

# بررسی مقایسه‌ای ایزوترم جذب رنگزای راکتیو یک عاملی و دو عاملی روی پارچه سلولزی با استفاده از مواد تعاونی اوره، دیسپرس کننده و نفوذدهنده

مرجان ولی زاده<sup>۱</sup>، پیمان ولی پور<sup>۲\*</sup>، رامین خواجوی<sup>۱</sup>، حمید اکبرپور<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی نساجی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

<sup>۲\*</sup> دانشکده مهندسی نساجی مد و پوشاک، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران.

<sup>۳</sup> گروه مهندسی تکنولوژی طراحی دوخت و پوشاک، آموزشکده فنی و حرفه ای آمل (توحید)، دانشگاه فنی و حرفه ای، مازندران، ایران  
p.valipour@qemiau.ac.ir

## چکیده:

هدف از انجام این تحقیق بررسی مقایسه‌ای ایزوترم جذب رنگزای راکتیو یک عاملی و دو عاملی با حضور مواد تعاونی اوره، دیسپرس کننده و نفوذدهنده روی پارچه پنبه‌ای می‌باشد. در این تحقیق با توجه به نوع پارچه مصرفی و دو نوع رنگزای بکار رفته از نوع راکتیو پایه‌های شیمیایی منوکلروتری آزین و منوکلروتری آزین/وینیل سولفون (MCT/VS و MCT)، تاثیر سه ماده تعاونی دیسپرس کننده، اوره و نفوذدهنده همراه با تغییرات دما و غلظت مورد بررسی قرار داده شد. نتایج آزمایشات نشان داد هر سه ماده تعاونی مورد تحقیق موجب نفوذ بیشتر، تثبیت بالاتر و بهبود ثبات هر دو نوع رنگزا مورد آزمایش منجر شده است. نتایج نشان داد رفتار نفوذ و جذب هر دو نوع رنگزا در حالت‌های مختلف استفاده از این مواد متفاوت بوده است. همچنین نتایج بررسی ایزوترم های جذب نرنست، لانگمویر و فروندلیچ نشان داد که کلیه رنگزای‌های مربوط به این دو نوع رنگزا از ایزوترم جذب لانگمویر تبعیت می‌کند. در نهایت نتایج حاصل از داده‌های انرژی اکتیواسیون نشان داد که رنگزا راکتیو RR در حضور مواد تعاونی اوره و دیسپرس کننده دارای کمترین انرژی اکتیواسیون و ضریب پیشنهادی آرنیوس می‌باشد در حالیکه این امر برای رنگزا راکتیو RGB دارای بیشترین مقدار است. کلمات کلیدی: پارچه پنبه‌ای، رنگزا راکتیو، ایزوترم جذب، آنتالپی و آنتروپی جذب، انرژی اکتیواسیون، مواد تعاونی

## Comparative Study of one- and two-factors Reactive Dye Adsorption Isotherms on Cellulose Fabric using Urea, Dispersing and Penetrating Cooperative Materials

M. Valizadeh<sup>1</sup>, P. Valipour<sup>2\*</sup>, R. Khajavi<sup>1</sup>, H. Akbarpour<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Textile Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

<sup>2\*</sup> Departments of Textile and Garment Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Mazandaran, Iran.

<sup>3</sup>Department of Sewing and Garment Design Engineering, Amol Branch (Tohid), Technical and Vocational University, Mazandaran, Iran.  
p.valipour@qemiau.ac.ir

### Abstract:

The aim of this article is to compare of Reactive Dye adsorption isotherm of one- and two-factors on Cotton fabric. In this study, according to the type of fabric used and the two types of dyes used with chemical bases (MCT and MCT/VS), we have investigated the effect of three cooperative substances dispersing, urea and penetrating. It should be noted that the Concentration and temperature were also variable. The results of the experiments showed that all three mentioned auxiliary materials cause higher penetration and stabilization and improve the stability of both types of dyes mentioned on the tested fabric, in which the use of these materials for both types of dyes was investigated and the results shown that the order of effect of these materials was different for the two types of dyes. To determine the type of adsorption isotherm, Nernst, Langmuir and Freundlich adsorption isotherms have been used and the results indicated that the Langmuir adsorption isotherm is better suited to the test results. This means that the adsorption of RR and RGB Red Reactive dyes by the cellulosic product was superheated. Finally, the results of activation energy data shown that RR dye in the presence of urea and dispersants cooperatives has the lowest activation energy and Arrhenius prediction coefficient, while this has the highest value for RGB dye.

**Keywords:** Cotton fabric, Reactive dye, Adsorption Isotherm, Enthalpy and Adsorption entropy, Activation energy, auxiliary material.

## ۱-مقدمه:

رنگزای راکتیو به علت ایجاد اتصالات مستحکم کووالانسی با لیف از ثبات شستشوی بسیار خوبی برخوردارند. این رنگزای دارای یک یا چند گروه راکتیو می‌باشند که با لیف واکنش داده و پیوند برقرار می‌کنند. این واکنش‌ها می‌توانند با جابجایی مولکول‌های هالوژن از مولکول رنگزا و یا افزایش مولکول رنگ از طریق باز شدن یک یا چند پیوند دوگانه آن به لیف باشد. بطور کلی منسوجات رنگرزی شده با رنگزای راکتیو دارای ثبات نوری خیلی خوب و دارای ترکیب الکترونی خیلی پایدار هستند و بنابراین تاثیر مقاومتی آنها در برابر اثر تخریبی اشعه ماوراء بنفش موجود در نور خورشید زیاد است [۱-۴].

علاوه بر رنگزای دی کلروتری آزینیل با قدرت واکنشی بالا) مانند: Procion M)، چندین دسته از رنگزای منو کلروتری آزینیل با قدرت واکنشی کم (مانند دسته‌های: Procion H و Cibacron) موجود می‌باشند، که دارای کاربرد گسترده‌ای به ویژه در چاپ منسوجات می‌باشند. انواع رنگزای بکار رفته در رنگزای منوکلروتری آزینیل مرکب و همانند گروه دی کلروتری آزینیل که عمدتاً از ساختارهای منو آزو، آنتراکینون و فتالوسیانین می‌باشند. اگرچه ساختارهای دیس (Dis-) و حتی تریس (Tris-) آزو در مقاله‌های ثبت شده مشخص گردیده‌اند و برخی ساختار دیس آزو در رنگزای تجاری ظاهر گردیده‌اند. برای تهیه رنگزای منوکلروتری آزینیل از همان پایه رنگ (مثلاً پایه آزو)، دی کلروتری آزینیل بدون جداسازی با یک نسبت مولکولی آنیلین اسید سولفونیک و یا سولفو آنترانلیک اسید در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  و  $\text{PH}=6$  تحت عملیات قرار می‌گیرد [۵]. رنگزای آزو که بزرگترین کلاس رنگزای مصنوعی را تشکیل می‌دهند، جزء لاینفک صنعت نساجی هستند و حدود ۷۰ درصد رنگزای

تجاری را تشکیل می‌دهند. آنها به طور گسترده برای رنگرزی پارچه‌ها استفاده می‌شوند و در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد استفاده می‌شوند، در حالیکه اکثر رنگزای دیگر به دمای جوش نیاز دارند. این رنگزای ارزش زیادی دارند، زیرا طیف گسترده‌ای از رنگزای را ارائه داده و ثبات رنگی فوق‌العاده را شامل شده و شدت رنگ بسیار بیش‌تر از هر جایگزین دیگری دارند، در نتیجه آنها را برای صنعت نساجی ارزشمند می‌سازد [۶].

در تحقیقی توسط ولی پور و دیگران [۷] در بررسی جذب مواد رنگزا راکتیو روی پارچه پنبه‌ای عمل آوری شده با کیتوسان مشاهده کردند که اتصال کیتوسان به سلولوز در پارچه پنبه‌ای سفیدگری شده، جذب و رمق‌کشی رنگزای راکتیو مونوکلروتری آزین و وینیل سولفون استفاده شده به نحو قابل-توجهی بهبود یافت و نمونه‌های عمل آوری شده با کیتوسان نسبت به سایر نمونه‌ها از ثبات شستشویی مطلوب‌تری برخوردار بوده‌اند، اما تغییر محسوسی در ثبات‌های نوری و سایشی نمونه‌های مختلف مشاهده نشده است. در مورد ارزیابی اثر تعاملی دما و غلظت قلیا بر جذب رنگزا راکتیو در پارچه حلقوی پودی پنبه‌ای ساده مرسریزه شده، عملیات قلیایی در افزایش مقدار جذب رنگزا راکتیو در پارچه بسیار مؤثر است. افزون بر این، اثر دو متغیر غلظت و دما بر جذب رنگزا راکتیو از نوع تعاملی است [۸]. همچنین ح یوسف و دیگران [۹] در تحقیقی با عنوان اثر پارامترهای فرآیند روی رمق‌کشی، تثبیت و دوام رنگ در رنگرزی پارچه سلولزی با رنگزا راکتیو دریافتند که الکترولیت، قلیاء، زمان رنگرزی، دمای رنگرزی و مقدار  $\text{pH}$  قلیایی اثرات مثبت معنی‌داری بر رمق‌کشی، تثبیت و دوام رنگ (K/S) داشته و نسبت حجم حمام به وزن کالا (۱:۷۰) بالاترین نتیجه مثبت را داشته و نسبت بالاتر تأثیر منفی بر رمق‌کشی، تثبیت و دوام

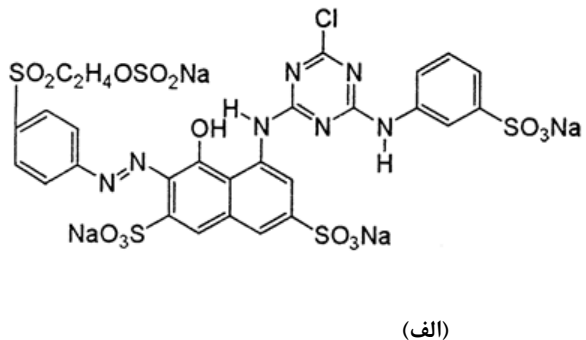
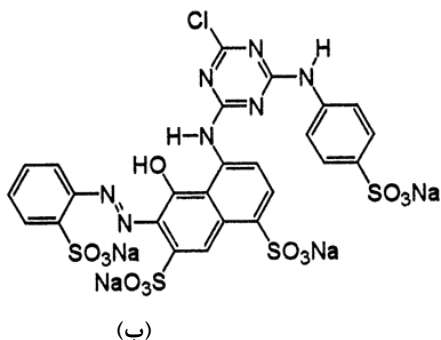
ترکیب اوره، دیسپرس‌کننده و نفوذدهنده دارای بیش‌ترین اثر جذبی می‌باشد که در ادامه بدان اشاره خواهد شد.

## ۲- تجربیات

### ۲-۱- مواد

در این تحقیق از پارچه پنبه‌ای سفیدگری شده با بافت تافته ۱/۱ تهیه شده از شرکت نساجی مازندران استفاده شد. همچنین از موادی چون اوره از شرکت MERCK آلمان با فرمول شیمیایی  $CH_4N_2O$ ، کربنات سدیم نیز از شرکت MERCK آلمان با فرمول شیمیایی  $Na_2CO_3$  و همچنین نمک (NaCl) از شرکت دکتر مجللی تهیه شده است. ماده دیسپرس‌کننده، با نام تجاری راکاپون (RAG) و پایه شیمیایی ترکیبات آلی پلیمری پلی‌اکریلات با ماهیت یونی آنیونیک، ماده نفوذدهنده با نام تجاری راکاپون OT-20 با پایه شیمیایی الکل-های سولفیت شده از شرکت راک شیمی تهیه شد. همچنین از رنگزای راکتیو با گروه عاملی MCT و دیگری با گروه عاملی MCT/VS [۸] از شرکت Dystar تهیه شدند. این رنگزاهای راکتیو بدون هیچ فرآیند خالص‌سازی و با درجه خلوص تجاری مورد استفاده قرار گرفت که در شکل (۱) ساختار رنگزاهای جدول (۱) خصوصیات مواد رنگزای راکتیو بکارگیری شده بیان شده است.

رنگ (K/S) نشان داد. شرایط بهینه رنگرزی با رنگزای راکتیو قرمز ۱۹۵ در غلظت الکترولیت ۵۰ گرم در لیتر، غلظت قلیایی ۱۲ گرم در لیتر، نسبت حجم حمام به وزن کالا (۱:۷۰)، زمان رنگرزی ۳۰ دقیقه، دمای ۷۰ درجه سانتیگراد و  $pH = 10.5$  تعیین کردند. در تحقیقی دیگر توسط رحمانی و دیگران [۱۰] حذف رنگزای راکتیو سیاه ۵ از محیط‌های آبی با استفاده از جذب بر روی رزین تبادل یون آنیونی بازی قوی: مطالعه تعادلی و سینتیکی، دریافتند که کارایی رنگزای راکتیو سیاه ۵ با افزایش  $pH$  و غلظت اولیه رنگزای کاهش می‌یابد و سینتیک فرآیند جذب از مدل سینتیک شبه درجه دو و داده‌های تعادلی از مدل ایزوترمی لانگمویر پیروی می‌کند. در کار دیگر وانگ و همکارانش [۱۱] روی ویژگی رنگرزی و سینتیک جذب رنگزای راکتیو برای منسوجات پنبه‌ای در سیستم‌های رنگرزی غیر آبی بدون نمک مشاهده کردند که این روش در مقایسه با روش سنتی و رایج رنگرزی بیش از ۹۴٪ جذب رنگزای صورت گرفته و میزان تثبیت رنگزای نیز بین ۸۰ تا ۹۰ درصد گزارش کردند که این امر در سینتیک جذب شبه درجه دوم تعادل و جذب رنگزای راکتیو هم توصیف نمودند. این مقاله به بررسی ایزوترم جذب رنگزاهای راکتیو روی پارچه سلولزی با استفاده از ترکیب مواد تعاونی اوره، دیسپرس‌کننده و نفوذدهنده به منظور کاهش هیدرولیز در رنگرزی پرداخته شده و نتایج تحقیق نشان داد که



شکل ۱- ساختار رنگزای راکتیو الف) قرمز RR ب) قرمز RGB [۱۲].

جدول ۱- خصوصیات ماده رنگزا راکتیو قرمز RR [۱۲]

نام تجاری ماده رنگزا راکتیو	CAS number	C. I. number	فرمول مولکولی	وزن مولکولی g/mol	$\lambda_{max}$ (nm)
Remazol deep Red RR gran	145017-98-7	18221	$C_{27}H_{18}ClN_7Na_4O_{16}S_5$	984.21	496
Remazol deep Red RGB gran	12238-01-6	-	$C_{25}H_{14}ClN_7Na_4O_{13}S_4$	876.09	513

## ۲-۲-۲ روش‌ها

## ۲-۲-۱- اسپکتروفتومتری UV. Vis

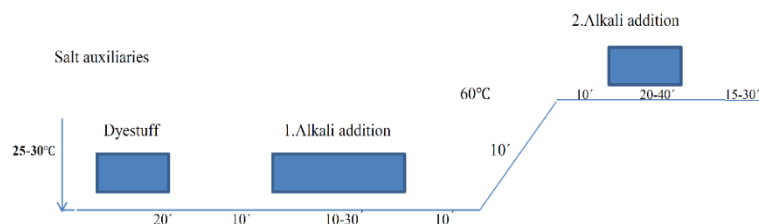
$L/R=40/1$  همراه با ۵ گرم در لیتر دیسپرس‌کننده و ۵ گرم

در لیتر نفوذدهنده تحت گراف رنگزی شکل ۲ انجام شد. شرایط رنگزی برای تمام نمونه‌ها یکسان بوده و تنها عامل متغیر، عملیات انجام شده بر روی آنها می‌باشد و پساب نمونه‌های رنگزی شده جهت اندازه‌گیری میزان طیف جذبی رنگزا راکتیو، نگهداری شدند. همچنین مکانیزم رنگزی دو رنگزا راکتیو در شماتیک ۱ نشان داده شده است.

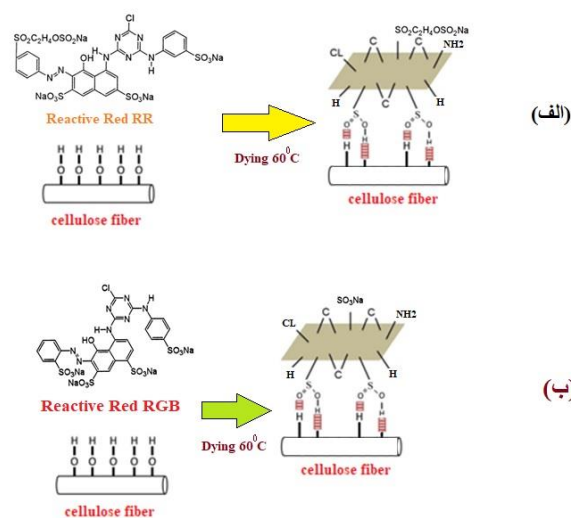
در این تحقیق برای اندازه‌گیری جذب UV/VIS از دستگاه UVIKON 923 Double Beam UV/VIS Spectrophotometer موجود در دانشگاه آزاد تهران - جنوب استفاده شد. همچنین جهت رنگزی از حمام unstirred استفاده گردید.

## ۲-۲-۲ روش رنگزی

رنگزی نمونه‌های عمل شده با رنگزا راکتیو با نسبت



شکل ۲- گراف رنگزی پارچه پنبه‌ای با رنگزاهای RR و RGB [۷ و ۱۳]



شماتیک ۱- مکانیزم رنگزی پارچه پنبه‌ای با اتصال کووالانسی با رنگزاهای الف (RR) و ب (RGB)

## ۳-۲-۲- نمودار کالیبراسیون

جهت کسب نمودار کالیبراسیون ابتدا یک گرم از رنگزاهای راکتیو قرمز RR و RGB را به صورت جداگانه توزین و توسط آب به حجم ۱۰۰ میلی لیتر حل شد تا رنگزا ۰/۱٪ بدست آید. حال برای تهیه محلول هایی با غلظت ۰/۱ تا ۰/۸ gr/l به ترتیب ۱ تا ۸ میلی لیتر از رنگزاهای ۰/۱٪ را درون بالن اضافه کرده و به حجم ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد. در این صورت محلول هایی با غلظت ۰/۱ تا ۰/۸ gr/l تهیه گردید. نمونه های آماده شده را در قوطی های از جنس پلی پروپیلن انتقال داده تا برای اندازه گیری توسط دستگاه اسپکتروفتومتر جذبی (UV) استفاده شود. قبل از اندازه گیری مقدار جذب هر نمونه، ابتدا باید  $\lambda_{max}$  آن تعیین گردد. برای این کار یک نمونه را به صورت دلخواه مثلاً غلظت ۰/۴ g/l (به عنوان یک غلظت میانی از این نمونه جهت تعیین  $\lambda_{max}$  استفاده شد) را در دستگاه اسپکتروفتومتر جذبی قرار داده و مقدار  $\lambda_{max}$  رنگزا مورد نظر تعیین شد. دستگاه اسپکتروفتومتر جذبی دارای ۲ سل می باشد که در یکی از آنها ماده شاهد (آب مقطر) و در دیگری نمونه رنگزا مورد نظر قرار می گیرد. با توجه به  $\lambda_{max}$  تعیین شده در مرحله قبل، مقدار جذب هر نمونه را تعیین می کنند. با توجه به مقادیر فوق نمودار کالیبراسیون برای رنگزاهای راکتیو RR و RGB بدست آمد.

## ۳-۲-۴- تعیین اثر غلظت و اثر دما در جذب

در این آزمایش به منظور تعیین اثر غلظت مواد رنگزا راکتیو و شناسایی اثر دما، ابتدا نمک طعام و سایر مواد تعاونی مورد استفاده دمای محیط به محلول اضافه شده، سپس رنگزا راکتیو مصرفی با غلظت های متفاوت (۰٪، ۱٪، ۱/۵٪، ۲٪، ۲/۵٪، ۳٪-

۳/۵٪، ۴٪) و کربنات سدیم در دو مرحله طی زمان ۱۵۰ دقیقه به محلول رنگزای اضافه شد. ۸۰ دقیقه از رنگزای در دمای محیط و مابقی در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد انجام شده است. تمامی این حالات برای رنگزا راکتیو دوم نیز تکرار شد. جذب پساب باقی مانده مواد رنگزا راکتیو توسط دستگاه اسپکتروفتومتر جذبی اندازه گیری و نتایج مقادیر هر یک را در معادله (۱) قرار داده و مقدار رنگزا راکتیو موجود در پساب هر نمونه آزمایش به دست آمد (آزمایش با ۲ بار تکرار انجام شد) و میزان رنگزای جذب شده توسط لیف در لحظه تعادل مشخص شد:

$$q_e = (C_0 - C_e) \frac{V}{W} \quad \text{معادله (۱)}$$

در معادله ۱  $q_e$  میزان رنگزای جذب شده توسط لیف در لحظه تعادل برحسب (mg/l)،  $C_e$  میزان رنگزا راکتیو موجود در حمام در لحظه تعادل برحسب (mg/l)،  $C_0$  غلظت اولیه رنگزا راکتیو برحسب (gr/l)،  $V$  حجم حمام (L) و  $W$  وزن کالا بر حسب (gr) می باشد.

## ۳-۲-۵- تعیین اثر زمان و مطالعه کنتیک جذب

در این آزمایش به منظور تعیین اثر زمان، ابتدا نمک طعام و مواد تعاونی مورد استفاده در دمای محیط به محلول اضافه شده، سپس رنگزای مصرفی با غلظت ثابت (غلظتی که بیشترین مقدار جذب را داشته است) و کربنات سدیم در دو مرحله، طی مدت ۱۵۰ دقیقه به محلول رنگزای اضافه شد. پساب باقی مانده مواد رنگزا راکتیو توسط دستگاه اسپکتروفتومتر جذبی هر ۱۵ دقیقه یک بار خوانده شد. با توجه به نتایج بدست آمده از دستگاه اسپکتروفتومتر جذبی، مقادیر هر یک را در معادله (۲) قرار داده و مقدار رنگزای موجود در پساب هر نمونه آزمایش بدست آمد

جذب شده است و در واقع با جذب پیوند غیرمستقیم دارد. در این تحقیق، برای توصیف رابطه میان مقدار جذب رنگزا راکتیو بر لیف سلولزی و میزان رنگزا باقی مانده در حمام در دماهای مختلف (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد)، از مدل‌های لانگمویر، فروندلیچ و نرنست استفاده شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نتایج حاصل از نمودار کالیبراسیون

نمودارهای کالیبراسیون برای رنگزاهای راکتیو قرمز RR و RGB در شکل ۳ نشان داده شده است. از روی نمودار کالیبراسیون می‌توان در مراحل بعد با توجه به اندازه‌گیری، مقدار رنگزا راکتیو باقی مانده در پساب و مقدار رنگزای جذب شده توسط جاذب را بدست آورد. پس از آنکه طول موج با بیش‌ترین جذب ( $\lambda_{max}$ ) توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر جذبی اندازه‌گیری شد، خطی بودن معادله بیر-لامبرت توسط نمودار غلظت و جذب محلول رنگزا مورد تایید قرار گرفت و میزان تثبیت و نفوذ رنگزا راکتیو را در پارچه سلولزی نشان داد (شکل ۳).

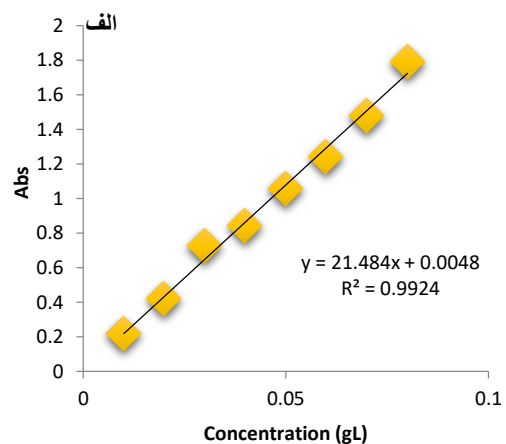
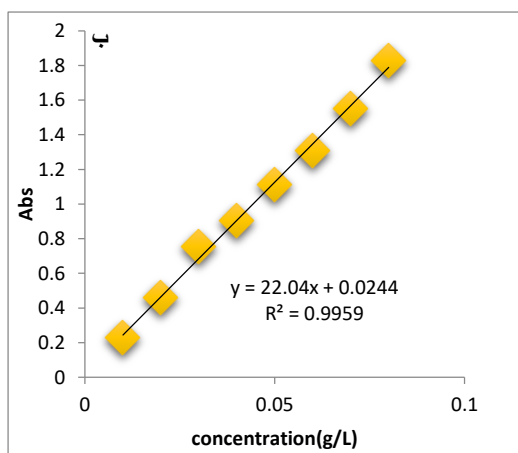
(آزمایش با ۲ بار تکرار انجام شد) و میزان رنگزای جذب شده توسط لیف در هر زمان مشخص شد.

$$q_t = (C_0 - C_t) \frac{V}{W} \quad \text{معادله (۲)}$$

در معادله ۲،  $q_t$  میزان رنگزای جذب شده توسط لیف در هر زمان (mg/g)،  $C_t$  میزان رنگزای موجود در حمام در زمان  $t$  (mg/l)،  $C_0$  غلظت اولیه رنگزا راکتیو برحسب (mg/l)،  $V$  حجم حمام (L) و  $W$  وزن کالا بر حسب (gf) می‌باشد.

#### ۸-۲-۲- ایزوترم جذب

ایزوترم جذب رابطه تعادل در دمای ثابت، غلظت در مایع و مقدار جذب را نشان می‌دهد. بنا بر تحقیقات علمی همیشه در فرآیند رنگرزی عواملی مانند دما، غلظت، ساختار جذب شونده و ساختار جاذب، مهم‌ترین عوامل برای فرآیند جذب هستند. بطور کلی فرآیند جذب، متناسب با آرایش مولکول‌های مواد جذب شونده روی سطح جاذب به دو صورت تک لایه ای و چند لایه ای صورت می‌گیرد. در جذب تک لایه ای تماس جاذب با جذب شونده مستقیم است. در حالیکه در مورد جذب چند لایه‌ای، جاذب علاوه بر جذب مستقیم بطور غیرمستقیم نیز

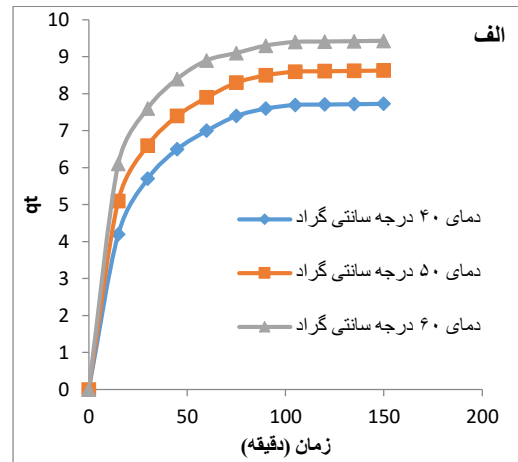
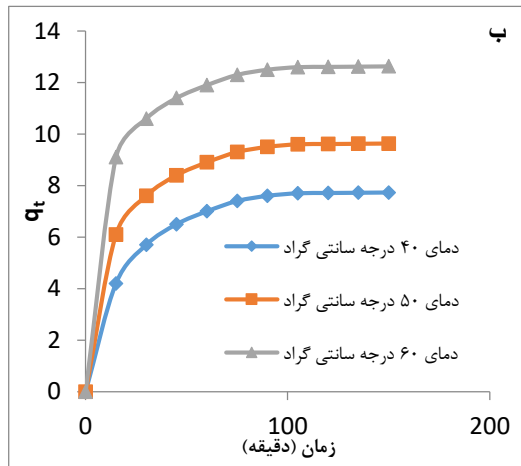


شکل ۳- نمودار کالیبراسیون برای الف) رنگزا راکتیو RR و ب) رنگزا راکتیو RGB

۳-۲- بررسی تاثیر دما و زمان در جذب رنگزای راکتیو:

را در دماهای ۴۰، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد و همچنین غلظت ۰/۰۳٪ و در زمان‌های مختلف را مشاهده نمود (شکل ۴). با افزایش درجه حرارت میزان جذب رنگزای راکتیو افزایش یافته است.

از نمودارهای ایزوترم جذب رنگزای راکتیو قرمز RR و RGB توسط لیف سلولزی می‌توان نتایج اثر دما در میزان جذب رنگزای

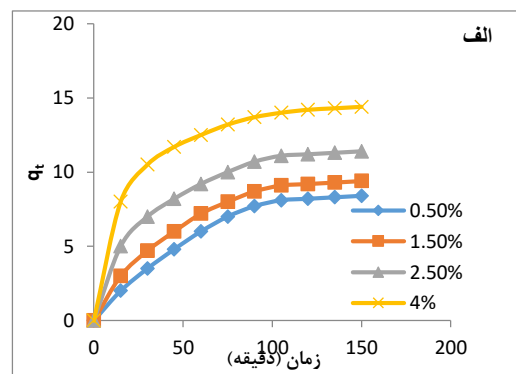
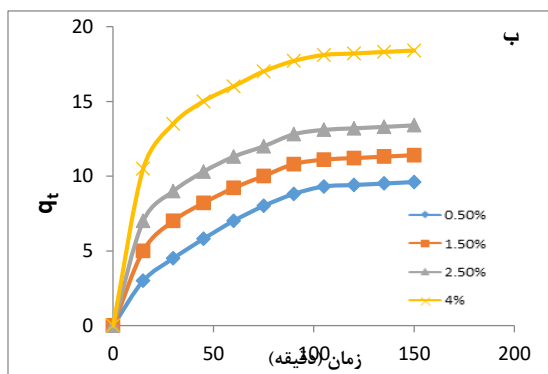


شکل ۴- نمودار تاثیر دما و زمان در جذب رنگزای راکتیو برای الف) رنگزای راکتیو RR و ب) رنگزای راکتیو RGB

۳-۳- بررسی تاثیر غلظت و زمان در جذب رنگزای راکتیو

جذب افزایش یافت و افزایش زمان عملیات، افزایش جذب را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که زمان ۱۵۰ دقیقه می‌تواند نقطه تعادل جذب رنگزای راکتیو باشد. چرا که در این زمان بیشترین مقدار جذب رنگزای مشاهده شد. برای درجه حرارت‌های مختلف (۴۰-۵۰-۶۰ درجه) جذب رنگزای راکتیو در این زمان (۱۵۰ دقیقه) به تعادل می‌رسد. همچنین بالا رفتن غلظت رنگزای راکتیو، افزایش جذب را به دنبال دارد، بطوریکه دمای ۵۰ درجه را می‌توان بعنوان شرایط بهینه نفوذ رنگزای راکتیو در شرایط زمان و غلظت در نظر گرفت.

تعیین زمان تعادل یکی از مهم‌ترین ویژگی‌هایی است که نشان‌دهنده جذب رنگزای بر روی لیف سلولزی می‌باشد. در نمودار شکل ۵ تاثیر زمان جذب رنگزای توسط لیف سلولزی نشان داده شده است. همانطوریکه مشاهده شد، جذب رنگزای با افزایش زمان تا ۱۵۰ دقیقه افزایش می‌یابد، بطوریکه تا ۹۰ دقیقه ابتدایی، سرعت جذب بالا بوده و پس از آن تا ۱۵۰ دقیقه نیز



شکل ۴- نمودار تاثیر غلظت و زمان در جذب رنگزای راکتیو برای الف) رنگزای راکتیو RR و ب) رنگزای راکتیو RGB

۳-۴- بررسی منحنی ایزوترم جذب لانگمویر

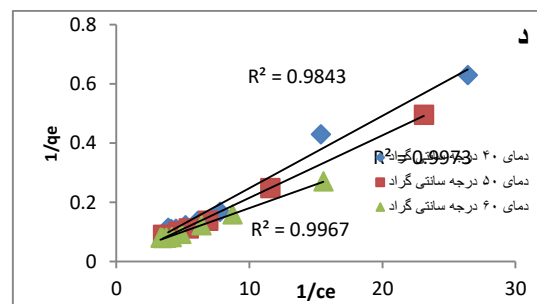
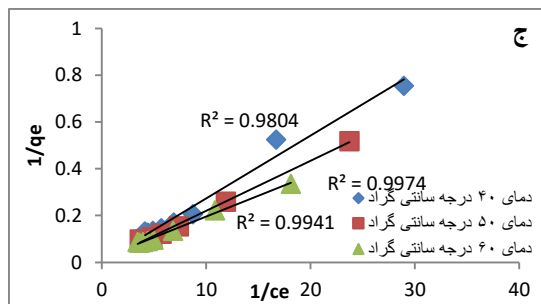
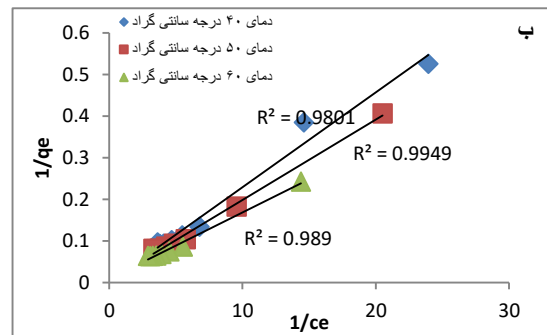
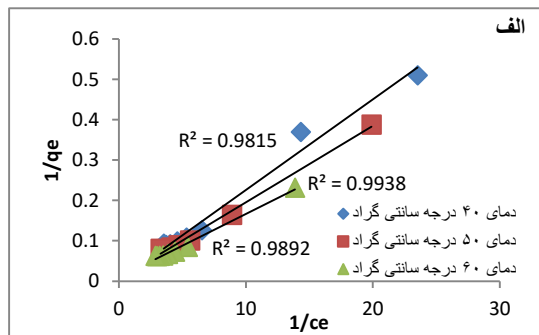
این ایزوترم در حالتی که تعداد موقعیت‌های جذب در ماده جاذب محدود و در هر موقعیت جذب نیز تنها یک مولکول جذب شود کاربرد دارد. پس بر اساس این تئوری، مقدار مشخصی از ماده می‌تواند جذب شود و پس از رسیدن به نقطه اشباع (نقطه‌ای که بعد از آن امکان جذب وجود ندارد) افزایش ماده جذب شونده باعث افزایش جذب نخواهد شد. مدل لانگمویر برای جذب تک لایه‌ای بر روی سطح ماده جاذب دارای مکان‌های جذب محدود و یکسان معتبر است. این مدل برای تخمین میزان بیشینه جذب بکار می‌رود؛ که مقدار آن را نمی‌توان در آزمایش‌ها کسب کرد [۱۴، ۱۶، ۱۷].

$$q_e = \frac{Q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad \text{معادله (۳)}$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_m} + \left( \frac{1}{K_L Q_m} \right) \frac{1}{C_e} \quad \text{معادله (۴)}$$

در معادله ۳ و ۴،  $Q_m$  حداکثر مقدار رنگزای جذب شده در واحد وزن جاذب، بر حسب  $(\text{mg/g})$ ،  $C_e$  غلظت رنگزا در حمام

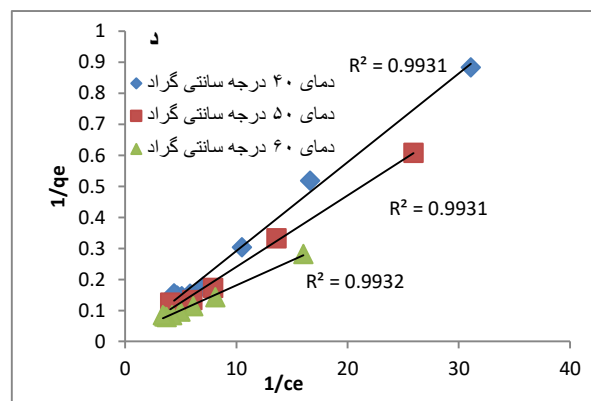
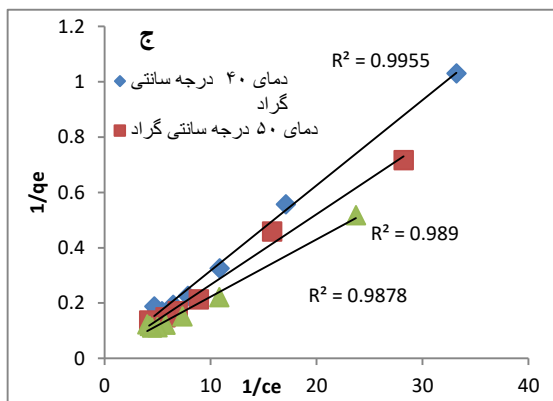
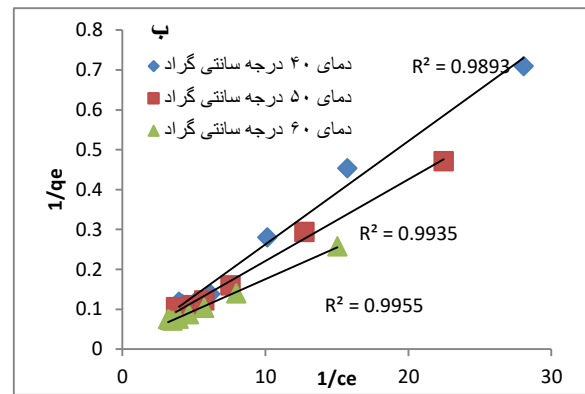
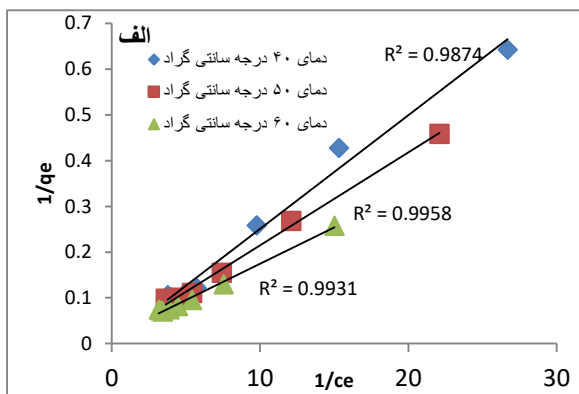
در بالاترین نقطه تعادل (اشباع) بر حسب  $(\text{mg/L})$ ،  $q_e$  مقدار رنگزای جذب شده در هر گرم از کالا در نقطه تعادل بر حسب  $(\text{mg/g})$  و  $k_L$  هم ثابت لانگمویر است بر حسب  $(\text{mL/mg})$  که مربوط به تمایل جذب در مواد جاذب می‌باشد. در شکل ۵ و ۶ نمودار  $1/q_e$  در مقابل  $1/C_e$  برای رنگزاهای راکتیو قرمز RR و RGB بر لیف سلولزی و نیز مقادیر  $Q_m$  برای دماهای مختلف محاسبه شد؛ که در جدول ۵ آمده است. نتایج نشان داد که ضرایب همگرایی بدست‌آمده برای دماهای مختلف با ایزوترم جذب لانگمویر همخوانی بیشتری دارند  $(R^2 > 0.9974)$ . همچنین نتایج نشان داد که افزایش دما باعث افزایش مقادیر  $Q_m$  می‌شود. افزایش  $Q_m$  با افزایش دما دلیلی بر گرمازا بودن فرآیند جذب می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله دو رنگزا RGB و RR به همراه اوره، نفوذدهنده و دیسپرس‌کننده دارای بیشترین مقدار  $Q_m$  می‌باشد.



شکل ۵- نمودار ایزوترم جذب لانگمویر برای رنگزای راکتیو RR (الف) اوره (ب) اوره-دیسپرس‌کننده (ج) اوره-نفوذدهنده (د) اوره-نفوذدهنده-دیسپرس‌کننده



جدول ۵- جذب لانگمویر برای رنگزای راکتیو RR و RGB						
مقدار $Q_m$ برای رنگزای RGB			مقدار $Q_m$ برای رنگزای RR			مواد مصرفی
دما (°C)			دما (°C)			
60	50	40	60	50	40	
111.11	57.47	36.9	217.39	55.56	28.41	عمل نشده
769.23	96.15	84.03	833.3	285.7	125	دیسپرس کننده + اوره + نفوذدهنده
476.19	95.24	81.3	322.58	188.7	52.36	اوره + نفوذدهنده
169.49	85.47	50	303.03	149.3	47.85	اوره
294.12	89.29	65.79	333.3	196.1	56.5	اوره + دیسپرس کننده



شکل ۶- نمودار ایزوترم جذب لانگمویر برای رنگزای راکتیو RGB: الف) اوره (ب) اوره-دیسپرس کننده (ج) اوره-نفوذدهنده (د) اوره-نفوذدهنده-دیسپرس کننده

### ۵-۳- بررسی منحنی ایزوترم جذب فروندلیچ

از موقعیت‌های جذب در الیاف، سرعت جذب کاهش می‌یابد. رابطه فروندلیچ، یک رابطه تجربی است که بر عکس مدل لانگمویر، بیشینه ظرفیت جاذب را مشخص نمی‌کند و به همین

در این ایزوترم جذب، ابتدا جذب رنگزای با افزایش غلظت اولیه رنگزای به سرعت افزایش یافته و پس از اشغال تعداد قابل توجهی

بین ۰/۸ تا ۰/۵ متناسب با نوع جاذب و رنگزا متغیر است. از آنجائیکه  $1/n$  کمتر از ۱ است این ایزوترم بصورت سهمی که به یک حد توسط غلظت رنگزا در جاذب تعیین می‌گردد، سوق پیدا می‌کند. در شکل ۷ و ۸ نمودار  $\ln(q_e)$  در مقابل  $\ln(C_e)$  برای رنگزاهای راکتیو قرمز RR و RGB بر روی لیف سلولزی ارائه شده است. مقادیر  $K_f$  بدست‌آمده برای دماهای مختلف محاسبه شده و در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصله رنگزا RR و RGB به همراه اوره، نفوذدهنده و دیسپرس‌کننده دارای بیش‌ترین مقدار  $K_f$  می‌باشد.

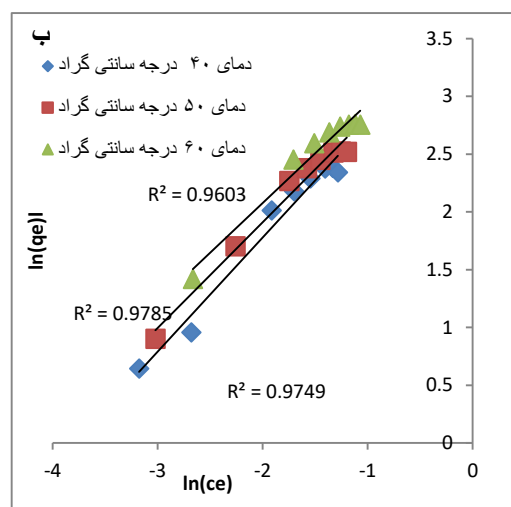
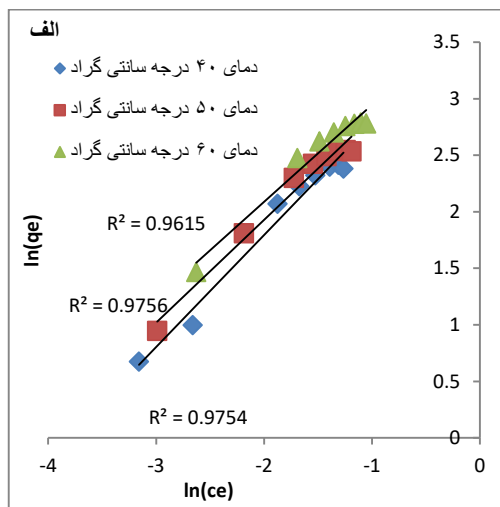
علت، فقط در غلظت‌های پایین تا متوسط کاربرد دارد. در ایزوترم فروندلیچ زمانی که  $K_f$  افزایش می‌یابد ظرفیت جذب جاذب برای جذب ماده جذب شونده مورد نظر افزایش می‌یابد، همچنین مقدار  $n$  بین ۱ تا ۱۰ نشان‌دهنده فرآیند جذب مناسب می‌باشد. معادله ایزوترم جذب فروندلیچ به صورت معادله ۵ می‌باشد.

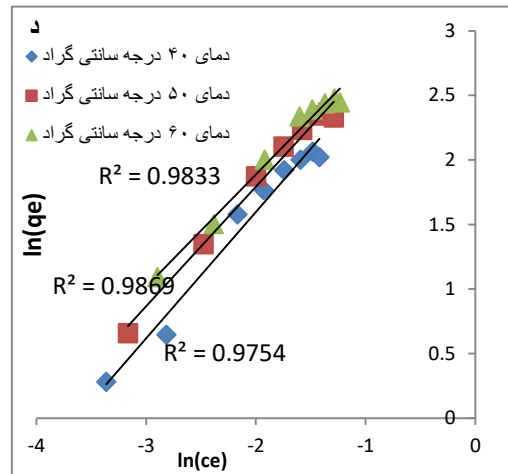
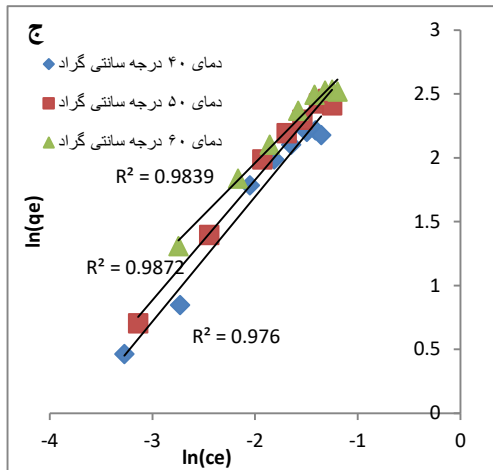
$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad \text{معادله (۵)}$$

رابطه خطی این ایزوترم نیز به صورت معادله ۶ آمده است [۱۵].

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{معادله (۶)}$$

که در آن  $K_f$  حداکثر مقدار رنگزای جذب‌شده در واحد وزن جاذب بر حسب (mg/g) و  $1/n$  نشان‌دهنده شدت جذب است. مقادیر  $K_f$  و  $1/n$  از رسم نمودار  $\ln q_e$  در مقابل  $\ln C_e$  بدست می‌آید. که در این رابطه مقدار  $1/n$

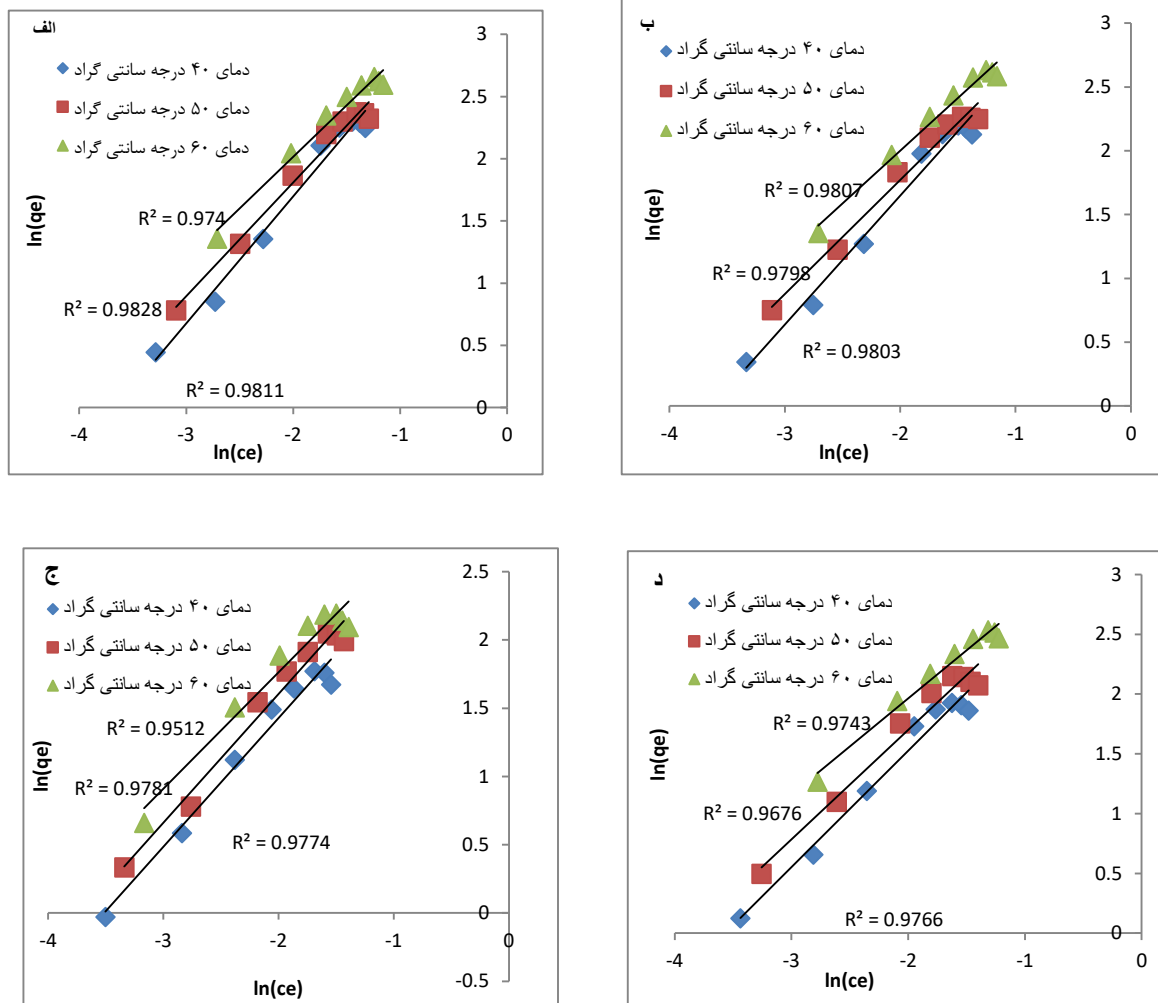




شکل ۷- ایزوترم جذب فروندلیچ برای رنگزای راکتیو قرمز RR الف: اوره ب: اوره - دیسپرس کننده ج: اوره - دیسپرس کننده - نفوذدهنده د: اوره - نفوذدهنده

جدول ۶- پارامترهای مختلف ایزوترم جذب فروندلیچ برای رنگزاهای راکتیو قرمز RR و RGB

مقدار $K_f$ برای رنگزای RGB			مقدار $K_f$ برای رنگزای RR			مواد مصرفی
دما (°C)			دما (°C)			
60	50	40	60	50	40	
30.87	26.94	22.96	31.04	26.54	19.2	شاهد
42.18	39.26	38.05	44.52	43.72	42.2	اوره + نفوذدهنده + دیسپرس کننده
35.92	35.92	33.75	40.85	37.6	36.9	اوره + دیسپرس کننده
39.22	38.56	35.23	39.83	37.44	35	اوره + نفوذدهنده
35.57	32.32	29.94	39.83	33.59	32.7	اوره



شکل ۸- ایزوترم جذب فروندلیچ برای رنگزای راکتیو قرمز RGB

الف: اوره ب: اوره- دیسپرس کننده ج: اوره- نفوذدهنده د: اوره- نفوذدهنده-دیسپرس کننده

### ۳-۶- ایزوترم جذب نرنست

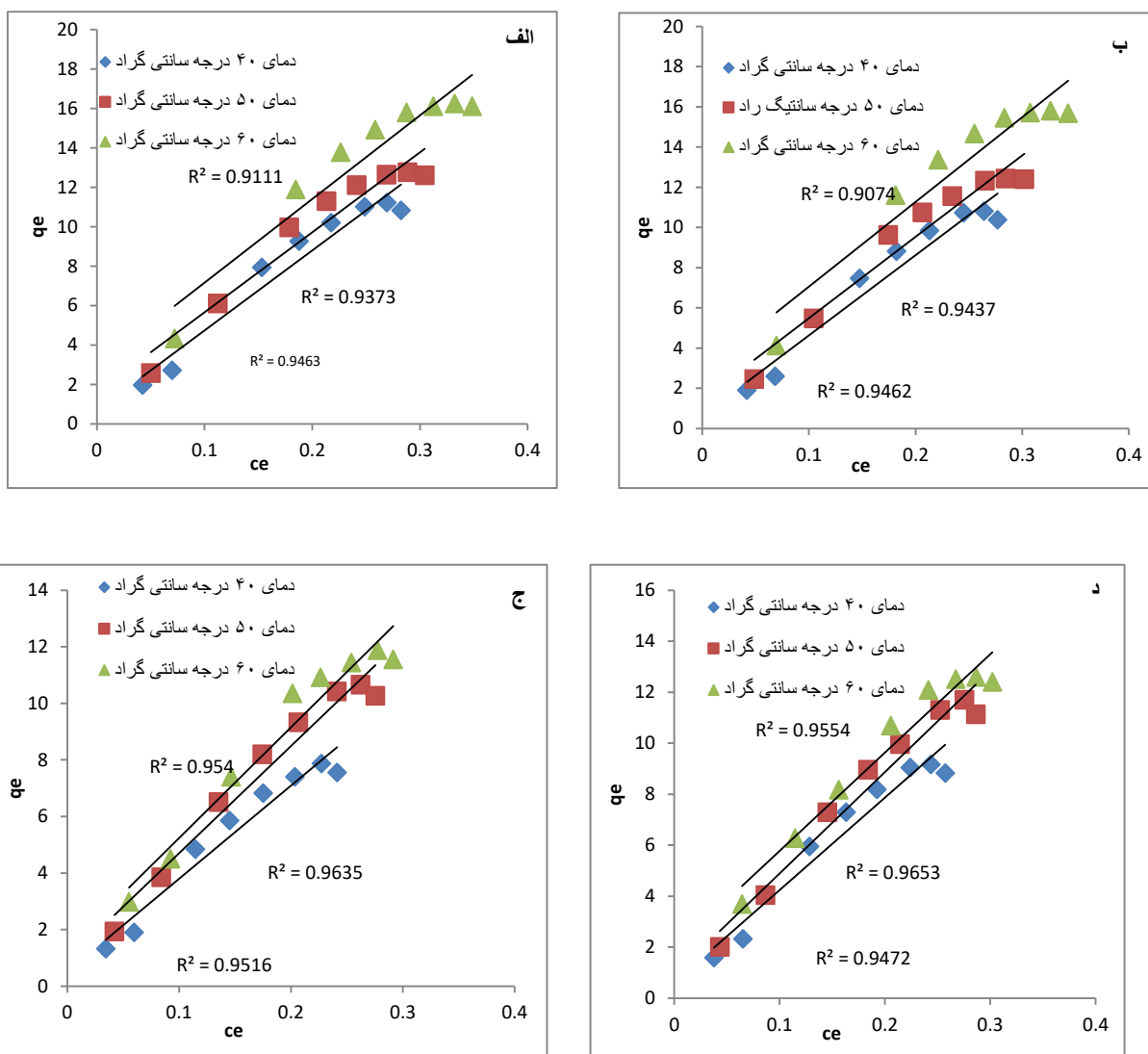
این ایزوترم ارتباط بین غلظت رنگزا در لیف و غلظت رنگزا در حمام را نشان می‌دهد. رابطه تغییرات غلظت رنگزا در حمام به تغییرات غلظت رنگزای جذب شده به صورت خطی می‌باشد، معادله ایزوترم جذب نرنست به صورت زیر می‌باشد.

$$q_e = KC_e \quad \text{معادله (۷)}$$

در این رابطه  $q_e$  (mg/g) مقدار رنگزای جذب شده در هر گرم از کالا در نقطه تعادل،  $C_e$  (mg/l) غلظت رنگزا در حمام در بالاترین نقطه تعادل (اشباع) و  $K$  (mg/g) حداکثر مقدار رنگزا جذب شده در واحد وزن جاذب می‌باشد. در شکل‌های ۹ و ۱۰

نمودار  $q_e$  در مقابل  $C_e$  برای رنگزاهای راکتیو قرمز RR و RGB

بر لیف سلولزی ارائه شده است. مقادیر  $K$  بدست آمده برای دماهای مختلف محاسبه شده و در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از معادله جذب نرنست، می‌توان دریافت که پایین بودن ضرایب همگرایی دلیلی بر مناسب نبودن ایزوترم جذب نرنست در تشریح رفتار جذبی هر دو رنگزاهای راکتیو بر روی کالای سلولزی می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله هر دو رنگزا به همراه اوره، نفوذدهنده و دیسپرس کننده دارای بیشترین مقدار  $K$  می‌باشد.

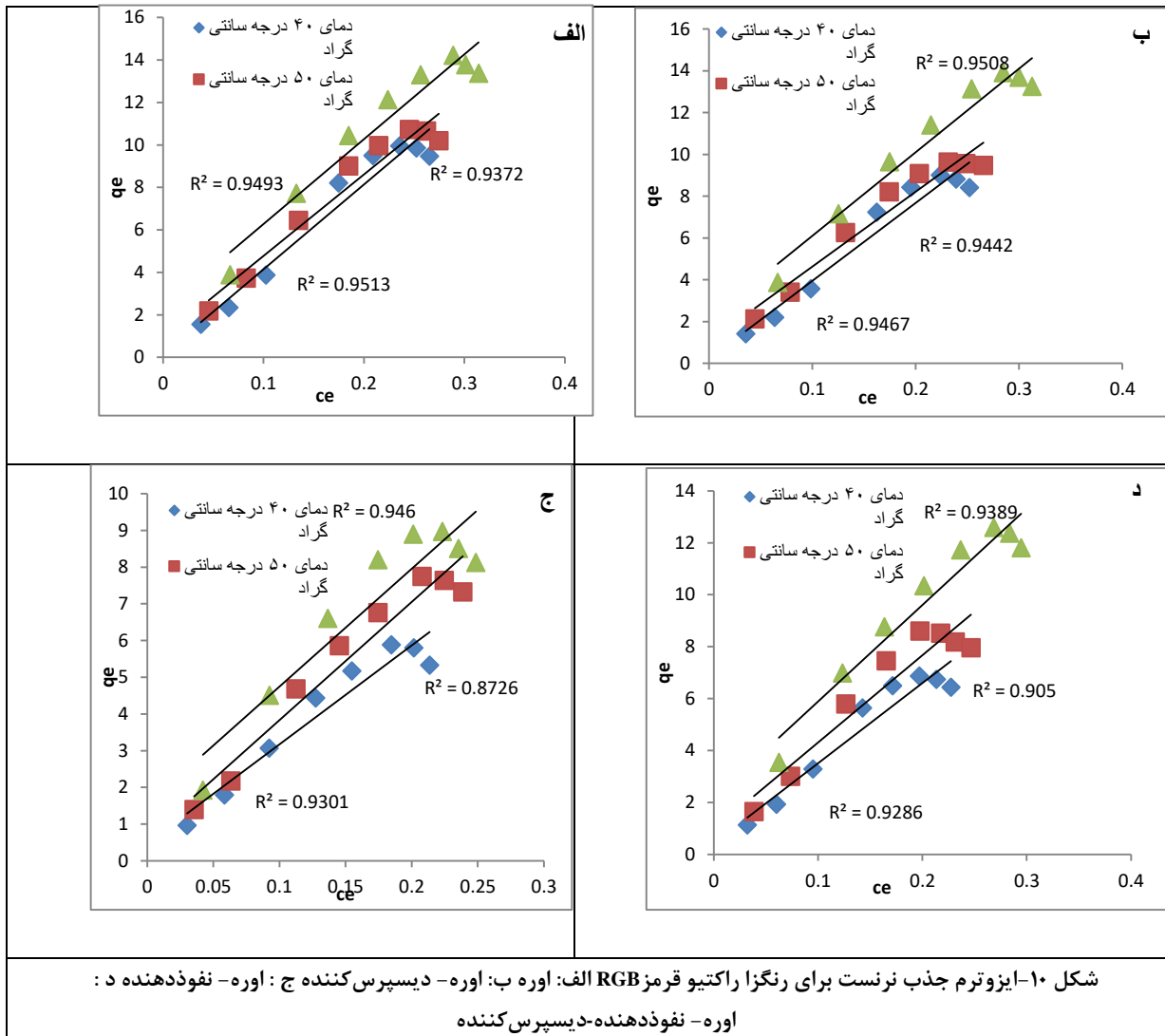


شکل ۹- ایزوترم جذب نرنست برای رنگزای راکتیو قرمز RR

الف: اوره ب- اوره- دیسپرس کننده ج: اوره- نفوذدهنده د: اوره- نفوذدهنده- دیسپرس کننده

جدول ۶- پارامترهای مختلف ایزوترم جذب نرنست برای رنگزاهای راکتیو قرمز RR و RGB

مقدار K برای رنگزای RGB			مقدار K برای رنگزای RR			مواد مصرفی
دما (°C)			دما (°C)			
60	50	40	60	50	40	
30.75	28.5	21.94	31.69	29.75	21.95	شاهد
39.9	39.9	38.30	42.43	40.64	40.53	اوره + نفوذدهنده + دیسپرس کننده
37.49	33.57	33.99	39.79	38.54	36.23	اوره + دیسپرس کننده
39.94	37.7	35.89	39.44	38.54	34.43	اوره + نفوذدهنده
35.21	32.08	28.97	39.23	37.87	32.89	اوره



### ۷-۳- تجزیه و تحلیل ترمودینامیک

تحلیل‌های ترمودینامیکی برای تعیین اینکه مرحله جذب فیزیکی است یا شیمیایی و آیا خود به خودی است، بسیار مناسب می‌باشد. برای تخمین اثر دما بر جذب رنگزا روی کالا، تغییرات در انرژی آزاد (افینیتی استاندارد  $\Delta\mu_0$ )، آنتالپی ( $\Delta H^\circ$ ) و تغییر آنتروپی ( $\Delta S^\circ$ ) تعیین شده است.

#### ۱-۷-۳- افینیتی استاندارد

افینیتی استاندارد یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ترمودینامیکی در زمان رنگرزی کالاهای نساجی با رنگزاهای می‌باشد. در بررسی رفتارهای ترمودینامیکی رنگرزی الیاف نساجی با رنگزاهای

بایستی افینیتی استاندارد را محاسبه کرد تا بتوان رفتار رنگزا را بهتر بررسی نمود.  $\Delta\mu^\circ$  انرژی آزاد جذب می‌باشد که نتیجه نیروهای با نظم و بی‌نظم است. ارزش و مقدار  $\Delta\mu^\circ$  در هر درجه حرارتی نشان‌دهنده نسبت فعالیت (activity) رنگزا در لیف به فعالیت رنگزا در محلول می‌باشد، که نسبت تفکیک را نتیجه می‌دهد. بنابراین مقدار منفی زیاد  $\Delta\mu^\circ$  نشان‌دهنده تمایل بالا است.  $\Delta\mu^\circ$  افینیتی (Affinity) استاندارد نامیده می‌شود.

تفاوت بین پتانسیل شیمیایی رنگزا در حالت استاندارد در داخل لیف و حالت استاندارد در محلول را  $\Delta\mu^\circ$  (افینیتی) استاندارد می‌نامند. افینیتی استاندارد را می‌توان توسط معادله‌های ۸ و ۹ محاسبه کرد.

معادله (۸)  $-\Delta\mu^\circ = RT \ln K$  در دما و درجه حرارت بسیار بالا حالت تعادل را کنترل

می نماید. معادله (۹)  $\Delta\mu^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$

که در آن R ثابت اب ت گازها، T دما بر حسب کلون و K نسبت رنگزای جذب شده توسط لیف (Df) به رنگزای باقی مانده در حمام (Ds) است. در جدول ۷ مقادیر ثابت تفکیک (K) و افینیتی استاندارد ( $-\Delta\mu^\circ$ ) بدست آمده برای نمونه‌هایی که با رنگزای راکتیو RR و RGB رنگزای شده اند، ارائه شده است.

### ۲-۷-۳- آنتروپی و گرمای رنگزای

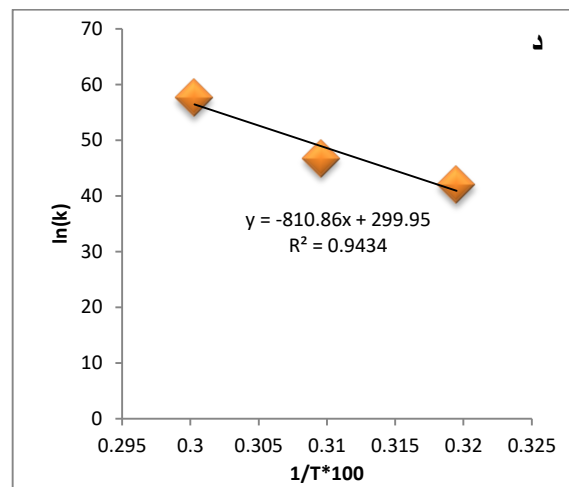
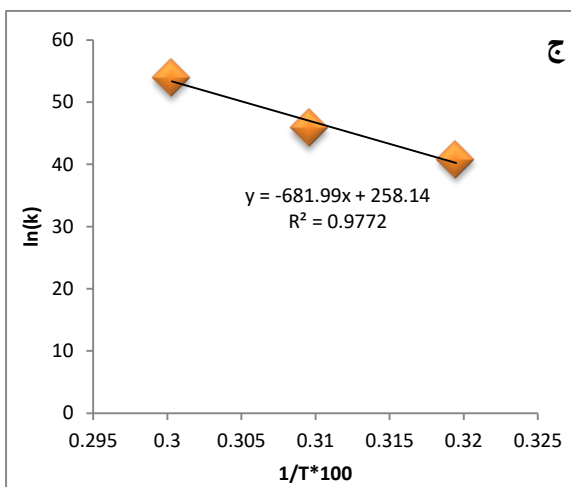
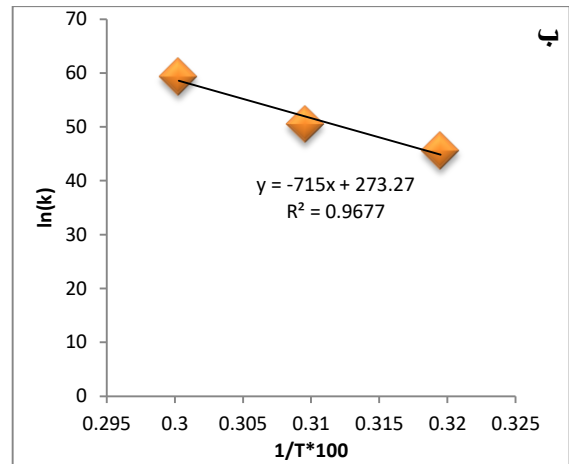
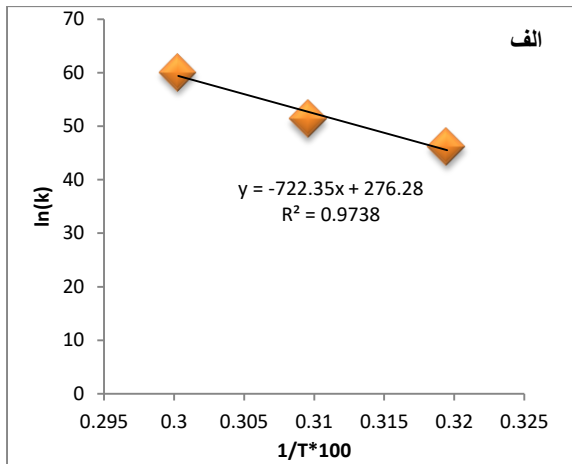
آنتالپی و آنتروپی رنگزای کالای سلولزی با رنگزای راکتیو RR و RGB را می‌توان توسط رسم نمودار  $\ln K$  نسبت به  $1/T$  ارائه شده در شکل‌های ۱۱ و ۱۰ و معادله ۱۰ محاسبه کرد.

$$\ln K = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad \text{معادله (۱۰)}$$

نتایج آنتالپی و آنتروپی نیز در جدول‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. همان گونه که از نتایج مشخص است، مقادیر بدست آمده برای آنتالپی مثبت می‌باشد [۱۵]، مقادیر مثبت آنتروپی وابستگی کالا برای رنگزای بازتاب می‌کند.  $\Delta H^\circ$  در دما و حرارت بسیار پایین تعادل را کنترل می‌کند.

جدول ۷- پارامترهای ترمودینامیکی برای رنگزای راکتیو قرمز RR در دمای ۳۲۳ درجه کلون

R <sup>2</sup>	$\Delta\mu^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (kJ/mol)	K	مواد مصرفی
0.9993	9.87	7.26	2.58	39.57	عمل نشده
0.9738	10.58	6.01	2.29	51.33	اوره
0.9677	10.53	5.94	2.27	50.46	اوره - دیسپرس کننده
0.9772	10.27	5.67	2.14	45.83	اوره - نفوذ کننده
0.9434	10.32	6.74	2.49	46.71	اوره - دیسپرس کننده - نفوذ دهنده

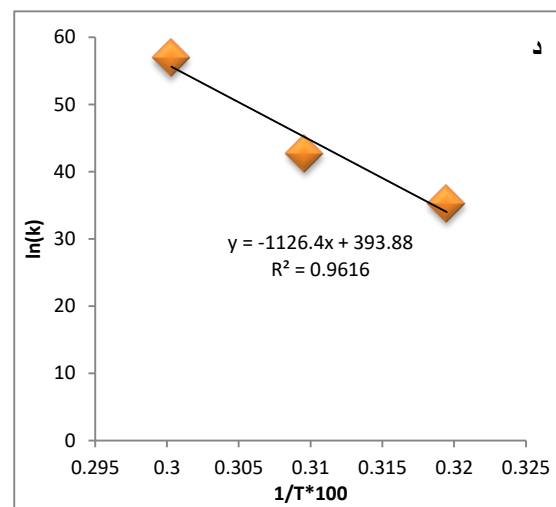
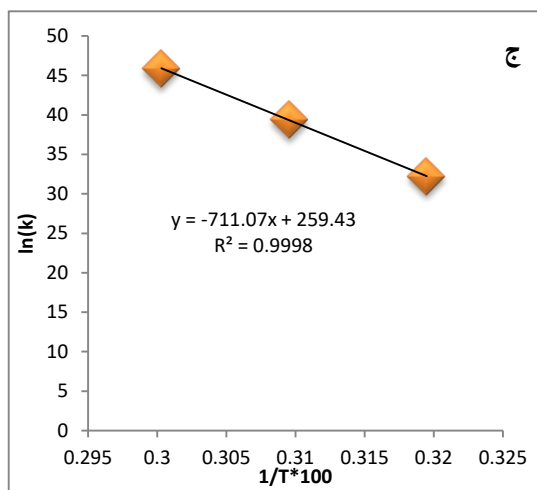
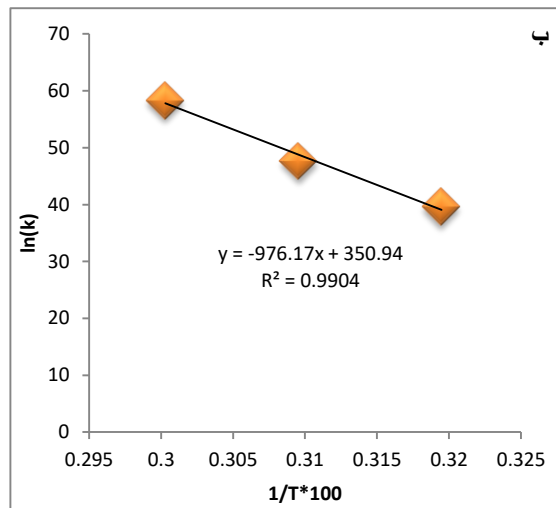
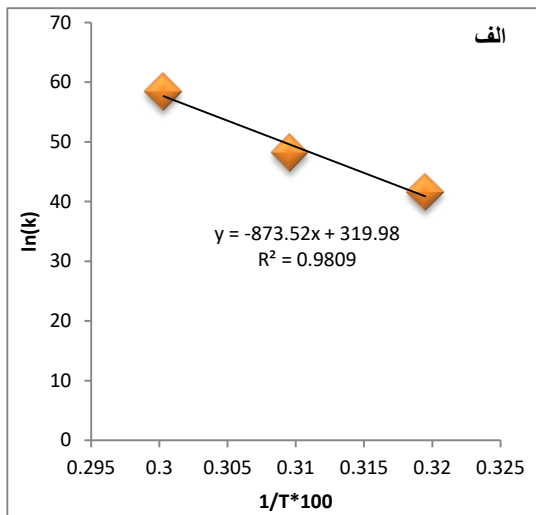


شکل ۱۱- رابطه بین  $\ln k$  و  $1/T$  در جذب رنگزای راکتیو RR توسط کالای سلولزی الف: اوره ب: اوره- دیسپرس کننده ج: اوره- نفوذدهنده د: اوره - نفوذدهنده- دیسپرس کننده

جدول ۸- پارامترهای ترمودینامیکی برای رنگزای راکتیو قرمز RGB در دمای ۳۲۳ درجه کلوین

$R^2$	$\Delta\mu^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (kJ/mol)	K	مواد مصرفی
0.9988	9.6	6.5	2.31	35.73	عمل نشده
0.9809	10.41	7.26	2.66	48.18	اوره
0.9904	10.37	8.12	2.92	46.57	اوره - دیسپرس کننده
0.9998	9.86	5.91	2.15	39.38	اوره- نفوذ کننده
0.9616	10.07	9.37	3.27	42.65	اوره - دیسپرس کننده- نفوذدهنده





شکل ۱۲- رابطه بین  $\ln k$  و  $1/T$  در جذب رنگزای راکتیو RGB توسط کالای سلولزی الف: اوره ب: اوره-دیسپرس کننده ج: اوره-نفوذدهنده د: اوره - نفوذدهنده-دیسپرس کننده

### ۸-۳- انرژی اکتیواسیون

برای اینکه واکنشی انجام گیرد، مولکول‌های واکنش‌دهنده بایستی با یکدیگر برخورد کنند. فقط برخورد این مولکول‌ها است که منجر به تشکیل محصولاتی با سطح انرژی بیش‌تر و یا کم‌تر از انرژی واکنش‌دهنده‌ها می‌شود. بنابراین مقدار انرژی لازم برای انجام یک واکنش (چه در واکنش رفت و چه در برگشت) را انرژی اکتیواسیون یا فعال‌سازی می‌گویند. در واقع انرژی فعال‌سازی شرط انجام واکنش است و یا کم‌ترین مقدار انرژی است که یک برخورد باید فراهم کند تا واکنش

انجام شود. برای یافتن انرژی اکتیواسیون واکنش می‌توان از رابطه آرنیوس (معادله ۱۲) و رسم نمودار  $\ln k$  نسبت به  $1/T$  در سه دمای مختلف استفاده کرد:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad \text{معادله (۱۲)}$$

که در آن  $E_a$  انرژی اکتیواسیون،  $K$  ثابت سرعت تعادلی معادله سینتیک مرتبه دوم بر حسب  $g/mg \cdot min$ ،  $A$  ضریب پیش‌نمایی آرنیوس و  $R$ ، ثابت گازها می‌باشد. بطور معمول برای کسب مقدار انرژی فعال‌سازی به این صورت عمل می‌شود که تغییرات سرعت یک واکنش شیمیایی در دماهای مختلف

ثبت می‌شود و با محاسبه اطلاعات آزمایشگاهی با معادله آرنیوس مقدار انرژی فعال‌سازی بدست می‌آید. روند معمول به این صورت است که با افزایش دما مقدار سرعت افزایش یافته و مقدار انرژی فعال‌سازی نیز مثبت بدست آمده است (جدول‌های ۹ و ۱۰). نتایج حاصل از داده‌ها نشان می‌دهد که رنگزای RR در حضور مواد تعاونی اوره و دیسپرس‌کننده دارای کم‌ترین انرژی اکتیواسیون و ضریب پیشنهادی آرنیوس می‌باشد در حالی که این امر برای رنگزای RGB دارای بیش‌ترین مقدار است.

جدول ۹- مقادیر انرژی اکتیواسیون و ضریب پیشنهادی آرنیوس برای رنگزای راکتیو قرمز RR در دمای ۳۲۳ درجه کلوین

مواد مصرفی	K	Ea (kJ/mol)	A (kJ/mol)	R <sup>2</sup>
عمل نشده	0.0045	142.82	0.5586	0.9657
اوره	0.0046	127.84	0.5234	0.9768
اوره - دیسپرس‌کننده	0.0050	33.82	0.178	0.9177
اوره - نفوذکننده	0.0047	133.16	0.6565	0.9887
اوره - دیسپرس‌کننده - نفوذدهنده	0.0071	37.28	0.282	0.9670

جدول ۱۰- مقادیر انرژی اکتیواسیون و ضریب پیشنهادی آرنیوس برای رنگزای راکتیو قرمز RGB در دمای ۳۲۳ درجه کلوین

مواد مصرفی	K	Ea (kJ/mol)	A (kJ/mol)	R <sup>2</sup>
عمل نشده	0.0039	100.47	0.1526	0.7653
اوره	0.0045	107.07	0.2274	0.8303
اوره - دیسپرس‌کننده	0.0074	241.47	52.4	0.8657
اوره - نفوذکننده	0.0075	213.94	19.27	0.8595
اوره - دیسپرس‌کننده - نفوذدهنده	0.0075	210.43	17.09	0.8781

#### ۴- نتیجه گیری

نوع رنگزای متفاوت بوده است. در مورد رنگزاهای RR و RGB بعد از ترکیب سه ماده تعاونی که بیش‌ترین تاثیر را در افزایش ثبات و بیش‌تر شدن نفوذ داشت ترکیب اوره، دیسپرس‌کننده و نفوذدهنده دارای بیش‌ترین تاثیر بودند. نتایج این تحقیق بیانگر افزایش جذب رنگزای توسط لیف سلولزی در اثر افزایش زمان فرآیند تا رسیدن به نقطه اشباع بوده است و پس از نقطه اشباع، زمان بیش‌تر رنگزای نفوذدهنده در افزایش جذب رنگزای نداشته است. مقدار جذب با افزایش مقدار غلظت رنگزای افزایش یافته است. که رنگزای راکتیو قرمز RR در غلظت ۰.۵٪ بیش‌ترین جذب و در رنگزای راکتیو قرمز RGB در غلظت ۰.۳٪ دارای

با توجه به نمودارهای ارائه شده و بحث و بررسی در مورد نتایج جذب رنگزاهای راکتیو با گروه‌های عاملی مختلف در حضور اوره، دیسپرس‌کننده و نفوذدهنده در حمام رنگزایی بر روی پارچه پنبه‌ای سفیدگری شده نتایج آزمایشات نشان داد که هر سه ماده تعاونی اوره، دیسپرس‌کننده و نفوذدهنده باعث نفوذ و تثبیت بالاتر و بهبود ثبات هر دو نوع رنگزای راکتیو قرمز RR و RGB شده بر روی پارچه مورد آزمایش شده است که در آن برای هر دو نوع رنگزای حالت‌های مختلف استفاده از این مواد بررسی شد و نتایج نشان داد که ترتیب تاثیر این مواد برای دو

جذب فرآیند از ایزوترم جذب لانگمویر پیروی می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دما ثابت تفکیک (K) و افینیتی استاندارد افزایش یافته است.

بیشترین جذب می‌باشد. داده‌های بدست آمده از بررسی نقش غلظت اولیه رنگزا در فرآیند جذب را با سه مدل نرنست، لانگمویر، فروندلیچ مقایسه کرده و نتایج نشان داده است که

#### ۵- منابع:

- [1] Ahmed AJ; Reactive Dyes Development, Department of Textile Technology. University of Gezira. SIJC:IM. 1995.
- [2] Hamlin J. D, Phillips D. A. S, Whiting A; UV/Visible spectroscopic studies of the effects of common salt and urea upon reactive dye solutions, 3 September 1998.
- [3] Burkinshaw S. M, Mignanelli M, Froehling P. E, Bide M. J; The use of dendrimers to modify the dyeing behavior of reactive dyes on cotton, 18 June 2000.
- [4] Gamal A. M, Abo Farha S. A, Sallam H. B, Mahmoud G. E. A and Ismail L. F. M; Kinetic Study and Equilibrium Isotherm Analysis of Reactive Dyes Adsorption onto Cotton Fiber, Al-Azhar University - Faculty of Science, Chemistry Department, Nasr City, Cairo, Egypt. 2010.
- [5] Reactive Dyes e. book.
- [6] Mohammed A. H, Dhaif. A, Taqui S. N, Taqui U, Akheel A. S; Kinetic and isotherm modeling for acid blue 113 dye adsorption onto low-cost nutraceutical industrial fenugreek seed spent, Applied Water Science, Vol. 10, No. 58, 1-16, 2020.
- [7] Valipour. P, Hashemi. M, Toosi Jamali. M. R, and Ekrami. E; Evaluation of Reactive Dye Adsorption by Chitosan Treated Cotton Fabrics, journal of textile science and technology. Vol. 3, No. 2, 3-8 Summer 2013
- [8] Valipour. P and Moghassem. A. R; Evaluating the interactive effect of temperature and alkali concentration on dye absorption of mercerized cotton plain knitted fabric, journal of textile science and technology, Vol. 4, No. 1, 27-23, 2014.
- [9] Hossain MY, Sarker S, Zakaria M, Fayazi RU, Islam MR, and Acharjya; Influence of Process Parameters on Exhaustion, Fixation and Color Strength in Dyeing of Cellulose Fiber with Reactive Dye, Int J Text Sci Eng 3: 127, 2020.
- [10] Rahmani. A, Asgari. Gh, Farrokhi. M, Shirzad Siboni. M; Removal of Reactive Black 5 (RB5) Dye from Aqueous Solution using Adsorption onto Strongly Basic Anion Exchange Resin: Equilibrium and Kinetic Study, Iran. J. Health & Environ., Vol. 5, No. 4, 2013.
- [11] Wang. J, Gao. Y, Zhu. L, Gu. Xi, Dou. H and Pei. L; Dyeing Property and Adsorption Kinetics of Reactive Dyes for Cotton Textiles in Salt-Free Non-Aqueous Dyeing Systems, journal of Polymers, vol 10, pp 1-16, 2018.
- [12] Properties of Reactive dyes (RR and RGB) and structure ; <http://www.chemicalbook.com>.
- [13] Kumar S. A, Awwad, N. Ebook Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments, 2020.
- [14] Singh. D, Verma. S, Gautam. R. K, Krishna. V; Copper adsorption onto synthesized nitrilotriacetic acid functionalized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles: kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. J. Environ. Chem. Eng. 3, 2161-2171, 2015.
- [15] Su. Y, Jiao. Y, Dou. C, Han. R; Biosorption of methyl orange from aqueous solutions using cationic surfactant-modified wheat straw in batch mode. Desalin. Water Treat. 52, 6145-6155, 2014.
- [16] Subbaiah. M. V, Kim. D. S; Adsorption of methyl orange from aqueous solution by aminated pumpkin seed powder: Kinetics, isotherms, and thermodynamic studies. Ecotoxicol. Environ. Saf. 128, 109-117, 2016.
- [17] Seliem. M. K, Komarneni. S, Byrne. T, Cannon. F. S, Shahien. M. G, Khalil. A. A, Abd El-Gaid. I. M; Removal of perchlorate by synthetic organosilicas and organoclay: Kinetics and isotherm studies. Appl. Clay Sci. 71, 21-26, 2013.
- [18] Selim. A. Q, Mohamed. E. A, Mobarak. M, Zayed. A. M, Seliem. M. K, Komarneni. S; Cr(VI) uptake by a composite of processed diatomite with MCM-41: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. Microporous Mesoporous Mater. 260, 84-92, 2018.
- [19] Tran. H. N, You. S. J, Chao. H. P; Fast and efficient adsorption of methylene green 5 on activated carbon prepared from new chemical activation method. J. Environ. Manage. 188, 322-336, 2017.