

## بررسی حذف رنگ کنگورد از پساب‌های صنعتی با استفاده از روش جذب سطحی

محدثه توکلی<sup>۱\*</sup>، نیلوفر عابدین زاده<sup>۲</sup>

[mohadesetavakoli000@gmail.com](mailto:mohadesetavakoli000@gmail.com)

### Investigation of Congored dye removal from industrial waste water using adsorption method

Mohadesse Tavakoli<sup>\*1</sup>, Niloofar Abedinzade<sup>2</sup>

1- M.Sc of Analytical Chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, Islamic Azad University of Rasht, Rasht, Iran

2- Faculty member of the Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Environmental Research Institute, Rasht, Iran

These days, the removal of various dyes from industrial wastewater has become an important concern. Synthetic dyes used in industries such as textiles are complex, toxic and mutant organic materials. Congored is also an acidic dye that is considered a high- risk source of contamination and threatens the lives of humans and other living organisms. Different methods, such as electrochemical, physical and biological processes, are used to remove organic pigment from aqueous samples. Adsorption is one of the most effective modern methods of industrial wastewater treatment, which is a relatively simple and inexpensive process that produces non- toxic and low- risk products. The purpose of this study is removing the Congored dye from aqueous solutions and reviewing the accomplished researches for remove it.

**Keywords:** Adsorption, Congored, Contamination, Dye removal, Industrial Wastewater

### چکیده

این روزها، حذف رنگ‌های مختلف از پساب‌های صنعتی به دغدغه‌ای مهم تبدیل شده است. رنگ‌های مصنوعی مورد استفاده در صنایعی مانند نساجی، موادی آلی با ساختاری پیچیده، سمی و جهش‌زا هستند. کنگورد نیز، رنگی اسیدی است که یک منبع آلودگی پرخطر به حساب می‌آید و زندگی انسان و سایر جانداران زمین را مورد تهدید قرار می‌دهد. روش‌های مختلفی مانند فرآیندهای الکتروشیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی به منظور حذف رنگینه آلی کنگورد از نمونه‌های آبی وجود دارد. جذب سطحی، یکی از مؤثرترین روش‌های مدرن تصفیه پساب‌های صنعتی می‌باشد که فرآیندی نسبتاً ساده و ارزان بوده و محصولات غیرسمی و کم‌خطر ایجاد می‌کند. هدف از این پژوهش، لزوم حذف رنگینه کنگورد از محلول‌های آبی و مروری بر پژوهش‌های انجام گرفته برای حذف آن است.

**کلید واژه‌ها:** حذف رنگ، کنگورد، پساب صنعتی، جذب سطحی، آلودگی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد شیمی تجزیه، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، گیلان

۲- عضو هیئت علمی پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی رشت، گیلان

مقدمه

از مهم‌ترین صنایع پایه هر کشور صنعت نساجی می‌باشد و این باعث شده یکی از بزرگترین آلوده‌کنندگان آب‌های جهان نیز باشد. همین عامل، ضرورت تصفیه پساب صنعت نساجی را اثبات می‌کند. از طرف دیگر، با توجه به پیشبینی‌های انجام شده، در سال‌های آینده کمبود شدید آب به‌علت مصرف بی‌رویه رخ می‌دهد. در این شرایط، فاضلاب تصفیه شده دومین منبع آب غیرآشامیدنی مورد کاربرد در صنعت می‌باشد. به این ترتیب، فرآیند حذف رنگ با وجود هزینه و تولید آلاینده‌های فرعی امری ضروری است (گوپتا<sup>۱</sup> و سوهاس<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹).

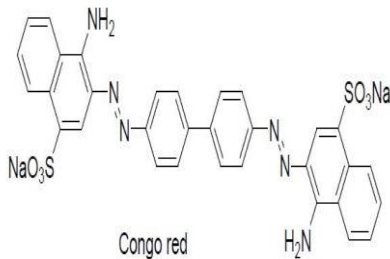
جذب سطحی در جهت حذف آلاینده از فاضلاب می‌باشد. در اینجا، ما به حذف رنگ کنگورد می‌پردازیم. این رنگ، به علت آلودگی زیادی که در آب ایجاد می‌کند، انتخاب شده است. کنگورد<sup>۳</sup> نمک سدیمی از بنزیدین دی آزو- بیس- ۱- نفتیل آمین- ۴- سولفونیک اسید<sup>۴</sup> می‌باشد و فرمول مولکولی آن  $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$  است. رنگ‌های آزو<sup>۵</sup> پایدارند و به راحتی از بین نمی‌روند. بسیاری از محققان، برای حذف، از زائدات کشاورزی از قبیل پوسته بذر، پوست گردو، هسته زردآلو، چوب درخت آناناس یا صدف دریایی، پوسته تخم‌مرغ، خاک اره و نانوجاذب‌ها استفاده می‌کنند. در کشورهای توسعه‌یافته، استفاده از کربن فعال<sup>۶</sup>، به‌عنوان جاذب، در مقیاس صنعتی، کاربرد فراوان دارد و علت آن، جامد بودن، ارزان بودن، سادگی کاربرد، تخلخل، راندمان بالا و دسترسی آسان می‌باشد (رنگاراج<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۲).

نانوذرات مغناطیسی، از دیگر جاذب‌های مناسب برای حذف رنگ است که به علت سایز کوچک و مساحت سطح بالا واکنش پذیری زیادی دارد و سازگاری آن با محیط زیست نیز، بیشتر است. در بررسی عملکرد جاذب‌ها پارامترهایی مثل pH، زمان تماس، غلظت رنگ، دما و مقدار جاذب بررسی می‌شود (نورمی<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۵).

• رنگینه کنگورد

کنگورد (شکل ۱)، یک رنگ سنتزی و سمی است که باعث

ایجاد سرطان در انسان می‌شود. این رنگ در آب قابل حل بوده و محلول کلونیدی قرمز رنگ تولید می‌کند. کنگورد با نام آیوپاک ۱- نفتالین سولفونیک اسید، ۳، ۳'-(۴، ۴'- بای فنیلین بیس آزو) بیس (۴- آمینو دی سدیم)، دارای عامل بنزیدین است که موجب بعضی از واکنش‌های حساسیتی و شوک‌های آنافیلاکسی در افرادی که در تماس با این رنگینه هستند، می‌شود (الماسی فر و جلالی، ۱۳۸۸).



شکل ۱- ساختار رنگ کنگورد

• جذب سطحی

عامل اساسی در سیستم جذب سطحی، جاذب است. جاذب پدیدآورنده فرآیند جذب سطحی می‌باشد. هر جاذب، یک سطح درونی و بیرونی دارد؛ سطح بیرونی جاذب مورد توجه نیست، اما منافذ و سطوح داخلی، سطح قابل توجهی را ایجاد می‌کنند. به‌طور کلی، پدیده جذب، پدیده‌ای گرمازا است و انرژی حاصل از آن، بیانگر قدرت جذب می‌باشد.

به‌منظور محاسبه ظرفیت جذب جاذب‌های مختلف، از ایزوترم‌های لانگمویر<sup>۹</sup>، فروندلیچ<sup>۱۰</sup>، تمکین<sup>۱۱</sup> و دبیین- رادوشکوویچ<sup>۱۲</sup> استفاده می‌شود که ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ بیشتر از همه کاربرد دارد. معادله ایزوترم لانگمویر به شکل زیر می‌باشد:

$$Q_e = q_m k_1 c_e / (1 + k_1 c_e)$$

فرم خطی ایزوترم لانگمویر از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$C_e / q_e = 1 / (q_m k_1) + c_e / q_m$$

$q_e$  ظرفیت جذب تعادلی جاذب، برحسب (mg/g)،  $q_m$  بیشترین ظرفیت جذب تک‌لایه‌ای (mg/g)،  $c_e$  غلظت تعادلی رنگ (mg/g) و  $k_1$  ثابت لانگمویر می‌باشد. ایزوترم جذب لانگمویر، براساس فرضیه مربوط به بیشترین جذب مولکول‌های حل‌شونده، تک‌لایه‌ای اشباع روی سطح جاذب با برهم‌کنش‌های جانبی بین مولکول‌های جاذب می‌باشد.

1. Gupta
2. Suhas
3. Congo Red
4. Benzidinediazo- bis-1- naphthylamine- 4- sulfonicacid
5. Azo
6. Carbon Active
7. Rengaraj
8. Nurmi

9. Langmuir
10. Freundlich
11. Temkin
12. Dubinine- Radushkevich

• نانوذرات دوفلزی آهن- روی

گاتام<sup>۳</sup> و همکارانش، از نانوذرات دوفلزی آهن- روی<sup>۴</sup> برای حذف کنگورد از نمونه آبی استفاده کردند. جهت بررسی اثر غلظت اولیه رنگ، آزمایشات در محدوده غلظت رنگ ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ mg/L بررسی شد و در نهایت غلظت ۲۵ mg/L به‌عنوان غلظت اولیه بهینه انتخاب شد. جهت بررسی اثر pH محلول بر جذب، آزمایشات در محدوده pH برابر با ۱۰-۲ انجام شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که فرآیند جذب از ایزوترم‌های لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و دبیین- رادوشکوویچ پیروی می‌کند و از بین این‌ها، ایزوترم لانگمویر فرآیند جذب را بهتر تشریح می‌کند. مدل سینتیکی شبه درجه دوم تطابق بهتری را نشان می‌دهد و بیشینه ظرفیت جذب ۲۸/۵۶ mg/g در ۴ pH می‌باشد (گاتام و همکاران، ۲۰۱۵).

• نانوذرات اکسید آهن

ساتیش<sup>۵</sup> و همکارانش، برای حذف رنگ کنگورد از آب، نانوذرات اکسید آهن (III) به فرم آلفای<sup>۶</sup> اصلاح شده با کورستین را به کار می‌برند. جهت بررسی اثر غلظت اولیه رنگ، آزمایشات در محدوده غلظت رنگ ۵۰-۵ mg/L بررسی می‌شود و در نهایت غلظت ۳۵ mg/L به عنوان غلظت اولیه بهینه انتخاب می‌شود. جهت بررسی اثر pH محلول بر جذب، آزمایشات در محدوده pH ۱۰-۳ انجام شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که فرآیند جذب رنگ از ایزوترم لانگمویر بهتر پیروی می‌کند و مدل سینتیکی شبه درجه دوم تطابق بهتری را نشان می‌دهد. مقدار بیشینه ظرفیت جذب رنگ ۴۲۷/۳۵ mg/g در ۵/۴ pH است (ساتیش و همکاران، ۲۰۱۶).

• نانوکلی پرکننده هیدروژل‌های کمپوزیت پلی‌آکرلیک

اسید و پلی‌اتیلن گلی‌کل

بهاتاچارای<sup>۷</sup> و ری<sup>۸</sup>، با استفاده از نانوکلی<sup>۹</sup> پرکننده هیدروژل‌های کمپوزیت پلی‌آکرلیک اسید<sup>۱۰</sup> و پلی‌اتیلن گلی‌کل<sup>۱۱</sup> کنگورد را آب حذف کردند. جهت بررسی اثر غلظت اولیه رنگ، آزمایشات

معادله ایزوترم فروندلیچ به صورت زیر می‌باشد:

$$Q_e = k_f c_e^{1/n}$$

ایزوترم فروندلیچ، براساس فرضیه جذب روی سطح ناهمگن جذب می‌باشد و فرم خطی آن به شکل زیر است:

$$\ln Q_e = \ln k_f + 1/n \cdot \ln c_e$$

$K_f$  ظرفیت جذب جذب برحسب (L/g) و  $n$  سختی را نشان می‌دهد. اگر  $0 < n < 10$  باشد، نشان می‌دهد که جذب مساعد است.

یکی از روش‌های تحلیل واکنش جذب، استفاده از معادلات سینتیکی جذب است که پرکاربردترین این مدل‌ها، مدل شبه درجه اول و مدل شبه درجه دوم است. مدل شبه درجه اول در این رابطه نشان داده شده است:

$$dq/dt = k (q_e - q)$$

$q_e$  میزان تعادلی جذب جذب‌شونده روی جذب برحسب میلی‌گرم بر گرم،  $q$  میزان جذب روی جذب‌ها در هر یک از زمان‌های مورد مطالعه و  $k$  ثابت معادله شبه درجه اول است. انتگرال‌گیری از این رابطه در بازه‌های زمانی  $t=0$  تا  $t=t$  و میزان جذب  $q=0$  تا  $q=q_0$  این رابطه را نتیجه می‌دهد.

$$\text{Log} (q_e - q) = \log q_e - k_1 t / 2.303$$

با ترسیم معادله لگاریتم اختلاف جذب تعادلی و جذب در هر زمان  $\log (q_e - q)$  در مقابل زمان  $t$  در صورتی که منحنی به دست آمده حالت خطی داشته باشد، سینتیکی جذب از مدل درجه اول پیروی می‌کند.

معادله شبه درجه دوم، بر پایه این فرضیه است که جذب از مکانیسم درجه دوم تبعیت می‌کند و این به این معنی است که به کارگیری سایت‌های جذب‌کننده متناسب با تعداد سایت‌های به کار گرفته با توان دوم باشد.

$$dq/dt = k_2 (q_e - q)^2$$

با انتگرال‌گیری این معادلات در بازه‌ی زمانی  $t=0$  تا  $t=t$  و جذب  $q=0$  تا  $q=q$  و خطی کردن آن، این معادله به دست می‌آید.

$$t/q = 1/k_2 q_e^2 + t/q_e$$

مقادیر  $q_e$  و  $k$  با توجه به رسم منحنی خطی  $t/q$  در مقابل زمان  $t$  به دست می‌آید (خرم آبادی و همکاران، ۱۳۸۸).

مروری بر کارهای گذشته

در سال‌های اخیر، از روش جذب سطحی<sup>۱</sup> برای حذف رنگ<sup>۲</sup> از محلول‌های آبی به طور ویژه استفاده شده است.

1. Adsorption
2. Dye

3. Gautam
4. Fe-Zn
5. satheesh
6.  $\alpha$ -Fe2O3
7. Bhattacharyya
8. Ray
9. Clay
10. Poly acrylic acid
11. Polyethylen glycol

• نیکل- روی سولفید و پالادیم دکور شده روی کربن

فعال

احمدی<sup>۷</sup> و همکارانش، از نیکل- روی سولفید<sup>۸</sup> و پالادیم دکور شده روی کربن فعال<sup>۹</sup> به عنوان جاذب برای حذف کنگورد استفاده کردند. جهت بررسی اثر غلظت اولیه، آزمایشات در محدوده غلظت رنگ  $40 - 10 \text{ mg/L}$  بررسی شد. غلظت اولیه پایین منجر به افزایش درصد حذف رنگ می‌شود. مقادیر بهینه  $0.03 \text{ g}$  نانوذرات نیکل- روی سولفید نشاندهنده شده روی کربن فعال و  $0.04 \text{ g}$  نانوذرات پالادیم نشاندهنده شده روی کربن فعال در  $\text{pH}$  ۳ و ۲ بعد از ۲۲ و ۲۶ دقیقه مخلوط کردن برای این دو می‌باشد. بیشترین ظرفیت جذب  $286 \text{ mg/g}$  و  $126/6 \text{ mg/g}$  برای این دو جاذب می‌باشد و فرآیند جذب از ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند. مدل‌های سینتیکی شبه درجه دوم و نفوذ بین ذره‌ای با داده‌ها مطابقت دارند و نانوذرات پالادیم نشاندهنده شده روی کربن فعال جاذب بهتری است، زیرا ایمن و سازگار با محیط زیست می‌باشد؛ ولی نانوذرات نیکل- روی سولفید نشاندهنده شده روی کربن فعال سمی و مخرب محیط زیست است (احمدی و همکاران، ۲۰۱۵).

• زائادات تنه درخت آناناس

چان<sup>۱۰</sup> و همکارانش، از زائادات تنه درخت آناناس برای حذف رنگ کنگورد استفاده کردند. جهت بررسی اثر مقدار اولیه رنگ، آزمایشات در محدوده غلظتی  $200 - 50 \text{ mg/g}$  انجام شد. با افزایش غلظت جاذب، درصد جذب رنگ روی زائادات تنه درخت آناناس افزایش می‌یابد و مقدار بهینه برای آن  $0.03 \text{ g}$  می‌باشد. در بررسی اثر  $\text{pH}$  بر روی فرآیند جذب،  $\text{pH}$  بهینه،  $\text{pH} = 4$  می‌باشد. پارامترهای ترمودینامیکی مورد مطالعه انرژی آزاد گیبس و آنتالپی می‌باشد. تغییرات انرژی آزاد گیبس در این جا مثبت است و این نشان می‌دهد که واکنش خودبه‌خودی نیست. مقدار منفی تغییرات آنتالپی هم نشان‌دهنده گرمازا بودن واکنش است. ایزوترم جذب لانگمویر برای این فرآیند، بهترین توصیف را دارد و مدل سینتیکی مناسب آن هم مدل شبه مرتبه دوم می‌باشد. بیشترین ظرفیت جذب رنگ کنگورد  $\text{mg/g}$   $11/966$  است (چان و همکاران، ۲۰۱۶).

در محدوده غلظت رنگ  $50 - 2/5 \text{ mg/L}$  بررسی شد و در نهایت  $5 \text{ mg/L}$  به عنوان غلظت اولیه بهینه انتخاب شد. جهت بررسی اثر  $\text{pH}$  محلول بر جذب، آزمایشات در محدوده  $\text{pH}$   $4 - 7$  انجام شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که فرآیند جذب از ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند و با مدل سینتیکی شبه درجه اول تطابق بهتری نشان می‌دهد و بیشترین ظرفیت جذب در  $\text{pH} = 7$  به دست آمد (بهاتاچارا و ری، ۲۰۱۵).

• نانوتیوب‌های کربنی دکور شده روی پوسته تخم مرغ

سیاهمزی<sup>۱</sup> و همکارانش، از نانوتیوب‌های کربنی چند دیواره<sup>۲</sup> دکور شده روی پوسته تخم مرغ برای حذف کنگورد از آب استفاده کردند. برای بررسی اثر غلظت اولیه رنگ، آزمایشات در محدوده غلظت رنگ،  $140 - 25 \text{ mg/L}$  بررسی شد و غلظت  $100 \text{ mg/L}$  به عنوان غلظت بهینه انتخاب شد. جهت بررسی اثر  $\text{pH}$  محلول بر جذب،  $\text{pH}$  از ۲ به ۱۲ تغییر کرد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که فرآیند جذب از ایزوترم لانگمویر پیروی می‌کند و مدل سینتیکی شبه درجه اول، شبه درجه دوم، الوویچ<sup>۳</sup> و نفوذ بین ذره‌ای<sup>۴</sup> با داده‌ها تطابق نشان می‌دهد. مطالعات ترمودینامیکی نشان می‌دهد که جذب گرماده و خودبه‌خودی است. بهینه ظرفیت جذب  $136/99 \text{ mg/g}$  می‌باشد و پوسته تخم مرغ دکور شده با نانوتیوب‌های کربنی درصد حذف بالاتری نسبت به پوسته تخم مرغ خام دارد (سیاهمزی و همکاران، ۲۰۱۶).

• نانوذرات دکور شده روی صدف دریایی

ورتونی<sup>۵</sup> و همکارانش، از صدف دکور شده با نانوذرات نقره برای حذف رنگ کنگورد استفاده کردند. نانوذرات نقره دکور شده روی صدف دریایی با یک فرآیند سبز با استفاده از استخراج دانه‌های بی‌پرسیکوم<sup>۶</sup> آماده می‌شوند. این روند، مزایایی مانند پیشرفت ملایم واکنش، واکنش تمیز، حذف حلال‌های آلی و واکنشگرهای سمی و خطرناک دارد. ضخامت نانوذرات نقره روی صدف دریایی حدود  $50 - 20 \text{ nm}$  می‌باشد. عملکرد کاتالیزی کاتالیست آماده شده برای کاهش کنگورد در دمای اتاق انجام می‌شود (ورتونی و همکاران، ۲۰۱۶).

1. Seyahmazegi
2. Multiwall carbon nanotubes
3. Elovich
4. Intraparticle diffusion
5. Vartooni
6. Bunium Persicum

7. Ahmadi
8. Nickel doped zinc sulfid
9. palladium loaded on activated carbon
10. Chan

تغییرات آنتروپی مثبت بیانگر افزایش بی‌نظمی در مدت جذب رنگ کنگورد روی هسته زردآلو می‌باشد (عباس و تراری، ۲۰۱۵).

#### • نانوذرات مغناطیسی کلسیم فریت

آن<sup>۵</sup> و همکارانش، از نانوذرات مغناطیسی کلسیم فریت<sup>۶</sup> برای حذف رنگ کنگورد استفاده کردند. اثر زمان روی حذف رنگ با بررسی سرعت حذف مشخص می‌شود. حدود ۹۰/۷٪ از رنگ کنگورد در ۵ min اولیه حذف شده و تدریجاً سرعت جذب رنگ افزایش می‌یابد. اثر غلظت اولیه رنگ در محدوده ۱۲۰ mg/L-۱۰۰ k در ۲۹۸ k بررسی شد و در غلظت پایین‌تر سرعت نفوذ رنگ به جاذب بیشتر می‌شود. تأثیر مقدار جاذب، بر روی حذف رنگ کنگورد در محدوده ۱۰۰-۵ mg بررسی شد و در ۵۰ mg راندمان حذف ۹۵٪ به‌دست آمد و pH بهینه نیز ۵ = pH می‌باشد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که فرآیند جذب گرمازا است و از ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ پیروی می‌کند. مدل‌های سینتیکی شبه درجه اول و شبه درجه دوم با نتایج به‌دست آمده تطابق بیشتری دارد. بیشینه ظرفیت جذب رنگ ۴۰/۹۳۳ mg/g می‌باشد و راندمان جذب رنگ ۹۶/۱٪ به‌دست آمد (آن و همکاران، ۲۰۱۴).

#### بحث و نتیجه‌گیری

• رنگ اسیدی کنگورد، رنگی سمی و جهش‌زا و سرطان‌زا است. از این رو حذف آن از منابع آبی امری ضروری می‌باشد. از بین تمام روش‌های حذف آلاینده، روش جذب سطحی مناسب‌ترین روش است و علت آن سادگی روش، راندمان بالا و هزینه کم می‌باشد.

• پارامترهای مورد مطالعه مشترک برای بررسی حذف رنگ توسط جاذب‌ها pH، زمان تماس، غلظت اولیه رنگ، مقدار جاذب و دما می‌باشد.

• دستگاه‌هایی که اطلاعات توسط آن‌ها شناسایی شد: میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM، پراش پرتو ایکس XRD، اسپکتروسکوپی FTIR، میکروسکوپ الکترونی انتقالی TEM، میکروسکوپ الکترونی پوشش نشر زمینه SEM-FE و پرتوافکنی Ray-X می‌باشد.

• کمترین ظرفیت جذب مربوط به زائادات درخت نارگیل ۱۱/۹۶۶ mg/g و بیشترین ظرفیت جذب مربوط به کورستین ۴۲۷/۳۵ mg/g در دمای ۲۵ °C می‌باشد.

• نانوکمپوزیت اصلاح شده صمغ زانتان / سیلیکا گورای<sup>۱</sup> و همکارانش، نانوکمپوزیت اصلاح شده صمغ زانتان / سیلیکا را برای حذف رنگ کنگورد استفاده کردند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که pH = ۴ بیشترین جذب رنگ را داشته است و غلظت رنگ اولیه بهینه ۱۰۰ mg/L در دمای ۳۱۸ k می‌باشد. مقدار جاذب رنگ ۵۰ mg بر ۲۵ ml، مقدار جاذب بهینه می‌باشد و زمان بهینه حذف رنگ ۱۵۰ min می‌باشد. ایزوترم لانگمویر برای این فرآیند بهترین توصیف را دارد و جذب از مدل سینتیکی شبه درجه دوم و نفوذ بین ذره‌ای پیروی می‌کند. مطالعات ترمودینامیکی نشان می‌دهد که فرآیند جذب گرماگیر است و مقدار منفی تغییرات انرژی آزاد گیبس گویای این است که واکنش خودبه‌خودی است. تغییرات مثبت آنتروپی نشان می‌دهد که درجه آزادی بالایی در برهم‌کنش‌های جامد و مایع در مدت جذب مولکول‌های رنگ روی مکان‌های فعال جاذب می‌باشد. مقدار بیشینه ظرفیت جذب رنگ mg/g ۲۰۹/۲۰۵ و راندمان حذف رنگ ۹۶/۳۷٪ است (گورای و همکاران، ۲۰۱۳).

#### • هسته زردآلو

عباس<sup>۳</sup> و تراری<sup>۴</sup>، برای حذف رنگ کنگورد از هسته زردآلو استفاده کردند. در بررسی‌ها مشخص شد که سایز ذرات روی جذب رنگ اثر به‌سزایی دارد و ذرات کوچکتر ۸۰۰-۳۱۵، بیشترین راندمان جذب را دارند. سرعت هم‌زدن نمونه هر قدر بیشتر باشد جذب نیز، بیشتر می‌شود و سرعت بهینه فرآیند جذب، ۳۰۰ rpm می‌باشد. ظرفیت جذب رنگ با افزایش زمان بیشتر می‌شود و بعد از ۴۰ دقیقه به بیشترین مقدار خود می‌رسد. برای بررسی اثر pH روی جذب رنگ کنگورد، آزمایشات در گستره pH برابر با ۱۴-۲ انجام شد و pH بهینه، معادل ۱۳ = pH به‌دست آمد. در میان ایزوترم‌های جذب، ایزوترم لانگمویر و دبیین-رادوشکوویچ فرآیند جذب را بهتر تشریح می‌کند و مدل سینتیکی شبه درجه دوم تطابق بهتری را نشان می‌دهد. بیشترین ظرفیت جذب رنگ کنگورد mg/g ۳۲/۸۵ در ۲۵ °C می‌باشد. بررسی‌های ترمودینامیک نشان می‌دهد که فرآیند جذب، خودبه‌خودی و گرماگیر است.

1. Ghorai
2. Xanthan gum
3. Abbas
4. Trari

5. An
6. CaFe2O4

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles as effective nanoadsorbent, *Journal of Materials Chemistry and Physics*, 2016, 180, 53- 65.

Bhattacharra, R, Ray, S. Removal of congored and methyl violet from water using nanoclay filled composite hydrogels of poly acrylic acid and polyethylene glycol, *Journal of Chemical Engineering*, 2015, 260, 269-283.

Seyahmazegi, E, Rezaei, R, Razmi, H. Multiwall carbon nanotubes decorated on calcined eggshell waste as a novel nano- sorbent: Application for anionic dye congored removal, *Journal of Chemical Engineering Research and Design*, 2016, 109, 824-834.

Vartooni, A, Nasrollahzadeh, M, Alizade, M. Green synthesis of seashell supported silver nanoparticles using bunium persicum seeds extract: Application of the particles for catalytic, *Journal of colloid and interface science*, 2016, 470, 268-275.

Ahmadi, K. Ghaedi, M, Ansari, A. Comparison of nickel doped zinc sulfide and palladium nanoparticle loaded on activated carbon as efficient adsorbents for kinetic and equilibrium study of removal of congored dye, *Journal of Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2015, 136, 1441- 1449.

Chan, S, Tan, Y, Abdullah, A, Ong, S. Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic studies of a new potential biosorbent for the removal of basic blue 3 and congored dyes: pineapple (ananas comosus) plant stem, *Journal of the chemical engineers*, 2016, 61, 306- 315.

Ghorai, S, Sarkar, A, Panda, A. B, Pal, S. Effective removal of congored dye from aqueous solution using modified xanthan gum/silica hybrid nano-composite as adsorbent, *Journal of Bioresource Technology*, 2013, 144, 485-491.

Abbas, M, Trari, M. Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic study on the removal of cogored from aqueos solution by adsorption onto apricot stone, *Journal of Process Safety And Environment Protection*, 2015, 98, 424- 436.

An, S, Liu, X, Yang, L, Zhang, L. Enhancement removal of crystal violet dye using magnetic calcium ferrite nanoparticle: Study in single- and binary-solute system, *Journal of Chemical Engineering Research and Design*, 2014, 94, 726-735.

● گستره pH بهینه از pH بهینه مربوط به نانوذرات پالادیم نشانده شده روی کربن فعال که کمترین pH بهینه و برابر با ۲ است تا pH بهینه مربوط به جاذب هسته زردآلو که بیشترین pH بهینه و برابر با ۱۳ است، می‌باشد.

● بررسی ترمودینامیکی جذب رنگ کنگورد روی جاذب‌های مختلف، نشان داد که در بیشتر مواقع فرآیند جذب، فرآیندی خودبه‌خودی و گرماده است.

● جهت محاسبه ظرفیت جذب جاذب‌ها، از ایزوترم‌های جذب استفاده می‌کنند و تقریباً در همه موارد مشاهده شده، ایزوترم لانگمویر بهترین توصیف را دارد و داده‌های سینتیکی از مدل سینتیکی شبه درجه دوم به منظور جذب رنگ کنگورد استفاده می‌کنند.

### منابع

الماسی‌فر، د، جلالی، م، مطالعه برهمکنش رنگ دانه‌های آنیونی با سیستم مزوپیر: بر جذب و کاربرد، نشریه پژوهش‌های شیمی کاربردی، ۱۳۸۸، سال چهارم، شماره ۱۳.

خرم‌آبادی، ش، درویشی، ق، چشمه سلطانی، ر، جرقی، س، جذب سطحی کادمیم توسط لجن مازاد فرآیند لجن فعال فاضلاب شهری، فصل‌نامه علمی پژوهشی آب و فاضلاب، ۱۳۸۸، شماره اول.

Gupta, V. K, Suhas, *Journal of Enviromental Management*. 2009, 90, 2323- 2342.

Rengaraj, S, Moona, S. H, Sivabalan, R, Arabindoo, B, Murugesan, V. Removal of phenol from aqueous solution and resin manufacturing industry waste-water using an agricultural waste: rubber seed coat, *journal of Hazardous*. 2002, 89, 185- 196.

Nurmi, J. T, Tratnyek, P. G, Sarathy, V, Baer, D. R, Amonette, J. E, Pecher, K, Wang, C, linehan, J. C, Matson, D. W, Penn, R. I, Driessen, M. C. Characterization and properties of metallic iron nanoparticles: Spectroscopy, electrochemistry and kinetics, *Journal of Enviromental science technology*, 2005, 39, 1221- 1230.

Gautam, R, Rawat, V, Banerjee, S, Sanroman, M, Soni, S, Singh, S, Chattopadhyaya, M. Synthesis of bimetallic Fe-Zn nanoparticles and its application toward adsorptive removal of carcinogenic dye malachite green and cogored in water, *Journal of Molecular Liquids*, 2015, 212, 227- 236.

Satheesh, R, Vignesh, K, Rajarajan, M, Suganthi, A, Sreekantan, S, Kang, M, Kwank, B. Removal of congored from water using quercetin modified  $\alpha$ -