



Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color
Science & Technology

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir
Journal of Studies on Color World, 12, 4(2023), 387-404
Article type: Translated article
Open access

مطالعات دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

Various Adsorbents for Removal of Rhodamine B Dye: A Review

Tahereh Navai diva

Department of Chemistry, Savadkoo Branch, Islamic Azad University, P. O. Box: 4791649497, Savadkoo, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 05- 02- 2023

Accepted: 11 -03 -2023

Available online: 11 -03-2023

Print ISSN: 2251-7278

Online ISSN: 2383-2223

DOR: [20.1001.1.22517278.1401.12.4.6.7](https://doi.org/10.1001.1.22517278.1401.12.4.6.7)

Keywords:

Rhodamine B dye

Pseudo-second-order

Thermodynamic

Isotherm

Agricultural wastes

ABSTRACT

Lately, there has been an increase in dye manufacturing, resulting in increased environmental pollution. Recent studies show a wide availability of usage adsorbents, including banana peels, potatoes, algae, etc. Food and Drug Administration prohibited the use of Rhodamine B (RhB) for its toxicity and harmful effects. Therefore, this study presents a wide range of non-conventional low-cost alternative adsorbents to remove RhB dye from wastewater. It has been observed that the mechanism of the dye adsorption is focused on kinetics, isotherm, and thermodynamic models, which depend on the chemical nature of the materials and various physicochemical experimental conditions such as solution pH, initial dye concentration, adsorbent dosage, and temperature of the system. The kinetic data of adsorption of RhB dye usually follow the pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic models. Several studies revealed that Langmuir and Freundlich adsorption isotherm models are frequently used to evaluate the adsorption capacity of the adsorbents. Furthermore, thermodynamic examination showed that RhB adsorption was endothermic and unconstrained in nature. Thus, both photocatalytic degradation and adsorption methods offer good potential to remove RhB dye from industrial effluents. The work is in progress to evaluate the possibility of using other modified waste biomass for industrial pollution control

Corresponding author: Tahereh.Navai@iau.ac.ir



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



مروری بر کاربرد جاذب‌های مختلف در حذف ماده رنگزای رودامین B

طاهره نوایی دیوا

استادیار، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه، سوادکوه، ایران، کد پستی: ۴۷۹۱۶۴۹۴۹۷.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۲۷۸

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۲۲۳

DOR: 20.1001.1.22517278.1401.12.4.6.7

واژه‌های کلیدی:

ماده رنگزای رودامین B

شبه مرتبه دوم

ترمودینامیک

ایزووترم

پسماند کشاورزی

امروزه به دلیل افزایش تولید مواد رنگزای آلودگی محیط‌زیست افزایش یافته است. مطالعات اخیر نشان داده که جاذب‌های قابل استفاده فراوانی از جمله پوست موز، سیب زمینی، جلبک و غیره در دسترس همگان است. سازمان غذا و دارو استفاده از رودامین B را به دلیل سمی بودن و اثرات مضر آن ممنوع کرده است. بنابراین، این مطالعه طیف گسترده‌ای از جاذب‌های جایگزین غیرمعتارف ولی کم هزینه را برای حذف ماده رنگزای رودامین B از پساب ارائه می‌کند. مشاهدات نشان داده است که سازوکار جذب این ماده رنگزای بر روی مدل‌های سینتیک، ایزووترم و ترمودینامیک متمرکز است که به ماهیت شیمیایی مواد و شرایط مختلف فیزیکی و شیمیایی مانند H^+ محلول، غلظت اولیه ماده رنگزای، دوز جاذب و دما نیز بستگی دارد. داده‌های سینتیکی جذب ماده رنگزای رودامین B معمولاً از مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم پیروی می‌کند. چندین مطالعه نشان داد که مدل‌های ایزووترم جذب لاتگموری و فرونالیج اغلب برای ارزیابی ظرفیت جذب جاذب‌ها استفاده می‌شوند. علاوه بر این، بررسی ترمودینامیکی حاکی از آن است که جذب رودامین B در طبیعت، گرمگیر و بدون محدودیت است. بنابراین، هر دو روش تعزیزی کاتالیزوری نوری و جذب، برای حذف ماده رنگزای رودامین B از پساب‌های صنعتی اصلاح شده دیگر برای کنترل آلودگی صنعتی در حال انجام است.



غذایی رد شده است. عموماً از مواد رنگزای مصنوعی برای تولید انواع کاغذ، منسوجات، چرم دباغی، پلاستیک، فرآوری مواد غذایی و لاستیک استفاده می‌شود و در نتیجه وقتی این مواد در آب تخلیه می‌شوند، غیرقابل کنترل و منبع خطرناک آلودگی محسوب می‌شوند [۱۹]. با این حال، بسیاری از تجار همچنان از رودامین B به عنوان افزودنی غذایی استفاده می‌کنند و سلامت مشتریان را به خطر می‌اندازد [۲۰].

یون‌های فلزی سمی‌ترین آلاینده‌ها در محیط، غیرقابل تجزیه زیستی، و بسیار سمی و سلطان‌زا هستند [۲۱]. حذف آلاینده‌های آلی و معدنی از محلول‌های آبی عمدتاً مستلزم مداخلات شیمیایی، زیستی و فیزیکی است. روش‌های مختلفی از جمله رسوب شیمیایی، تبادل یونی، جداسازی غشایی و جذب، می‌توانند این آلاینده‌ها را کنترل کنند. رسوب شیمیایی رایج‌ترین روش است ولی به نظر نمی‌رسد پاسخگوی الزامات سخت استاندارد خروجی فاضلاب و پساب باشد. لذا، جذب سطحی شیوه‌ای مطلوب برای حذف آلاینده‌ها از تمام سیستم‌های مختلف تصفیه آب محسوب می‌شود. این روش نسبت به سایر روش‌های جداسازی مزایای زیادی دارد، از جمله: پایداری بالا در فاز جامد و قابلیت استفاده مجدد، سهولت جداسازی، کاهش هزینه به دلیل استفاده کم از معرف و عدم نیاز به حلال‌های آلی سمی [۱]. بنابراین، توجه زیادی به استفاده از جاذب‌های مختلف مانند نانوذرات، نانولوله‌های کربنی، گرافن و نانومواد مركب برای جداسازی آلاینده‌های آلی و معدنی معطوف شده است [۲۲-۲۵]. علاوه بر این، روش حذف با استفاده از زیست توده افزایش یافته است زیرا روشی ساده، سازگار با محیط‌زیست و ارزان است [۱۰].

جدول ۱: خواص عمومی رودامین B.

Table 1: General properties of Rhodamine B.

Common name	Rhodamine B
Chemical name	[9-(2-carboxyphenyl)-6-diethylamino-3-xanthenylidene]diethylammonium chloride
Chemical formula	C ₂₈ H ₃₁ C ₁₂ N ₂ O ₃
Molecular weight	479.017 g/mol
Adsorption maximum	545 nm
Class	Triphenylmethane
Appearance	Basic Violet 10; Brilliant Pink B
Molecular structure	

۱- مقدمه

به طور کلی، آب می‌تواند به عنوان یک حلal عالی و یکی از اجزای شرکت کننده در سوخت و ساز سلولی و محیط زندگی بعضی از موجودات زنده مورد استفاده قرار گیرد. متأسفانه به دلیل استفاده جوامع صنعتی از فناوری پیشرفته، مشکلات زیستمحیطی متعددی ایجاد شده و تأثیر مخربی بر جو گذاشته است. رشد روزافزون جمعیت، صنعتی شدن سریع و شهرنشینی چالش‌های بزرگی را ایجاد کردد؛ به ویژه اینکه منابع آب کشورهای در حال توسعه به ترکیبات آلی و معدنی مانند آلاینده‌های کایرال و فلزات سنگین آلوده شدند [۱]. بنابراین، مقالات تحقیقاتی زیادی به این مشکل جهانی پرداخته‌اند [۲، ۳]. آلودگی آب توسط آلاینده‌های جدید به دغدغه‌ای جهانی تبدیل شده است که پیامدهای زیستمحیطی خطرناکی دارد [۴].

رودامین B یک ماده رنگزای مصنوعی است که به طور گسترده به عنوان رنگ در منسوجات و محصولات غذایی استفاده می‌شود [۵-۷]. این ماده یک رنگدانه فلورسنت آلی قرمز روشن است که به عنوان رنگ‌دهنده در صنایع مختلفی مانند نساجی، کاغذ، رنگ و غیره کاربرد دارد. حلالیت بالای آن در آب و ارزان بودن، آن را به رنگدانه‌ای پرکاربرد در صنایع مختلف تبدیل کرده است. رنگ‌ها دارای ساختارهای شیمیایی پیچیده بوده و در نتیجه در محیط‌زیست قابل تجزیه نیستند [۸]. ماده رنگزای رودامین B، مانند سایر مواد رنگزای رودامین B [۹]. برخی از مطالعات نشان می‌دهد که ماده رنگزای رودامین B می‌تواند عاملی سلطان‌زا و جهش‌زا در حیوانات و انسان‌ها باشد. این رنگ موجب مشکلات بیولوژیکی مانند التهابات پوستی و تنفسی، همولیز، نارسایی کبد و کلیه می‌شود [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]. همچنین از آن به عنوان فلورسنت ریدیاب آب، برای ارزیابی میزان جریان و جهت جریان آب نیز استفاده می‌شود [۹، ۱۲].

این ماده رنگزا از خانواده گزانتین است و معمولاً در علوم زیستی، تحلیلی و نوری کاربرد دارد [۱۳]. از جمله کاربردهای رایج آن می‌توان به ساخت کاغذ، رنگزی پارچه و چرم و رنگزی سلولی فلورسنت اشاره کرد و از این‌رو در پساب نیز یافت می‌شود [۱۴، ۱۵]. فراوانی تولید و تجارت مواد رنگزا سبب گسترش انتشار آن در آب شده و این امر موجب مشکلات عدیده زیستمحیطی می‌شود و اثرات زیان‌باری بر انسان و موجودات می‌گذارد [۱۶]. در حال حاضر، رشد سریع صنعتی شدن و شهرنشینی بی‌برنامه باعث ایجاد مشکلات زیستمحیطی شدید به ویژه در آب‌های زیرزمینی حاوی آلودگی (رنگ)، از جمله رودامین B شده است. در نتیجه، بسیاری از مطالعات و تحقیقات انجام شده توسط دانشمندان به حذف رودامین B از آب معطوف شده‌است [۱۷، ۱۸]. بنابراین، استفاده از رودامین B به عنوان رنگ‌دهنده در مواد

کاتالیزورهای نوری مناسب برای تصفیه پساب‌ها هستند [۶]. تهیه نانومواد کربنی (NPC) با استفاده از روش الگو نیز در سال‌های اخیر اهمیت فرآیندهای پیدا کرده است.

به طور کلی، این مواد دارای سطح وسیع، تخلخل، پایداری شیمیایی و حرارتی خوب هستند. بنابراین، انتظار می‌رود که این مواد جاذب‌های مطلوبی برای تصفیه پساب باشند. همچنان از کربن صنعتی نشان‌دار به عنوان جاذب برای حذف رودامین B از آب استفاده شده است [۳۲]. در طی چند سال گذشته، چارچوب‌های آلی – فلزی (MOFs) به دلیل سطح وسیع و پایداری شیمیایی خوب، به عنوان جاذب جایگزین احتمالاً مطلوبی برای تصفیه پساب حاوی مواد رنگزای معروفی شده‌اند [۱۱ و ۳۳]. از آنجایی که استخراج ماده رنگزای آلی به دلیل سختی تجزیه آن کاری پیچیده است، روش‌های زیادی برای حذف رنگ‌ها از بسترهای محیطی به کار گرفته می‌شود.

روش کاتالیزوری نوری روشی جدید برای تبدیل مواد رنگزای آلی به CO_2 و H_2O به عنوان محصولات نهایی است. نانوکامپوزیت‌های $\text{Ag}_x\text{PO}_4/\text{Bi}_2\text{WO}_6$ و نانوذرات $\text{Co}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.5$) نوری ماده رنگزای رودامین B تحت تابش مرئی سنتز شده‌اند [۳۴، ۳۵]. انواع مختلفی از جاذب‌ها برای حذف ماده رنگزای رودامین B از محلول‌های آبی استفاده شده است. سنتز نانوذرات Fe-Co-Mn پوشش داده شده با MgO (MgO-FCM-NPs) به عنوان جاذبی برای استخراج ماده رنگزای رودامین B استفاده می‌شود [۳۶].

۲-۲- روش‌های فیزیکی

تحقیقات جامعی در مورد روش‌های فیزیکی سنتی مانند: جذب، صاف‌کردن، الکتروولیز و اسمز مکوس برای حذف ماده رنگزای رودامین B انجام شده است. فناوری جذب همچنان پایدار، مؤثر و این‌ترین راه حل برای حل چالش‌های افزایش نگران‌کننده شهرنشینی و صنعتی شدن است [۲۱، ۳۷-۴۰]. کربن فعال (AC) به دلیل سطح وسیع و ساختارهای ریز متخلخل خود به ظرفیت جذب بالاتر ماده رنگزای رودامین B کمک می‌کند [۴۱-۴۳]. جداسازی غشایی، به دلیل فرآیند عملیاتی ساده، اشغال فضای کم و مصرف کم انرژی، یک فناوری ظاهراً مطلوب برای پساب حاوی مواد رنگزا در نظر گرفته می‌شود [۹]. مطالعات زیادی بر روی فرآیندهای پیشرفت‌های اکسیدشدن کتروشیمیایی (EAOPs) مانند روش الکتروفنتون (EF) متوجه شده‌اند. علاوه بر این، مجموعه‌ای از راه حل‌های ترکیبی از جمله: جفت شدن EAOPs با کاتالیزور نوری، جذب، نانوفیلتراسیون، فراصوت و امواج مایکروویو، و استفاده از سلول‌های سوختی میکروبی نیز به کار گرفته شده است [۲۷، ۴۴]. مطالعات فراوانی به اشکال اکسیدشدن پیشرفت‌های الکتروشیمیایی (EAOPs) مانند آماده‌سازی الکتروفنتون (EF) پرداختند به این امید که آماده‌سازی EF تحت تأثیر واکنش‌های کتروشیمیایی H_2O_2 که ضمن انجام فرآیند در کاتد رخ میدهد، راه حل

پس از فعال‌سازی شیمیایی با اسیدها یا معرفه‌های شیمیایی، زیست توده‌ی باقیمانده به ماده جاذب با امکان ایجاد منافذ بزرگ تبدیل می‌شود [۲۶].

این مقاله، به مرور پیشرفت‌های حاصله در فرآیند جذب با استفاده از جاذب‌های مختلف برای حذف ماده رنگزای رودامین B برای غله بر محدودیت‌های ناشی از روش‌های دیگر می‌پردازد. علاوه بر این، داده‌های سینتیکی، بررسی ترمودینامیکی و مدل‌های ایزوترم جذب ماده رنگزای رودامین B اغلب برای ارزیابی ظرفیت جذب جاذب‌ها استفاده می‌شود. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف تعیین شرایط بهینه برای حذف رودامین B از محلول آبی انجام شده است.

۲- فناوری‌های رایج برای حذف مواد رنگزا

رودامین B به عنوان نوعی رنگ از خانواده گزانتین، توسط فنل و انیدرید فتالیک تولید می‌شود و به طور گسترده‌ای در مواد استفاده می‌شود [۲۷]. بسیاری از محققان در سراسر جهان به دنبال روش‌هایی برای استخراج ماده رنگزا از پسماند لباس‌های زائد هستند [۲۸]؛ این روش‌ها شامل: رسوب الکترواستاتیکی، انعقاد، تخلیه هوا، صاف‌کردن غشایی، جذب کربن کاتالیزوری، اکسیدشدن الکتروشیمیایی، اکسیدشدن مطروب، اکسیدشدن زیستی و روش‌های اکسیدشدن شیمیایی است [۲۹]. فناوری‌های اکسیدشدن شیمیایی عموماً به فرآیندهای اکسیدشدن شیمیایی معمولی و فرآیندهای اکسیدشدن پیشرفت‌ه طبقه‌بندی می‌شوند [۲۹].

۲-۱- روش‌های شیمیایی

فناوری‌های مختلفی برای جذب ماده رنگزای رودامین B وجود دارد، از جمله: اکسیدشدن شیمیایی، تبادل یونی، رسوب شیمیایی، تخریب کاتالیزوری نوری و غیره. اگرچه جذب، به دلیل تنوع فناوری‌های موجود، یک فناوری تصفیه آب است که در سراسر جهان توصیه می‌شود [۱۸].

الف- روش‌های شیمیایی مرسوم در تجزیه مواد رنگزا مانند میکرومولسیون، سیستم رسوب شیمیایی، رسوب هیدروترمال شیمیایی، فرآیند اتحلال حرارتی، و فرآیند شیمیایی مکانیکی گران هستند. فرآیند جذب، در مقایسه با روش‌های دیگر، از سودمندتر و محبوب‌ترین روش‌ها است زیرا کم‌هزینه، بسیار مؤثر و پیاده‌سازی آن آسان است [۶، ۳۰].

ب- عوامل شیمیایی برای تصفیه پساب حاوی مواد رنگزا شامل افزودن ازن، تبادل یونی و عوامل کاهنده است. از این ره، بهبود روش‌های مقرر به صرفه در تصفیه پساب‌هایی که حاوی مواد رنگزا هستند، از اهمیت بالایی برخوردار است [۳۱]. با بررسی آزمایش‌های قبلی در مورد جذب رودامین B، می‌توانیم رویکردهای شیمیایی متفاوتی را مورد تحقیق قرار دهیم. اکسیدهای فلزی با عرض نانومتر مانند TiO_2 , Al_2O_3 , CeO_2 , MgO , MnO_2 و غیره در زمرة

کم‌هزینه باید در نظر گرفته شود. موز، سیب زمینی و خیار از جمله محصولات کشاورزی هستند که به طور گسترده در سطح بین‌المللی کشت می‌شوند و پوست آنها برای تصفیه پساب حاصل از مواد رنگزا در زمین‌های کشاورزی مورد بررسی قرار گرفته است. ساختار و تأثیر شیمی سطح آنها بر توانایی آنها در جذب مواد رنگزای آئیونی و کاتیونی نیز بررسی شده است [۳۷].

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات، استفاده از جاذب‌ها رویکردهای امیدوارکننده‌ای برای تصفیه پساب‌های رنگی از جمله ضایعات کشاورزی و صنعتی مانند: کربن فعال از بقایای چوب، خاک اره و پوسته برنج هستند. همچنین در مطالعات قبلی اشاره شده است که جذب با استفاده از مواد زیستی مانند ریزجلبک‌ها روشی عالی برای حذف رنگانه‌ها است. به عنوان مثال، گونه‌های ریزجلبک‌کلرا پپرونئید متعلق به دسته کلروفیتا به عنوان یک جاذب زیستی مهم برای حذف رودامین B استفاده شده است [۱۳].

اثربخشی این فرآیند با استفاده از نانوکامپوزیت مگنتیت/کربن به عنوان جاذب برای استخراج مواد رنگزای آئیونی و کاتیونی از پساب، مورد آزمایش قرار گرفته است. تا آنجا که به آلاینده‌های آلی مربوط می‌شود، رنگانه‌ها به دلیل رنگ زیاد و انتشار نوری بالا، پتانسیل بالای برای تغییر محیط دارند. آنها همچنین باعث تغییراتی در چرخه‌های زیستی می‌شوند که در درجه اول بر فرآیندهای فتوسنتر تأثیر می‌گذارد [۲۸]. بنابراین به حداقل رساندن غلظت آنها در پساب‌ها ضروری است و نیاز مرممی به جاذب‌های مختلف برای حذف سریع آلاینده‌های سمی از محیط‌زیست وجود دارد [۴۹].

۱-۳- جاذب‌های آلی

۱-۱-۳- پسماند کشاورزی

طی ده سال گذشته، محققان از جاذب‌های مختلف مبتنی بر زیست‌توده برای حذف مواد رنگزای مختلف از جمله ماده رنگزای رودامین B از محیط‌های آبی استفاده کرده‌اند [۵۰ و ۵۱]. آرتوكارپوس، دانه‌های قهوه، موز، پرتقال، لیگنوسلولوزیک، انار، سیب زمینی و پوست خیار نمونه‌هایی از پسماند کشاورزی و زیست‌توده هستند [۵۶-۵۰].

استفاده از آرتوكارپوس برای حذف رودامین B از محلول‌های آبی موفقیت‌آمیز بوده است. پوست و هسته آن به عنوان پسماند دور ریخته می‌شوند. بنابراین، می‌توانند به عنوان جاذب برای کاهش مشکلات دفع پسماند استفاده شوند [۵۷].

پوست موز به عنوان جاذب به دلیل مقرن به صرفه بودن، فراوانی و کربن بالا، مزایای زیادی برای حذف انواع سوموم از آب دارد. موز یکی از پرمصرف‌ترین میوه‌ها در جهان است. با این حال، هر ساله پوست موز زیادی، به رغم کاربردهای متعدد، هدر می‌رود و دفع آن‌ها مشکلی جدی ایجاد می‌کند. بنابراین، تحقیقات اخیر بر جذب ماده رنگزای رودامین B با

مناسبی برای این مشکلات باشد.

رنگانه‌های باقیمانده در پساب، دارای رنگ قوی، محتوای آلی بالا و ساختار شیمیایی پایدار به دلیل گروه‌های عاملی آزو هستند. چندین روش مختلف برای استخراج ماده رنگزا از پساب وجود دارد. بنابراین استفاده از فرآیندهای الکتروشیمیایی گزینه‌های ابتکاری برای استخراج ماده رنگزا از پساب‌های رنگی است. در این فرآیند، ماده آند نقش حیاتی در الکترولیز آلاینده‌های آلی برای حذف ماده رنگزا از پساب دارد. آند پایدار ابعادی (DSA)، از یک فلز پایه تیتانیم ساخته شده است که با روتینیم رسانای نازک یا اکسید اپریدیم پوشانده شده است. آند DSA عملکردی با پایداری شیمیایی بالا، حتی در چگالی جریان زیاد، عمری طولانی‌تر دارد و در مقیاسی تجاری و با هزینه کم در دسترس است [۴۵]. کاتالیزورهای نوری نیمه‌هادی به دلیل کاربرد آنها در حذف آلدگی طبیعی توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۴۶].

۲-۳- روش‌های زیستی

مطالعات زیستی در زمرة روش‌های متنوع انتقادی زیستی برای جذب و تصفیه ماده رنگزای رودامین B از پساب است. جذب فیزیکی از طریق تخریب عمولاً در تصفیه پساب‌ها استفاده می‌شود [۴۱]. روش‌های تصفیه زیستی آب موقفیت کمتری داشته‌اند، زیرا بیشتر مواد رنگزای مصنوعی در برابر گرما و نور پایدار هستند. همچنین، بسیاری از مواد رنگزا به دلیل ساختار پلیمری پیچیده‌ای که دارند، از نظر زیستی تجزیه‌پذیر نیستند. به طور کلی مواد رنگزای مورد استفاده در صنایع از ثبات و پایداری بالای برخوردار هستند [۴۷]. چندین تن مواد رنگزا به تدریج در پساب ریخته می‌شود. تخلیه پساب‌های غنی از مواد رنگزای تصفیه‌نشده یا نیمه‌تصفیه‌شده در محیط طبیعی به دلیل عفوونت‌های تنفسی و واکنش‌های حساسیت‌زا آنها نگرانی عمده‌ای ایجاد کرده است. در میان این مواد رنگزا، رودامین B به طور گسترده در تأسیسات تحقیقاتی به عنوان رنگ‌آمیزی زیستی استفاده می‌شود [۴۹ و ۴۸]. صافی هوادهی زیستی (BAF) سال‌ها است که نقش مهمی در تصفیه پساب برای استخراج ماده رنگزای رودامین B ایفا کرده است. با این حال، از جاذب‌های متعددی با قابلیت جذب برای جداسازی ماده رنگزای رودامین B استفاده شده است [۴۱].

۳- جاذب‌های مختلف برای حذف ماده رنگزای رودامین B

طیف وسیعی از بقایای جامد خام کشاورزی برای جذب ماده رنگزای رودامین B یافت شده است که از آن جمله می‌توان به پوست کاج و گریپ فroot، پوست کلزا، پوست بادام زمینی، مغز پسته و پوست قرمز اشاره کرد. فراوانی در طبیعت یکی از مهم‌ترین عواملی است که قبل از بررسی انواع پسماند جامد خام کشاورزی به عنوان جاذب‌های

درصد و ظرفیت جذب ۱۲۳/۴۶ میلی‌گرم بر گرم را در مدت زمان تماس ۱۲ دقیقه نشان داد. جذب رودامین B بر روی ASC از مدل‌های ایزوترم لانگمویر و شبه مرتبه دوم پیروی کرد. مشخص شد که جاذب تا ۷ بار بازسازی مجدد می‌شود؛ داده‌ها به ترتیب مربوط به تعادل و سینتیک هستند [۱۷].

کربن فعال تهیه شده از غلاف لوپیا ملخ جاذبی جدید برای حذف ماده رنگزای رودامین B است. هدف، تبدیل پسماند زیست‌توده غلاف لوپیا به کربن فعال برای تهیه یک جاذب عامل دار برتر برای حذف ماده رنگزای رودامین B از محلول‌های آبی بود. مشخصه‌های سینتیکی، ایزوترمال و ترمودینامیکی تنظیم کننده سازوکار جذب نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۴۱].

ژئولیت‌های حاصل از بقایای آتش زغال‌سنگ برزیل نیز به عنوان جاذبی موفق و کم‌هزینه در روش‌های متعدد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ژئولیت‌ها دارای بارهای منفی پایدار در ساختار سنگی قیمتی خود هستند که به آنها اجازه می‌دهد تا توسط مواد فعال سطح کاتیونی مانند هگزادسیل تری‌متیل آمونیم تنظیم شوند [۵۱]. علاوه بر این، تغییر بافت زنولیتی باعث بهبود دفع سموم طبیعی و آنیونی از پساب‌ها می‌شود [۶۵].

امروزه محققان به مواد کربنی زیستی برای حذف ماده رنگزای آلی از پساب توجه ویژه‌ای دارند. دلیل آن هزینه ارزان و پایداری این مواد است [۶۶-۶۸]. پوست چنار غنی از کربن (PP) تقریباً ۳۰ درصد از میوه چنار را تشکیل می‌دهد. نمک‌هایی مانند کلرید سدیم و کربن زیستی PP فعال شده با کلرید روی با استفاده از نیترات آهن و همچنین اسیدها و بازها می‌توانند به عنوان عوامل فعال کننده شیمیایی استفاده شوند. پسماندی بدون ارزش اقتصادی است و عموماً دوستدار محیط‌زیست است. برای حذف رودامین B از پساب، بیوچار فعال استفاده شده است [۶۹].

همچنین، تهیه کربن زیستی از کربن سازی هیدروترمال پوسته ساقه بامبو (BSS) برای به‌دست‌آوردن هیدروکار، و به دنبال آن، مرحله‌ی تصفیه برای کربن سازی در دمای بالا، برای ارزیابی توانایی کربن زیستی برای حذف ماده رنگزای رودامین B از پساب گزارش شده است. جزء اصلی BSS بسیار شبیه به سایر انواع زیست‌توده‌های چوبی حاوی سلولز، همی سلولز و لیگنین است که یک ماده خام ایده‌آل برای تولید مواد کربنی است [۴۲].

به همین ترتیب، از فرآیند کربن سازی به روش هیدروترمال برای تولید کربن زیستی (بیوچار) از پسماند کشاورزی سرباره کاساوا استفاده شد. خواص ساختاری، عملکرد جذب و سازوکار مربوطه به طور جامع با ابزارهای متعددی مانند میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ لایکا، بروم-امت تلر (BET)، آزمایش‌های جذب دسته‌ای، زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و طیف‌سنجی فوتوالکترون پرتو ایکس (XPS) ارزیابی شد. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که کربن زیستی

استفاده از پودر پوست موز سبز سازگار با محیط‌زیست متمرکز است [۴۸].

علاوه بر این، مقایسه اصولی خواص سطحی و ساختاری پوست سیب‌زمینی و خیار به عنوان جاذب‌های طبیعی موثر در برخی تحقیقات برای حذف مواد رنگزای آنیونی و کاتیونی مانند رودامین B از محلول‌های آبی انجام شده است [۳۷]. همچنین، دانه‌های قهوه به طور گسترشده‌ای تولید و استفاده می‌شود. تفاله‌های کربن دار قهوه را می‌توان برای جذب، اصلاح خاک، و حذف ترکیبات آلی و معدنی خطرناک از آب یا پساب استفاده کرد. پودر آسیاب‌شده تفاله قهوه جاذبی موثر و بدون هزینه برای جذب و حذف ماده رنگزای رودامین B از محلول‌های آبی است [۵۸].

جذب، یک روش مطلوب برای تصفیه پساب حاوی رنگ است که به انتخاب جاذب‌ها و ظرفیت‌های جذب بستگی دارد. مخروط کازورینا اکوایستیفولیا^۱ (CEC) نوعی گیاه غیردرخشان است که ریشه آن به موجودات میکروسکوپی فرانکی اس پی پی^۲ وابسته است. این گیاه در طبیعت به‌وقور یافت می‌شود و ارزش اقتصادی کمی دارد. علاوه بر این، CEC را می‌توان به دلیل شکنندگی آن به شکلی بهینه به صورت پودر برای جذب آماده کرد. جنس CEC از لیگنوسلولز است که یکی از مواد شناخته‌شده در جذب سوم است. بنابراین، انتخاب CEC به عنوان یک جاذب برای تخلیه سم می‌تواند انتخابی مقرر به صرفه باشد [۵۹].

۲-۱-۳- مواد کربنی

اخیراً تعداد قابل توجهی از جاذب‌ها در حذف مواد رنگزای مختلف از جمله ماده رنگزای رودامین B استفاده شده است. در میان این جاذب‌ها، کربن فعال چندین مزیت داشته است، از جمله: سطح، تخلخل و خواص شیمیایی بالا که همگی موجب ظرفیت جذب بالاتر آن در تصفیه پساب با مولکول‌های آلی ماده رنگزای شوند [۶۰-۶۱]. بیشتر جاذب‌های کربن از پوست میوه، شکر، لوپیا و ژئولیت‌ها تولید می‌شوند [۶۲-۶۵]. از شکر سفید، تحت روش آبگیری اسیدی، برای تهیه کربن بسیار متخلف استفاده شد. سپس کربن در یک محیط نیتروژن فعال شده و کربن فعال بر پایه قند (ASC) بدست آمد. ASC با استفاده از برخی روش‌های مشخصه‌یابی سنتی مانند پراش پرتو ایکس (XRD)، بروم-امت تلر (BET) و تبدیل فوریه زیر قرمز (FTIR) شناسایی شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مشخصه‌های منافذ ASC برای جذب، مناسب بوده‌اند. به عنوان مثال، مساحت سطح ۱۱۴۴/۷۷ متر مربع بر گرم، حجم ۰/۵۳ سانتی‌متر مکعب بر گرم و اندازه منافذ ۲/۱۷ نانومتر به صورت جداگانه ثبت شد. علاوه بر این، از ASC برای حذف ماده رنگزای رودامین B استفاده شد و نتایج بیشینه بازده جذب حدود ۹۸/۲۸

¹ Casuarina equisetifolia

² Frankie spp

و تمکین و مطالعات ترمودینامیکی استفاده شد. علاوه بر این، طیف‌سنجی UV برای تعیین رودامین B بکار رفته است. نتایج نشان داد که پرلیت منبسط‌شده جاذبی مناسب برای حذف رودامین B از محلول‌های آبی است. مقدار ماده رنگزای حذف شده به غلظت اولیه، زمان تماش، دما و pH محلول بستگی داشت [۹]. صنایع کاغذسازی، سالانه مقدار زیادی لجن تولید می‌کنند که می‌توان از آن به عنوان جاذبی مطلوب و سازگار با محیط‌زیست با هزینه کم برای حذف مواد رنگزای از پساب در مدت زمانی کوتاه استفاده کرد. بهینه‌سازی سطح پاسخ حذف ماده رنگزای رودامین B با استفاده از پسماند صنعت کاغذ به عنوان جاذب مورد بررسی قرار گرفته است [۷۶].

ذرات $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ سنتر شد و سطح آن با خمیر سیمان پرتلند سفید پوشانده شد، آزمایش‌های تخریب رودامین B نیز انجام شد که کارابی کاتالیزوری نوری خمیرهای تیمار شده را قبل و بعد از فرآیند هوازدگی تسریع شده برسی کردند. از طریق برسی واکنش‌های پوزولانی آن با اجزای اصلی بتن سیمانی، پیوند و سازوکارهای آن بر روی مواد سخت شده مبتنی بر سیمان مورد مطالعه قرار گرفت [۳۰]. همچنین، نمونه معمول ماده Zr-MOF(bpy) دارای اتم‌های نیتروژن است که می‌تواند پیوندهای هیدروژنی را با گروه‌های کربوکسیل موجود در ماده رنگزای رودامین B ایجاد کند. افزودن نانوذرات ZnO به طول Zr-MOF(bpy) مانند ZnO/Zr-MOF(bpy) ایجاد می‌کند. افزودن ZnO جذب ماده رنگزای رودامین B را به طور مناسبی افزایش می‌دهد [۷۷].

به همین ترتیب، نانوکامپوزیت ZnFe_2O_4 سنتر شد و به عنوان جاذب برای حذف رودامین B مورد استفاده قرار گرفت و با آنالیزهای FTIR و BET SEM قرار گرفت عبارتند از: غلظت اولیه رودامین B (۵ میلی گرم بر لیتر)، pH (۱۱/۱-۱۱/۴)، و دما (۲۰-۶۰ درجه سانتی گراد). در حالت تعادل، ظرفیت جذب از $5/0.2$ به $9/83$ میلی گرم بر گرم با افزایش مقدار غلظت اولیه رودامین B از 5 به 25 میلی گرم در لیتر در pH برابر ۷ و دمای ۲۰ درجه سانتی گراد افزایش یافت.

در میان مدل‌های سینتیک شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و مدل‌های انتشار درون ذره، بهترین مدل با استفاده از مدل سینتیک شبه مرتبه دوم برآذش شد. جذب رودامین B بر روی ZnFe-NC نیز با استفاده از مدل ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ موردن تجزیه و تحلیل قرار گرفت. علاوه بر این، مشخصه‌های مختلف ترمودینامیکی، مانند: انرژی آزاد استاندارد گیبس (ΔG°)، آنتالپی (ΔH°)، و آنتروپی (ΔS°)، نیز محاسبه شد [۷۸].

روش احتراق مایکروویو یکی از موثرترین و قابل اجراترین روش‌ها برای تهیه نانوذرات فریت کبالت دوپ شده با مس است. ابتدا نانوذرات فریت کبالت دوپ شده با مس با کمک روش احتراق مایکروویو با استفاده از L-آرزنین به عنوان سوخت تهیه شد و خواص ساختاری، ریخت،

سرباره کاساوا می‌تواند ۹۶ درصد رودامین B را از محلول آبی با بیشینه مقدار جذب $10.5/3$ میلی گرم بر گرم حذف کند. بازده جذب خوب رودامین B می‌تواند به دلیل پیوند هیدروژنی بین مولکولی و برهم‌کنش الکترواستاتیکی باشد. علاوه بر این، زغال زیستی سرباره کاساوا در جذب موثر مواد رنگزای مختلف کارابی بالایی داشته، در کاربردهای مهندسی مقول به صرفه بوده و قابلیت‌های زیادی را در عملیات کاربردی نشان می‌دهد [۷۰].

۳-۲- جاذب‌های معدنی

جاذب‌های معدنی مانند زئولیتها، خاکرس و پرلیت، موادی طبیعی، کم هزینه، فراوان و پایدار هستند که در فرآیند جذب برای حذف مواد رنگزای استفاده می‌شوند [۷۱، ۵۱]. زئولیتها به طور طبیعی به صورت آلومینو سیلیکات متخلخل وجود دارند و متشکل از ساختارهایی مختلف هستند که توسط یک اتم اکسیژن مشترک به هم متصل شده‌اند. زئولیت ۳A به عنوان جاذبی مطلوب برای حذف نمونه‌های رودامین B از پساب ارزیابی شد. طراحی آزمایش به روش تاگوچی، که یک روش بهینه‌سازی چند متغیره است که برای بهینه‌سازی عوامل مؤثر استفاده می‌شود، رویکردی بسیار موفق است و در مقایسه با استراتژی‌های بهینه‌سازی تکمتغیره معمولی، از مزایایی چون به حداقل رساندن هزینه‌های آزمایش و کاهش زمان تحقیق عملی برخوردار است [۷۲]. زئولیت بتا به عنوان یک زئولیت مصنوعی، به دلیل برخورداری از بسیاری از ویژگی‌های مهم، مانند منافذ بزرگ، نسبت Al/Si بالا و شبکه‌های منفذی سه‌بعدی، یکی از پرکاربردترین غربال‌های مولکولی به ویژه در جذب است. بنابراین، عملکرد جذب کامپوزیت اکسید گرافن/ بتا زئولیت برای حذف رودامین B مورد مطالعه قرار گرفته است [۷۳].

خاک رس کانی‌هایی ریزدانه هستند. حدود ۳۰ نوع مختلف رس وجود دارد، اما بیشتر رس‌های طبیعی مخلوطی از این انواع مختلف هستند. سطح ویژه و قابلیت تبادل کاتیونی بالایی دارند [۷۴]. بنابراین، به طور گسترده‌ای به عنوان جاذب برای حذف انواع مختلف آلینده‌ها استفاده می‌شوند. خاک رس می‌تواند آلدگی آب را تا ۷۰ درصد حذف کند. خاک رس طبیعی مراکشی اصلاح شده با ستیل تری متیل آمونیم برومید برای حذف ماده رنگزای رودامین B مورد بررسی قرار گرفته است [۸۲، ۳۷]. بررسی‌ها نشان داد که کانی‌های رسی، جاذب موثری برای حذف مواد رنگزای کاتیونی مانند ماده رنگزای رودامین B از آب هستند [۷].

علاوه بر آن، از پرلیت منبسط‌شده برای تصفیه پساب رودامین B استفاده شده است و با استفاده از مدل‌های شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و انتشار درون ذرهای موردن مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که سازوکار جذب با مدل شبه مرتبه دوم بهتر برآذش می‌کند. برای توصیف پدیده جذب، از مدل‌های ایزوترم جذب مانند لانگمویر، فروندلیچ

اخیراً به دلیل نگرانی‌های اقتصادی، رزین‌های پلیمری عامل‌دار به جایگزینی برای کربن فعال و سایر جاذب‌ها تبدیل شده‌اند. مزیت رزین‌های پلیمری مساحت سطح بالا، تورم متوجه و توزیع اندازه منافذ یک‌سوخت آنها می‌باشد. جذب رزین‌ها را می‌توان با اصلاح برهم‌کنش بین جاذب و جذب شونده بهبود بخشد. از آن جایی که کوپلیمر متقطع استایرن-دی‌وینیل بنزن نسبت به کربن فعال هزینه کمتر و مزایای متعددی به عنوان بستر دارد برای تهیه رزین‌های تبادل یونی استفاده می‌شود. علاوه بر این، بستر مبتنی بر پلیاستایرن می‌تواند پایداری شیمیایی و فیزیکی عالی همراه با مقاومت در برابر تخریب توسط اکسیدشدن یا آبکافت ایجاد کند.

رزین‌های آغشته به حلال (SIR) خواص هم‌افزایی تبادل یونی و استخراج با حلال دارند. SIR یک عامل کمپلکس‌کننده مایع است که در یک محیط پلیمری جامد به طور همگن توزیع می‌شود. حذف با استفاده از این رزین‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که املاحی از فاز آبی به داخل منافذ رزین در یک فاز آبی استخراج شود. در نتیجه، رزین حباب و امولسیون غیرقابل برگشت را در طول استخراج با حلال کاهش می‌دهد زیرا به عنوان حامل حلال عمل می‌کند. بنابراین، حذف ماده رنگزای رودامین B از آب با استفاده از رزین پلیمری آغشته به حلال 5WX8 Dowex عملی شده است [۸۳]. جداول ۱۱-۲ ویژگی‌های تحلیلی مشخصه‌های تجربی، ترمودینامیکی، هم‌دما و سینتیکی جذب را از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ خلاصه می‌کند.

۴- روش‌های جدید برای حذف ماده رنگزای رودامین

B

استفاده از روش‌های مرسوم برای اکثر ترکیبات سمی در پساب‌های صنعت نساجی و شرایط چالش برانگیز شکستن پیوند در ماده رنگزای مورد استفاده در منسوجات به پشتیبانی فناوری جدید نیازمند دارد. فناوری جدید برای نظارت بر کیفیت آب از حسگرهای هوشمندی استفاده می‌کند که با کنترل کننده‌های جدید و با استفاده از بی‌سیم‌های استاندارد به هم متصل شده‌اند تا کیفیت آب را نظارت کنند. چندین نمونه از حسگرهای پرکاربرد عبارتند از حسگرهای هوشمند [۹۲]، حسگرهای نوری [۹۳] و حسگرهای بی‌سیم [۵۳].

خواص نوری، ارتعاشی و مغناطیسی نانوذرات $\text{Co}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.5$) با روش‌های مختلف مشخصه‌یابی بررسی شد. مواد آماده شده برای تجزیه کاتالیزوری نوری رودامین B تحت تابش نور مسئی مورد استفاده قرار گرفت و سازوکار تخریب مناسب پیشنهاد داده شد [۳۴]. به همین ترتیب، تحقیقات اخیر، سنتز گونه‌های مغناطیسی Fe_2O_3 و $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ را به صورت جداگانه توصیف می‌کنند. برای بررسی پتانسیل مغناطیسی آنها از آنالیز مغناطیسی سنج نمونه ارتعاشی (VSM) استفاده شد. این مواد در تصفیه پساب اهمیت زیادی دارند زیرا ماهیت آنها به گونه‌های است که به راحتی ماده رنگزای سمی، به عنوان مثال رودامین B، با استفاده از فعالیت کاتالیزوری نوری این گونه‌های مغناطیسی سنتز شده، از محیط آبی حذف شده‌است. بازده تخریب $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{g-C}_3\text{N}_4$ در مدت زمان ۱۴۰ دقیقه در pH حدود ۷ در زیر نور مسئی، ۹۴٪ درصد بود. علاوه بر این، چندین مطالعه پیرامون فرآیندهای تخریب، پایداری بالا و قابلیت استفاده مجدد عالی از این کاتالیزورها را تایید کردند [۷۹].

نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4 پوشش داده شده با $\text{La}_2\text{-ZrIn}$ در جذب ماده رنگزای رودامین B از محلول آبی قابلیت بالایی دارد. مواد نانوساختار به دلیل نسبت سطح به حجم بالا، می‌توانند به راحتی سطح خود را توسط مولکول‌های مختلف برای جذب کارآمد، عامل‌دار کنند. علاوه بر این، خواص منحصر به فرد ساختاری، الکتریکی، نوری و مغناطیسی آنها می‌تواند فرصت بی‌نظیری برای جذب رنگ‌های خوبی برای حذف اخیر نشان داد که چارچوب‌های آلی اورانیل گزینه‌های خوبی برای حذف این آلاینده‌های شیمیایی هستند. بخشی از چارچوب‌های آلی اورانیل، کاتالیزورهای نوری مبتنی بر اورانیل هترومتالیک (مانند U-Ni-Ag)، عملکردهای کاتالیزوری نوری عالی برای تخریب رودامین B تحت تابش UV / نور مسئی دارند [۸۰].

کامپوزیت بنتونیت- TiO_2 - TiO_2 از طریق تلیق TiO_2 و بنتونیت و سپس فرآیند تابش مایکروبوی تهیه شد و با استفاده از آنالیزهای XRD و FTIR SEM شناسایی و آزمایش‌های جذب و تخریب کاتالیزوری نوری رودامین B توسط کامپوزیت در حضور یا عدم حضور تابش نور UV انجام شد [۸۱].

همچنین، نانوکامپوزیت‌های $\text{Cu}_2\text{O}/\text{rGO}$ دارای نانوذرات Cu_2O هستند که به طور مساوی روی اکسید گرافن احیا شده (rGO) توزیع می‌شوند. ساختارهای بلوری و فوتولومینسانس نانوکامپوزیت‌های $\text{Cu}_2\text{O}/\text{rGO}$ تجزیه و تحلیل و مشخص شده‌اند. با مقایسه نانوکامپوزیت‌های $\text{Cu}_2\text{O}/\text{rGO}$ با نانوذرات Cu_2O با نانوکامپوزیت‌های $\text{Cu}_2\text{O}/\text{GO}$ مربوط به رودامین B به بیش از ۹۵ درصد رسید که نشان‌دهنده فعالیت فوتوکاتالیستی خوب نانوکامپوزیت‌های $\text{Cu}_2\text{O}/\text{rGO}$ است. سازوکار فعالیت فتوکاتالیستی نانوکامپوزیت‌های $\text{Cu}_2\text{O}/\text{GO}$ می‌توان به افزایش شدت جذب و جداسازی موثر حامل‌های باز توسط rGO نسبت داد [۸۲].

جدول ۲: ویژگی‌های تحلیلی مشخصه‌های تجربی و ترمودینامیکی جذب رودامین B با روش‌های مختلف در سال ۲۰۱۶.

Table 2: Analytical features of experimental and thermodynamic parameters of adsorption RhB by different techniques during 2016.

Adsorbent	Experimental Parameters						Thermodynamic					Ref.
	Q _{max} (mg/g)	pH	T (°C)	C ₀ (mg/L)	T (min)	AD (g/l)	Model	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol K)	Ref.	
Casuarina equisetifolia Cone Powder	49.5	2	25	50	30	0.05	L, F, and S	-0.1	14.19	51.16	[59]	
Raphia hookerie fruit epicarp	666.6	3	26	100	50	2	L, F, T, and DR	-3.1	11.74	49.23	[8]	
Azolla pinnata	199.7	3.6	65	20-600	30	2	L, F, T, and DR	-0.6	23.3	80.4	[84]	
Casuarina equisetifolia needles	82.34	4.4	25	50	180	0.04	L, F, and DR	-2.2	20.1	75	[85]	
Bi ₂ O ₃ -bentonite nanocomposite	69	3	400	20	80	1	L and F	NA	NA	NA	[16]	
Aleurites Moluccana Waste Seeds	117	6	25	300	60	0.05	L, F, T, and R-B	5.0	-12.9	-57.12	[86]	
Surfactant-modified zeolite	0.388	8	45	20	40	0.5	L, F, T, and DR	-24	NA	NA	[65]	

Q_{max}: بیشینه جذب رودامین B جذب شده در واحد جرم جاذب پس از تعادل (میلی گرم بر گرم)، C₀: دما (درجه سانتی گراد)، T: دما (میلی گرم بر لیتر)، AD: زمان تماس تعادل (دقیقه)، ΔG°: انرژی آزاد استاندارد گیبس (کیلوژول بر مول)، ΔH°: آنتالپی استاندارد (کیلوژول بر مول)، ΔS°: آنتروپی استاندارد (کیلوژول بر مول کلوین)، L: مدل ایزوترم لانگمویر، F: مدل ایزوترم فرونولیچ، DR: دوبینین-رادوشکویچ و NA: محقق نشد.

جدول ۳: ویژگی‌های تحلیلی مشخصه‌های هم‌دما و سینتیکی جذب رودامین B با روش‌های مختلف در سال ۲۰۱۶.

Table 3: Analytical features of isothermal and kinetic parameters of adsorption RhB by different techniques during 2016.

Adsorbent	Isothermal						Kinetic parameter						Ref.	
	Langmuir			Freundlich			Pseudo-second order			Pseudo-first order				
	q _m (mg/g)	K _L (L/mg)	R ²	R _L	K _F	n	R ²	K ₁ (min ⁻¹)	q _e (mg/g)	R ²	K ₂ (g/min mg)	q _e (mg/g)	R ²	
Casuarina equisetifolia Cone Powder	49.5	0.033	0.993	0.057	4.087	2.21	0.900	0.018	8.22	0.919	0.004	11.5	0.985	[59]
Raphia hookerie fruit epicarp	666.6	0.01	0.9876	0.19	10.55	1.29	0.997	0.038	25.2	0.984	0.0033	47.1	0.9820	[8]
Azolla pinnata	72.2	0.001	0.986	0.085	4.3	2.1	0.925	0.001	18.4	0.977	0.002	31.5	0.995	[85]
Casuarina equisetifolia needles	82.34	0.02	0.99	0.11	3.73	1.90	0.950	7.2	0.09	0.801	0.040	7.2	0.999	[85]
Bi ₂ O ₃ -bentonite nanocomposite	31.25	0727	0.892	0.064	12.62	0.49	0.944	0.07	NA	NA	0.004	NA	NA	[16]
Aleurites Moluccana waste seeds	101	0.003	0.996	NA	2.8	0.4	0.962	0.06	21.2	0.866	0.004	23.6	0.949	[86]
Surfactant-modified zeolite	2.03	0.041	0.067	NA	0.110	1.38	0.900	0.004	0.01	0.219	1.02	0.23	0.990	[65]

q_m: بیشینه ظرفیت جذب تکلاهی رودامین B در واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)، K_L: ثابت لانگمویر مربوط به انرژی اتصال جذب رودامین B (لیتر بر میلی گرم)، R_L: نشان دهنده ضریب جداسازی بدون بعد است، K_F: ظرفیت جاذب (لیتر بر گرم)، n: نشان می دهد که فرآیند جذب از نظر ناهمنگی سطحی و میل ترکیبی برای جاذب چقدر مطلوب است، q_e: مقدار تعادل جاذب در واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)، K₁: مدل سینتیکی مرتبه اول (بر دقیقه)، K₂: مدل سینتیکی مرتبه دوم (گرم بر میلی گرم بر دقیقه)، R²: فاکتور همبستگی و NA: محقق نشد.

جدول ۴: ویژگی‌های تحلیلی مشخصه‌های تجربی و ترمودینامیکی جذب رودامین B با روش‌های مختلف در سال ۲۰۱۷.

Table 4: Analytical features of experimental and thermodynamic parameters of adsorption RhB by different techniques during 2017.

Experimental Parameters							Thermodynamics					Ref.
Adsorbent	Q _{max} (mg/g)	pH	T (K)	C ^o (mg/L)	T (min)	AD (g/L)	Model	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol K)		
Coal-based carbon membrane with an electric field	NA	4	NA	100	480	NA	NA	NA	NA	NA	[9]	
Natural Moroccan Clay	83.95	2-12	298	20	270	0.01	L, F, T _e	8.016	12.886	0.0701	[75]	
Modified Moroccan Clay	90.10	2-12	298	20	270	0.01	L, F, T _e	9.355	26.214	0.1193	[75]	
Co _{1-x} Cu _x Fe ₂ O ₄ (0 ≤ x ≤ 0.5) nanoparticles	NA	2	298	6	330	0.31	K ₁ , k ₂	NA	NA	NA	[34]	
L-Serine capped magnetite nanoparticles	6.82	7.4	300	10	60	2.18	L, F, k ₂	-1.165	41.75	0.145	[47]	
Artocarpus odoratissimus peel	131	4.15	358	0-1000	210	210	L	NA	11.32	46.31	[57]	
Coff ground	3.02 and 1.661	2	292	15	180	50	K ₁ , k ₂ , L, F	2.420	52.185	170.429	[58]	
Paper waste	75	4.4	308	75	60	0.5-2.5	L, k ₂	-11.94	11.70	0.0768	[76]	
Graphene oxide/Beta zeolite	64.47	6.5	330	0.1179	60	2.5	L, F	NA	NA	NA	[73]	
Uranyl coordination polymer	10	2.7	293	40-100	270	0.157	L	NA	NA	NA	[80]	
ZnFe ₂ O ₄ nanocomposite	9.83	7	293	25	1440	12.1	K ₁ , k ₂ , L, F	-0.42	6.60	24	[78]	
Bentonite-titanium dioxide composites	NA	8	343	200	120	10.84	L, F	NA	14.56	NA	[81]	
Zinc oxide loaded activated carbon (ZnO-AC)	128.2	7	313	50	140	50	K ₁ , k ₂ , L, F	-11.0819	28.043	57.192	[5]	

Q_{max}: بیشینه جذب رودامین B جذب شده در واحد جرم جاذب پس از تعادل (میلی گرم بر گرم)، T: دما (درجه سانتی گراد)، C^o: غلظت اولیه (میلی گرم بر لیتر)، T: زمان تماس تعادل (دقیقه)، AD: دوز جاذب (گرم بر لیتر)، ΔG°: انرژی آزاد استاندارد گیس (کیلوژول بر مول)، ΔH°: آنتالپی استاندارد (کیلوژول بر مول)، S: آنتروپی استاندارد (کیلوژول بر مول کلوین)، L: مدل ایزووترم لانگمویر، F: مدل ایزووترم فرونندلیچ، DR: دوبینین-رادوشکویچ و NA: محقق نشد.

جدول ۵: ویژگی‌های تحلیلی مشخصه‌های هم‌دما و سینتیکی جذب رودامین B با روش‌های مختلف در سال ۲۰۱۷.

Table 5: Analytical features of isothermal and kinetic parameters of adsorption RhB by different techniques during 2017.

Kinetic parameter							Isotherm parameters					Ref.	
pseudo-first order		pseudo-second order			Langmuir		Freundlich						
Adsorbent	q _e (mg/g)	K ₁ (min ⁻¹)	R ²	q _e (mg/g)	K ₂ (g min ⁻¹ mg ⁻¹)	R ²	q _m (mg/g)	K _L (L/g)	R ²	K _F	n	R ²	
Natural Moroccan Clay	68.4	-1678	0.999	107	-4.79	0.996	0.01	4.362	0.688	0.05	84.3	0.999	[75]
Modified Moroccan Clay	90.1	0.03	0.999	98.3	-7.88	0.996	0.07	3.526	0.9469	0.05	90.09	0.999	[75]
Co _{1-x} Cu _x Fe ₂ O ₄ (0 ≤ x ≤ 0.5) nanoparticles	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.657	NA	0.98	0.86	NA	0.958	[34]
L-Ser capped Fe ₃ O ₄ NPs	7.19	0.03-0.08	0.991	7.19	0.03-0.08	0.999	0.01	6.11	0.9756	0.01	7.940	0.991	[47]
Artocarpus odoratissimus peel	130	0.02	0.986	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	[57]

(ادامه جدول ۵)

Adsorbent	Isotherm parameters						Kinetic parameter						Ref.	
	pseudo-first order			pseudo-second order			Langmuir			Freundlich				
	q_m (mg/g)	K_L	R^2	K_F	n	R^2	K_1 (min ⁻¹)	q_e (mg/g)	R^2	K_2	q_e (mg/g)	R^2		
Coffee ground	5.25	4.364	0.958	1.19	2.06	0.884	37.9	4.018	0.999	6.56	4.018	0.999	[58]	
Paper waste	6.71	0.01	0.996	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.69	3.74	1	[76]	
Graphene oxide/Beta zeolite	27.9	0.080	0.992	2.53	1.83	0.879	NA	NA	NA	NA	NA	NA	[73]	
Uranyl coordination polymer	205	NA	0.991	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	[80]	
ZnFe ₂ O ₄ Nano composite	12.1	0.19	0.994	3.03	2.66	0.972	0.05	3.38	0.9861	0.04	10.10	0.999	[78]	
Bentonite-titanium Dioxide composites	0.25	1523	0.995	0.12	5.62	0.988	NA	NA	NA	NA	NA	NA	[81]	
Loaded activated Carbon (ZnO-AC)	128	6.50	0.997	88	7.35	0.735	0.05	76.37	0.876	0.02	120.5	0.999	[5]	

q_m: بیشینه ظرفیت جذب تک لایه رودامین B در واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)، K_L: ثابت لانگمویر مربوط به انرژی اتصال جذب رودامین B (لیتر بر میلی گرم)، R_F: نشان دهنده ضریب جداسازی بدون بعد است، K_F: ظرفیت جاذب (لیتر بر گرم)، n: نشان می‌دهد که فرآیند جذب از نظر ناهمگنی سطحی و میل ترکیبی برای جاذب چقدر مطلوب است، q_e: مقدار تعادل جاذب در واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)، K₁: مدل سینتیکی مرتبه اول (بر دقیقه)، K₂: مدل سینتیکی مرتبه دوم (گرم بر میلی گرم بر دقیقه)، R₂: فاکتور همبستگی و NA: محقق نشد.

جدول ۶: ویژگی‌های تحلیلی مشخصه‌های تجربی و ترمودینامیکی جذب رودامین B با روش‌های مختلف در سال ۲۰۱۸

Table 6: Analytical features of experimental and thermodynamic parameters of adsorption RhB by different techniques during 2018.

Adsorbent	Experimental Parameters						Thermodynamics				Ref.
	Q_{max} (mg/g)	pH	T (K)	C_o (mg/L)	T (min)	AD (g/L)	Model	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol K)	
Banana peel	211.9	6	383	100	30	0.1	F-L K ₁ - K ₂	NP	NP	NP	[37]
Cucumber peel	179.9	6	383	100	30	0.1	F-L K ₁ - K ₂	NP	NP	NP	[37]
Potato peel	107.4	6	383	100	30	0.1	F-L K ₁ - K ₂	NP	NP	NP	[37]
Banana peel powder	NP	4	304-333	100	60	0.04-0.5	L-F-T	NP	NP	NP	[48]
Chlorella pyrenoidosa	63.14	8	298	100	120	0.1	L-F- K ₁ - K ₂ -E-Te-S	NP	NP	NP	[13]
Clay minerals	24	2-12	295	NP	20	NP	L- K ₂	-14.6	3.7	0.06	[7]
Electrochemical decolorization	NP	6.5	298	50	90	NP	K ₁	NP	NP	NP	[45]
Ability of 3A zeolite in removal of RhB	NP	9	NP	20	40	0.5	NP	NP	NP	NP	[73]
Ag ₃ PO ₄ /Bi ₂ WO ₆ nanocomposites	NP	0.71	353	NP	30	2.5	NP	NP	NP	NP	[35]
Iron-doped mesoporous silica	NP	3	308	10	180	1	NP	NP	NP	NP	[44]
Iron oxide/carbon nanocomposites	93.35	6.5	298	100	60	1	K ₁ -k ₂ , L-F	NP	NP	NP	[28]

Q_{max}: بیشینه جذب رودامین B جذب شده در واحد جرم جاذب پس از تعادل (میلی گرم بر گرم)، T: دما (درجه سانتی گراد)، C_o: غلظت اولیه (میلی گرم بر لیتر)، T: زمان تماش تعادل (دقیقه)، AD: مقدار جاذب (گرم بر لیتر)، ΔG[°]: انرژی آزاد استاندارد گیبس (کیلوژول بر مول)، ΔH[°]: آنتالپی استاندارد (کیلوژول بر مول)، ΔS[°]: آنتروپی استاندارد (کیلوژول بر مول کلوین)، L: مدل ایزوترم لانگمویر، F: مدل ایزوترم فرونالیچ، DR: دوینین-راوشکویچ و NA: محقق نشد.

جدول ۷: ویژگی‌های تحلیلی مشخصه‌های همدم و سینتیکی جذب رودامین B با روش‌های مختلف در سال ۲۰۱۸.

Table 7: Analytical features of isothermal and kinetic parameters of adsorption RhB by different techniques during 2018.

Adsorbent	Kinetic parameter				Isothermal parameters					Ref.			
	pseudo-first order			pseudo-second order		Langmuir			Freundlich				
	q_e (mg/g)	K_1 (min ⁻¹)	R^2	q_e (mg/g)	K_2 (g mg ⁻¹ min ⁻¹)	R^2	q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_F	n	R^2	
Banana peel	97	23.58	0.9919	99.9	5.14	0.9992	211.9	0.288-	0.999	35.76	0.4752	0.83	[37]
Cucumber peel	78.5	24.85	0.9009	76.5	21.79	0.9998	107.4	0.459- 0.027	0.999	5.44	0.7928	0.80	[37]
Potato peel	84	49.31	0.9944	85.6	16.97	0.9995	179.9	0.172- 0.053	0.993	14.94	0.4338	0.853	[37]
Banana peel powder	NP	NP	NP	NP	NP	NP	1.6572	0.0658	9740	NP	NP	NP	[48]
Chlorella pyrenoidosa	24.75	0.284	0.9799	25.54	NP	NP	NP	0.0070	0.9905	NP	NP	NP	[13]
Iron oxide/carbon nanocomposites	72.79	23.21	0.990	102.27	0.65	0.9985	131.80	0.19	0.9398	34.41	3.06	0.8454	[28]
Direct carbonization of Zn/Co imidazolate zeolitic	89.8	0.0963	0.8935	101.8	0.91	0.9991	119.9	0.18	0.9991	61.1	7.5	0.9458	[32]
Polyamide grafted heavy metals	4.1	0.033	0.8979	1.5	1.157	0.9968	19.9	1.04	0.9946	2.88	2.12	0.9873	[19]
Novel biopolymer silicalite-1	2.2	0.012	0.97	4.5	0.034	0.99	45	0.034	0.97	3.4	1.61	0.99	[10]
Microporous nanohybrids of carbon xerogels	NP	NP	NP	NP	NP	NP	50	0.008	0.9951	8.50	2.43	0.946	[87]

q_m: بیشینه ظرفیت جذب تک لایه رودامین B در واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)، K_L: ثابت لانگمویر مربوط به انرژی اتصال جذب رودامین B (لیتر بر میلی گرم)، R_L: نشان‌دهنده ضریب جداسازی بدون بعد است، K_F: ظرفیت جاذب (لیتر بر گرم)، n: نشان می‌دهد که فرآیند جذب از نظر ناهمگنی سطحی و میل ترکیبی برای جاذب چقدر مطلوب است، q_e: مقدار تعادل جاذب در واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)، I₁: مدل سینتیکی مرتبه اول (بر دقیقه)، I₂: مدل سینتیکی مرتبه دوم (گرم بر میلی گرم بر دقیقه)، R₂: فاکتور همبستگی و NA: محقق نشد.

جدول ۸: ویژگی‌های تحلیلی مشخصه‌های تجربی و ترمودینامیکی جذب رودامین B با تکنیک‌های مختلف در سال ۲۰۱۹.

Table 8: Analytical features of experimental and thermodynamic parameters of adsorption RhB by different techniques during 2019.

Adsorbent	Experimental Parameters						Thermodynamics				Ref.
	Q _{max} (mg/g)	pH	T (K)	C ₀ (mg/L)	T (min)	AD (g/L)	Model	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol K)	
Acid activated locust bean	454.5	6.8	30	1000	120	0.1	L,F,K1	-26.35	58.779	208.95	[88]
Hybrid ion-exchanger	1.23	2.9>	50	10	180	5	L, F,K2	1.69	NA	NA	[18]
MgO nanoparticles	2462.5	7	25	10	60	0.04	L, F,Te	-12.06	9.440	72.00	[36]
Activated sugar-based carbon (ASC)	123.46	2-11	15-45	50	12	0.08	L,F,K2	NA	NA	NA	[17]
Zeolitic imidazolate frameworks (ZIF)	85	10<	30	20-200	1440	2.1	L, F	NA	NA	NA	[41]
Organovermiculites (organo-Vts)	528	2	25	50-1000	90	0.05	L,F	-20.8	11.32	52.79	[89]

Q_{max}: بیشینه جذب رودامین B جذب شده در واحد جرم جاذب پس از تعادل (میلی گرم بر گرم)، T: دما (درجه سانتی‌گراد)، C₀: غلظت اولیه (میلی گرم بر لیتر)، AD: مقدار جاذب (گرم بر لیتر)، ΔG°: انرژی آزاد استاندارد گیبس (کیلوژول بر مول)، ΔH°: آنتالیی استاندارد (کیلوژول بر مول)، ΔS°: نتروپی استاندارد (کیلوژول بر مول کلوین)، L: مدل ایزوترم لانگمویر، F: مدل ایزوترم فرونولیج، DR: دوبینین-رادوشکویچ و NA: محقق نشد.

جدول ۹: ویژگی‌های تحلیلی مشخصه‌های همدا و سینتیکی جذب رودامین B با روش‌های مختلف در سال ۲۰۱۹

Table 9: Analytical features of isothermal and kinetic parameters of adsorption RhB by different techniques during 2019.

Adsorbent	Isothermal					Kinetic parameters						Ref.		
	Langmuir			Freundlich		Pseudo-first order			Pseudo-second order					
	q_m (mg/g)	K_L	R^2	R_L	K_F	n	R^2	K_1 (min ⁻¹)	q_e (mg/g)	R^2	K_2 (g/min mg)	q_e (mg/g)	R^2	
Acid activated locust bean	455	4.66	0.9991	0.6	80	0.4	0.9966	0.03	73	0.9865	0.1	909	0.9941	[88]
Hybrid ion-exchanger	1.23	0.97	0.992	0	1.2	1.2	0.986	0.01	51	0.854	0.3	69.4	0.992	[18]
MgO nanoparticle	2791	0.07	0.991	0	18	1.2	0.9993	3.92	0.9	0.9823	0.2	95.4	0.9992	[36]
Activated sugar-based carbon (ASC)	123	0.72	0.9796	0.2	50	2.7	0.6416	0.39	61	0.9679	0.7	71.9	0.9982	[17]
Zeolitic imidazolate frameworks (ZIF)	85	0.01	0.9970	NA	0.9	3.9	0.8048	0.01	21	0.8377	0.2	73	0.9989	[41]

Q_m: بیشینه ظرفیت جذب تک‌لایه رودامین B در واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)، K_L: ثابت لانگمویر مربوط به انرژی اتصال جذب رودامین B (لیتر بر میلی گرم)، R_L: نشان‌دهنده ضریب جداسازی بدون بعد است، K_F: ظرفیت جاذب (لیتر بر گرم)، n: نشان می‌دهد که فرآیند جذب از نظر ناهمگنی سطحی و میل ترکیبی برای جاذب چقدر مطلوب است، q_e: مقدار تعادل جاذب در واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)، K₁: مدل سینتیکی مرتبه اول (بر دقیقه)، K₂: مدل سینتیکی مرتبه دوم (گرم بر میلی گرم بر دقیقه)، R: فاکتور همبستگی و NA: محقق نشد.

جدول ۱۰: ویژگی‌های تحلیلی پارامترهای تجربی و ترمودینامیکی جذب رودامین B با تکنیک‌های مختلف در سال ۲۰۲۰

Table 10: Analytical features of experimental and thermodynamic parameters of adsorption RhB by different techniques during 2020.

Adsorbent	Thermodynamic						Experimental Parameters					Ref.
	Q_{max} (mg/g)	pH	T (K)	C^o (mg/L)	T (min)	AD (g/L)	Model	ΔG° (kJ/mol)	ΔH° (kJ/mol)	ΔS° (J/mol K)		
Cassava slag biochar (HCS)	105.3	4.99	35	500	1-720	0.1	L, F, DR, T	-8.116	222.5	1.192		[70]
Dowex 5WX8 Resin	43.47	2.8	25	50	12	0.08	L, F	NA	NA	NA		[83]
Three-dimensional layered double hydroxide	49.6	NA	150	60	30	0.05	L, F	NA	NA	NA		[90]
SiO ₂ /TiO ₂ composite powders	625	3.2	25	75-300	8.6	NA	L,F	NA	-14.75	-40.43		[30]
CdO nanomaterial	NA	6	35	10-100	80	0.1	L, F, T	-79.55	NA	NA		[91]
Ni-graphene hybrid composites (NGC25b)	963	NA	70	120	15	NA	L, F	NA	NA	NA		[74]
Grass-Waste	54	6.6	35	100	400	0.1	L, F	-0.23	20.28	0.07		[49]

Q_{max}: بیشینه جذب رودامین B جذب شده در واحد جرم جاذب پس از تعادل (میلی گرم بر گرم)، T: دما (درجه سانتی‌گراد)، C₀: غلظت اولیه (میلی گرم بر لیتر)، T: زمان تماس تعادل (دقیقه)، AD: مقدار جاذب (گرم بر لیتر)، ΔG° : انرژی آزاد استاندارد گیبس (کیلوژول بر مول)، ΔH° : آنتالپی استاندارد (کیلوژول بر مول)، ΔS° : آنتروپی استاندارد (کیلوژول بر مول کلوین)، L: مدل ایزوتوپ لانگمویر، F: مدل ایزوتوپ فرونندیچ، DR: دوبینن-رادوشکویچ و NA: محقق نشد.

جدول ۱۱: ویژگی‌های تحلیلی مشخصه‌های هم‌دما و سینتیکی جذب رودامین B با روش‌های مختلف در سال ۲۰۲۰.

Table 11. Analytical features of isothermal and kinetic parameters of RhB adsorption by different techniques during 2020.

Adsorbent	Isothermal							Kinetic parameters						
	Langmuir			Freundlich				Pseudo-first order			Pseudo-second order			
	q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	R_L	K_F	n	R^2	K_1 (min ⁻¹)	q_e (mg/g)	R^2	K_2 (g/min mg)	q_e (mg/ g)	R^2	Ref.
Cassava slag biochar (HCS)	105.3	0.51	0.973	NA	12.9	2.3	0.989	0.038	5.09	0.923	0.01	24.1	0.99	[70]
Dowex 5WX8 Resin	43.4	0.01	0.990	0.2	NA	< 1	0.087	NA	NA	NA	NA	NA	NA	[83]
Three-dimensional layered double	52.63	0.3	0.930	NA	18.6	3.8	0.982	0.7	25.9	0.9872	0.08	50.8	0.999	[90]
SiO ₂ /TiO ₂ composite powders	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	[30]
CdO nanomaterial	361.01	0.68	0.994	NA	1.63	0.8	0.989	0.006	4.008	0.906	0.01	3.5	0.9907	[91]
Ni-graphene hybrid composites (NGC25b)	963.04	NA	0.957	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.9989	NA	NA	NA	[74]

q_m : بیشینه ظرفیت جذب تک لایه رودامین B در واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)، K_L : ثابت لانگمویر مربوط به انرژی اتصال جذب رودامین B (لیتر بر میلی گرم)، R_L : نشان‌دهنده ضریب جداسازی بدون بعد است، K_F : ظرفیت جاذب (لیتر بر گرم)، n: نشان می‌دهد که فرآیند جذب از نظر ناهمگنی سطحی و میل ترکیبی برای جاذب چقدر مطلوب است، q_e : مقدار تعادل جاذب در واحد جرم جاذب (میلی گرم بر گرم)، K_1 : مدل سینتیکی مرتبه اول (بر دقیقه)، K_2 : مدل سینتیکی مرتبه دوم (گرم بر میلی گرم بر دقیقه)، R^2 : فاکتور همبستگی و NA: محقق نشد.

داد که روش جذب با استفاده از جاذب‌های طبیعی مانند پوست میوه‌های مختلف و پوسته برنج برای حذف بهتر ماده رنگزای رودامین B مفید و مقوون به صرفه است. تحقیقات بیشتر برای ارزیابی امکان استفاده از زیست‌توده پسماندهای اصلاح شده دیگر برای کنترل آلودگی صنعتی در حال انجام است.

تشکر و قدردانی

تعارض منافع

در این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی توسط نویسنده‌گان گزارش نشده است.

۴- نتیجه‌گیری

این مطالعه، به بررسی و مرور اطلاعات اخیر و برنامه‌های کاربردی آینده برای جذب ماده رنگزای رودامین B پرداخته است. نتایج نشان داد که داده‌های سینتیکی جذب ماده رنگزای رودامین B معمولاً از مدل‌های سینتیکی شبه‌مرتبه اول و شبه‌مرتبه دوم پیروی می‌کنند. همچنین مشخص شده است که مدل‌های ایزووترم جذب لانگمویر و فروندلیچ اغلب برای ارزیابی ظرفیت جذب جاذب‌ها استفاده می‌شوند. علاوه بر این، بررسی ترمودینامیکی نشان داد که جذب رودامین B گرم‌گیر و بدون محدودیت است. بنابراین، هر دو روش تجزیه کاتالیزوری نوری و جذب، قابلیت‌های خوبی برای حذف ماده رنگزای رودامین B از پساب‌های صنعتی ارائه می‌دهند. بررسی حاضر نشان

۵- مراجع

- I. Ali, V.K. Gupta, H.Y. Aboul-Enein, "Metal ion speciation and capillary electrophoresis: application in the new

- millennium", *Electrophoresis*, 26, 3988–4002, **2005**.
2. A.A. Basheer, "Chemical chiral pollution: Impact on the society and science and need of the regulations in the 21st century", *Chirality*, 30, 402–406, **2018**.
 3. A. A. Basheer, I. Ali, "Stereoselective uptake and degradation of (\pm)-*o,p*-DDD pesticide stereomers in water-sediment system", *Chirality*, 30, 1088–1095, **2018**.
 4. A. A. Basheer, "New generation nano-adsorbents for the removal of emerging contaminants in water", *J. Mol. Liq.* 261, 583–593, **2018**.
 5. Y. Li, X. Yan, X. Hu, R. Feng, M. Zhou, "Trace pyrolyzed ZIF-67 loaded activated carbon pellets for enhanced adsorption and catalytic degradation of Rhodamine B in water", *Chem. Eng. J.* 375, 122003, **2019**.
 6. N. Nekouei Marnani, A. Shahbazi, "A novel environmental-friendly nanobiocomposite synthesis by EDTA and chitosan functionalized magnetic graphene oxide for high removal of Rhodamine B: Adsorption mechanism and separation property", *Chemosphere*. 218, 715–725, **2019**.
 7. Z. Li, N. Potter, J. Rasmussen, J. Weng, G. Lv, "Removal of rhodamine 6G with different types of clay minerals", *Chemosphere*. 202, 127–135, **2019**.
 8. A. A. Inyinbor, F. A. Adekola, G.A. Olatunji, "Kinetics, isotherms and thermodynamic modeling of liquid phase adsorption of Rhodamine B dye onto *Raphia hookerie* fruit epicarp". *Water Resour. Ind.* 15, 14–27, **2016**.
 9. P. Tao, Y. Xu, C. Song, Y. Yin, Z. Yang, S. Wen, S. Wang, H. Liu, S. Li, C. Li, T. Wang, M. Shao, "A novel strategy for the removal of Rhodamine B (RhB) dye from wastewater by coal-based carbon membranes coupled with the electric field", *Sep. Purif. Technol.* 179, 175–183, **2019**.
 10. R. Sabarish, G. Unnikrishnan, "Novel biopolymer 401template hierarchical silicalite-1 as an adsorbent for the removal of Rhodamine B", *J. Mol. Liq.* 272, 919–929, **2018**.
 11. E. Ghasemi, M. Kaykhaii, "Application of Micro-cloud point extraction for spectrophotometric determination of Malachite green, Crystal violet and Rhodamine B in aqueous samples", *Spectrochim. Acta, Part A*. 164, 93–97, **2016**.
 12. B. Bethi, V. Manasa, K. Srinija, S. H. Sonawane, "Intensification of Rhodamine-B dye removal using hydrodynamic cavitation coupled with hydrogel adsorption", *Chem. Eng. Process.* 134, 51–57, **2018**.
 13. A. L. D. Da Rosa, E. Carissimi, G. L. Dotto, H. Sander, L. A. Feris, "Biosorption of Rhodamine B dye from dyeing stones effluents using the green microalgae", *Chlorella pyrenoidosa*, *J. Cleaner Prod.* 198, 1302–1310, **2018**.
 14. Y. Yu, C. Wang, L. Luo, J. Wang, J. Meng, "An environment-friendly route to synthesize pyramid-like g-C₃N₄ arrays for efficient degradation of Rhodamine B under visible-light irradiation". *Chem. Eng. J.* 334, 1869–1877, **2018**.
 15. P. Pascariu, A. Airinei, N. Olaru, L. Olaru, V. Nica, "Photocatalytic degradation of Rhodamine B dye using ZnO-SnO₂ electrospun ceramic nanofibers", *Ceram. Int.* 42, 6775–6781, **2016**.
 16. S.P. Patil, B. Bethi, G.H. Sonawane, V.S. Srivastava, S. Sonawane, "Efficient adsorption and photocatalytic degradation of Rhodamine B dye over Bi₂O₃-bentonite nanocomposites: A kinetic study". *J. Ind. Eng. Chem.*, 34, 356–363, **2016**.
 17. W. Xiao, Z. N. Garba, S. Sun, I. Lawan, L. Wang, M. Lin, Z. Yuan, "Preparation and evaluation of an effective activated carbon from white sugar for the adsorption of Rhodamine B dye". *J. Cleaner Prod.* 253, 119989, **2020**.
 18. V. Saruchi, Kumar, "Adsorption kinetics and isotherms for the removal of Rhodamine B dye and Pb²⁺ ions from aqueous solutions by a hybrid ion-exchanger", *Arabian J. Chem.* 12, 316–329, **2019**.
 19. T.A. Saleh, I. Ali, "Synthesis of polyamide grafted carbon microspheres for removal of Rhodamine B dye and heavy metals", *J. Environ. Chem. Eng.* 6, 5361–5368, **2018**.
 20. J. Chen, X. Zhu, "Magnetic solid phase extraction using ionic liquid-coated core-shell magnetic nanoparticles followed by high-performance liquid chromatography for determination of Rhodamine B in food samples", *Food Chem.* 200, 10–15, **2016**.
 21. I. Ali, A.E. Burakov, A.V. Melezlik, A.V. Babkin, I.V. Burakova, E.A. Neskomornaya, E.V. Galunin, A.G. Tkachev, D.V. Kuznetsov, "Removal of copper(II) and zinc(II) ions in water on a newly synthesized polyhydroquinone/graphene nanocomposite material: kinetics, thermodynamics and mechanism", *Chem. Select*, 4, 12708–12718, **2019**.
 22. I. Ali, O. M. L Alharbi, Z.A. Alothman, A. M. Al-Mohaimeed, A. Alwarthan, "Modeling of fenuron pesticide adsorption on CNTs for mechanistic insight and removal in water", *Environ. Res.* 170, 389–397, **2019**.
 23. I. Ali and H.Y. Aboul-Enein, "Speciation of metal ions by capillary electrophoresis", *Crit. Rev. Anal. Chem.* 32, 337–350, **2002**.
 24. E.A. Burakova, T.P. Dyachkova, A.V. Rukhov, E.N. Tugolukov, E.V. Galunin, A.G. Tkachev, A.A. Basheer, I. Ali, "Novel and economic method of carbon nanotubes synthesis on a nickel magnesium oxide catalyst using microwave radiation", *J. Mol. Liq.* 253, 340–346, **2018**.
 25. I. Ali, "Microwave assisted economic synthesis of multi walled carbon nanotubes for arsenic species removal in water: Batch and column operations", *J. Mol. Liq.* 271, 677–685, **2018**.
 26. I. Ali, O.M.L. Alharbi, Z.A. Alothman, A. Alwarthan, "Facile and eco-friendly synthesis of functionalized iron nanoparticles for cyanazine removal in water", *Colloids Surf. B*, 171, 606–613, **2018**.
 27. J. Tian, A.M. Olajuyin, T. Mu, M. Yang, M., J. Xing, "Efficient degradation of rhodamine B using modified graphite felt gas diffusion electrode by electro-Fenton process". *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 11574–11583, **2016**.
 28. R. Ianoş, C. Păcurariu, S.G. Muntean, E. Muntean, M.A. Nistor, D. Nižnanský, "Combustion synthesis of iron oxide/carbon nanocomposites, efficient adsorbents for anionic and cationic dyes removal from wastewaters". *J. Alloys Compd.* 741, 1235–1246, **2018**.
 29. M. Tariq, M. Muhammad, J. Khan, A. RaziqM.K. Uddin, A. Niaz, S.S. Ahmed, A. Rahim, "Removal of Rhodamine B dye from aqueous solutions using photo-Fenton processes and novel Ni-Cu@MWCNTs photocatalyst". *J. Mol. Liq.* 312, 113399, **2020**.
 30. D. Wang, P. Hou, D. Stephan, S. Huang, L. Zhang, P. Yang, X. Cheng, "SiO₂/TiO₂ composite powders deposited on cement-based materials: Rhodamine B removal and the bonding mechanism", *Constr. Build. Mater.* 241, 118124, **2020**.
 31. V. Kumar, M. Singh, K. Behera, S. Pandey, "Ionic liquid induced removal of Rhodamine B from water". *J. Mol. Liq.* 319, 114195, **2020**.
 32. J. Zhang, X. Yan, X. Hu, R. Feng, M. Zhou, "Direct carbonization of Zn/Co zeolitic imidazolate frameworks for efficient adsorption of Rhodamine B". *Chem. Eng. J.* 347,

640–647, 2018.

33. A. A. Oyekanmi, A. Ahmad, K. Hossain, and M. Rafatullah, "Statistical optimization for adsorption of Rhodamine B dye from aqueous solutions", *J. Mol. Liq.* 281, 48–58, 2019.
34. M. Sundararajan, L.J. Kennedy, "Photocatalytic removal of Rhodamine B under irradiation of visible light using Co_{1-x}Cu_xFe₂O₄ (0 ≤ x ≤ 0.5) nanoparticles", *J. Environ. Chem. Eng.* 5, 4075–4092, 2017.
35. S. Jonjana, A. Phuruangrat, T. Thongtem, B. Kuntalue, S. Thongtem, "Decolorization of Rhodamine B photocatalyzed by Ag₃PO₄/Bi₂WO₆ nanocomposites under visible radiation", *Mater. Lett.* 218, 146–149, 2018.
36. S. Rahdar, A. Rahdar, M.N. Zafar, S.S Shafqat, S. Ahmadi, "Synthesis and characterization of MgO supported Fe-Co-Mn nanoparticles with exceptionally high adsorption capacity for Rhodamine B dye", *J. Mater. Res. Technol.* 8, 3800–3810, 2019.
37. A. Stavrinou, C. A. Aggelopoulos, C.D. Tsakiroglou, "Exploring the adsorption mechanisms of cationic and anionic dyes onto agricultural waste peels of banana, cucumber and potato: Adsorption kinetics and equilibrium isotherms as a tool", *J. Environ. Chem. Eng.* 6, 6958–6970, 2018.
38. N.H. Al-Shaan, I. Ali, Z.A. Alothman, L.H. Al-Wahaibi, H. Alabdulmonem, "High performance removal and simulation studies of diuron pesticide in water on MWCNTs", *J. Mol. Liq.* 289, 111039, 2019.
39. I. Ali, , O. M.L. Alharbi, Z.A. Al-Othman, A. Alwarthan, A.M. Al-Mohaimeed, "Preparation of a carboxymethylcellulose-iron composite for uptake of atorvastatin in water", *Int. J. Biol. Macromol.* 132, 244–253, 2019.
40. I. Ali, O.M.L. Alharbi, Z.A. Al-Othman, A.Y. Badjah, "Kinetics, thermodynamics, and modeling of amido black dye photodegradation in water using Co/TiO₂ nanoparticles". *Photochem. Photobiol.* 94, 935–941, 2018.
41. J. Zhang, X. Hu, X. Yan, R. Feng, M. Zhou, J. Xue, "Enhanced adsorption of Rhodamine B by magnetic nitrogen-doped porous carbon prepared from bimetallic ZIFs". *Colloids Surf. A*, 575, 10–17, 2019.
42. A. Waheed, M. Mansha, I.W. Kazi, N. Ullah, "Synthesis of a novel 3,5-diacylamidobenzoic acid based hyper-cross-linked resin for the efficient adsorption of Congo Red and Rhodamine B", *J. Hazard. Mater.* 369, 528–538, 2019.
43. H. Yao, X. Wang, J. Gao, C. Gao, R. Zhao, X. Zhai, Y. Wu, C. Hao, J. Yang, S. Mei, H. Qiu, "Hydrothermal synthesis of flower-like Cu₂MoS₄/g-C₃N₄ composite and its adsorption performances for Rhodamine B", *Mater. Chem. Phys.* 223, 648–658, 2019.
44. R. Jinisha, R. Gandhimathi, S.T. Ramesh, P.V. Nidheesh, S. Velmathi, "Removal of Rhodamine B dye from aqueous solution by electro-Fenton process using iron-doped mesoporous silica as a heterogeneous catalyst". *Chemosphere*, 200, 446–454, 2018.
45. A. Baddouh, G.G. Bessegato, M.M. Rguiti, B. El Ibrahim, L. Bazzi, M. Hilali, M.V.B. Zanoni, "Electrochemical decolorization of Rhodamine B dye: Influence of anode material, chloride concentration and current density". *J. Environ. Chem. Eng.* 6, 2041–2047, 2018.
46. D. Li, J. Li, J., J. Tang, "Mercury oxide as an efficient photocatalyst for degradation of Rhodamine B dye under visible-light irradiation", *Solid State Sci.* 61, 201–206, 2016.
47. N. Belachew, D. Rama Devi, K. Basavaiah, "Green synthesis and characterisation of L-Serine capped magnetite nanoparticles for removal of Rhodamine B from contaminated water". *J. Exp. Nanosci.* 12, 114–128, 2017.
48. S. Singh, N. Parveen, H. Gupta, "Adsorptive decontamination of Rhodamine-B from water using banana peel powder: A biosorbent", *Environ. Technol. Innovation*, 12, 189–195, 2018.
49. A. Zahir, Z. Aslam, U. Aslam, A. Abdullah, R. Ali, M.M. Bello, "Paspalum notatum grass-waste-based adsorbent for Rhodamine B removal from polluted water", *Chem. Biochem. Eng. Q.* 34, 93–104, 2020.
50. A.A. Al-Gheethi, Q. M. Azhar, P.S. Kumar, A. A. Yusuf, A. K. Al-Buraihi, R. M. S.R. Mohamed, M. M. Al-Shaibani, "Sustainable approaches for removing Rhodamine B dye using agricultural waste adsorbents. A review", *Chemosphere*. 287, 132080, 2022.
51. S. Imam, H. Babamale, "A short review on the removal of Rhodamine B dye using agricultural waste-based adsorbents", *Asian J. Chem. Sci.* 7, 25–37, 2020.
52. A. Shahzadi, S. Nosheen, S. Kiran, S. Riaz, T.A. Mughal, L. Shahid, "Plant waste utilization as ecofriendly sorbents for removal of reactive dyes from wastewater", *Pak. J. Sci.* 72, 119, 2020.
53. A.I. Alwared, T.J. Al-Musawi, L.F. Muhsin, A.A. Mohammed, "The biosorption of reactive red dye onto orange peel waste: A study on the isotherm and kinetic processes and sensitivity analysis using the artificial neural network approach", *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28, 2848–2859, 2020.
54. A. Stavrinou, C. A. Aggelopoulos, C. D. Tsakiroglou, "A methodology to estimate the sorption parameters from batch and column tests: The case study of methylene blue sorption onto banana peels", *Processes*, 8, 1467, 2020.
55. A.K. Nayak, A. Pal, "Statistical modeling and performance evaluation of biosorptive removal of Nile blue A by lignocellulosic agricultural waste under the application of high-strength dye concentrations", *J. Environ. Chem. Eng.* 8, 103677, 2020.
56. Z. M. Saigil, A. M. Ahmed, "Separation of Rhodamine B dye from aqueous media using natural pomegranate peels", *Indones. J. Chem.* 21, 212–224, 2021.
57. L.B.L. Lim, N. Priyantha, X.Y. Fang, N.A.H. Mohamad Zaidi, "Artocarpusodoratissimus peel as a potential adsorbent in environmental remediation to remove toxic Rhodamine B dye", *J. Mater. Environ. Sci.*, 8, 494–502, 2017.
58. K. Shen, M.A. Gondal, "Removal of hazardous Rhodamine dye from water by adsorption onto exhausted coffee ground" *J. Saudi Chem. Soc.* 21 (Suppl. 1), 120–127, 2017.
59. M. K. Dahri, M. R. R. Kooh, L.B.L. Lim, "Remediation of Rhodamine B dye from aqueous solution using *Casuarina equisetifolia* cone powder as a low-cost adsorbent", *Adv. Phys. Chem.* 2016, 9497378, 2016.
60. Z.N. Garba, A.A. Rahim, "Evaluation of optimal activated carbon from an agricultural waste for the removal of para-chlorophenol and 2,4-dichlorophenol", *Prot. Process Saf. Environ.* 102, 54–63, 2016.
61. A.A. Al-Saadi, T.A. Saleh, V.K. Gupta, "Spectroscopic and computational evaluation of cadmium adsorption using activated carbon produced from rubber tires". *J. Mol. Liq.* 188, 136–142, 2013.
62. A. Nasrullah, B. Saad, A.H. Bhat, A.S. Khan, M. Danish, M.H. Isa, A. Naeem, "Mangosteen peel waste as a sustainable precursor for high surface area mesoporous activated carbon: Characterization and application for

- methylene blue removal", *J. Cleaner Prod.* 211, 1190–1200, **2019**.
63. T. Senthilkumar, S.K. Chattopadhyay, L.R. Miranda, "Optimization of activated carbon preparation from pomegranate peel (*Punica granatum* peel) using RSM", *Chem. Eng. Commun.* 204, 238–248, **2017**.
 64. W. Xiao, Z.N. Garba, S. Sun, I. Lawan, L. Wang, M. Lin, Z. Yuan, "Preparation and evaluation of an effective activated carbon from white sugar for the adsorption of Rhodamine B dye", *J. Cleaner Prod.* 253, 119989, **2020**.
 65. R.R. Alcántara, R.O.R. Muniz, D.A. Fungaro, "Full factorial experimental design analysis of Rhodamine B removal from water using organozeolite from coal bottom ash". *Int. J. Energy Environ.* 7, 357–374, **2016**.
 66. L. Dai, W. Zhu, L. He, F. Tan, N. Zhu, Q. Zhou, M. He, G. Hu, "Calcium-rich biochar from crab shell: An unexpected super adsorbent for dye removal". *Bioresour. Technol.* 267, 510–516, **2018**.
 67. D.D. Sewu, P. Boakye, S.H. Woo, "Highly efficient adsorption of cationic dye by biochar produced with Korean cabbage waste". *Bioresour. Technol.* 224, 206–213, **2017**.
 68. L. Jin, X. Zhao, X. Qian, M. Dong, "Nickel nanoparticles encapsulated in porous carbon and carbon nanotube hybrids from bimetallic metal-organic-frameworks for highly efficient adsorption of dyes". *J. Colloid Interface Sci.* 509, 245–253, **2018**.
 69. F.A. Adekola, S.B. Ayodele, A.A. Inyinbor, "Activated biochar prepared from plantain peels: Characterization and Rhodamine B adsorption data set". *Chem. Data Collect.* 19, 100170, **2019**.
 70. J. Wu, J. Yang, G. Huang, C. Xu, B. Lin, B., "Hydrothermal carbonization synthesis of cassava slag biochar with excellent adsorption performance for Rhodamine B". *J. Cleaner Prod.* 251, 119717, **2020**.
 71. Z. Esvandi, R. Foroutan, S.J. Peighambarioust, A. Akbari, B. Ramavandi, "Uptake of anionic and cationic dyes from water using natural clay and clay/starch/MnFe₂O₄ magnetic nanocomposite". *Surf. Interfaces*, 21, 100754, **2020**.
 72. M. Rahmani, M. Kaykhaii, M. Sasani, "Application of Taguchi L16 design method for comparative study of ability of 3A zeolite in removal of Rhodamine B and Malachite green from environmental water samples", *Spectrochim. Acta, Part A*. 188, 164–169, **2018**.
 73. Z.L. Cheng, Y.X. Li, Z. Liu, "Novel adsorption materials based on graphene oxide/Beta zeolite composite materials and their adsorption performance for rhodamine B", *J. Alloys Compd.* 708, 255–263, **2017**.
 74. X. Tao, S. Wang, Z. Li, "Ultrasound-assisted bottom-up synthesis of Ni-graphene hybrid composites and their excellent Rhodamine B removal properties", *J. Environ. Manage.* 255, 109834, **2020**.
 75. B. Damiyine, A. Guenbour, R. Boussen, "Rhodamine B adsorption on natural and modified Moroccan clay with cetyltrimethylammonium bromide: Kinetics, equilibrium and thermodynamics". *J. Mater. Environ. Sci.* 8, 860–871, **2017**.
 76. A. Thakur, H. Kaur, "Response surface optimization of Rhodamine B dye removal using paper industry waste as adsorbent". *Int. J. Ind. Chem.*, 8 (2), 175186, **2017**.
 77. W. Cui, X. Kang, X. Zhang, X. Cui, "Gel-like ZnO/Zr-MOF(bpy) nanocomposite for highly efficient adsorption of Rhodamine B dye from aqueous solution", *J. Phys. Chem. Solids*, 134, 165–175, **2019**.
 78. W. Konicki, D. Siber, U. Narkiewicz, "Removal of Rhodamine B from aqueous solution by ZnFe₂O₄ nanocomposite with magnetic separation performance", *Pol. J. Chem. Technol.* 19, 65–74, **2017**.
 79. J. Singh, S. Basu, "Synthesis of mesoporous magnetic Fe₂O₃/g-C₃N₄ monoliths for Rhodamine B removal". *Microporous Mesoporous Mater.* 303, 110299, **2020**.
 80. Y.N. Ren, W. Xu, L.X. Zhou, Y.Q. Zheng, "Efficient tetracycline adsorption and photocatalytic degradation of rhodamine B by uranyl coordination polymer", *J. Solid State Chem.* 251, 105–112, **2017**.
 81. L. Laysandra, M.W.M.K. Sari, F.E. Soetaredjo, K. Foe, J.N. Putro, A. Kurniawan, Y.H. Ju, S. Ismadji, "Adsorption and photocatalytic performance of bentonite-titanium dioxide composites for methylene blue and rhodamine B decoloration", *Heliyon*, 3, **2017**.
 82. H. Huang, J. Zhang, L. Jiang, Z. Zang, "Preparation of cubic Cu₂O nanoparticles wrapped by reduced graphene oxide for the efficient removal of rhodamine B", *J. Alloys Compd.* 718, 112–115, **2017**.
 83. M. A. Khan, M. R. Momina, Siddiqui, M. Otero, S. A. Alshareef, M. Rafatullah, "Removal of Rhodamine B from water using a solvent impregnated polymeric Dowex 5WX8 resin: Statistical optimization and batch adsorption studies", *Polym.* 12, 1–12, **2020**.
 84. M. R. R. Kooh, L. B. L. Lim, L. H. Lim, M. K. Dahri, "Separation of toxic rhodamine B from aqueous solution using an efficient low-cost material, *Azolla pinnata*, by adsorption method", *Environ. Monit. Assess.* 188, 1–15, **2016**.
 85. P. Parthasarathy, S.K. Narayanan, "Determination of kinetic parameters of biomass samples using thermogravimetric analysis". *Environ. Prog. Sustainable Energy*, 33, 256–266, **2014**.
 86. D. L. Postai, C. A. Demarchi, F. Zanatta, D. C. C. Melo, C. A. Rodrigues, "Adsorption of Rhodamine B and methylene blue dyes using waste of seeds of *Aleurites Moluccana*, a low cost adsorbent", *Alexandria Eng. J.* 55, 1713–1723, **2016**.
 87. M. A. Shouman, N. A. Fathy, "Microporous nanohybrids of carbon xerogels and multi-walled carbon nanotubes for removal of Rhodamine B dye", *J. Water Process Eng.* 23, 165–173, 2018.
 88. O.S. Bello, K.A. Adegoke, O.O. Sarumi, O.S. Lameed, "Functionalized locust bean pod (*Parkia biglobosa*) activated carbon for Rhodamine B dye removal", *Heliyon*. 5, **2019**.
 89. J. Wang, M. Gao, T. Shen, M. Yu, Y. Xiang, J. Liu, "Insights into the efficient adsorption of rhodamine B on tunable organo-vermiculites", *J. Hazard. Mater.* 366, 501–511, **2019**.
 90. Z. Zhu, M. Xiang, P. Li, L. Shan, P. Zhang, "Surfactant-modified three-dimensional layered double hydroxide for the removal of methyl orange and Rhodamine B: Extended investigations in binary dye systems", *J. Solid State Chem.* 288, 121448, **2020**.
 91. P.S. Geetha Malini, P. Durgadevi, N. Senthil Kumar, S. Rani, "Synthesis and characterisation of CdO nanoparticles: An efficient nanomaterial for the removal of Rhodamine B". *Mater. Today: Proc.* In Press, Corrected Proof.
 92. P. Saharan, A.K. Sharma, V. Kumar, I. Kaushal, "Multifunctional CNT supported metal doped MnO₂ composite for adsorptive removal of anionic dye and thiourea sensing". *Mater. Chem. Phys.* 221, 239–249, **2019**.
 93. I. Skarga-Bandurova, Y. Krytska, M. Shorokhov, O.

Suvorin, L. Barbaruk, M. Ozheredova, "Towards development IoT-based water quality monitoring system", The 7th International Conference on Future Internet of

Things and Cloud Workshops, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 140–145, 2019..

How to cite this article:

T. Navai diva Various Adsorbents for Removal of Rhodamine B Dye: A Review, *J. Stud. Color world*, 12, 4(2023), 387-404.

DOR: 20.1001.1.22517278.1401.12.4.6.7

متن حاضر ترجمه‌ای از مقاله انگلیسی با عنوان زیر می‌باشد:

عنوان: Various Adsorbents for Removal of Rhodamine B Dye: A Review.

Doi: 10.22146/ijc.62863