول (۲-۸)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۳۶	۸	۸	۱۲
۳۷	۱۵	۱۷	۱۷
۳۸	۱۶	۱۸	۱۸
۳۹	۱۸	۱۸	۲۰
۴۰	۱۹	۲۰	۲۰
۴۱	۲۱	۲۱	۲۲
۴۲	۱۸	۲۰	۲۲
۴۳	۴۷	۴۶	۴۹
۴۴	۶۱	۵۹	۶۱
۴۵	۶۲	۶۳	۶۳
۴۶	۶۹	۷۱	۶۷
۴۷	۷۰	۷۴	۶۸
۴۸	۱۷	۱۷	۱۸
۴۹	۲۹	۳۲	۳۰
۵۰	۳۵	۳۵	۳۷
۵۱	۳۸	۳۸	۳۸
۵۲	۴۰	۴۰	۳۹
۵۳	۴۲	۴۱	۴۱
۵۴	۴۲	۴۲	۴۱
۵۵	۱۴	۱۱	۱۶
۵۶	۲۲	۲۲	۲۳
۵۷	۲۳	۲۳	۲۴
۵۸	۲۹	۲۷	۳۰
۵۹	۲۹	۳۰	۳۰
۶۰	۳۱	۲۹	۳۱
۶۱	۳۲	۳۱	۳۲
۶۲	۳۵	۳۴	۳۷
۶۳	۴۳	۴۳	۴۴
۶۴	۵۴	۵۶	۵۴
۶۵	۵۶	۵۶	۵۸
۶۶	۵۷	۶۰	۶۰
۶۷	۶۰	۶۵	۶۴
۶۸	۲۴	۲۴	۲۹
۶۹	۳۱	۳۰	۳۴
۷۰	۳۶	۳۵	۳۷
۷۱	۳۸	۳۹	۴۰

ادامه جدول (۲-۸)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۷۲	۴۱	۴۰	۴۳/۲۱
۷۳	۴۴	۴۳	۴۴
۷۴	۴۶	۴۴	۴۶
۷۵	۱۳	۱۲	۱۷
۷۶	۲۶	۲۳	۲۷
۷۷	۲۴	۲۵	۲۷
۷۸	۲۸	۲۶	۲۹
۷۹	۲۹	۲۶	۳۱
۸۰	۳۲	۳۱	۳۳
۸۱	۳۳	۳۳	۳۴
۸۲	۴۶	۴۳	۴۵
۸۳	۵۶	۵۴	۵۸
۸۴	۶۶	۶۴	۶۶
۸۵	۷۶	۷۵	۷۵
۸۶	۸۰	۷۹	۸۰
۸۷	۸۱	۸۱	۸۰
۸۸	۸۳	۸۳	۸۰
۸۹	۲۱	۱۹	۲۲
۹۰	۳۶	۳۹	۳۹
۹۱	۴۱	۴۱	۴۲
۹۲	۴۸	۴۹	۴۹
۹۳	۵۰	۵۰	۵۰
۹۴	۵۳	۵۳	۵۲
۹۵	۱۶	۱۸	۱۸
۹۶	۲۷	۲۴	۲۹
۹۷	۳۳	۳۳	۳۴
۹۸	۳۴	۳۵	۳۵
۹۹	۳۶	۳۷	۳۶
۱۰۰	۳۷	۳۸	۳۷
۱۰۱	۳۶	۳۹	۳۷
۱۰۲	۲۸	۲۷	۳۱
۱۰۳	۶۴	۶۲	۶۴
۱۰۴	۷۴	۷۴	۷۱
۱۰۵	۸۵	۸۵	۸۲
۱۰۶	۸۷	۸۷	۸۵
۱۰۷	۸۹	۸۹	۸۷

ادامه جدول (۲-۸)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۱۰۸	۹۰	۹۱	۸۸
۱۰۹	۲۳	۲۶	۲۵
۱۱۰	۴۴	۴۴	۴۵
۱۱۱	۴۹	۵۰	۴۹
۱۱۲	۵۵	۵۵	۵۴
۱۱۳	۵۸	۵۷	۵۶
۱۱۴	۶۲	۶۱	۶۰
۱۱۵	۶۴	۶۵	۶۱
۱۱۶	۳۵	۳۲	۳۴
۱۱۷	۴۱	۴۰	۳۸
۱۱۸	۴۹	۴۸	۴۸
۱۱۹	۵۱	۵۰	۵۱
۱۲۰	۵۴	۵۲	۵۲
۱۲۱	۵۵	۵۳	۵۴
۱۲۲	۲۸	۲۹	۳۱
۱۲۳	۵۰	۴۸	۵۰
۱۲۴	۶۲	۶۴	۶۳
۱۲۵	۷۰	۷۱	۷۰
۱۲۶	۷۸	۷۸	۷۷
۱۲۷	۸۱	۸۱	۷۸
۱۲۸	۸۱	۸۴	۷۹
۱۲۹	۲۱	۲۴	۲۵
۱۳۰	۴۰	۴۲	۴۲
۱۳۱	۴۷	۴۸	۴۶
۱۳۲	۵۳	۵۳	۵۳
۱۳۳	۵۴	۵۴	۵۳
۱۳۴	۵۶	۵۷	۵۴
۱۳۵	۵۷	۵۹	۵۵
۱۳۶	۳۰	۳۱	۳۲
۱۳۷	۳۶	۳۶	۳۷
۱۳۸	۳۹	۴۰	۴۰
۱۳۹	۴۲	۴۲	۴۳
۱۴۰	۴۵	۴۴	۴۵
۱۴۱	۴۵	۴۵	۴۵
۱۴۲	۴۷	۴۶	۴۶
۱۴۳	۳۲	۳۴	۳۲

ادامه جدول (۲-۸)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۱۴۴	۷۲	۷۳	۷۰
۱۴۵	۸۲	۸۲	۷۸
۱۴۶	۸۷	۸۶	۸۴
۱۴۷	۹۱	۸۹	۸۸
۱۴۸	۹۳	۹۰	۹۱
۱۴۹	۹۵	۹۱	۹۲
۱۵۰	۴۳	۴۲	۴۲
۱۵۱	۵۹	۵۸	۵۴
۱۵۲	۶۵	۶۱	۶۲
۱۵۳	۶۵	۶۳	۶۴
۱۵۴	۷۱	۶۷	۶۷
۱۵۵	۷۴	۷۳	۷۰
۱۵۶	۲۳	۲۴	۲۴
۱۵۷	۴۱	۳۷	۴۰
۱۵۸	۵۰	۴۸	۴۹
۱۵۹	۵۳	۴۹	۵۳
۱۶۰	۵۴	۵۳	۵۴
۱۶۱	۵۵	۵۴	۵۵
۱۶۲	۶۳	۶۶	۶۴
۱۶۳	۸۷	۸۸	۸۴
۱۶۴	۹۳	۹۰	۹۰
۱۶۵	۹۳	۹۳	۹۲
۱۶۶	۹۴	۹۳	۹۲
۱۶۷	۹۴	۹۴	۹۲
۱۶۸	۳۲	۲۸	۳۲
۱۶۹	۵۵	۵۱	۵۱
۱۷۰	۶۸	۶۸	۶۵
۱۷۱	۷۲	۷۲	۶۹
۱۷۲	۷۶	۷۵	۷۳
۱۷۳	۷۸	۷۵	۷۶
۱۷۴	۷۹	۷۸	۷۶
۱۷۵	۲۶	۲۴	۲۶
۱۷۶	۴۱	۴۴	۴۱
۱۷۷	۵۱	۵۱	۴۹
۱۷۸	۵۴	۵۴	۵۴
۱۷۹	۵۸	۵۹	۵۷

ادامه جدول (۲-۸)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۱۸۰	۶۰	۶۲	۵۸
۱۸۱	۳۸	۴۱	۴۳
۱۸۲	۴۹	۴۷	۵۱
۱۸۳	۵۲	۵۴	۵۵
۱۸۴	۵۵	۵۶	۵۸
۱۸۵	۶۰	۶۳	۶۲
۱۸۶	۶۳	۶۱	۶۴
۱۸۷	۶۶	۷۰	۶۷
۱۸۸	۴۰	۴۳	۴۶
۱۸۹	۶۱	۶۲	۶۰
۱۹۰	۶۸	۶۶	۶۶
۱۹۱	۷۲	۷۱	۷۲
۱۹۲	۷۷	۷۴	۷۷
۱۹۳	۷۸	۷۵	۷۹
۱۹۴	۷۹	۷۷	۷۸
۱۹۵	۵۱	۵۰	۵۲
۱۹۶	۶۰	۶۳	۵۷
۱۹۷	۷۲	۷۲	۷۱
۱۹۸	۸۲	۸۱	۸۰
۱۹۹	۸۶	۸۲	۸۴
۲۰۰	۸۵	۸۵	۸۴
۲۰۱	۹۰	۸۹	۸۵
۲۰۲	۳۶	۳۹	۴۳
۲۰۳	۵۹	۶۱	۵۹
۲۰۴	۷۳	۷۰	۷۴
۲۰۵	۸۶	۸۱	۸۴
۲۰۶	۸۷	۸۲	۸۶
۲۰۷	۹۰	۸۴	۸۸
۲۰۸	۹۰	۸۷	۸۸
۲۰۹	۷۰	۷۰	۷۰
۲۱۰	۷۸	۸۰	۷۸
۲۱۱	۸۹	۸۹	۸۸
۲۱۲	۹۰	۹۱	۹۰
۲۱۳	۹۱	۹۲	۹۰
۲۱۴	۹۲	۹۲	۹۱
۲۱۵	۹۳	۹۳	۹۱

ادامه جدول (۲-۸)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری آموزش رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۲۱۶	۶۱	۶۶	۶۳
۲۱۷	۸۱	۷۸	۷۹
۲۱۸	۸۴	۸۵	۸۵
۲۱۹	۸۵	۸۸	۸۶
۲۲۰	۸۸	۹۰	۸۸
۲۲۱	۸۹	۹۱	۸۹
۲۲۲	۵۰	۵۰	۵۳
۲۲۳	۷۹	۷۱	۷۶
۲۲۴	۸۲	۸۷	۸۲
۲۲۵	۸۴	۸۷	۸۴
۲۲۶	۸۶	۸۸	۸۵
۲۲۷	۸۶	۸۹	۸۶
۲۲۸	۸۶	۹۰	۸۶
۲۲۹	۸۰	۷۸	۷۹
۲۳۰	۸۶	۸۶	۸۴
۲۳۱	۸۸	۹۰	۸۷
۲۳۲	۸۹	۹۱	۸۹
۲۳۳	۹۰	۹۲	۸۹
۲۳۴	۸۹	۹۲	۸۹
۲۳۵	۸۹	۹۲	۹۰
۲۳۶	۹۰	۹۳	۹۰
۲۳۷	۸۳	۷۹	۸۲
۲۳۸	۸۹	۸۸	۸۶
۲۳۹	۹۳	۹۳	۹۲
۲۴۰	۹۳	۹۴	۹۳
۲۴۱	۹۴	۹۴	۹۳
۲۴۲	۹۵	۹۵	۹۴
۲۴۳	۹۷	۹۵	۹۴

جدول (۲-۹)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۱	۲۰	۲۲	۲۴
۲	۳۱	۳۱	۳۴
۳	۱۵	۱۷	۱۷
۴	۲۶	۲۶	۲۶
۵	۸	۸	۱۲
۶	۱۴	۱۴	۱۷
۷	۲۴	۲۸	۲۶
۸	۴۴	۴۳	۴۵
۹	۲۱	۲۲	۲۳
۱۰	۲۶	۲۸	۲۸
۱۱	۱۳	۱۴	۱۵
۱۲	۱۷	۱۶	۱۹
۱۳	۲۰	۲۱	۲۲
۱۴	۳۵	۳۵	۳۵
۱۵	۵۵	۵۲	۵۹
۱۶	۶۷	۶۷	۶۷
۱۷	۲۴	۲۷	۲۴
۱۸	۳۳	۳۳	۳۳
۱۹	۲۰	۲۱	۲۰
۲۰	۲۸	۲۶	۲۸
۲۱	۲۱	۱۹	۲۷
۲۲	۵۰	۵۰	۵۱
۲۳	۶۰	۶۱	۶۴
۲۴	۱۷	۱۶	۲۱
۲۵	۴۰	۴۰	۴۳
۲۶	۱۸	۲۰	۲۳
۲۷	۳۰	۳۲	۳۱
۲۸	۲۷	۲۶	۲۸
۲۹	۷۴	۷۲	۷۲
۳۰	۳۱	۳۲	۳۶
۳۱	۴۶	۴۷	۴۷
۳۲	۵۱	۵۲	۵۱
۳۳	۲۲	۲۲	۲۷
۳۴	۳۲	۲۹	۳۲
۳۵	۵۰	۴۹	۵۲

ادامه جدول (۲-۹)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۳۶	۸۰	۸۰	۷۷
۳۷	۳۶	۳۸	۳۹
۳۸	۶۰	۶۰	۵۷
۳۹	۲۳	۲۴	۲۳
۴۰	۴۵	۴۴	۴۱
۴۱	۵۵	۵۴	۵۳
۴۲	۷۶	۷۵	۷۳
۴۳	۸۱	۸۱	۷۹
۴۴	۳۵	۳۵	۳۸
۴۵	۵۲	۵۲	۵۲
۴۶	۲۱	۲۳	۲۴
۴۷	۴۱	۴۱	۴۲
۴۸	۵۸	۵۹	۶۲
۴۹	۹۲	۹۰	۸۸
۵۰	۲۶	۲۶	۲۸
۵۱	۵۰	۵۰	۴۷
۵۲	۷۲	۶۹	۶۷
۵۳	۳۲	۳۲	۳۴
۵۴	۴۵	۴۴	۴۳
۵۵	۵۱	۴۹	۵۱
۵۶	۳۷	۳۸	۳۸
۵۷	۷۹	۸۰	۷۲
۵۸	۹۵	۹۴	۹۲
۵۹	۴۶	۴۷	۴۴
۶۰	۶۳	۶۵	۵۷
۶۱	۳۶	۳۶	۳۵
۶۲	۴۸	۴۸	۴۴
۶۳	۵۷	۵۷	۵۶
۶۴	۲۴	۲۰	۳۹
۶۵	۵۸	۵۹	۵۹
۶۶	۲۳	۲۴	۴۱
۶۷	۵۵	۵۴	۵۲
۶۸	۳۱	۳۰	۴۵
۶۹	۷۶	۷۷	۷۶
۷۰	۸۱	۷۹	۸۰
۷۱	۹۰	۸۶	۸۷

ادامه جدول (۲-۹)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده سری تست رنگ متیل‌ویولت توسط روش‌های خطی و غیرخطی با مخروط کاج اصلاح شده.

NO	R_{EXP}	Rpred (ANN)	Rpred (RF)
۷۲	۴۵	۴۳	۵۰
۷۳	۸۴	۸۶	۸۳
۷۴	۳۷	۴۱	۴۸
۷۵	۸۱	۸۳	۸۱
۷۶	۸۷	۸۹	۸۷
۷۷	۸۲	۸۲	۸۰
۷۸	۸۶	۸۸	۸۶
۷۹	۶۱	۵۴	۵۸
۸۰	۶۹	۵۷	۶۶
۸۱	۹۲	۹۲	۸۹

پیوست ۳

جدول (۳-۱)- اطلاعات مربوط به نمودار کالیبراسیون مشتق مرتبه صفر الف- متیلن‌بلو در طول موج ۶۶۴ نانومتر، و مشتق مرتبه اول کریستال ویولت در طول موج ۵۰۶ نانومتر.

الف

غلظت متیلن‌بلو (میلی‌گرم بر لیتر)	جذب (A)
۲/۰۰	۰/۳۹
۵/۰۰	۰/۹۶۷
۷/۰۰	۱/۳۱۹
۸/۰۰	۱/۶۰۲
۱۰/۰۰	۱/۷۷۵

ب

غلظت کریستال ویولت (میلی‌گرم بر لیتر)	جذب (A)
۲/۰۰	۰/۰۰۴۳۳
۴/۰۰	۰/۰۰۸۲۹
۶/۰۰	۰/۰۱۲۳
۸/۰۰	۰/۰۱۵۹
۱۰/۰۰	۰/۰۲۰۱

جدول (۳-۲)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری آموزش رنگ متیلن بلو توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۱	۰/۱	۶	۲/۰	۲۱/۶	۹۱	۹۰	۹۰
۲	۰/۱	۱۰	۲/۰	۲۱/۶	۹۱	۹۱	۹۱
۳	۰/۱	۲۰	۲/۲	۲۱/۶	۹۰	۹۱	۹۱
۴	۰/۱	۳۰	۲/۱	۲۱/۶	۹۰	۹۲	۹۲
۵	۰/۱	۴۰	۱/۸	۲۱/۶	۹۱	۹۳	۹۳
۶	۰/۱	۶۰	۱/۴	۲۱/۶	۹۳	۹۵	۹۴
۷	۰/۱	۷۰	۱/۲	۲۱/۶	۹۴	۹۶	۹۵
۸	۰/۱	۸۰	۱/۱	۲۱/۶	۹۵	۹۷	۹۵
۹	۰/۱	۶	۳/۴	۳۹/۳	۹۱	۸۹	۹۱
۱۰	۰/۱	۱۵	۲/۶	۳۹/۳	۹۳	۹۰	۹۳
۱۱	۰/۱	۲۰	۲/۳	۳۹/۳	۹۴	۹۱	۹۲
۱۲	۰/۱	۳۰	۱/۷	۳۹/۳	۹۶	۹۲	۹۴
۱۳	۰/۱	۴۰	۱/۷	۳۹/۳	۹۶	۹۳	۹۵
۱۴	۰/۱	۶۰	۱/۶	۳۹/۳	۹۶	۹۵	۹۵
۱۵	۰/۱	۷۰	۱/۶	۳۹/۳	۹۶	۹۶	۹۶
۱۶	۰/۱	۸۰	۱/۶	۳۹/۳	۹۶	۹۷	۹۶
۱۷	۰/۱	۶	۱۳/۱	۶۲/۱	۷۹	۸۱	۷۹
۱۸	۰/۱	۱۵	۷/۲	۶۲/۱	۸۸	۸۶	۸۸
۱۹	۰/۱	۳۰	۴/۸	۶۲/۱	۹۲	۹۰	۹۲
۲۰	۰/۱	۴۰	۳/۹	۶۲/۱	۹۴	۹۱	۹۳
۲۱	۰/۱	۵۰	۴/۸	۶۲/۱	۹۲	۹۱	۹۳
۲۲	۰/۱	۷۰	۳/۷	۶۲/۱	۹۴	۹۴	۹۴
۲۳	۰/۱	۸۰	۳/۷	۶۲/۱	۹۴	۹۵	۹۴
۲۴	۰/۱	۲	۴۱/۱	۸۲/۵	۵۰	۶۵	۵۲
۲۵	۰/۱	۶	۲۷/۸	۸۲/۵	۶۶	۶۸	۶۵
۲۶	۰/۱	۱۰	۱۹/۸	۸۲/۵	۷۶	۷۵	۷۴
۲۷	۰/۱	۲۰	۱۱/۱	۸۲/۵	۸۶	۸۳	۸۶
۲۸	۰/۱	۳۰	۱۰/۴	۸۲/۵	۸۷	۸۵	۸۷
۲۹	۰/۱	۵۰	۹/۸	۸۲/۵	۸۸	۸۷	۸۷
۳۰	۰/۱	۷۰	۹/۶	۸۲/۵	۸۸	۸۹	۸۸
۳۱	۰/۱	۸۰	۹/۲	۸۲/۵	۸۹	۹۰	۸۸

ادامه جدول (۳-۲)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری آموزش رنگ متیلن بلو توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۳۲	۰/۱	۲	۵۷/۱	۱۰۱/۳	۴۴	۴۲	۴۴
۳۳	۰/۱	۱۰	۳۹/۴	۱۰۱/۳	۶۱	۵۸	۵۹
۳۴	۰/۱	۱۵	۳۳/۲	۱۰۱/۳	۶۷	۶۴	۶۶
۳۵	۰/۱	۳۰	۲۶/۵	۱۰۱/۳	۷۴	۷۱	۷۳
۳۶	۰/۱	۴۰	۲۴/۷	۱۰۱/۳	۷۶	۷۳	۷۴
۳۷	۰/۱	۶۰	۱۹/۹	۱۰۱/۳	۸۰	۷۹	۷۸
۳۸	۰/۱	۷۰	۱۹/۰	۱۰۱/۳	۸۱	۸۱	۸۰
۳۹	۰/۱	۸۰	۱۸/۳	۱۰۱/۳	۸۲	۸۲	۸۰
۴۰	۰/۰۸	۶	۲/۲	۲۱/۱	۹۰	۸۷	۸۹
۴۱	۰/۰۸	۱۰	۱/۹	۲۱/۱	۹۱	۸۸	۹۰
۴۲	۰/۰۸	۱۵	۱/۷	۲۱/۱	۹۲	۸۹	۹۲
۴۳	۰/۰۸	۳۰	۱/۵	۲۱/۱	۹۳	۹۰	۹۳
۴۴	۰/۰۸	۴۰	۱/۴	۲۱/۱	۹۳	۹۱	۹۳
۴۵	۰/۰۸	۵۰	۱/۳۹	۲۱/۱	۹۳	۹۲	۹۳
۴۶	۰/۰۸	۷۰	۱/۳۵	۲۱/۱	۹۴	۹۳	۹۴
۴۷	۰/۰۸	۸۰	۱/۳۵	۲۱/۱	۹۴	۹۴	۹۳
۴۸	۰/۰۸	۲	۱۳/۷۶	۴۲/۹	۶۸	۷۷	۷۰
۴۹	۰/۰۸	۱۰	۵/۴۲	۴۲/۹	۸۷	۸۵	۸۸
۵۰	۰/۰۸	۲۰	۳/۰۵	۴۲/۹	۹۳	۸۹	۹۲
۵۱	۰/۰۸	۳۰	۳/۳۴	۴۲/۹	۹۲	۸۸	۹۲
۵۲	۰/۰۸	۵۰	۲/۵	۴۲/۹	۹۴	۹۱	۹۴
۵۳	۰/۰۸	۶۰	۲/۵	۴۲/۹	۹۴	۹۲	۹۴
۵۴	۰/۰۸	۷۰	۲/۳	۴۲/۹	۹۵	۹۳	۹۴
۵۵	۰/۰۸	۲	۲۹/۱	۵۹/۹	۵۱	۶۴	۵۶
۵۶	۰/۰۸	۶	۲۱/۳	۵۹/۹	۶۴	۷۱	۶۵
۵۷	۰/۰۸	۱۰	۱۷/۰	۵۹/۹	۷۲	۷۵	۷۲
۵۸	۰/۰۸	۲۰	۹/۴	۵۹/۹	۸۴	۸۲	۸۵
۵۹	۰/۰۸	۴۰	۸/۷	۵۹/۹	۸۵	۸۵	۸۶
۶۰	۰/۰۸	۵۰	۸/۷	۵۹/۹	۸۵	۸۵	۸۶
۶۱	۰/۰۸	۶۰	۸/۳	۵۹/۹	۸۶	۸۶	۸۶
۶۲	۰/۰۸	۷۰	۸/۱	۵۹/۹	۸۶	۸۷	۸۷
۶۳	۰/۰۸	۲	۵۳/۳	۸۴/۰	۳۷	۴۳	۴۱
۶۴	۰/۰۸	۱۰	۳۶/۵	۸۴/۰	۵۷	۵۸	۵۸
۶۵	۰/۰۸	۱۵	۳۱/۰	۸۴/۰	۶۳	۶۳	۶۴

ادامه جدول (۳-۲)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری آموزش رنگ متیلن بلو توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۶۶	۰/۰۸	۳۰	۲۷/۴	۸۴/۰	۶۷	۶۸	۶۸
۶۷	۰/۰۸	۴۰	۲۶/۰	۸۴/۰	۶۹	۷۰	۷۰
۶۸	۰/۰۸	۵۰	۲۴/۰	۸۴/۰	۷۱	۷۲	۷۱
۶۹	۰/۰۸	۶۰	۲۲/۰	۸۴/۰	۷۴	۷۵	۷۲
۷۰	۰/۰۸	۸۰	۲۰/۶	۸۴/۰	۷۵	۷۸	۷۳
۷۱	۰/۰۸	۲	۶۶/۱	۹۹/۹	۳۴	۳۲	۳۸
۷۲	۰/۰۸	۶	۴۶/۰	۹۹/۹	۵۴	۵۰	۵۲
۷۳	۰/۰۸	۱۵	۳۷/۶	۹۹/۹	۶۲	۵۸	۶۰
۷۴	۰/۰۸	۲۰	۳۴/۶	۹۹/۹	۶۵	۶۰	۶۴
۷۵	۰/۰۸	۳۰	۳۲/۴	۹۹/۹	۶۸	۶۳	۶۷
۷۶	۰/۰۸	۵۰	۳۱/۶	۹۹/۹	۶۸	۶۶	۶۸
۷۷	۰/۰۸	۶۰	۳۱/۱	۹۹/۹	۶۹	۶۷	۶۸
۷۸	۰/۰۸	۷۰	۳۰/۸	۹۹/۹	۶۹	۶۸	۶۸
۷۹	۰/۰۸	۸۰	۳۰/۳	۹۹/۹	۷۰	۶۹	۶۹
۸۰	۰/۰۶	۶	۳/۲	۲۱/۵	۸۵	۸۴	۸۶
۸۱	۰/۰۶	۱۰	۲/۸	۲۱/۵	۸۷	۸۵	۸۷
۸۲	۰/۰۶	۲۰	۲/۲	۲۱/۵	۹۰	۸۶	۸۹
۸۳	۰/۰۶	۳۰	۲/۲	۲۱/۵	۹۰	۸۷	۹۰
۸۴	۰/۰۶	۴۰	۲/۱	۲۱/۵	۹۰	۸۸	۹۰
۸۵	۰/۰۶	۵۰	۲/۰	۲۱/۵	۹۱	۸۹	۹۰
۸۶	۰/۰۶	۶۰	۱/۹	۲۱/۵	۹۲	۸۹	۹۰
۸۷	۰/۰۶	۸۰	۱/۸	۲۱/۵	۹۳	۹۱	۹۱
۸۸	۰/۰۶	۲	۱۹/۷	۴۳/۸	۵۵	۶۹	۶۱
۸۹	۰/۰۶	۶	۱۱/۵	۴۳/۸	۷۴	۷۷	۷۸
۹۰	۰/۰۶	۱۵	۸/۳	۴۳/۸	۸۱	۸۰	۸۳
۹۱	۰/۰۶	۲۰	۶/۶	۴۳/۸	۸۵	۸۲	۸۵
۹۲	۰/۰۶	۳۰	۶/۵	۴۳/۸	۸۵	۸۳	۸۵
۹۳	۰/۰۶	۵۰	۵/۶	۴۳/۸	۸۷	۸۵	۸۷
۹۴	۰/۰۶	۶۰	۵/۵	۴۳/۸	۸۷	۸۶	۸۷
۹۵	۰/۰۶	۷۰	۵/۲	۴۳/۸	۸۸	۸۷	۸۸
۹۶	۰/۰۶	۸۰	۵/۲	۴۳/۸	۸۸	۸۸	۸۸
۹۷	۰/۰۶	۲	۳۷/۷	۶۳/۳	۴۰	۵۴	۴۷
۹۸	۰/۰۶	۶	۲۸/۱	۶۳/۳	۵۶	۶۲	۵۸
۹۹	۰/۰۶	۱۵	۲۲/۷	۶۳/۳	۶۴	۶۸	۶۵
۱۰۰	۰/۰۶	۲۰	۲۱/۵	۶۳/۳	۶۶	۶۹	۶۶
۱۰۱	۰/۰۶	۳۰	۲۰/۷	۶۳/۳	۶۷	۷۱	۶۷

ادامه جدول (۳-۲)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش‌بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری آموزش رنگ متیلن بلو توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۱۰۲	۰/۰۶	۵۰	۱۸/۲	۶۳/۳	۷۱	۷۵	۷۳
۱۰۳	۰/۰۶	۶۰	۱۷/۲	۶۳/۳	۷۳	۷۶	۷۳
۱۰۴	۰/۰۶	۷۰	۱۶/۸	۶۳/۳	۷۳	۷۷	۷۳
۱۰۵	۰/۰۶	۸۰	۱۶/۴	۶۳/۳	۷۴	۷۸	۷۴
۱۰۶	۰/۰۶	۲	۵۵/۴	۸۲/۷	۳۳	۳۸	۳۸
۱۰۷	۰/۰۶	۶	۴۸/۹	۸۲/۷	۴۱	۴۴	۴۴
۱۰۸	۰/۰۶	۱۵	۳۹/۱	۸۲/۷	۵۳	۵۴	۵۳
۱۰۹	۰/۰۶	۲۰	۳۷/۵	۸۲/۷	۵۵	۵۵	۵۶
۱۱۰	۰/۰۶	۴۰	۳۴/۰	۸۲/۷	۵۹	۶۰	۶۰
۱۱۱	۰/۰۶	۵۰	۳۳/۳	۸۲/۷	۶۰	۶۱	۶۰
۱۱۲	۰/۰۶	۷۰	۳۲/۵	۸۲/۷	۶۱	۶۴	۶۱
۱۱۳	۰/۰۶	۸۰	۳۲/۵	۸۲/۷	۶۱	۶۵	۶۱
۱۱۴	۰/۰۶	۶	۶۹/۸	۹۸/۴	۲۹	۲۶	۳۶
۱۱۵	۰/۰۶	۱۰	۶۳/۴	۹۸/۴	۳۶	۳۲	۳۹
۱۱۶	۰/۰۶	۱۵	۵۸/۱	۹۸/۴	۴۱	۳۷	۴۴
۱۱۷	۰/۰۶	۲۰	۵۸/۱	۹۸/۴	۴۱	۳۷	۴۴
۱۱۸	۰/۰۶	۳۰	۵۴/۴	۹۸/۴	۴۵	۴۲	۴۶
۱۱۹	۰/۰۶	۴۰	۵۴/۲	۹۸/۴	۴۵	۴۳	۴۷
۱۲۰	۰/۰۶	۵۰	۵۴/۴	۹۸/۴	۴۵	۴۳	۴۷
۱۲۱	۰/۰۶	۷۰	۵۳/۰	۹۸/۴	۴۶	۴۶	۴۸
۱۲۲	۰/۰۶	۸۰	۵۲/۸	۹۸/۴	۴۶	۴۷	۴۸
۱۲۳	۰/۱۲	۲	۲/۶	۲۱/۱	۸۸	۹۲	۸۹
۱۲۴	۰/۱۲	۱۰	۱/۴	۲۱/۱	۹۳	۹۴	۹۳
۱۲۵	۰/۱۲	۱۵	۱/۱	۲۱/۱	۹۵	۹۴	۹۵
۱۲۶	۰/۱۲	۲۰	۱/۱	۲۱/۱	۹۵	۹۵	۹۵
۱۲۷	۰/۱۲	۳۰	۰/۹	۲۱/۱	۹۵	۹۶	۹۵
۱۲۸	۰/۱۲	۵۰	۰/۹	۲۱/۱	۹۵	۹۷	۹۶
۱۲۹	۰/۱۲	۶۰	۰/۸	۲۱/۱	۹۶	۹۸	۹۶
۱۳۰	۰/۱۲	۷۰	۰/۸	۲۱/۱	۹۶	۹۹	۹۶
۱۳۱	۰/۱۲	۸۰	۰/۸	۲۱/۱	۹۶	۱۰۰	۹۶
۱۳۲	۰/۱۲	۲	۶/۵	۴۰/۴	۸۴	۸۹	۸۶
۱۳۳	۰/۱۲	۶	۳/۲۰	۴۰/۴	۹۳	۹۲	۹۲
۱۳۴	۰/۱۲	۱۵	۲/۰	۴۰/۴	۹۵	۹۴	۹۴
۱۳۵	۰/۱۲	۳۰	۱/۱	۴۰/۴	۹۷	۹۶	۹۶
۱۳۶	۰/۱۲	۴۰	۱/۱	۴۰/۴	۹۷	۹۶	۹۷
۱۳۷	۰/۱۲	۵۰	۱/۱	۴۰/۴	۹۷	۹۷	۹۷

ادامه جدول (۳-۲)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری آموزش رنگ متیلن بلو توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred,\ MLR}$	$R_{pred,\ RF}$
۱۳۸	۰/۱۲	۶۰	۱/۱	۴۰/۴	۹۷	۹۸	۹۷
۱۳۹	۰/۱۲	۸۰	۱/۱	۴۰/۴	۹۷	۱۰۰	۹۷
۱۴۰	۰/۱۲	۲	۷/۱	۶۰/۹	۸۸	۸۸	۸۶
۱۴۱	۰/۱۲	۶	۳/۸	۶۰/۹	۹۴	۹۱	۹۲
۱۴۲	۰/۱۲	۱۵	۲/۶	۶۰/۹	۹۶	۹۳	۹۵
۱۴۳	۰/۱۲	۲۰	۲/۵	۶۰/۹	۹۶	۹۴	۹۵
۱۴۴	۰/۱۲	۳۰	۲/۷	۶۰/۹	۹۶	۹۴	۹۵
۱۴۵	۰/۱۲	۵۰	۲/۴	۶۰/۹	۹۶	۹۶	۹۶
۱۴۶	۰/۱۲	۶۰	۲/۳	۶۰/۹	۹۶	۹۷	۹۶
۱۴۷	۰/۱۲	۷۰	۲/۲	۶۰/۹	۹۶	۹۸	۹۶
۱۴۸	۰/۱۲	۸۰	۲/۲	۶۰/۹	۹۶	۹۹	۹۶
۱۴۹	۰/۱۲	۲	۳۰/۶	۸۲/۳	۶۳	۶۸	۶۲
۱۵۰	۰/۱۲	۶	۱۶/۸	۸۲/۳	۸۰	۸۰	۷۸
۱۵۱	۰/۱۲	۱۰	۱۱/۰	۸۲/۳	۸۷	۸۵	۸۶
۱۵۲	۰/۱۲	۱۵	۷/۹	۸۲/۳	۹۰	۸۸	۸۸
۱۵۳	۰/۱۲	۳۰	۵/۹	۸۲/۳	۹۳	۹۱	۹۲
۱۵۴	۰/۱۲	۴۰	۶/۰	۸۲/۳	۹۳	۹۲	۹۲
۱۵۵	۰/۱۲	۵۰	۵/۸	۸۲/۳	۹۳	۹۳	۹۲
۱۵۶	۰/۱۲	۷۰	۴/۶	۸۲/۳	۹۴	۹۶	۹۴
۱۵۷	۰/۱۲	۸۰	۴/۶	۸۲/۳	۹۴	۹۷	۹۴
۱۵۸	۰/۱۲	۲	۴۶/۰	۹۶/۸	۵۲	۵۴	۵۳
۱۵۹	۰/۱۲	۶	۳۳/۲	۹۶/۸	۶۶	۶۶	۶۴
۱۶۰	۰/۱۲	۱۵	۲۱/۶	۹۶/۸	۷۸	۷۷	۷۵
۱۶۱	۰/۱۲	۲۰	۱۹/۰	۹۶/۸	۸۰	۷۹	۸۰
۱۶۲	۰/۱۲	۳۰	۱۴/۳	۹۶/۸	۸۵	۸۴	۸۲
۱۶۳	۰/۱۲	۵۰	۱۱/۶	۹۶/۸	۸۸	۸۸	۸۷
۱۶۴	۰/۱۲	۶۰	۱۱/۰	۹۶/۸	۸۹	۸۹	۸۸
۱۶۵	۰/۱۲	۷۰	۹/۷	۹۶/۸	۹۰	۹۱	۸۹

جدول (۳-۳)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری تست رنگ متیلن‌بلو توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No.	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۱	۰/۱	۲	۲/۸	۲۱/۶	۸۷	۸۹	۸۸
۲	۰/۱	۱۵	۲/۱	۲۱/۶	۹۰	۹۱	۹۱
۳	۰/۱	۵۰	۱/۶	۲۱/۶	۹۳	۹۴	۹۵
۴	۰/۱	۲	۵/۸	۳۹/۳	۸۵	۸۷	۸۷
۵	۰/۱	۱۰	۲/۱	۳۹/۳	۹۵	۹۰	۹۰
۶	۰/۱	۵۰	۱/۶	۳۹/۳	۹۶	۹۴	۹۵
۷	۰/۱	۲	۲۱/۴	۶۲/۱	۶۶	۷۳	۶۵
۸	۰/۱	۱۰	۹/۴	۶۲/۱	۸۵	۸۴	۸۶
۹	۰/۱	۲۰	۵/۵	۶۲/۱	۹۱	۸۸	۹۱
۱۰	۰/۱	۶۰	۴/۲	۶۲/۱	۹۳	۹۳	۹۴
۱۱	۰/۱	۱۵	۱۳/۹	۸۲/۶	۸۳	۸۱	۸۱
۱۲	۰/۱	۴۰	۹/۸	۸۲/۶	۸۸	۸۶	۸۸
۱۳	۰/۱	۶۰	۹/۶	۸۲/۶	۸۸	۸۸	۸۸
۱۴	۰/۱	۶	۴۵/۳	۱۰۱/۳	۵۵	۵۳	۵۴
۱۵	۰/۱	۲۰	۲۹/۴	۱۰۱/۳	۷۱	۶۸	۶۸
۱۶	۰/۱	۵۰	۲۰/۲	۱۰۱/۳	۸۰	۷۸	۷۸
۱۷	۰/۰۸	۲	۳/۵	۲۱/۱	۸۳	۸۶	۸۶
۱۸	۰/۰۸	۲۰	۱/۶	۲۱/۱	۹۲	۸۹	۹۳
۱۹	۰/۰۸	۶۰	۱/۳	۲۱/۱	۹۴	۹۳	۹۳
۲۰	۰/۰۸	۶	۶/۹	۴۲/۹	۸۴	۸۳	۸۵
۲۱	۰/۰۸	۱۵	۳/۵	۴۲/۹	۹۲	۸۷	۹۲
۲۲	۰/۰۸	۴۰	۲/۸	۴۲/۹	۹۴	۹۰	۹۳
۲۳	۰/۰۸	۸۰	۲/۳	۴۲/۹	۹۵	۹۳	۹۴
۲۴	۰/۰۸	۱۵	۱۴/۱	۵۹/۹	۷۶	۷۸	۷۶
۲۵	۰/۰۸	۳۰	۹/۱	۵۹/۹	۸۵	۸۳	۸۶
۲۶	۰/۰۸	۸۰	۸/۱	۵۹/۹	۸۶	۸۸	۸۷
۲۷	۰/۰۸	۶	۴۲/۷	۸۴/۰	۴۹	۵۲	۵۳
۲۸	۰/۰۸	۲۰	۲۹/۷	۸۴/۰	۶۵	۶۵	۶۵

ادامه جدول (۳-۳)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری تست رنگ متیلن بلو توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

.No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۲۹	۰/۰۸	۷۰	۲۱/۲	۸۴/۰	۷۵	۷۶	۷۲
۳۰	۰/۰۸	۱۰	۳۹/۳	۹۹/۹	۶۱	۵۶	۵۶
۳۱	۰/۰۸	۴۰	۳۲/۶	۹۹/۹	۶۷	۶۴	۶۶
۳۲	۰/۰۶	۲	۴/۹	۲۱/۵	۷۷	۸۲	۸۴
۳۳	۰/۰۶	۱۵	۲/۳	۲۱/۵	۸۹	۸۵	۸۹
۳۴	۰/۰۶	۷۰	۱/۹	۲۱/۵	۹۱	۹۰	۹۱
۳۵	۰/۰۶	۱۰	۹/۱	۴۳/۸	۷۹	۷۹	۸۳
۳۶	۰/۰۶	۴۰	۵/۸	۴۳/۸	۸۷	۸۴	۸۷
۳۷	۰/۰۶	۱۰	۲۴/۲	۶۳/۳	۶۲	۶۶	۶۳
۳۸	۰/۰۶	۴۰	۱۹/۸	۶۳/۳	۶۹	۷۲	۶۸
۳۹	۰/۰۶	۱۰	۴۵/۱	۸۲/۷	۴۵	۴۸	۴۹
۴۰	۰/۰۶	۳۰	۳۵/۵	۸۲/۷	۵۷	۵۸	۵۹
۴۱	۰/۰۶	۶۰	۳۲/۹	۸۲/۷	۶۰	۶۳	۶۱
۴۲	۰/۰۶	۲	۷۶/۶	۹۸/۴	۲۲	۲۰	۳۵
۴۳	۰/۰۶	۶۰	۵۳/۷	۹۸/۴	۴۵	۴۵	۴۷
۴۴	۰/۱۲	۶	۲/۱	۲۱/۰	۹۰	۹۳	۹۲
۴۵	۰/۱۲	۴۰	۰/۹	۲۱/۰	۹۵	۹۶	۹۶
۴۶	۰/۱۲	۱۰	۱/۸	۴۰/۴	۹۵	۹۳	۹۲
۴۷	۰/۱۲	۲۰	۱/۹	۴۰/۴	۹۵	۹۴	۹۴
۴۸	۰/۱۲	۷۰	۱/۱	۴۰/۴	۹۷	۹۹	۹۷
۴۹	۰/۱۲	۱۰	۳/۶	۶۰/۹	۹۴	۹۲	۹۲
۵۰	۰/۱۲	۴۰	۲/۶	۶۰/۹	۹۶	۹۵	۹۵
۵۱	۰/۱۲	۲۰	۶/۸	۸۲/۳	۹۲	۹۰	۸۹
۵۲	۰/۱۲	۶۰	۴/۷	۸۲/۳	۹۴	۹۵	۹۴
۵۳	۰/۱۲	۱۰	۲۷/۹	۹۶/۸	۷۱	۷۱	۶۷
۵۴	۰/۱۲	۴۰	۱۲/۰	۹۶/۸	۸۸	۸۷	۸۶
۵۵	۰/۱۲	۸۰	۹/۵۰	۹۶/۸	۹۰	۹۲	۸۹

جدول (۳-۴)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری آموزش رنگ کریستال ویولت توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۱	۰/۱	۶	۲/۷	۲۱/۷	۸۸	۸۳	۸۵
۲	۰/۱	۱۰	۲/۶	۲۱/۷	۸۸	۸۳	۸۷
۳	۰/۱	۲۰	۲/۵	۲۱/۷	۸۸	۸۵	۸۹
۴	۰/۱	۳۰	۲/۴	۲۱/۷	۸۹	۸۶	۹۰
۵	۰/۱	۴۰	۲/۳	۲۱/۷	۸۹	۸۸	۹۱
۶	۰/۱	۶۰	۱/۹	۲۱/۷	۹۱	۹۱	۹۲
۷	۰/۱	۷۰	۱/۹	۲۱/۷	۹۱	۹۲	۹۱
۸	۰/۱	۸۰	۱/۷	۲۱/۷	۹۲	۹۳	۹۲
۹	۰/۱	۶	۵/۷	۳۸/۹	۸۵	۸۰	۸۲
۱۰	۰/۱	۱۵	۴/۰	۳۸/۹	۹۰	۸۳	۸۹
۱۱	۰/۱	۲۰	۳/۳	۳۸/۹	۹۱	۸۴	۸۹
۱۲	۰/۱	۳۰	۲/۸	۳۸/۹	۹۳	۸۶	۹۰
۱۳	۰/۱	۴۰	۲/۸	۳۸/۹	۹۳	۸۷	۹۱
۱۴	۰/۱	۶۰	۲/۵	۳۸/۹	۹۳	۹۰	۹۲
۱۵	۰/۱	۷۰	۲/۵	۳۸/۹	۹۴	۹۱	۹۳
۱۶	۰/۱	۸۰	۲/۵	۳۸/۹	۹۴	۹۳	۹۳
۱۷	۰/۱	۶	۲۴/۶	۶۰/۱	۵۹	۶۴	۶۱
۱۸	۰/۱	۱۵	۱۴/۶	۶۰/۱	۷۶	۷۴	۷۶
۱۹	۰/۱	۳۰	۱۰/۶	۶۰/۱	۸۲	۷۹	۸۲
۲۰	۰/۱	۴۰	۹/۱	۶۰/۱	۸۵	۸۲	۸۵
۲۱	۰/۱	۵۰	۹/۳	۶۰/۱	۸۴	۸۳	۸۵
۲۲	۰/۱	۷۰	۸/۵	۶۰/۱	۸۶	۸۶	۸۶
۲۳	۰/۱	۸۰	۸/۵	۶۰/۱	۸۶	۸۸	۸۶
۲۴	۰/۱	۲	۵۵/۹	۷۹/۵	۳۰	۳۷	۳۲
۲۵	۰/۱	۶	۴۳/۱	۷۹/۵	۴۶	۴۹	۴۷
۲۶	۰/۱	۱۰	۳۵/۷	۷۹/۵	۵۵	۵۵	۵۴
۲۷	۰/۱	۲۰	۲۳/۷	۷۹/۵	۷۰	۶۷	۷۰
۲۸	۰/۱	۳۰	۲۱/۰	۷۹/۵	۷۳	۷۰	۷۳
۲۹	۰/۱	۵۰	۱۹/۲	۷۹/۵	۷۶	۷۵	۷۵
۳۰	۰/۱	۷۰	۱۸/۶	۷۹/۵	۷۷	۷۸	۷۶
۳۱	۰/۱	۸۰	۱۸/۶	۷۹/۵	۷۷	۷۹	۷۷
۳۲	۰/۱	۲	۷۲/۸	۹۵/۳	۲۴	۲۳	۲۷
۳۳	۰/۱	۱۰	۶۰/۵	۹۵/۳	۳۶	۳۴	۳۸
۳۴	۰/۱	۱۵	۵۵/۰	۹۵/۳	۴۲	۴۰	۴۲

ادامه جدول (۳-۴)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری آموزش رنگ کریستال ویولت توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۳۵	۰/۱	۳۰	۴۶/۳	۹۵/۳	۵۱	۴۹	۵۱
۳۶	۰/۱	۴۰	۴۲/۲	۹۵/۳	۵۶	۵۴	۵۶
۳۷	۰/۱	۶۰	۳۵/۱	۹۵/۳	۶۳	۶۲	۶۱
۳۸	۰/۱	۷۰	۳۴/۰	۹۵/۳	۶۴	۶۵	۶۳
۳۹	۰/۱	۸۰	۳۴/۰	۹۵/۳	۶۴	۶۶	۶۳
۴۰	۰/۰۸	۶	۴/۵	۲۰/۱	۷۷	۷۷	۷۹
۴۱	۰/۰۸	۱۰	۳/۳	۲۰/۱	۸۳	۷۹	۸۳
۴۲	۰/۰۸	۱۵	۳/۱	۲۰/۱	۸۴	۸۰	۸۴
۴۳	۰/۰۸	۳۰	۲/۹	۲۰/۱	۸۶	۸۲	۸۶
۴۴	۰/۰۸	۴۰	۲/۷	۲۰/۱	۸۶	۸۳	۸۷
۴۵	۰/۰۸	۵۰	۲/۴	۲۰/۱	۸۸	۸۵	۸۸
۴۶	۰/۰۸	۷۰	۲/۰	۲۰/۱	۹۰	۸۸	۸۹
۴۷	۰/۰۸	۸۰	۲/۰	۲۰/۱	۹۰	۸۹	۸۹
۴۸	۰/۰۸	۲	۲۱/۱	۴۰/۲	۴۸	۶۳	۵۴
۴۹	۰/۰۸	۱۰	۹/۹	۴۰/۲	۷۵	۷۳	۷۷
۵۰	۰/۰۸	۲۰	۶/۰	۴۰/۲	۸۵	۷۸	۸۴
۵۱	۰/۰۸	۳۰	۶/۱	۴۰/۲	۸۵	۷۹	۸۵
۵۲	۰/۰۸	۵۰	۴/۷	۴۰/۲	۸۸	۸۳	۸۷
۵۳	۰/۰۸	۶۰	۴/۷	۴۰/۲	۸۸	۸۴	۸۷
۵۴	۰/۰۸	۷۰	۴/۴	۴۰/۲	۸۹	۸۶	۸۸
۵۵	۰/۰۸	۲	۳۷/۵	۶۰/۶	۳۸	۴۹	۴۱
۵۶	۰/۰۸	۶	۳۲/۳	۶۰/۶	۴۷	۵۴	۴۸
۵۷	۰/۰۸	۱۰	۲۸/۴	۶۰/۶	۵۳	۵۸	۵۳
۵۸	۰/۰۸	۲۰	۲۰/۲	۶۰/۶	۶۷	۶۶	۶۶
۵۹	۰/۰۸	۴۰	۱۷/۵	۶۰/۶	۷۱	۷۱	۷۱
۶۰	۰/۰۸	۵۰	۱۷/۲	۶۰/۶	۷۲	۷۲	۷۲
۶۱	۰/۰۸	۶۰	۱۶/۸	۶۰/۶	۷۲	۷۴	۷۲
۶۲	۰/۰۸	۷۰	۱۶/۰	۶۰/۶	۷۳	۷۶	۷۳
۶۳	۰/۰۸	۲	۶۲/۷	۷۸/۹	۲۱	۲۸	۲۷
۶۴	۰/۰۸	۱۰	۵۰/۹	۷۸/۹	۳۶	۳۹	۳۸
۶۵	۰/۰۸	۱۵	۴۱/۵	۷۸/۹	۴۷	۴۷	۴۸
۶۶	۰/۰۸	۳۰	۳۸/۲	۷۸/۹	۵۲	۵۲	۵۲
۶۷	۰/۰۸	۴۰	۳۶/۷	۷۸/۹	۵۳	۵۵	۵۳
۶۸	۰/۰۸	۵۰	۳۳/۹	۷۸/۹	۵۷	۵۸	۵۵
۶۹	۰/۰۸	۶۰	۳۰/۸	۷۸/۹	۶۱	۶۲	۵۸
۷۰	۰/۰۸	۸۰	۲۸/۲	۷۸/۹	۶۴	۶۷	۶۰

ادامه جدول (۳-۴)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری آموزش رنگ کریستال ویولت توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۷۱	۰/۰۸	۲	۷۷/۷	۹۷/۴	۲۰	۱۵	۲۳
۷۲	۰/۰۸	۶	۶۷/۱	۹۷/۴	۳۱	۲۴	۲۹
۷۳	۰/۰۸	۱۵	۶۰/۲	۹۷/۴	۳۸	۳۱	۳۸
۷۴	۰/۰۸	۲۰	۵۷/۲	۹۷/۴	۴۱	۳۵	۴۰
۷۵	۰/۰۸	۳۰	۵۲/۹	۹۷/۴	۴۶	۴۰	۴۳
۷۶	۰/۰۸	۵۰	۴۸/۳	۹۷/۴	۵۰	۴۶	۴۸
۷۷	۰/۰۸	۶۰	۴۵/۷	۹۷/۴	۵۳	۵۰	۵۳
۷۸	۰/۰۸	۷۰	۴۴/۹	۹۷/۴	۵۴	۵۲	۵۴
۷۹	۰/۰۸	۸۰	۴۴/۰	۹۷/۴	۵۵	۵۴	۵۵
۸۰	۰/۰۶	۶	۵/۸	۲۱/۰	۷۲	۷۲	۷۵
۸۱	۰/۰۶	۱۰	۳/۹	۲۱/۰	۸۱	۷۵	۸۱
۸۲	۰/۰۶	۲۰	۳/۱	۲۱/۰	۸۵	۷۷	۸۴
۸۳	۰/۰۶	۳۰	۳/۱	۲۱/۰	۸۵	۷۸	۸۵
۸۴	۰/۰۶	۴۰	۲/۹	۲۱/۰	۸۶	۷۹	۸۶
۸۵	۰/۰۶	۵۰	۲/۹	۲۱/۰	۸۶	۸۱	۸۶
۸۶	۰/۰۶	۶۰	۲/۸	۲۱/۰	۸۷	۸۲	۸۶
۸۷	۰/۰۶	۸۰	۲/۸	۲۱/۰	۸۷	۸۵	۸۶
۸۸	۰/۰۶	۲	۲۶/۵	۴۰/۸	۳۵	۵۴	۴۱
۸۹	۰/۰۶	۶	۲۰/۳	۴۰/۸	۵۰	۶۰	۵۵
۹۰	۰/۰۶	۱۵	۱۵/۶	۴۰/۸	۶۲	۶۵	۶۵
۹۱	۰/۰۶	۲۰	۱۴/۳	۴۰/۸	۶۵	۶۷	۶۷
۹۲	۰/۰۶	۳۰	۱۳/۵	۴۰/۸	۶۷	۶۹	۶۸
۹۳	۰/۰۶	۵۰	۱۲/۲	۴۰/۸	۷۰	۷۳	۷۱
۹۴	۰/۰۶	۶۰	۱۲/۲	۴۰/۸	۷۰	۷۴	۷۱
۹۵	۰/۰۶	۷۰	۱۱/۸	۴۰/۸	۷۱	۷۶	۷۳
۹۶	۰/۰۶	۸۰	۱۱/۴	۴۰/۸	۷۲	۷۷	۷۴
۹۷	۰/۰۶	۲	۴۶/۳	۶۲/۵	۲۶	۳۸	۳۰
۹۸	۰/۰۶	۶	۴۰/۱	۶۲/۵	۳۶	۴۳	۳۸
۹۹	۰/۰۶	۱۵	۳۵/۸	۶۲/۵	۴۳	۴۸	۴۲
۱۰۰	۰/۰۶	۲۰	۳۵/۸	۶۲/۵	۴۳	۴۹	۴۳
۱۰۱	۰/۰۶	۳۰	۳۴/۷	۶۲/۵	۴۴	۵۱	۴۵
۱۰۲	۰/۰۶	۵۰	۳۴/۰	۶۲/۵	۴۶	۵۴	۴۶
۱۰۳	۰/۰۶	۶۰	۳۲/۳	۶۲/۵	۴۸	۵۷	۴۹
۱۰۴	۰/۰۶	۷۰	۳۱/۷	۶۲/۵	۴۹	۵۹	۴۹
۱۰۵	۰/۰۶	۸۰	۳۰/۰	۶۲/۵	۵۲	۶۲	۵۱
۱۰۶	۰/۰۶	۲	۶۵/۸	۷۸/۵	۱۶	۲۱	۲۱

ادامه جدول (۳-۴)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری آموزش رنگ کریستال ویولت توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۱۰۷	۰/۰۶	۶	۵۹/۰	۷۸/۵	۲۵	۲۷	۲۸
۱۰۸	۰/۰۶	۱۵	۵۱/۳	۷۸/۵	۳۵	۳۵	۳۵
۱۰۹	۰/۰۶	۲۰	۴۹/۰	۷۸/۵	۳۷	۳۸	۳۸
۱۱۰	۰/۰۶	۴۰	۴۴/۰	۷۸/۵	۴۴	۴۴	۴۵
۱۱۱	۰/۰۶	۵۰	۴۳/۴	۷۸/۵	۴۵	۴۶	۴۵
۱۱۲	۰/۰۶	۷۰	۴۲/۳	۷۸/۵	۴۶	۵۰	۴۶
۱۱۳	۰/۰۶	۸۰	۴۲/۳	۷۸/۵	۴۶	۵۱	۴۷
۱۱۴	۰/۰۶	۶	۸۲/۱	۹۸/۰	۱۶	۸	۲۰
۱۱۵	۰/۰۶	۱۰	۷۷/۷	۹۸/۰	۲۱	۱۲	۲۳
۱۱۶	۰/۰۶	۱۵	۷۴/۵	۹۸/۰	۲۴	۱۵	۲۶
۱۱۷	۰/۰۶	۲۰	۷۴/۵	۹۸/۰	۲۴	۱۶	۲۶
۱۱۸	۰/۰۶	۳۰	۷۲/۲	۹۸/۰	۲۶	۱۹	۲۸
۱۱۹	۰/۰۶	۴۰	۷۰/۸	۹۸/۰	۲۸	۲۲	۲۹
۱۲۰	۰/۰۶	۵۰	۶۹/۱	۹۸/۰	۲۹	۲۴	۳۰
۱۲۱	۰/۰۶	۷۰	۶۵/۳	۹۸/۰	۳۳	۳۰	۳۴
۱۲۲	۰/۰۶	۸۰	۶۴/۵	۹۸/۰	۳۴	۳۲	۳۵
۱۲۳	۰/۱۲	۲	۴/۶	۲۰/۳	۷۷	۸۵	۷۷
۱۲۴	۰/۱۲	۱۰	۲/۰	۲۰/۳	۹۰	۸۸	۸۹
۱۲۵	۰/۱۲	۱۵	۲/۹	۲۰/۳	۸۶	۸۸	۸۸
۱۲۶	۰/۱۲	۲۰	۱/۵	۲۰/۳	۹۳	۹۰	۹۲
۱۲۷	۰/۱۲	۳۰	۱/۵	۲۰/۳	۹۳	۹۱	۹۳
۱۲۸	۰/۱۲	۵۰	۱/۵	۲۰/۳	۹۳	۹۴	۹۳
۱۲۹	۰/۱۲	۶۰	۱/۵	۲۰/۳	۹۳	۹۵	۹۳
۱۳۰	۰/۱۲	۷۰	۱/۵	۲۰/۳	۹۳	۹۶	۹۳
۱۳۱	۰/۱۲	۸۰	۱/۳	۲۰/۳	۹۴	۹۸	۹۳
۱۳۲	۰/۱۲	۲	۱۳/۳	۳۸/۶	۶۵	۷۷	۶۸
۱۳۳	۰/۱۲	۶	۸/۲	۳۸/۶	۷۹	۸۲	۸۰
۱۳۴	۰/۱۲	۱۵	۳/۵	۳۸/۶	۹۱	۸۷	۸۹
۱۳۵	۰/۱۲	۳۰	۲/۳	۳۸/۶	۹۴	۹۰	۹۳
۱۳۶	۰/۱۲	۴۰	۲/۳	۳۸/۶	۹۴	۹۲	۹۳
۱۳۷	۰/۱۲	۵۰	۲/۱	۳۸/۶	۹۵	۹۳	۹۴
۱۳۸	۰/۱۲	۶۰	۲/۱	۳۸/۵	۹۵	۹۴	۹۴
۱۳۹	۰/۱۲	۸۰	۲/۰	۳۸/۶	۹۵	۹۷	۹۴
۱۴۰	۰/۱۲	۲	۲۹/۵	۵۸/۶	۵۰	۶۳	۵۱
۱۴۱	۰/۱۲	۶	۱۶/۵	۵۸/۶	۷۲	۷۵	۷۰
۱۴۲	۰/۱۲	۱۵	۸/۴	۵۸/۶	۸۶	۸۳	۸۶

ادامه جدول (۳-۴)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری آموزش رنگ کریستال ویولت توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۱۴۳	۰/۱۲	۲۰	۶/۸	۵۸/۶	۸۸	۸۵	۸۸
۱۴۴	۰/۱۲	۳۰	۶/۷	۵۸/۶	۸۹	۸۷	۸۸
۱۴۵	۰/۱۲	۵۰	۶/۳	۵۸/۶	۸۹	۸۹	۸۹
۱۴۶	۰/۱۲	۶۰	۶/۱	۵۸/۶	۹۰	۹۱	۸۹
۱۴۷	۰/۱۲	۷۰	۶/۰	۵۸/۶	۹۰	۹۲	۸۹
۱۴۸	۰/۱۲	۸۰	۶/۰	۵۸/۶	۹۰	۹۴	۸۹
۱۴۹	۰/۱۲	۲	۴۵/۸	۷۹/۳	۴۲	۵۰	۴۳
۱۵۰	۰/۱۲	۶	۳۲/۳	۷۹/۳	۵۹	۶۲	۵۵
۱۵۱	۰/۱۲	۱۰	۲۳/۲	۷۹/۳	۷۱	۷۰	۶۸
۱۵۲	۰/۱۲	۱۵	۱۸/۲	۷۹/۳	۷۷	۷۵	۷۵
۱۵۳	۰/۱۲	۳۰	۱۴/۴	۷۹/۳	۸۲	۸۰	۸۰
۱۵۴	۰/۱۲	۴۰	۱۴/۶	۷۹/۳	۸۲	۸۱	۸۰
۱۵۵	۰/۱۲	۵۰	۱۴/۱۷	۷۹/۳	۸۲	۸۳	۸۰
۱۵۶	۰/۱۲	۷۰	۱۲/۰۰	۷۹/۳	۸۵	۸۷	۸۳
۱۵۷	۰/۱۲	۸۰	۱۲/۰۰	۷۹/۳	۸۵	۸۹	۸۴
۱۵۸	۰/۱۲	۲	۶۷/۴	۹۴/۸	۲۹	۳۱	۲۹
۱۵۹	۰/۱۲	۶	۵۵/۷	۹۴/۸	۴۱	۴۲	۳۹
۱۶۰	۰/۱۲	۱۵	۴۲/۹	۹۴/۸	۵۵	۵۴	۵۳
۱۶۱	۰/۱۲	۲۰	۳۸/۷	۹۴/۸	۵۹	۵۸	۵۶
۱۶۲	۰/۱۲	۳۰	۳۱/۹	۹۴/۸	۶۶	۶۵	۶۲
۱۶۳	۰/۱۲	۵۰	۲۶/۰	۹۴/۸	۷۳	۷۳	۷۰
۱۶۴	۰/۱۲	۶۰	۲۴/۴	۹۴/۸	۷۴	۷۵	۷۲
۱۶۵	۰/۱۲	۷۰	۲۲/۵	۹۴/۸	۷۶	۷۸	۷۴

جدول (۳-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری تست رنگ کریستال ویولت توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۱	۰/۱	۲	۴/۳	۲۱/۷	۸۰	۸۱	۷۸
۲	۰/۱	۱۵	۲/۵	۲۱/۷	۸۹	۸۴	۸۹
۳	۰/۱	۵۰	۲/۱	۲۱/۷	۹۰	۸۹	۹۲
۴	۰/۱	۲	۹/۸	۳۸/۹	۷۵	۷۶	۷۴
۵	۰/۱	۱۰	۳/۶	۳۸/۹	۹۱	۸۳	۸۷
۶	۰/۱	۵۰	۲/۶	۳۸/۹	۹۳	۸۹	۹۱
۷	۰/۱	۲	۳۳/۵	۶۰/۱	۴۴	۵۶	۴۹
۸	۰/۱	۱۰	۱۸/۶	۶۰/۱	۶۹	۷۰	۷۲
۹	۰/۱	۲۰	۱۲/۱	۶۰/۱	۸۰	۷۷	۷۹
۱۰	۰/۱	۶۰	۹/۰	۶۰/۱	۸۵	۸۵	۸۶
۱۱	۰/۱	۱۵	۲۷/۶	۷۹/۵	۶۵	۶۳	۶۱
۱۲	۰/۱	۴۰	۱۹/۷	۷۹/۵	۷۵	۷۳	۷۵
۱۳	۰/۱	۶۰	۱۹/۰	۷۹/۵	۷۶	۷۶	۷۶
۱۴	۰/۱	۶	۶۵/۷	۹۶/۷	۳۲	۲۹	۳۲
۱۵	۰/۱	۲۰	۴۸/۹	۹۶/۷	۴۹	۴۵	۴۶
۱۶	۰/۱	۵۰	۳۷/۶	۹۶/۷	۶۱	۵۹	۵۷
۱۷	۰/۰۸	۲	۷/۰	۲۰/۱	۶۵	۷۵	۷۵
۱۸	۰/۰۸	۲۰	۲/۹	۲۰/۱	۸۵	۸۱	۸۵
۱۹	۰/۰۸	۶۰	۲/۱	۲۰/۱	۸۹	۸۶	۸۹
۲۰	۰/۰۸	۶	۱۲/۶	۴۰/۲	۶۹	۷۱	۷۰
۲۱	۰/۰۸	۱۵	۷/۵	۴۰/۲	۸۱	۷۶	۸۳
۲۲	۰/۰۸	۴۰	۵/۲	۴۰/۲	۸۷	۸۱	۸۶
۲۳	۰/۰۸	۸۰	۴/۴	۴۰/۲	۸۹	۸۷	۸۸
۲۴	۰/۰۸	۱۵	۲۵/۲	۶۰/۶	۵۸	۶۱	۵۹
۲۵	۰/۰۸	۳۰	۱۸/۲	۶۰/۶	۷۰	۶۹	۷۱
۲۶	۰/۰۸	۸۰	۱۵/۵	۶۰/۶	۷۴	۷۸	۷۳
۲۷	۰/۰۸	۶	۵۵/۱	۷۸/۹	۳۰	۳۵	۳۶
۲۸	۰/۰۸	۲۰	۴۱/۸	۷۸/۹	۴۷	۴۸	۴۹
۲۹	۰/۰۸	۷۰	۲۹/۶	۷۸/۹	۶۳	۶۵	۵۹
۳۰	۰/۰۸	۱۰	۶۱/۹	۹۷/۴	۳۶	۲۹	۳۴
۳۱	۰/۰۸	۴۰	۵۱/۳	۹۷/۴	۴۷	۴۲	۴۴
۳۲	۰/۰۶	۲	۸/۳	۲۱/۰	۶۰	۷۰	۷۱
۳۳	۰/۰۶	۱۵	۳/۶	۲۰/۰	۸۳	۷۵	۸۳
۳۴	۰/۰۶	۷۰	۲/۸	۲۱/۰	۸۷	۸۳	۸۶

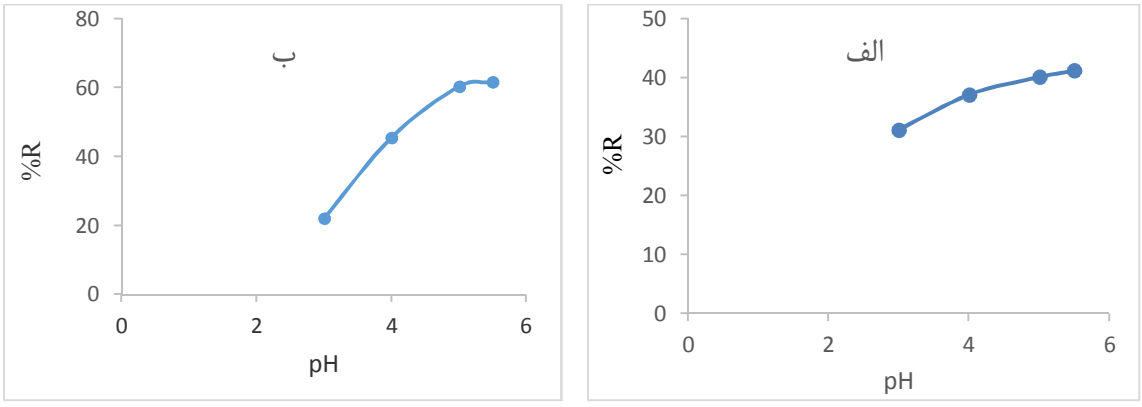
ادامه جدول (۳-۵)- مقادیر درصد حذف تجربی و پیش بینی شده در شرایط آزمایشگاهی متفاوت برای سری تست رنگ کریستال ویولت توسط روشهای جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندگانه با جاذب نانوسیلیکا.

No	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	غلظت باقیمانده (میلی‌گرم بر لیتر)	غلظت اولیه (میلی‌گرم بر لیتر)	R_{EXP}	$R_{pred, MLR}$	$R_{pred, RF}$
۳۵	۰/۰۶	۱۰	۱۷/۵	۴۰/۸	۵۷	۶۳	۶۵
۳۶	۰/۰۶	۴۰	۱۳/۰	۴۰/۸	۶۸	۷۱	۷۰
۳۷	۰/۰۶	۱۰	۳۷/۶	۶۲/۵	۴۰	۴۶	۴۰
۳۸	۰/۰۶	۴۰	۳۴/۱	۶۲/۵	۴۵	۵۳	۴۶
۳۹	۰/۰۶	۱۰	۵۵/۰	۷۸/۵	۳۰	۳۱	۳۳
۴۰	۰/۰۶	۳۰	۴۵/۰	۷۸/۵	۴۳	۴۲	۴۴
۴۱	۰/۰۶	۶۰	۴۲/۶	۷۸/۵	۴۶	۴۸	۴۶
۴۲	۰/۰۶	۲	۸۳/۸	۹۸/۰	۱۴	۶	۲۰
۴۳	۰/۰۶	۶۰	۶۶/۵	۹۸/۰	۳۲	۲۸	۳۳
۴۴	۰/۱۲	۶	۲/۷	۲۰/۳	۸۷	۸۷	۸۴
۴۵	۰/۱۲	۴۰	۱/۵	۲۰/۳	۹۳	۹۲	۹۳
۴۶	۰/۱۲	۱۰	۳/۹	۳۸/۶	۹۰	۸۶	۸۶
۴۷	۰/۱۲	۲۰	۲/۹	۳۸/۶	۹۲	۸۸	۸۹
۴۸	۰/۱۲	۷۰	۲/۱	۳۸/۶	۹۵	۹۶	۹۴
۴۹	۰/۱۲	۱۰	۹/۰	۵۸/۶	۸۵	۸۲	۸۲
۵۰	۰/۱۲	۴۰	۶/۵	۵۸/۶	۸۹	۸۸	۸۹
۵۱	۰/۱۲	۲۰	۱۶/۱	۷۹/۳	۸۰	۷۷	۷۶
۵۲	۰/۱۲	۶۰	۱۲/۱	۷۹/۳	۸۵	۸۶	۸۳
۵۳	۰/۱۲	۱۰	۵۲/۷	۹۴/۸	۴۴	۴۵	۴۲
۵۴	۰/۱۲	۴۰	۲۸/۰	۹۴/۸	۷۰	۷	۶۴
۵۵	۰/۱۲	۸۰	۲۲/۴	۹۴/۸	۷۶	۸۰	۷۵

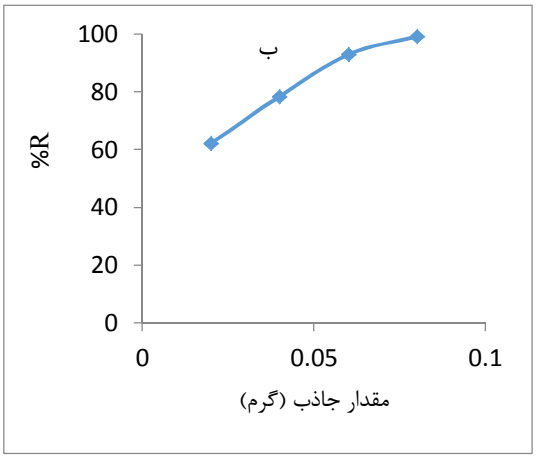
پیوست ۴

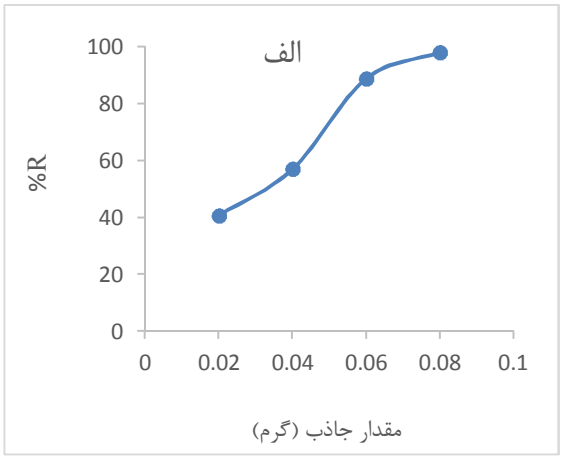
نتایج بررسی یک متغیر در یک زمان برای حذف همزمان متیلن بلو و سرب با جاذب پوست گردو اصلاح شده

به منظور بررسی متغیرها به روش یک متغیر در یک زمان، مقدار مشخصی ازجاذب تهیه شده به یک ارلن که حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محلول متیلن بلو و سرب با غلظت مشخصی بود، اضافه گردید. پس از تنظیم pH، محلول در دمای ۲ ± ۲۵ درجه سانتیگراد همزده شد تا اثر پارامترهایی همچون pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه آلاینده و زمان تماس که بر روی کارایی فرایند جذب مؤثرند، مورد بررسی قرار گیرند. سپس در فاصله‌های زمانی معین، مقدار مشخصی از نمونه (حدود ۲ میلی‌لیتر) در ۳۵۰۰ دور بر ثانیه به مدت یک دقیقه سانتریفیوژ شد و غلظت متیلن‌بلو به روش اسپکتروسکوپی مولکولی (طول موج ۶۶۴ نانومتر) و با استفاده از منحنی کالیبراسیون تعیین مقدار شد. همچنین غلظت یون-های سرب به روش اسپکتروسکوپی جذب اتمی شعله (شعله هوا- استیلن در طول موج ۲۸۳/۳ نانومتر) و با استفاده از منحنی کالیبراسیون تعیین گردید. سپس درصد حذف آلاینده با استفاده از رابطه (۲-۱) محاسبه گردید.

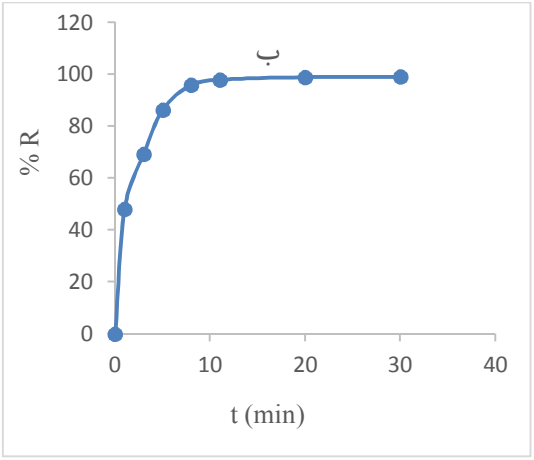


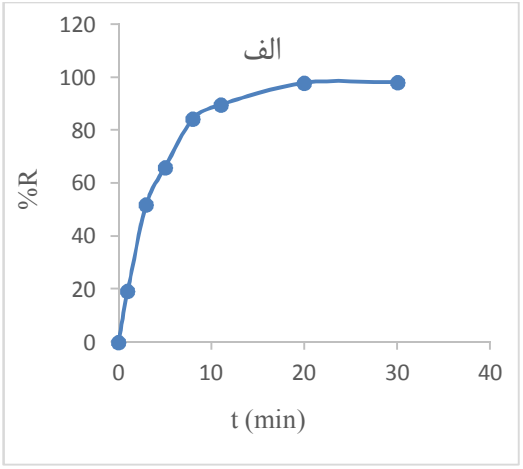
شکل (۴-۱)- اثر pH اولیه محلول بر روی میزان درصد حذف الف- متیلن بلو و ب- سرب در محلول دو جزئی (شرایط ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر متیلن‌بلو و ۱۰۰/۰ میلی گرم بر لیتر سرب در مدت زمان تماس ۲۵ دقیقه، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و ۰/۰۲۰۰ گرم جاذب.



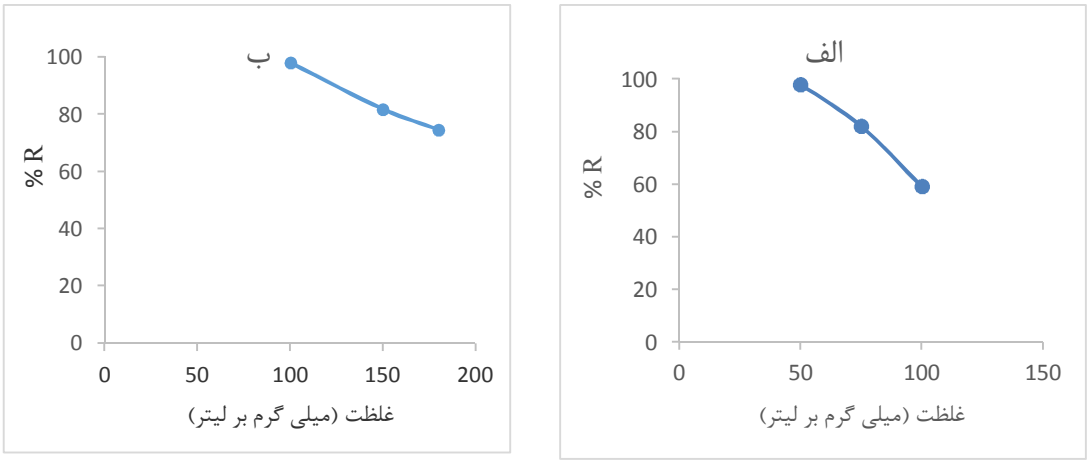


شکل (۴-۲)- نمودار تغییرات درصد حذف الف- متیلن بلو و ب- سرب در محلول دو جزئی برحسب مقادیر متفاوت جاذب استفاده شده (شرایط: ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول با غلظت ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر متیلن‌بلو و ۱۰۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر سرب ، زمان برابر با ۲۵ دقیقه و pH=۵/۵).





شکل (۴-۳)- نمودار تغییرات درصد حذف الف- متیلن‌بلو و ب- سرب برحسب زمان با ۰/۰۸گرم جاذب در محلول دو جزئی (شرایط ۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول ۵۰/۰ میلی‌گرم بر لیتر متیلن‌بلو و ۱۰۰/۰ میلی گرم بر لیتر سرب، pH=۵/۵ و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد)



شکل (۴-۴)- اثر غلظت اولیه محلول بر روی میزان درصد حذف الف- متیلن بلو و ب- سرب در محلول دو جزئی (۵۰/۰۰ میلی‌لیتر محلول با غلظت‌های متفاوت متیلن‌بلو و سرب در مدت زمان تماس ۲۵ دقیقه، pH=۵/۵، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و ۰/۰۷۳۰ گرم جاذب)

جدول (۴-۱)- مقادیر تجربی، پیش بینی شده درصد حذف متیلن‌بلو توسط روش باکس بنکن.

No	Rexp	Rpred	Residual	No	Rexp	Rpred	Residual
۱	۹۳/۷	۹۳/۳	۰/۴	۲۳	۳۲/۱	۳۱/۶	۰/۵
۲	۵۸/۲	۵۸/۲	۰/۰	۲۴	۹۵/۴	۱۰۵/۱	-۹/۷
۳	۳۴/۰	۴۴/۰	-۱۰/۰	۲۵	۳۷/۰	۴۱/۰	-۴/۰
۴	۸۷/۱	۸۹/۹	-۲/۸	۲۶	۹۵/۱	۹۶/۲	-۱/۱
۵	۶۷/۰	۶۵/۷	۱/۳	۲۷	۷۸/۷	۷۵/۲	۳/۵
۶	۹۳/۳	۸۶/۸	۶/۵	۲۸	۹۲/۱	۸۷/۶	۴/۵
۷	۷۸/۵	۷۸/۱	۰/۴	۲۹	۵۲/۰	۵۷/۷	-۵/۷
۸	۶۶/۶	۶۲/۱	۴/۵	۳۰	۳۳/۰	۳۷/۱	-۴/۱
۹	۳۶/۷	۴۶/۳	-۹/۶	۳۱	۸۱/۰	۸۳/۹	-۲/۹
۱۰	۹۷/۷	۹۶/۳	۱/۴	۳۲	۵۴/۲	۶۲/۸	-۸/۶
۱۱	۴۷/۱	۴۹/۷	-۲/۶	۳۳	۵۸/۰	۵۴/۰	۴/۰
۱۲	۵۶/۳	۴۸/۸	۷/۵	۳۴	۷۲/۸	۷۵/۲	۲/۴
۱۳	۷۷/۰	۷۵/۲	۱/۸	۳۵	۷۰/۱	۶۶/۴	۳/۷
۱۴	۸۷/۱	۸۷/۰	۰/۱	۳۶	۳۳/۹	۲۷/۷	۶/۲
۱۵	۳۵/۲	۳۹/۷	-۴/۵	۳۸	۹۲/۹	۸۴/۶	۸/۳
۱۶	۹۵/۱	۹۵/۷	-۰/۶	۳۸	۵۰/۰	۵۲/۷	-۲/۷
۱۷	۵۴/۱	۵۷/۰	-۲/۹	۳۹	۹۶/۳	۹۵/۶	۰/۷
۱۸	۶۴/۰	۷۱/۹	-۷/۹	۴۰	۹۰/۱	۸۴/۰	۶/۱
۱۹	۲۵/۰	۱۴/۷	۱۰/۳	۴۱	۸۱/۷	۷۴/۶	۷/۱
۲۰	۶۶/۶	۶۵/۸	۰/۸	۴۲	۹۴/۸	۹۲/۷	۲/۱
۲۱	۷۴/۲	۷۵/۱	-۰/۹	۴۳	۵۶/۹	۵۲/۷	۴/۲
۲۲	۷۵/۱	۷۵/۲	-۰/۱	۴۴	۶۹/۴	۷۲/۲	-۲/۸

جدول (۴-۲)- مقادیر تجربی، پیش بینی شده درصد حذف سرب توسط روش باکس بنکن.

No	R_{exp}	R_{pred}	Residual	No	R_{exp}	R_{pred}	Residual
۱	۹۲/۷	۹۱/۴	۱/۳	۲۳	۶۶/۰	۶۷/۷	-۱/۷
۲	۷۳/۱	۶۸/۴	۴/۷	۲۴	۹۴/۶	۱۰۳/۴	-۸/۸
۳	۲۷/۶	۳۴/۷	-۷/۱	۲۵	۶۴/۳	۶۴/۸	-۰/۵۵
۴	۹۴/۹	۱۰۰/۲	-۵/۳	۲۶	۹۳/۱	۸۹/۳	۳/۸
۵	۸۸/۹	۸۱/۹	۷/۰	۲۷	۸۷/۱	۸۵/۵	۱/۶
۶	۹۷/۲	۹۲/۲	۵/۰	۲۸	۶۴/۵	۵۹/۷	۴/۸
۷	۷۱/۳	۶۲/۶	۸/۷	۲۹	۸۷/۱	۷۸/۸	۸/۳
۸	۶۷/۲	۷۵/۱	-۷/۹	۳۰	۴۸/۱	۵۸/۱	-۱۰/۰
۹	۴۳/۴	۴۷/۵	-۴/۱	۳۱	۸۸/۳	۹۴/۳	-۶/۰
۱۰	۹۵/۲	۹۵/۹	-۰/۷	۳۲	۸۷/۱	۸۴/۰	۳/۱
۱۱	۸۱/۵	۸۰/۸	۰/۷	۳۳	۷۵/۲	۷۵/۲	۰/۰
۱۲	۷۹/۹	۷۱/۳	۸/۶	۳۴	۹۰/۷	۸۵/۵	۵/۲
۱۳	۸۹/۴	۸۵/۵	۳/۹	۳۵	۵۲/۲	۴۹/۴	۲/۸
۱۴	۷۳/۳	۷۷/۳	-۴/۰	۳۶	۵۲/۲	۶۱/۰	-۸/۸
۱۵	۵۱/۳	۵۴/۵	-۳/۲	۳۷	۸۸/۰	۸۲/۷	۵/۳
۱۶	۹۷/۱	۱۰۶/۲	-۹/۱	۳۸	۷۴/۰	۷۸/۰	-۴/۰
۱۷	۵۷/۲	۵۲/۲	۵/۰	۳۹	۹۶/۰	۹۹/۷	-۳/۷
۱۸	۳۷/۴	۴۳/۶	-۶/۲	۴۰	۹۴/۱	۹۳/۰	۱/۱
۱۹	۵۵/۱	۵۰/۶	۴/۵	۴۱	۹۳/۰	۹۵/۹	-۲/۹
۲۰	۸۹/۲	۸۸/۴	۰/۸	۴۲	۹۸/۴	۹۴/۶	۳/۸
۲۱	۷۷/۸	۷۹/۰	-۱/۲	۴۳	۷۲/۱	۷۱/۵	۰/۶
۲۲	۸۴/۶	۸۵/۵	-۰/۹	۴۴	۸۶/۹	۸۱/۱	۵/۸

مراجع

[۱] پیکری م.، مهربانی ا.، (**۱۳۹۲**)، "مبانی تصفیه آب"، چاپ دوم، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، ص۲۱.

[2] Kurniawan, A., Sutiono, H., Indraswati, N., Ismadji, S., (**2012**),"Removal of basic dyes in binary system by adsorption using rarasaponin–bentonite: Revisited of extended Langmuir model", *Chem. Eng. J.*, 189, pp 264-274.

[3] Ahmad, A., Mohd-Setapar, S.H., Chuong, C.S., Khatoon, A., Wani, W.A., Kumar, R., Rafatullah, M., (**2015**),"Recent advances in new generation dye removal technologies: novel search for approaches to reprocess wastewater", *RSC Adv.*, 5, pp 30801-30818.

[4] Sharma, P., Kaur, H., Sharma, M., Sahore, V., (**2011**), "A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste", *Environ. Monit. Assess*, 183, pp 151-195.

[5] Rehman, M.S.U., Munir, M., Ashfaq, M., Rashid, N., Nazar, M.F., Danish, M., Han, J.-I., (**2013**),"Adsorption of Brilliant Green dye from aqueous solution onto red clay", *Chem. Eng. J.*, 228, pp 54-62.

[6] Kyzas, G.Z., Lazaridis, N.K., Kostoglou, M., (**2013**),"On the simultaneous adsorption of a reactive dye and hexavalent chromium from aqueous solutions onto grafted chitosan", *J. Colloid Interface Sci.*, 407, pp 432-441.

[7] Chowdhury, S., Mishra, R., Saha, P., Kushwaha, P., (**2011**),"Adsorption thermodynamics, kinetics and isosteric heat of adsorption of malachite green onto chemically modified rice husk", *Desalination*, 265, pp 159-168.

[8] Hadi, M., Samarghandi, M.R., McKay, G., (**2010**),"Equilibrium two-parameter isotherms of acid dyes sorption by activated carbons: study of residual errors", *Chem. Eng. J.*, 160, pp 408-416.

[9] Yagub, M.T., **(2013)**,"Removal of methylene blue contaminant by natural and modified low cost agricultural by-product", Depart.Chem. Eng., Curtin University.

[10] Crini, G., (**2006**),"Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review", *Bioresour. Technol.*, 97, pp 1061-1085.

[11] Dąbrowski, A., (**2001**),"Adsorption—from theory to practice", *Adv. Colloid Interface Sci.*, 93, pp 135-224.

[12] Ali, I., Asim, M., Khan, T.A., (**2012**),"Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater", *J. Environ. Manage*, 113, pp 170-183.

[13] Roggo, Y., Chalus, P., Maurer, L., Lema-Martinez, C., Edmond, A., Jent, N., (**2007**),"A review of near infrared spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical technologies", *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 44, pp 683-700.

[14] Workman JR, J.J., Mobley, P.R., Kowalski, B.R., Bro, R., (**1996**),"Review of chemometrics applied to spectroscopy: 1985-95, Part I", *Appl. Spectrosc. Rev.*, 31, pp 73-124.

[15] Ojeda, C.B., Rojas, F.S., (**2004**),"Recent developments in derivative ultraviolet/visible absorption spectrophotometry", *Anal. Chim. Acta*, 518, pp 1-24.

[16] El-Bardicy, M.G., Lotfy, H.M., El-Sayed, M.A., El-Tarras, M.F., (**2008**),"Smart stability-indicating spectrophotometric methods for determination of binary mixtures without prior separation", *J. AOAC Int.*, 91, pp 299-310.

[17] Lotfy, H. M., Hagazy, M. A., (**2012**),"Comparative study of novel spectrophotometric methods manipulating ratio spectra: an application on pharmaceutical ternary mixture of omeprazole, tinidazole and clarithromycin", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and*

Biomolecular Spectroscopy, 96, pp 259-270.

[۱۸] بهرام م.، خیامیان ت.، عبداللهی ح.، فاطمی م.، قاسمی ج.، کمپانی زارع م.، همتی‌نژاد ب.، (**۱۳۹۴**) "مقدمه ای بر کمومتریکس"، چاپ اول، نشر پژوهشی نوآوران شریف، تهران، ص۲۱۶

[19] Lotfy, H.M., Hegazy, M.A.M., (**2013**),"Simultaneous determination of some cholesterol-lowering drugs in their binary mixture by novel spectrophotometric methods", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 113, pp 107-114.

[20] Çelekli, A., Bozkurt, H., Geyik, F., (**2013**),"Use of artificial neural networks and genetic algorithms for prediction of sorption of an azo-metal complex dye onto lentil straw", *Bioresour. Technol.*, 129, pp 396-401.

[21] Heydari, F., Ghaedi, M., Ansari, A., Ghaedi, A.M., (**2016**), "Random forest model for removal of methylene blue and lead (II) ion using activated carbon obtained from Tamarisk", *Desalination water treat.*, 57, pp 19273-19291.

[22] Ghaedi, A.M., Vafaei, A., (**2017**), "Applications of artificial neural networks for adsorption removal of dyes from aqueous solution: A review", *Adv. Colloid Interface Sci.*, 245, pp 20-39.

[23] Singh, N.H., Kezo, K., Debnath, A., Saha, B., (**2017**), "Enhanced adsorption performance of a novel Fe-Mn-Zr metal oxide nanocomposite adsorbent for anionic dyes from binary dye mix: Response surface optimization and neural network modeling", *Appl. Organomet. Chem.*, pp 1-13.

[۲۴] اشرفی م.، (**۱۳۸۹**) پایان نامه کارشناسی ارشد، " مطالعه ارتباط کمی ساختار- فعالیت مشتقات تیوکربامات‌ها به عنوان دسته‌ی جدیدی از بازدارنده‌های غیر نوکلئوزیدی *HIV*"، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[۲۵]. منهاج م.، (**۱۳۸۷**) "مبانی شبکه های عصبی (هوش محاسباتی)" جلد اول، چاپ پنجم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

[26] Breiman, L., (**2001**), "Random forests", *Machine learning*, 45, pp 5-32.

[27] Aldrich, C., Auret, L., (2013), "Unsupervised process monitoring and fault diagnosis with machine learning methods", Springer.

[۲۸] مهدوی تالار پشتی ع.، (**۱۳۹۱**)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "مدیریت ریزش مشتری با استفاده از ابزارهای پیشرفته آماری و داده کاوی"، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[29] Cutler, A., Zhao, G., (**2001**), "Pert-perfect random tree ensembles", *Computing Science and Statistics*, 33, pp 490-497.

[۳۰] عجم ز.، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد، " پیش بینی فعالیت ضد ایدز مشتقات غیرنوکلئوزیدی تیوکربومات به روش جنگل تصادفی "، دانشکده شیمی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

[31] Sarnaik, S., Kanekar, P., (**1999**), "Biodegradation of methyl violet by Pseudomonas mendocina MCM B", *ppl. Microbiol. Biotechnol.*, 52, pp 251-254.

[32] Lin, Y., He, X., Han, G., Tian, Q., Hu, W., (**2011**), "Removal of Crystal Violet from aqueous solution using powdered mycelial biomass of Ceriporia lacerata", J. *Environ. Sci.*, 23, pp 2055-2062.

[33] Saeed, A., Sharif, M., Iqbal, M., (**2010**), "Application potential of grapefruit peel as dye sorbent: kinetics, equilibrium and mechanism of crystal violet adsorption", *J. Hazard. Mater.*, 179, pp 564-572.

[34] Du, J., Wu, H., An, Y., Shi, Y., Guo, X., Du, L., (**2016**), "Mixed hemi/ad-micelle SDS-coated magnetic $Fe_{2-x}Al_xO_3$ (x=0.4) nanoparticles for the capture of gatifloxacin and

prulifloxacin coupled with fluorimetric determination", *Analytical Methods*, 8, pp 2778-2785.
[35] Guler, U.A., Ersan, M., Tuncel, E., Dügenci, F., (**2016)**, "Mono and simultaneous removal of crystal violet and safranin dyes from aqueous solutions by HDTMA-modified Spirulina sp", *Process. Saf. Environ.*, 99, pp 194-206.
[36] Rehman, M.S.U., Kim, I., Han, J.-I., (**2012)**, "Adsorption of methylene blue dye from aqueous solution by sugar extracted spent rice biomass", *Carbohydrate polym.*, 90, pp 1314-1322.
[37] Saadat, S., Karimi-Jashni, A., (**2011)**, "Optimization of Pb (II) adsorption onto modified walnut shells using factorial design and simplex methodologies", *Chem. Eng. J.*, 173, pp 743-749.
[38] Dahri, M.K., Kooh, M.R.R., Lim, L.B., (**2014)**, "Water remediation using low cost adsorbent walnut shell for removal of malachite green: equilibrium, kinetics, thermodynamic and regeneration studies", *J. Environ. Chem. Eng.*, 2, pp 1434-1444.
[39] Çelekli, A., Birecikligil, S.S., Geyik, F., Bozkurt, H., (**2012)**, "Prediction of removal efficiency of Lanaset Red G on walnut husk using artificial neural network model", *Bioresour. Technol.*, 103, pp 64-70.
[40] Do, M.H., Phan, N.H., Nguyen, T.D., Pham, T.T.S., Nguyen, V.K., Vu, T.T.T., Nguyen, T.K.P., (**2011)**, "Activated carbon/Fe_3O_4 nanoparticle composite: fabrication, methyl orange removal and regeneration by hydrogen peroxide", *Chemosphere*, 85, pp 1269-1276.
[41] Mohan, D., Sarswat, A., Singh, V.K., Alexandre-Franco, M., Pittman, C.U., (**2011)**, "Development of magnetic activated carbon from almond shells for trinitrophenol removal from water", *Chem. Eng. J.*, 172, pp 1111-1125.
[42] Chakraborty, S., Chowdhury, S., Saha, P.D., (**2011)**, "Adsorption of crystal violet from aqueous solution onto NaOH-modified rice husk", *Carbohydr. Polym.*, 86, pp 1533-1541.
[43] Ofomaja, A., Naidoo, E., Modise, S., (**2009)**, "Removal of copper (II) from aqueous solution by pine and base modified pine cone powder as biosorbent", *J. Hazard. Mater.*, 168, pp 909-917.
[44] Hong, G.-B., Wang, Y. K., (**2017)**, "Synthesis of low-cost adsorbent from rice bran for the removal of reactive dye based on the response surface methodology", *Appl. Surf. Sci.,* 423, pp 800-809.
[45] Teodoro, F.S., do Carmo Ramos, S.N., Elias, M. M. C., Mageste, A.B., Ferreira, G. M. D., da Silva, L. H. M., Gil, L. F., Gurgel, L.V. A., (**2016)**, "Synthesis and application of a new carboxylated cellulose derivative. Part I: Removal of Co^{2+}, Cu^{2+} and Ni^{2+} from monocomponent spiked aqueous solution", *J. Colloid Interface Sci.*, 483, pp 185-200.
[46] Panneerselvam, P., Morad, N., Tan, K.A., (**2011)**, "Magnetic nanoparticle (Fe_3O_4) impregnated onto tea waste for the removal of nickel (II) from aqueous solution", *J. Hazard. Mater.*, 186, pp 160-168.
[47] Cao, J.-S., Lin, J.-X., Fang, F., Zhang, M.-T., Hu, Z.-R., (**2014)**, "A new absorbent by modifying walnut shell for the removal of anionic dye: kinetic and thermodynamic studies", *Bioresour. Technol.*, 163, pp 199-205.
[48] Yang, J., Qiu, K., (**2010)**, "Preparation of activated carbons from walnut shells via vacuum chemical activation and their application for methylene blue removal", *Chem. Eng. J.*, 165, pp 209-217.
[49] Lafi, R., Hafiane, A., (**2016)**, "Removal of methyl orange (MO) from aqueous solution using cationic surfactants modified coffee waste (MCWs)" , *J. Taiwan. Inst. Chem. Eng.*, 58, pp 424-433.
[50] Altun, T., Pehlivan, E., (**2012)**, "Removal of Cr (VI) from aqueous solutions by modified

walnut shells", *Food Chem.*, 132, pp 693-700.
[51] Madrakian, T., Afkhami, A., Ahmadi, M., (**2012**), "Adsorption and kinetic studies of seven different organic dyes onto magnetite nanoparticles loaded tea waste and removal of them from wastewater samples", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 99, pp 102-109.
[52] Yang, F., He, Y., Sun, S., Chang, Y., Zha, F., Lei, Z., (**2016**), "Walnut shell supported nanoscale Fe^0 for the removal of Cu (II) and Ni (II) ions from water", *J. Appl. Polym. Sci.*, 133. pp 1-12.
[53] Singh, D., Gautam, R.K., Kumar, R., Shukla, B.K., Shankar, V., Krishna, V., (**2014**), "Citric acid coated magnetic nanoparticles: synthesis, characterization and application in removal of Cd (II) ions from aqueous solution", *J. Water Process Eng.*, 4, pp 233-241.
[54] Slimani, R., El Ouahabi, I., Abidi, F., El Haddad, M., Regti, A., Laamari, M.R., El Antri, S., Lazar, S., (**2014**), "Calcined eggshells as a new biosorbent to remove basic dye from aqueous solutions: thermodynamics, kinetics, isotherms and error analysis", *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 45, 1578-1587.
[55] Ebrahimian Pirbazari, A., Saberikhah, E., Gholami Ahmad Gorabi, N., (**2016**), "Fe_3O_4 nanoparticles loaded onto wheat straw: an efficient adsorbent for Basic Blue 9 adsorption from aqueous solution", *Desalination water treat.*, 57, pp 4110-4121.
[56] Shen, D., Fan, J., Zhou, W., Gao, B., Yue, Q., Kang, Q., (**2009**), "Adsorption kinetics and isotherm of anionic dyes onto organo-bentonite from single and multisolute systems", *J. Hazard. Mater.*, 172, pp 99-107.
[57] Senturk, H.B., Ozdes, D., Duran, C., (**2010**), "Biosorption of Rhodamine 6G from aqueous solutions onto almond shell (Prunus dulcis) as a low cost biosorbent", *Desalination*, 252, pp 81-87.
[58] Kumar, R., Ahmad, R., (**2011**), "Biosorption of hazardous crystal violet dye from aqueous solution onto treated ginger waste (TGW)" , *Desalination*, 265, pp 112-118.
[59] Araghi, S.H., Entezari, M.H., (**2015**)," Amino-functionalized silica magnetite nanoparticles for the simultaneous removal of pollutants from aqueous solution", *Appl. Surf. Sci.*, 333, pp 68-77.
[60] Foo, K., Hameed, B.H., (**2010**), "An overview of dye removal via activated carbon adsorption process", *Desalination water treat.*, 19, pp 255-274.
[61] Ghaedi, M., Zeinali, N., Ghaedi, A., Teimuori, M., Tashkhourian, J., (**2014**), "Artificial neural network-genetic algorithm based optimization for the adsorption of methylene blue and brilliant green from aqueous solution by graphite oxide nanoparticle", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 125, pp 264-277.
[62] Mahmoodi, N.M., Salehi, R., Arami, M., (**2011**), "Binary system dye removal from colored textile wastewater using activated carbon: Kinetic and isotherm studies", *Desalination*, 272, pp 187-195.
[63] Turabik, M., (**2008**), "Adsorption of basic dyes from single and binary component systems onto bentonite: Simultaneous analysis of Basic Red 46 and Basic Yellow 28 by first order derivative spectrophotometric analysis method", *J. Hazard. Mater.*, 158, pp 52-64.
[64] Vadivelan, V., Kumar, K.V., (**2005**), "Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk", *J. Colloid Interface Sci.*, 286, pp 90-100.
[65] El Haddad, M., Regti, A., Laamari, M.R., Slimani, R., Mamouni, R., El Antri, S., Lazar, S., (**2014**), "Calcined mussel shells as a new and eco-friendly biosorbent to remove textile dyes from aqueous solutions", *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 45, pp 533-540.

[66] Ghaedi, M., Hajjati, S., Mahmudi, Z., Tyagi, I., Agarwal, S., Maity, A., Gupta, V., (**2015)**, "Modeling of competitive ultrasonic assisted removal of the dyes–methylene blue and safranin-O using Fe_3O_4 nanoparticles", *Chem. Eng. J.*, 268, pp 28-37.
[67] Wang, X.S., Liu, X., Wen, L., Zhou, Y., Jiang, Y., Li, Z., (**2008)**, "Comparison of basic dye crystal violet removal from aqueous solution by low-cost biosorbents", *Sep. Sci. Technol.*, 43, pp 3712-3731.
[68] Ghaedi, M., Hossainian, H., Montazerozohori, M., Shokrollahi, A., Shojaipour, F., Soylak, M., Purkait, M., (**2011)**, "A novel acorn based adsorbent for the removal of brilliant green", *Desalination*, 281, pp 226-233.
[69] Aksu, Z., Balibek, E., (**2010)**, "Effect of salinity on metal-complex dye biosorption by Rhizopus arrhizus", *J. Environ. Manage.*, 91, pp 1546-1555.
[70] Karimi, H., Ghaedi, M., (**2014)**, "Application of artificial neural network and genetic algorithm to modeling and optimization of removal of methylene blue using activated carbon", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 20, pp 2471-2476.
[71] Tham, S., Agatonovic-Kustrin, S., (**2002)**, "Application of the artificial neural network in quantitative structure–gradient elution retention relationship of phenylthiocarbamyl amino acids derivatives", *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 28, pp 581-590.
[72] Chamjangali, M.A., Ashrafi, M., (**2013)**, "QSAR study of necroptosis inhibitory activities (EC_{50}) of [1, 2, 3] thiadiazole and thiophene derivatives using Bayesian regularized artificial neural network and calculated descriptors", *Med. Chem. Res.*, 22, pp 392-400.
[73] Turan, N.G., Mesci, B., Ozgonenel, O., (**2011)**, "The use of artificial neural networks (ANN) for modeling of adsorption of Cu (II) from industrial leachate by pumice", *Chem. Eng. J.*, 171, pp1091-1097.
[74] Salari, D., Niaei, A., Khataee, A., Zarei, M., (**2009)**, "Electrochemical treatment of dye solution containing CI Basic Yellow 2 by the peroxi-coagulation method and modeling of experimental results by artificial neural networks", *J. Electroanal. Chem.*, 629, pp 117-125.
[75] Ghaedi, M., Shojaeipour, E., Ghaedi, A., Sahraei, R., (**2015)**, "Isotherm and kinetics study of malachite green adsorption onto copper nanowires loaded on activated carbon: Artificial neural network modeling and genetic algorithm optimization", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 142, pp 135-149.
[76] Musyoka, S.M., Mittal, H., Mishra, S.B., Ngila, J.C., (**2014)**, "Effect of functionalization on the adsorption capacity of cellulose for the removal of methyl violet", *Int. J. Biol. Macromol.*, 65, pp 389-397.
[77] Zhou, L., Huang, J., He, B., Zhang, F., Li, H., (**2014)**, "Peach gum for efficient removal of methylene blue and methyl violet dyes from aqueous solution", *Carbohydrate polym.*, 101, pp 574-581.
[78] Lim, L.B., Priyantha, N., Chan, C.M., Matassan, D., Chieng, H.I., Kooh, M., (**2014)**, "Adsorption behavior of methyl violet 2B using duckweed: equilibrium and kinetics studies", *AJSE*, 39, pp 6757-6765.
[79] Parshetti, G.K., Chowdhury, S., Balasubramanian, R., (**2014)**, "Hydrothermal conversion of urban food waste to chars for removal of textile dyes from contaminated waters", *Bioresour. Technol.*, 161, pp 310-319.
[80] Murugan, M., Jansi Rani, M., Subramaniam, P., Subramanian, E., (**2016)**, "Use of activated carbon prepared from Prosopis spicigera L. wood (PSLW) plant material for the removal of rhodamine 6G from aqueous solution", *Desalination water treat.*, 57, pp 3048-3058.
[81] Senturk, H.B., Ozdes, D., Duran, C., (**2010)**, "Biosorption of Rhodamine 6G from aqueous solutions onto almond shell (Prunus dulcis) as a low cost biosorbent", *Desalination*, 252, pp 81-

87.
[82] Deng, J.-H., Zhang, X.-R., Zeng, G.-M., Gong, J.-L., Niu, Q.-Y., Liang, J., (**2013**), "Simultaneous removal of Cd (II) and ionic dyes from aqueous solution using magnetic graphene oxide nanocomposite as an adsorbent", *Chem. Eng. J.*, 226, pp 189-200.
[83] Tovar-Gomez, R., Rivera-Ramírez, D., Hernandez-Montoya, V., Bonilla-Petriciolet, A., Durán-Valle, C., Montes-Morán, M., (**2012**), "Synergic adsorption in the simultaneous removal of acid blue 25 and heavy metals from water using a Ca (PO_3) 2-modified carbon", *J. Hazard. Mater.*, 199, pp 290-300.
[84] Turabık, M., Gozmen, B., (**2013**), "Removal of Basic Textile Dyes in Single and Multi-Dye Solutions by Adsorption: Statistical Optimization and Equilibrium Isotherm Studies", *Clean-soil, air, water*, 41, pp 1080-1092.
[85] Shen, D., Fan, J., Zhou, W., Gao, B., Yue, Q., Kang, Q., (**2009**), "Adsorption kinetics and isotherm of anionic dyes onto organo-bentonite from single and multisolute systems", *J. Hazard. Mater.*, 172, pp 99-107.
[86] Mahmoodi, N.M., Hayati, B., Arami, M., Lan, C., (**2011**), "Adsorption of textile dyes on pine cone from colored wastewater: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies", *Desalination*, 268, pp 117-125.
[87] Yagub, M.T., Sen, T.K., Ang, M., (**2014**), "Removal of cationic dye methylene blue (MB) from aqueous solution by ground raw and base modified pine cone powder", *Environ. Earth Sci.*, 71, pp 1507-1519.
[88] Dawood, S., Sen, T.K., (**2012**), "Removal of anionic dye Congo red from aqueous solution by raw pine and acid-treated pine cone powder as adsorbent: equilibrium, thermodynamic, kinetics, mechanism and process design", *Water Res.*, 46, pp 1933-1946.
[89] Tian, D., Zhang, X., Lu, C., Yuan, G., Zhang, W., Zhou, Z., (**2014**), "Solvent-free synthesis of carboxylate-functionalized cellulose from waste cotton fabrics for the removal of cationic dyes from aqueous solutions", *Cellulose*, 21, pp 473-484.
[90] Chao, A.-C., Shyu, S.-S., Lin, Y.-C., Mi, F.-L., (**2004**), "Enzymatic grafting of carboxyl groups on to chitosan—to confer on chitosan the property of a cationic dye adsorbent", *Bioresour. Technol.*, 91, pp 157-162.
[91] Ferreira, B.C.S., Teodoro, F.S., Mageste, A.B., Gil, L.F., de Freitas, R.P., Gurgel, L.V.A., (**2015**), "Application of a new carboxylate-functionalized sugarcane bagasse for adsorptive removal of crystal violet from aqueous solution: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies", *Ind. Crops Prod.*, 65, pp 521-534.
[92] Ehlert, G.J., Lin, Y., Sodano, H.A., (**2011**), "Carboxyl functionalization of carbon fibers through a grafting reaction that preserves fiber tensile strength", *Carbon*, 49, pp 4246-4255.
[93] de Melo, J.C., da Silva Filho, E.C., Santana, S.A., Airoldi, C., (**2009**), "Maleic anhydride incorporated onto cellulose and thermodynamics of cation-exchange process at the solid/liquid interface", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 346, pp 138-145.
[94] Chadlia, A., Mohamed, K., Najah, L., (**2009**), "Preparation and characterization of new succinic anhydride grafted Posidonia for the removal of organic and inorganic pollutants", *J. Hazard. Mater.*, 172, pp 1579-1590.
[95] Liu, C., Sun, R., Qin, M., Zhang, A., Ren, J., Ye, J., Luo, W., Cao, Z., (**2008**), "Succinoylation of sugarcane bagasse under ultrasound irradiation", *Bioresour. Technol.*, 99, pp 1465-1473.
[96] Gao, J.-F., Wang, J.-H., Yang, C., Wang, S.-Y., Peng, Y.-Z., (**2011**), "Binary biosorption of Acid Red 14 and Reactive Red 15 onto acid treated okara: Simultaneous spectrophotometric

determination of two dyes using partial least squares regression", *Chem. Eng. J.*, 171, pp 967-975.
[97] Chamjangali, M.A., Bagherian, G., Azizi, G., (**2005**), "Simultaneous determination of cobalt, nickel and palladium in micellar media using partial least square regression and direct orthogonal signal correction", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 62, pp 189-196.
[98] Feng, Y., Liu, Y., Xue, L., Sun, H., Guo, Z., Zhang, Y., Yang, L., (**2017**), "Carboxylic acid functionalized sesame straw: A sustainable cost-effective bioadsorbent with superior dye adsorption capacity", *Bioresour. Technol.*, 238, pp 675-683.
[99] Tang, J., Mu, B., Zong, L., Zheng, M., Wang, A., (**2017**), "Facile and green fabrication of magnetically recyclable carboxyl-functionalized attapulgite/carbon nanocomposites derived from spent bleaching earth for wastewater treatment", *Chem. Eng. J.*, 322, pp 102-114.
[100] Ge, F., Ye, H., Li, M.-M., Zhao, B.-X., (**2012**), "Efficient removal of cationic dyes from aqueous solution by polymer-modified magnetic nanoparticles", *Chem. Eng. J.*, 198, pp 11-17.
[101] Du, Z., Zheng, T., Wang, P., Hao, L., Wang, Y., (**2016**), "Fast microwave-assisted preparation of a low-cost and recyclable carboxyl modified lignocellulose-biomass jute fiber for enhanced heavy metal removal from water", *Bioresour. Technol.*, 201, pp 41-49.
[102] Gurgel, L.V.A., Júnior, O.K., de Freitas Gil, R.P., Gil, L.F., (**2008**), "Adsorption of Cu (II), Cd (II), and Pb (II) from aqueous single metal solutions by cellulose and mercerized cellulose chemically modified with succinic anhydride", *Bioresour. Technol.*, 99, pp 3077-3083.
[103] Cho, E., Tahir, M.N., Kim, H., Yu, J.-H., Jung, S., (**2015**), "Removal of methyl violet dye by adsorption onto N-benzyltriazole derivatized dextran", *RSC Adv.*, 5, pp 34327-34334.
[104] Bhattacharyya, R., Ray, S.K., (**2015**), "Removal of congo red and methyl violet from water using nano clay filled composite hydrogels of poly acrylic acid and polyethylene glycol", *Chem. Eng. J.*, 260, pp 269-283.
[105] Kaur, S., Rani, S., Mahajan, R., Asif, M., Gupta, V.K., (**2015**), "Synthesis and adsorption properties of mesoporous material for the removal of dye safranin: kinetics, equilibrium, and thermodynamics", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 22, pp 19-27.
[106] Sahu, M.K., Patel, R.K., (**2015**), "Removal of safranin-O dye from aqueous solution using modified red mud: kinetics and equilibrium studies", *RSC Adv.*, 5, pp 78491-78501.
[107] Kumar, K.V., Sivanesan, S., (**2005**), "Comparison of linear and non-linear method in estimating the sorption isotherm parameters for safranin onto activated carbon", *J. Hazard. Mater.*, 123, pp 288-292.
[108] El Haddad, M., Slimani, R., Mamouni, R., Laamari, M.R., Rafqah, S., Lazar, S., (**2013**), "Evaluation of potential capability of calcined bones on the biosorption removal efficiency of safranin as cationic dye from aqueous solutions", *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 44, pp 13-18.
[109] Azizi, S.N., Ghasemi, S., Kavian, S., (**2014**), "Synthesis and characterization of NaX nanozeolite using stem sweep as silica source and application of Ag-modified nanozeolite in electrocatalytic reduction of H_2O_2", *Biosens. Bioelectron.*, 62, pp 1-7.
[110] Azizi, S.N., Ghasemi, S., Amiripour, F., (**2014**), "A new attitude to environment: Preparation of an efficient electrocatalyst for methanol oxidation based on Ni-doped P zeolite nanoparticles synthesized from stem sweep ash", *Electrochimica Acta*, 137, pp 395-403.
[111] Kavian, S., Azizi, S.N., Ghasemi, S., (**2016**), "Fabrication of novel nanozeolite-supported bimetallic Pt Cu nanoparticles modified carbon paste electrode for electrocatalytic oxidation of formaldehyde", *Int. J. Hydrog. Energy*, 41, pp 14026-14035.
[112] Kalapathy, U., Proctor, A., Shultz, J., (**2000**), "A simple method for production of pure silica from rice hull ash", *Bioresour. Technol.*, 73, pp 257-262.

[113] Hu, S., Hsieh, Y.-L., (**2014**), "Preparation of activated carbon and silica particles from rice straw", *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 2, pp 726-734.
[114] Rida, M.A., Harb, F., (**2014**), "Synthesis and characterization of amorphous silica nanoparitcles from aqueous silicates uisng cationic surfactants", *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 24, pp 37-42.
[115] Srivastava, K., Shringi, N., Devra, V., Rani, A., (**2013**), "Pure silica extraction from perlite: Its characterization and affecting factors", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2, pp 2936-2942.
[116] Anirudhan, T., Ramachandran, M., (**2015**), "Adsorptive removal of basic dyes from aqueous solutions by surfactant modified bentonite clay (organoclay): kinetic and competitive adsorption isotherm", *Process Saf. Environ.*, 95, pp 215-225.
[117] Tsai, W., Hsien, K., Yang, J., (**2004**), "Silica adsorbent prepared from spent diatomaceous earth and its application to removal of dye from aqueous solution", *J. Colloid Interface Sci.*, 275, pp 428-433.
[118] Woolard, C., Strong, J., Erasmus, C., (**2002**), "Evaluation of the use of modified coal ash as a potential sorbent for organic waste streams", *Appl. Geochem.*, 17, pp 1159-1164.
[119] Karim, A., Jalil, A.A., Triwahyono, S., Sidik, S., Kamarudin, N., Jusoh, R., Jusoh, N., Hameed, B., (**2012**), "Amino modified mesostructured silica nanoparticles for efficient adsorption of methylene blue", *J. Colloid Interface Sci.*, 386, pp 307-314.
[120] Kumar, K.V., Ramamurthi, V., Sivanesan, S., (**2005**), "Modeling the mechanism involved during the sorption of methylene blue onto fly ash", *J. Colloid Interface Sci.*, 284, pp 14-21.
[121] Dural, M.U., Cavas, L., Papageorgiou, S.K., Katsaros, F.K., (**2011**), "Methylene blue adsorption on activated carbon prepared from Posidonia oceanica (L.) dead leaves: Kinetics and equilibrium studies", *Chem. Eng. J.*, 168, pp 77-85.
[122] Das, P., Banerjee, P., Mondal, S., (**2015**), "Mathematical modelling and optimization of synthetic textile dye removal using soil composites as highly competent liner material", *Environ. Sci. Pollut Res.*, 22, pp 1318-1328.
[123] An, S., Liu, X., Yang, L., Zhang, L., (**2015**), "Enhancement removal of crystal violet dye using magnetic calcium ferrite nanoparticle: study in single-and binary-solute systems", *Chem. Eng. Res. Design.*, 94, pp 726-735.
[124] Schoonen, M.A., Schoonen, J. M., (**2014**), "Removal of crystal violet from aqueous solutions using coal", *J. Colloid Interface Sci.*, 422, pp 1-8.
[125] Mazaheri, H., Ghaedi, M., Hajati, S., Dashtian, K., Purkait, M., (**2015**), "Simultaneous removal of methylene blue and Pb^{2+} ions using ruthenium nanoparticle-loaded activated carbon: response surface methodology", *RSC Adv.*, 5, pp 83427-83435.
[126] Dil, E.A., Ghaedi, M., Asfaram, A., Hajati, S., Mehrabi, F., Goudarzi, A., (**2017**), "Preparation of nanomaterials for the ultrasound-enhanced removal of Pb^{2+} ions and malachite green dye: Chemometric optimization and modeling", *Ultrason. Sonochem.*, 34, pp 677-691.
[127] Hu, L., Yang, Z., Cui, L., Li, Y., Ngo, H.H., Wang, Y., Wei, Q., Ma, H., Yan, L., Du, B., (**2016**), "Fabrication of hyperbranched polyamine functionalized graphene for high-efficiency removal of Pb (II) and methylene blue", *Chem. Eng. J.*, 287, pp 545-556.
[128] Ardekani, P.S., Karimi, H., Ghaedi, M., Asfaram, A., Purkait, M.K., (**2017**), "Ultrasonic assisted removal of methylene blue on ultrasonically synthesized zinc hydroxide nanoparticles on activated carbon prepared from wood of cherry tree: experimental design methodology and artificial neural network", *J. Mol. Liq.*, 229, pp 114-124.
[129] Safinejad, A., Chamjangali, M.A., Goudarzi, N., Bagherian, G., (**2017**), "Synthesis and characterization of a new magnetic bio-adsorbent using walnut shell powder and its application

in ultrasonic assisted removal of lead", *J. Environ. Chem. Eng.*, 5, pp 1429-1437.
[130] Ghaedi, M., Mazaheri, H., Khodadoust, S., Hajati, S., Purkait, M., (**2015)**, "Application of central composite design for simultaneous removal of methylene blue and Pb^{2+} ions by walnut wood activated carbon", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 135, pp 479-490.
[131] do Carmo Ramos, S.N., Xavier, A.L.P., Teodoro, F.S., Gil, L.F., Gurgel, L.V.A., (**2016)**, "Removal of cobalt (II), copper (II), and nickel (II) ions from aqueous solutions using phthalate-functionalized sugarcane bagasse: mono-and multicomponent adsorption in batch mode", *Ind. Crops Prod.*, 79, pp 116-130.

Abstract

In the first section of this thesis, magnetite walnut shell was synthesized via a chemical method, and its surface characterization was carried out using different techniques. Then the performance of this composite, which possessed the adsorption features of walnut shell and the magnetic property of Fe_3O_4, was investigated for the removal of methyl violet and Rhodamine 6G from single component aqueous solutions. The effects of different experimental variables such as the initial sample solution pH, adsorbent dosage, dye concentration, and contact time on the removal efficiency of the cited dyes were examined. Then these variables were used as the inputs in order to generate linear and non-linear models such as the multiple linear regression (MLR), random forest (RF), and artificial neural network (ANN) in order to predict the removal efficiency of these dye species at different experimental conditions. The validation studies of these models were performed using the test set (108 data), which was not present in the modeling procedure. The results obtained showed that the ANN model (as a non-linear model) had a higher ability to predict the adsorption process for both dyes under different experimental conditions. The simultaneous removal of these two cationic dyes using the proposed adsorbent was also studied. The results obtained showed that due to the competitive effect of the understudied dyes, the removal percentage in solutions containing a mixture of these two dyes decreases compared to the solutions containing only one of the dyes.

In the second section of this thesis, a new carboxylate–functionalized pine cone was prepared using isopropylidene malonate in a solvent-free reaction. Then it was characterized by different techniques. The performance of the modified adsorbent was investigated for the removal of the safranin-O (SO) and methyl violet (MV) dyes from the single and binary solutions. The maximum adsorption capacity for SO and MV in the single solution was 208.0 and 225.0 mg/g, respectively, whereas these values were, respectively, 112.30 and 116.7 mg/g for the binary solution. In continuation, the experimental factors involving the initial sample solution pH, adsorbent dosage, dye concentration, and contact time were used as the input variables to ANN and RF models to predict the removal percentage of SO and MV in their binary mixture. The validation of these models was tested using a test set (81 data point). The statistical parameters calculated in the prediction of the removal percentage of the test set confirmed that the

ANN model had a substantially better and more accurate prediction with respect to the RF model.

In the third section of this thesis, the silica nanoparticles were extracted from stem sweep. The structural and morphological analysis of nanosilica was performed by the FT-IR, SEM, and BET techniques. The results obtained confirmed the presence of silica spherical nanoparticles with an average particle size of less than 100 nm and a surface area of 152 m^2/g. For the first time, the performance of these nanoparticles (as an affordable and available absorbent) was studied for the simultaneous removal of crystal violet and methylene blue from aqueous solutions. The effects of different experimental parameters such as pH, adsorbent dose, initial concentration and contact time on the simultaneous removal of two dyes were studied and the optimal values were obtained. In the next step, the modeling of the absorption process in different conditions was performed using RF and MLR methods. The results obtained showed that the RF model had a better predictive power.

Finally, in the last section of this thesis, walnut shell was modified using isopropylidine malonate in a solvent-free reaction. Using different techniques, the presence of carboxylic acid groups on the adsorbent surface was confirmed. The efficiency of the modified adsorbent for the simultaneous removal of methylene blue and lead was also studied. Optimization of the experimental parameters was carried out using the Box-Behnken design. The maximum adsorption capacity for removal of lead ions and methylene blue from bicomponent solutions was 100.40 and 55.78 mg/g, respectively. The reaction mechanism showed that the electrostatic forces play a major role in the adsorption process of lead, while for the adsorption of methylene blue on the adsorbent surface, the π-π interactions and hydrogen bonding play more important roles.

Keywords: removal of dye, Wastewater treatment, Modeling, Artificial Neural Network, Random forest.

Shahrood University of Technology

Faculty of chemistry

Ph.D Dissertation in Analytical Chemistry

Removal of dye pollutants from aqueous solutions using natural and synthetic adsorbents

By:

Motahare Sadat Ashrafi

Supervisor:

Dr. Gh. Bagherian Dehaghi

Dr. M. Arab Chamjangali

Advisor:

Dr. N. Goudarzi

January 2018