

# Investigation of Simultaneous Removal of Reactive Orange 3R and Chromium from Aqueous Solutions Using Modified Carbon from Sycamore Wood

## Rremoval of Dye and Chromium by Avtivated Carbon

Atefeh Dehnabi<sup>1</sup>, Ahmad Allahabadi<sup>2</sup>, Mohammad Hoseein Saghi<sup>3</sup>, Forough Riahimanesh<sup>\*4</sup>

1. Master's degree Student, Department of Environmental Health Engineering, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
2. Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
3. Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
4. Ph.D Student, Department of Environmental Health Engineering, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

Received: 2021/09/17

Accepted: 2021/11/22

### Abstract

**Introduction:** Today, heavy metals and organic compounds such as dyes are among the most dangerous pollutants that have entered surface and groundwater and threaten human health. The aim of this study was to investigate the removal of reactive orange 3R dye and chromium by adsorption separately and simultaneously activated carbon.

**Materials and Methods:** In this study, Sycamore carbon modified with  $\text{NH}_4\text{Cl}$  was used to remove contaminants. Effect of variables such as pH (2-9), adsorbent concentration (0.5-1-0 g/L), pollutant concentration (10-50 mg/L) and contact time (2-40 minutes) on dye and chromium removal (simultaneously and separately) were calculated. Freundlich and Langmuir adsorption isotherm models and kinetics were also investigated.

**Results:** The results of this study showed that activated carbon at pH = 4, 0.4 g/L adsorbent at 15 min contact time has the best removal conditions for both paint and chromium contaminants. Under optimal conditions, activated carbon was able to remove 72% of chromium and 84% of dye separately and 59% of chromium and 67% of dye simultaneously in solution at a concentration of 25 mg/L. The study of adsorption isotherms also showed that the experiments were more consistent with the Freundlich model. The absorption kinetics follows Pseudo-second order equations.

**Conclusion:** According to the results, this adsorbent has a good performance in separate and simultaneous removal of paint and chromium and can be used to treat wastewater containing organic and inorganic contaminants.

**\*Corresponding Author:** Forough Riahimanesh

**Address:** Department of Environmental Health Engineering, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

**Tel:** 09151574076

**E-mail:** chem.riahi@gmail.com

### Keywords:

Adsorption, Activated carbon, Chromium, Dye, Simultaneous removal

**How to cite this article:** Dehnabi A., Allahabadi A., Saghi M.H., Riahimanesh F., Investigation of Simultaneous Removal of Reactive Orange 3R and Chromium from Aqueous Solutions Using Modified Carbon from Sycamore Wood, Journal of Sabzevar University of Medical Sciences, 2022; 29(4):531-557.

## Introduction

Industrial progress has created life simpler. But at identical time the natural environment had suffered from the unfavorable effects of pollution. In recent years, heavy metals and dye compounds are widely used worldwide. Therefore, the presence in effluent has been increased. This problem can't only have an effect on the environment and ecosystem, but additionally effects on public safety quality. These compounds are generally resistant and cannot be destroyed or simply biologically detoxified.

Heavy metals have high atomic weights (between 63.5 and 200.6 am) and are at least five times denser than water. These compounds are used in industries such as metal plating, dyeing, and pigment production and are almost biodegradable. Chromium as a heavy metal is one of the most toxic pollutants. The most common forms of chromium are Cr (VI), Cr (III) and Cr (0) that Hexavalent form is more toxic than other types. Strong exposure to Chromium causes cancer within the lungs and gastrointestinal tract also cause epigastric pain, nausea, and vomiting.

There are more than 10,000 available dyes with over  $7 \times 10^5$  tonnes of dye material produced annually. Reactive Orange 3R, which is an acid dye and is the most common dye for dyeing wool, nylon and silk fibers. The complex atomic structure and low biodegradability of dye and Chromium make trouble to treat the wastewater by the traditional water treatment process. Therefore, Several Methods separation, coagulation, flocculation, biodegradation, ion exchange, oxidation-reduction processes, and adsorption have been developed to remove such kinds of pollutants, each of them has advantages and disadvantages. The adsorption method has some benefits, such as acceptable efficiency, cost-effectiveness, and non-production of chemicals.

The activated carbon (AC) has drawn the attention of researchers as adsorbents due to having a large surface area, high porosity, and Porous structure and adsorption capacity. The AC as a common adsorbent has received more attention for many years because Activated carbon is a suitable adsorbent for the organic and inorganic residuals from water or wastewater.

Various carbon materials have been evaluated for the removal of dye and chromium. This study intends to investigate the simultaneous and separate

removal of chromium and reactive orange 3R dye by activated carbon prepared from Sycamore wood.

## Methodology

In this study, a standard solution of hexavalent chromium was prepared using potassium dichromate salt ( $K_2Cr_2O_7$ ) from the Merck Company at a concentration of 1000 mg/L daily. The activated carbon used as the adsorbent in this experiment was prepared from Sycamore wood. The initial pH of the test solutions was adjusted to the desired value by dilute solutions of HCl and NaOH. All dilutions and Preparation of solutions in the study were prepared by distilled water.

The concentration of dye was measured by quantitative analysis by a UV-Vis spectrophotometer (DR 5000- Hach- Co). PH measurements were made with a pH meter (Metrohm). The initial and final chromium (VI) concentrations were measured using Shimadzu-Company (AA-7000) Atomic Absorption Spectrophotometer. Mixing the solutions was done with a magnetic stirrer heater model RH Basic2 made by IKA (Germany). Morphological study of nanostructure was performed using VEGA-Tescan.

### Batch adsorption experiments

In each experiment, adsorbent (activated carbon) was added to 50 ml of contaminant solution (chromium, dye, and dye and chromium mixture) with a certain concentration and after stirring the mixture, it was filtered by 0.45 micron cellulose filtrate with the help of a vacuum pump. Differences in the amount of adsorption in the spectrophotometer for dye removal and AAS (atomic absorption Spectrophotometer) for removal of chromium were determined. The removal percentage (Equation 1) and the adsorption capacity were calculated according to Equation 2.

$$\frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 = \text{The removal percentage} \quad (\text{Equation 1})$$

$$\text{Adsorption capacity} = \frac{V(C_0 - C_t)}{m} \quad (\text{Equation 2})$$

$\left(\frac{\text{mg}}{\text{g}}\right)$

Where,  $C_0$  and  $C_e$  are the initial concentration and the final concentration (mg/L), respectively.

$M$  is the mass of the activated carbon (g), and  $V$  is the volume of pollutant solution.

The effects of different parameters such as pH (2–9), pollutant initial concentration (5–100 mg /L), adsorption dose (0.1–0.5 g /L), and reaction time (2–40 min) were examined.

**Adsorption isotherm**

To investigate the adsorption isotherm in this experiment, 50 ml of solution and 0.02 g of activated carbon with different amounts of contaminants at pH = 4 was mixed for 6 hours. The equilibrium adsorption isotherm results of activated carbon were evaluated by Langmuir and Freundlich models.

**Langmuir isotherm model**

The Langmuir sorption isotherm model is utilized to monolayer surface of adsorbent on homogeneously distributed adsorption sites on an adsorbent surface. Is signifying the linear equation of Langmuir:

$$\frac{C_{eq}}{q_{eq}} = \frac{C_{eq}}{q_m} + \frac{1}{q_m b} \tag{Equation (3)}$$

Where Langmuir constant (b) is relevant to the energy of adsorption,  $q_e$  (mg /g) is the amount of pollutants that can be adsorbed by activated carbon from Sycamore wood at equilibrium,  $C_e$  (mg/ L) is the dye and chromium (simultaneous or Separately) concentration at equilibrium,  $q_m$  (mg/g) is the theoretical maximum adsorption capacity.

**Freundlich isotherm model**

The Freundlich sorption isotherm is applied to multilayer adsorption mechanism and is a practical equation founded on the adsorption on a heterogeneous surface with sites of various dependence (Equation (4)).

$$\ln(q_e) = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \tag{Equation (4)}$$

In this equation, k is the adsorption intensity of the adsorbent and n is the adsorption capacity. The Freundlich equation is the result of plotting  $\ln(q_e)$  versus of  $\ln(C_e)$ .

**Adsorption kinetics models**

To investigate the adsorption mechanism of various concentrations pollutants onto activated carbon, the Pseudo-first order and Pseudo-second-order model was used.

The pseudo-first order model kinetic model equation is expressed as follows:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \tag{Equation 5}$$

The linearized form of pseudo second order rate is expressed by the following equation:

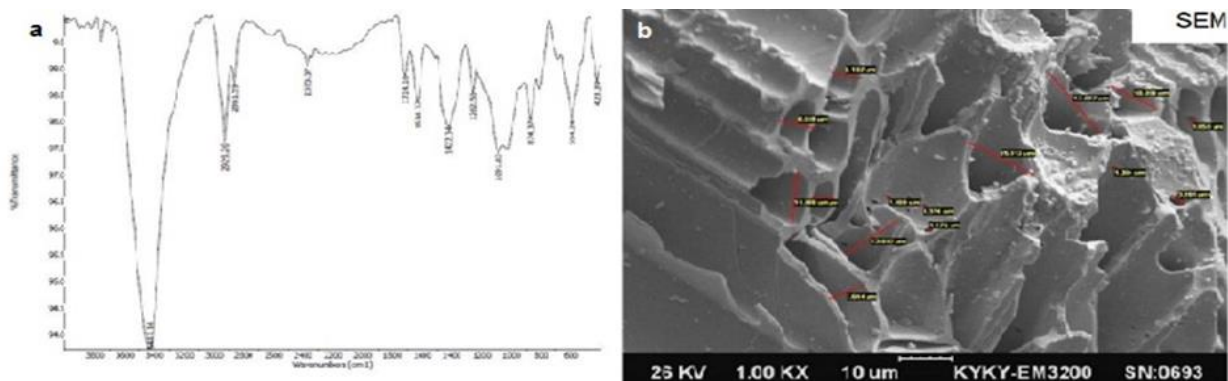
$$T/q_t = 1/K_2 q_e^2 + t/q_e$$

where  $q_e$  and  $q_t$  are the adsorption capacity at equilibrium and at time t, respectively (mg/g),  $k_1$  ads is the rate constant of pseudo first-order adsorption (min<sup>-1</sup>) and  $K_2$  ads is the rate constant of pseudo second-order adsorption (g/mg min).

**Results**

**Characterization studies**

The FTIR spectrum of activated carbon adsorbent is shown in Figure (1a). The peaks in this diagram show the presence of functional groups on activated carbon. The O-H functional group has a peak in the 3400 region. The morphology of the activated carbon surface is shown by SEM micrographs in Figure (1b). As can be seen in the figure, the morphology of activated carbon has a series of similar, parallel, long channels. Which causes contaminants to be located in these areas. For this reason, activated carbon acts as a suitable adsorbent for the organic and inorganic residuals from water or wastewater.



**Figure 1. FTIR spectrum of activated carbon (a), SEM images of activated carbons (b) Effect of pH**

In order to find the optimal pH for the removal of contaminants by activated carbon (0.4 g/L), the rate of removal for 15 minutes in 50 ml of 25 mg/L solution of synthetic wastewater in a separate and simultaneous sample (dye and chromium) in PHs between 2 and 9 were examined. At pH = 2, the dye samples were removed separately and simultaneously, 84% and 68%, respectively. Which was almost constant up to pH = 4 and then with increasing the pH, the removal rate decreased sharply. At pH = 9, the removal percentage reached 20% for the separate dye and 12% for the mixed sample. In the chromium solution in the separate state with increasing pH from 2 to 4, the percentage of contaminant removal from 33% to 72% and in the simultaneous state from 29% to 59% and then decreased with increasing pH.

PH changes the percentage of pollutant removal by affecting the degree of ionization of contaminants, the adsorbent surface load, and the separation of functional groups on the adsorbent active sites. As it is known, in all experiments, the best removal rate was observed at pH = 4 and the removal in separate mode is higher than simultaneous.

#### Effect of adsorbent dose on removal rate

The results of adsorbent dose changes (0.1-0.5 g/L) on removal efficiency were investigated. In each experiment, 50 ml of a separate or simultaneous solution of chromium and dye was tested at pH = 4 for 15 minutes. Percentage of dye removal in the separate state from 42% (0.1 g/L carbon) to 85% (0.5 g/L carbon) and chromium from 21% (0.1 g/L carbon) to 73% (0.5 g/L carbon)

arrives. At the same time, chromium was removed by 16% and dye by 34% (0.1 g/L of carbon). For 0.5 g/L concentration of adsorbent reached 60% and 68%, respectively. As the adsorbent dose in chromium and dye increases in simultaneous and separate experiments, the adsorption rate increases with increasing activated carbon concentration. Which is due to the increase in the level of available pollutants and the unsaturation of carbon adsorption sites. With more adsorbent, the increasing process of removal decreases, which is due to the reduction of contaminants available to the adsorbent.

#### Effect of contact time and investigation of reaction kinetics

In order to optimize the contact time of contaminants (separate and simultaneous) and adsorbent at concentrations of 10 mg/L, 25 mg/L and 50 mg/L at pH = 4 at different times (2-40 min) were investigated. It was found that in all cases (separately and simultaneously) the color and chromium in the first 15 minutes increases with increasing removal time, but with more time does not show much effect on increasing absorption. In the early stages of adsorption, many surface sites are unsaturated for adsorption. After 15 minutes, the driving force of mass transfer between contaminant and adsorbent molecules is reduced.

In this study, in order to investigate the mechanism and rate of adsorption of pollutant molecules (dye and chromium) in a separate and simultaneous state, the Pseudo-first order and Pseudo-second-order model were used. The results of the synthetic study are shown in Table 1.

**Table 1. The kinetic information of pollutants adsorption onto activated carbon.**

Mixed Chromium	Pseudo-second-order			Pseudo-first order				Effect of reaction kinetics
	Mixed dye	Separate Chromium	Separate dye	Mixed Chromium	mixed dye	Separate Chromium	Separate dye	
R <sup>2</sup> =0.9994 q <sub>e</sub> =19.30 K <sub>2</sub> =0.034	R <sup>2</sup> =0.9994 q <sub>e</sub> =21.50 K <sub>2</sub> =0.037	R <sup>2</sup> =0.9992 q <sub>e</sub> =23.15 K <sub>2</sub> =0.027	R <sup>2</sup> =0.9995 q <sub>e</sub> =24.69 K <sub>2</sub> =0.033	R <sup>2</sup> =0.8683 q <sub>e</sub> =10.65 k <sub>1</sub> =0.0182	R <sup>2</sup> =0.7477 q <sub>e</sub> =8.90 k <sub>1</sub> =0.0235	R <sup>2</sup> =0.8441 q <sub>e</sub> =8.47 k <sub>1</sub> =0.0343	R <sup>2</sup> =0.7153 q <sub>e</sub> =6.36 k <sub>1</sub> =0.0522	<b>10mg/L</b>
R <sup>2</sup> =0.9977 q <sub>e</sub> =42.37 K <sub>2</sub> =0.008	R <sup>2</sup> =0.9987 q <sub>e</sub> =46.51 K <sub>2</sub> =0.008	R <sup>2</sup> =0.998 q <sub>e</sub> =52.63 K <sub>2</sub> =0.007	R <sup>2</sup> =0.9994 q <sub>e</sub> =57.80 K <sub>2</sub> =0.01	R <sup>2</sup> =0.781 q <sub>e</sub> =34.95 k <sub>1</sub> =0.0235	R <sup>2</sup> =0.7729 q <sub>e</sub> =31.56 k <sub>1</sub> =0.0172	R <sup>2</sup> =0.7649 q <sub>e</sub> =29.90 k <sub>1</sub> =0.0248	R <sup>2</sup> =0.785 q <sub>e</sub> =23.51 353 · / · k <sub>1</sub> =	<b>25 mg/L</b>
R <sup>2</sup> =0.9976 q <sub>e</sub> =68.03 K <sub>2</sub> =0.093	R <sup>2</sup> =0.9971 q <sub>e</sub> =79.92 K <sub>2</sub> =0.004	R <sup>2</sup> =0.9971 q <sub>e</sub> =78.74 =0.004 · K	R <sup>2</sup> =0.998 q <sub>e</sub> =96.15 =0.006 · K	R <sup>2</sup> =0.747 q <sub>e</sub> =66.61 k <sub>1</sub> =0.0149	R <sup>2</sup> =0.8015 q <sub>e</sub> =71.35 k <sub>1</sub> =0.016	R <sup>2</sup> =0.7784 q <sub>e</sub> =69.12 k <sub>1</sub> =0.0159	R <sup>2</sup> =0.7331 q <sub>e</sub> =52.61 k <sub>1</sub> =0.022	<b>50 mg/L</b>

The study of synthetic models showed that the coefficient of determination ( $R^2$ ) for Pseudo-second-order model in different concentrations of pollutants in both separate and simultaneous cases is higher than Pseudo-first order model.

### Equilibrium of chromium and dye adsorption and its isotherm mode

In order to determine the removal efficiency, the equations of adsorption isotherms are used. Different theory isotherm models are used to

describe different types of adsorption isotherms. Among them, Freundlich and Langmuir equations are the most used. To investigate the adsorption isotherm in this experiment, 50 ml of solution and 0.02 g of activated carbon with different amounts (50, 100, 200, 300, 400 and 500 (mg/L)) of contaminants at pH = 4 was mixed for 6 hours. The solutions were measured after mixing the filter and the amount of contaminant remaining in the solution. The results are reported in Table 2.

**Table 2. Isotherm parameters**

pollutants				isotherm mode	
mixed Chromium	Mixed dye	Separate Chromium	Separate dye	modle	Langmuir
0/9669	0/9611	0/9748	0/9673		$R^2$
434/78	500	476/19	588/24		$q_{max}$
0/031	0/043	0/048	0/055		B
Freundlich modle					
0/9921	0/9999	0/995	0/998		$R^2$
52/12	65/02	74/71	79/69		$k_f$
2/71	2/69	2/94	2/63		N

### Discussion

Studies of adsorption isotherms (Langmuir and Freundlich) showed that the rate of adsorption of activated carbon in the adsorption of pollutants is high. The adsorption model in this study (chrome and color separately and simultaneously) follows the Freundlich model.

### Conclusions

Simultaneous removal of reactive orange 3R and chromium from aqueous solutions using modified carbon from Sycamore wood. High surface area, Special structure, easy separation

and excellent adsorption capacity of this activated carbon was confirmed. The Freundlich adsorption isotherm was found to have the best fit for the experimental data.

Altogether, the results of this study showed that AC is a very efficient adsorbent for removal from aqueous solutions.

### Acknowledgment

Finally, the researchers thank all the people who participated in this study and made this research possible.

**Conflict of Interest:** There is no conflict of interest between the authors of the article.

## بررسی حذف هم‌زمان رنگ راکتیو اورنج ۳ آر و کروم از محلول‌های آبی با استفاده از کربن اصلاح شده حاصل از چوب درخت چنار

عاطفه ده‌نبی<sup>۱</sup>، احمد اله‌آبادی<sup>۲</sup>، محمدحسین ساقی<sup>۳</sup>، فروغ ریاحی‌منش<sup>۴\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۲. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۳. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران
۴. دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۱

### چکیده

**زمینه و هدف:** امروزه فلزات سنگین و ترکیبات آلی مانند رنگ‌ها جز فراوان و پرخطرترین آلاینده‌های نوپدید هستند که به آب‌های سطحی و زیرزمینی راه پیدا کرده‌اند و سلامت انسان‌ها را تهدید می‌کنند. هدف از این مطالعه، بررسی میزان حذف رنگ راکتیو اورنج ۳ آر و کروم در فرایند جذب مجزا و هم‌زمان به‌وسیله کربن فعال می‌باشد. **مواد و روش‌ها:** در این پژوهش از کربن چنار اصلاح شده با  $\text{NH}_4\text{Cl}$  به‌منظور حذف آلاینده‌ها استفاده گردید و تاثیر متغیرهایی از جمله pH (۹-۲)، غلظت جاذب (۵/۱-۰/۵ گرم بر لیتر)، غلظت آلاینده (۵-۱۰۰ mg/L) و زمان تماس (۲-۴ دقیقه) در حذف رنگ و کروم (هم‌زمان و مجزا) توسط جاذب کربن فعال محاسبه گردید. سپس آزمایش‌های تعادل جذب انجام و ظرفیت جذب و مدل‌های ایزوترم جذب فروندلیچ و لانگمویر و سینتیک واکنش‌های آن بررسی شد.

**یافته‌ها:** نتایج این پژوهش نشان داد که کربن فعال در pH=4، غلظت ۰/۴ گرم بر لیتر جاذب در زمان تماس ۱۵ دقیقه بهترین شرایط حذف برای هردو آلاینده رنگ و کروم را داراست. در شرایط بهینه کربن فعال توانست ۷۲ درصد کروم و ۸۴ درصد رنگ در حالت مجزا و ۵۹ درصد کروم و ۶۷ درصد رنگ در حالت هم‌زمان در محلول آلاینده با غلظت ۲۵ mg/L را حذف کند. همچنین بررسی ایزوترم‌های جذب مشخص کرد که آزمایش‌ها با مدل فروندلیچ مطابقت بیشتری دارد. سنتیک جذب از معادلات شبه مرتبه دوم تبعیت می‌کند. **نتیجه‌گیری:** طبق نتایج به‌دست‌آمده، این جاذب، عملکرد مناسبی در حذف مجزا و هم‌زمان رنگ و کروم دارد و می‌تواند به‌منظور تصفیه فاضلاب حاوی آلاینده‌های آلی و معدنی به‌کار رود.

\* نویسنده مسئول: فروغ

ریاحی‌منش

نشانی: سبزوار - بولوار شهدای  
هسته‌ای، بالاتر از یادبود شهدای  
گمنام، پردیس دانشگاه علوم  
پزشکی، دانشکده بهداشت  
تلفن: ۰۹۱۵۱۵۷۴۰۷۶

رایانامه:

chem.riahi@gmail.com

شناسه ORCID:

0000-0001-7200-640X

شناسه ORCID نویسنده اول:

0000-0001-7968-9389

### کلیدواژه‌ها:

کربن فعال، جذب، رنگ، کروم،  
حذف هم‌زمان

### ۱. مقدمه

امروزه تغییر سبک زندگی انسان‌ها، رشد فزاینده جمعیت، افزایش سریع صنایع و به تبع آن ورود بیشتر آلاینده‌ها به محیط‌زیست و منابع آبی، تهدیدی جدی برای سلامت بشر می‌باشند. در میان آلاینده‌های بی‌شمار منابع آبی که عمدتاً ناشی از فرایندهای صنعتی می‌باشد، توجه به رنگ‌ها و فلزات

سنگین به علت استفاده بسیار زیاد در صنایع مختلف، سمی بودن بالقوه، امکان تجمع در بافت‌ها، سرطان‌زایی و قابلیت تجزیه بیولوژیکی پایین از اهمیت بسزایی برخوردار است [۱-۴].

حدود ۱۰ هزار نوع رنگ تجاری وجود دارد که سالیانه ۱۰۵ ×۷ تن مواد رنگی تولید می‌شود و تقریباً حدود ۲ درصد آن‌ها در پساب آزاد می‌شوند [۵، ۶]. در صنعت نساجی، مقدار زیادی

بررسی کند و میزان کارایی این جاذب را به منظور حذف هم‌زمان آلاینده‌ها از محیط‌های آبی بسنجد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### مواد شیمیایی

در این مطالعه، محلول استاندارد کروم ۶ ظرفیتی با استفاده از نمک دی‌کرومات پتاسیم ( $K_2Cr_2O_7$ ) با درجه آزمایشگاهی با غلظت  $1000 \text{ mg/L}$  به صورت روزانه تهیه گردید و غلظت‌های موردنیاز با رقیق‌سازی این محلول به دست آمد. برای تهیه محلول استاندارد آلاینده رنگی از رنگ صنعتی راکتیو اورنج ۳ آر ساخت شرکت الوان ثابت همدان استفاده شد و محلول  $1000 \text{ mg/L}$  به عنوان محلول مادر مورد استفاده قرار گرفت. کربن فعالی که در این آزمایش به عنوان جاذب استفاده شد از چوب چنار تهیه گردیده است و طبق روش اله آبادی و همکاران توسط  $NH_4Cl$  اصلاح گردید [۳۰]. هیدروکلریک اسید و سدیم هیدروکسید از شرکت مرک تهیه شد و از محلول‌های هیدروکلریک اسید و سدیم هیدروکسید (۱/۰ نرمال) برای تنظیم pH استفاده گردید. به منظور رقیق‌سازی و شستشو از آب دیونیزه دوبار تقطیر استفاده شد.

### دستگاه‌ها

اندازه‌گیری کروم با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی Shimadzu مدل AA7000 انجام گردید. مطالعات اسپکتروفوتومتری برای تشخیص آلاینده رنگ راکتیو اورنج ۳ آر به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Vis مدل DR5000 ساخت شرکت هج آمریکا انجام شد. به منظور تنظیم pH از دستگاه pH متر ساخت شرکت مترواهم کشور سوئیس استفاده شد. مخلوط کردن محلول‌ها به وسیله هیتر هم‌زن مغناطیسی مدل RH Basic2 ساخت شرکت IKA آلمان انجام گردید. بررسی ریخت‌شناسی نانوساختارها با استفاده از میکروسکوپ انتقال الکترونی VEGA-Tescan انجام شد.

### تهیه کربن فعال

کربن تهیه شده از چوب درخت چنار به مدت ۲ ساعت در معرض محلول ۲ درصد وزنی - حجمی از  $NH_4Cl$  قرار می‌گیرد و پس از خشک شدن در آن به مدت ۲ ساعت در کوره الکتریکی تحت دمای  $800^\circ\text{C}$  درجه سانتی‌گراد فعال می‌شود.

### آزمایش‌های جذب و پارامترهای مورد بررسی

در هر آزمایش جاذب (کربن فعال) به  $50$  میلی‌لیتر از محلول آلاینده (کروم، رنگ، مخلوط رنگ و کروم) با غلظت معین ( $25 \text{ mg/L}$ ) افزوده شد و پس از هم‌زدن مخلوط با سرعت ثابت

آب و مواد شیمیایی مصرف می‌شود. رنگ مورد استفاده در این صنایع بیش از  $106$  کیلوگرم در سال است که توسط فاضلاب صنایع نساجی آزاد می‌گردد. راکتیو اورنج ۳ آر یکی از پرمصرف‌ترین رنگ‌ها در صنعت نساجی ایران است [۷] که از گونه رنگ‌های اسیدی است و رایج‌ترین رنگ برای رنگ‌ریزی الیاف پشم، نایلون و ابریشم به‌شمار می‌آید. این ترکیبات نه تنها مانع از انتشار نور خورشید در آب و ایجاد تغییر در اکوسیستم آب می‌شود بلکه برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد که رنگ‌ها باعث ایجاد حساسیت، تب، درماتیت و بثورات پوستی می‌گردد [۸، ۹].

فلزات سنگین دارای وزن اتمی بالا (بین  $63/5$  تا  $200/6$ ) می‌باشند و چگالی آن‌ها حداقل پنج برابر بیشتر از آب است (۱۰). این ترکیبات از صنایعی مانند آبکاری فلز، عملیات رنگ‌ریزی و تولید رنگدانه به فاضلاب راه می‌یابند و تقریباً تجزیه‌ناپذیر می‌باشند [۱۱-۱۳]. کروم یکی از سمی‌ترین آلاینده‌هاست و نوعی فلز سنگین می‌باشد. رایج‌ترین اشکال کروم عبارتند از  $Cr(0)$ ،  $Cr(III)$  و  $Cr(VI)$  که فرم شش ظرفیتی آن سمی‌تر از سه ظرفیتی است و نیاز به توجه بیشتری دارد. قرار گرفتن شدید در معرض  $Cr(VI)$  باعث سرطان در دستگاه گوارش و ریه‌ها می‌شود و ممکن است باعث درد اپی گاستریک، تهوع، استفراغ، اسهال شدید و خونریزی گردد [۱۴-۱۷]. بنابراین به منظور کاهش تأثیرات مضر این ترکیبات و حفظ بهداشت آب و حفاظت انسان در برابر عوارض بهداشتی و برای حذف آن‌ها از پیکره منابع آبی از تکنیک‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی از قبیل اسمز معکوس، رزین‌های تبادل یونی، جذب سطحی، فرایندهای فوتوکاتالیستی، تصفیه الکتروشیمیایی، اکسیداسیون پیشرفته، تجزیه آنزیمی و ... استفاده می‌گردد [۱۸-۲۳]. در میان این فناوری‌های مفید، جذب سطحی به علت سادگی، کارایی قابل قبول، مقرون به صرفه بودن و تولید نکردن مواد شیمیایی جانبی، یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها به منظور حذف آلاینده‌های خطرناک از محیط‌های آبی می‌باشد [۲۴، ۲۵].

کربن فعال که معمولاً از پیرولیز مواد گیاهی تولید می‌شود و تحت عملیات فعال‌سازی قرار می‌گیرد به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد از قبیل سطح ویژه بالا، ساختار متخلخل، ظرفیت جذب بالا و همچنین قیمت پایین، یکی از پرکاربردترین انواع جاذب در فرایندهای جذب سطحی به‌شمار می‌رود و دارای کاربردهای متنوعی می‌باشد [۲۶-۲۹].

این پژوهش قصد دارد میزان حذف هم‌زمان و مجزا کروم و رنگ راکتیو اورنج ۳ آر را به وسیله کربن تهیه شده از چوب چنار

### آزمایش‌های تعادل جذب

برای بررسی ایزوترم جذب در این آزمایش، ۵۰ میلی‌لیتر محلول و ۰/۰۲ گرم از کربن فعال با مقادیر مختلف (۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) از آلاینده‌ها در ۴ pH= به مدت ۶ ساعت مخلوط شد. محلول‌ها پس از اختلاط فیلتر و مقدار آلاینده باقیمانده در محلول اندازه‌گیری گردید. این پژوهش دارای کد اخلاق به شماره IR.MEDSAB.REC.1399.104 می‌باشد.

### ۳. یافته‌ها

#### نتایج مشخصات کربن

اسپکترام FTIR جاذب کربن فعال در شکل ۱ نشان داده شده است. پیک‌های موجود در این نمودار، حضور تعدادی از گروه‌های فعال سطحی بر کربن فعال را نشان می‌دهد گروه عاملی O-H در ناحیه ۳۴۰۰ دارای پیک می‌باشد و پیک‌های ارتعاشات کششی و خمشی آلکان‌ها در این نمودار قابل رویت است.

۱۰۰ دور در دقیقه به‌وسیله فیلتراسات سلولز ۴۵ / میکرون با کمک پمپ خلأ صاف گردید. تفاوت در میزان جذب در دستگاه اسپکتروفتومتر (حذف رنگ) و جذب اتمی (حذف کروم) مشخص شد. درصد حذف (معادله ۱) و ظرفیت جذب طبق معادله ۲ محاسبه گردید.

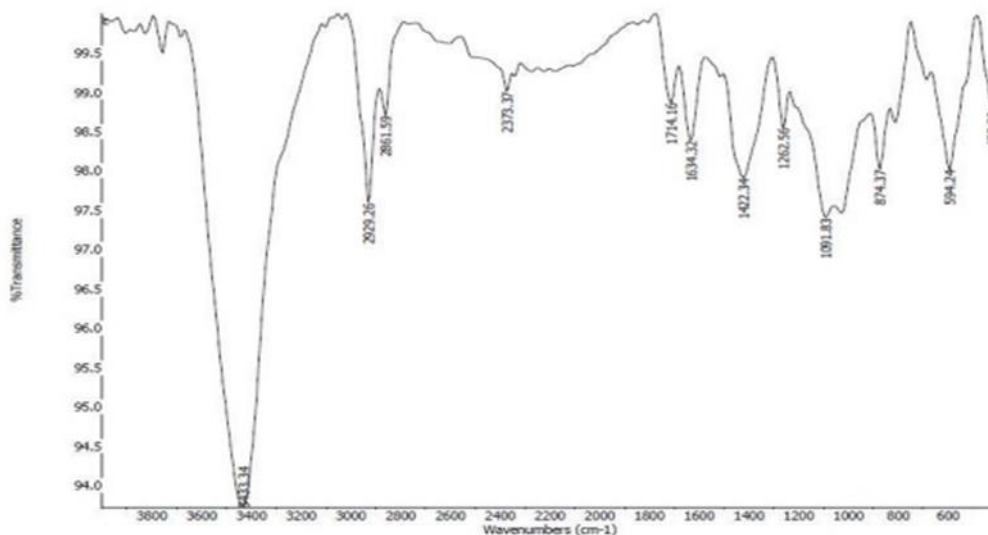
$$\text{معادله (۱)} \quad \text{درصد حذف (\%)} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100$$

که در این رابطه  $C_0$  و  $C_e$  به ترتیب غلظت اولیه و غلظت نهایی می‌باشد. (mg/L)

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{ظرفیت جذب (mg/g)} = \frac{V(C_0 - C_t)}{m}$$

$C_0$  غلظت اولیه آلاینده،  $C_e$  غلظت محلول آلاینده در زمان تعادل (mg/L)،  $m$  وزن جاذب (g) و  $V$  حجم محلول (L) می‌باشد.

در این تحقیق، پارامترهای مورد بررسی pH اولیه (۹-۲)، غلظت اولیه آلاینده‌ها (۱۰۰ - ۵ میلی‌گرم بر لیتر)، وزن کربن فعال (۵/۰ - ۱/۰ گرم بر لیتر) و زمان تماس (۲-۴۰ دقیقه) می‌باشد.



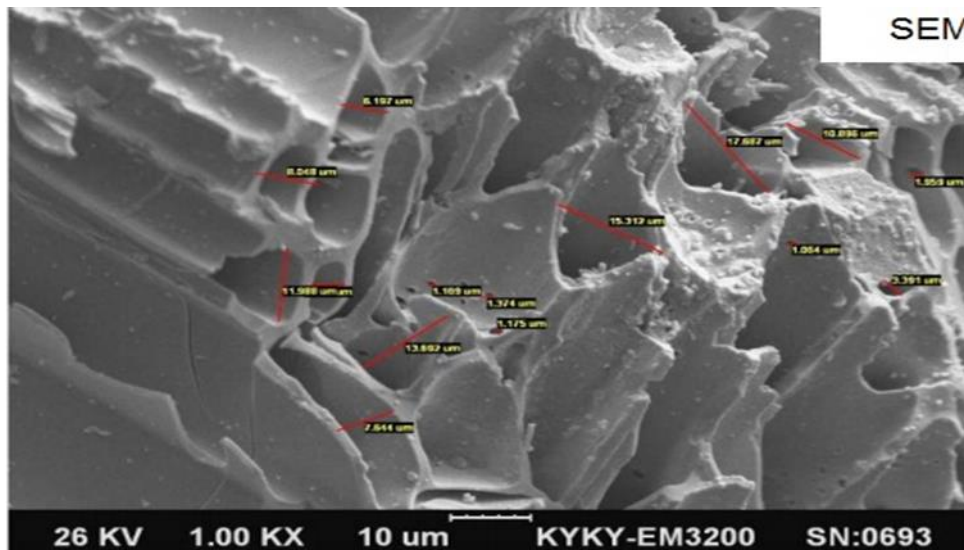
شکل ۱. طیف IR کربن فعال

که در شکل دیده می‌شود مورفولوژی کربن فعال دارای فیبرهای فشرده شده با برخی کانال‌های صاف مشابه، موازی و طولانی است.

#### بررسی مورفولوژی سطح با تصویربرداری SEM

مورفولوژی سطح کربن فعال مغناطیسی به‌وسیله میکروگراف‌های SEM در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور



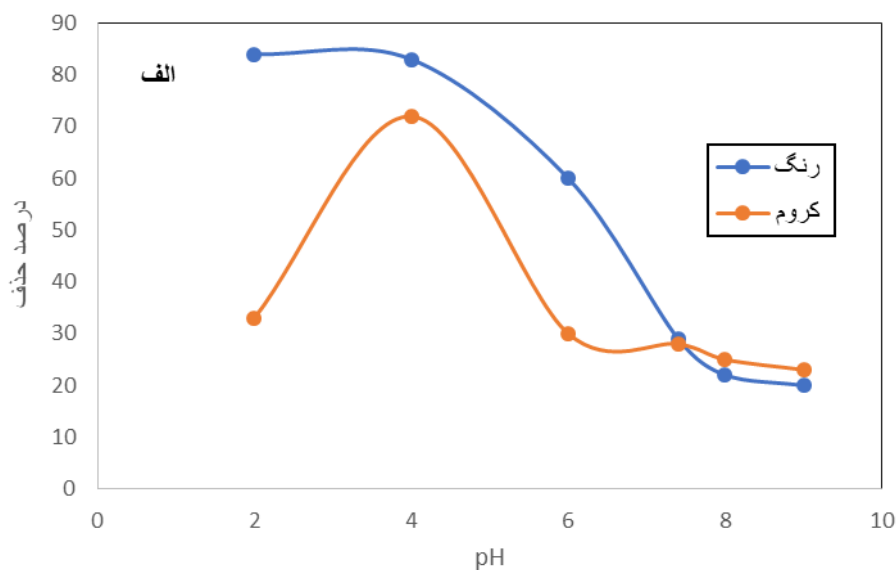


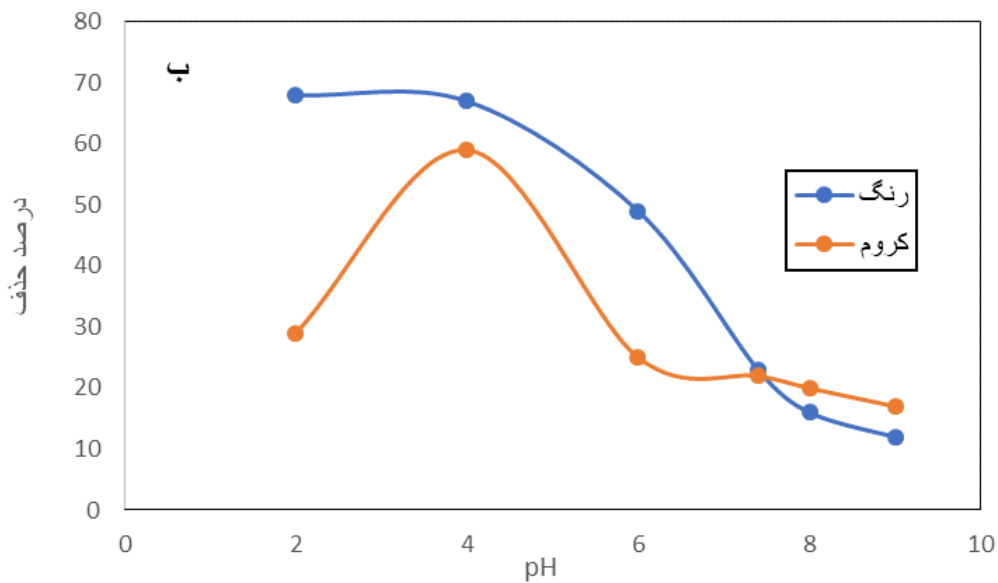
شکل ۲. مورفولوژی سطح کربن فعال حاصل از چوب چنار با تصویربرداری SEM

### نتایج آزمایش‌های پارامتریک بهینه‌سازی pH

به منظور یافتن pH بهینه در حذف آلاینده‌ها توسط کربن فعال (۰/۴ g/L) میزان حذف ۱۵ دقیقه‌ای را در ۵۰ میلی‌لیتر از محلول ۲۵ mg/L فاضلاب سنتزی در نمونه جدا و هم‌زمان رنگ و کروم در pH های بین ۲ تا ۹ بررسی شد (شکل ۳). در pH=۲ و pH=۸۴ نمونه‌های رنگ در حالت مجزا و هم‌زمان با کروم به ترتیب ۶۸ درصد و ۶۸ درصد حذف مشاهده گردید که نسبت pH=۴ تقریباً

ثابت بود و در ادامه با افزایش pH در میزان حذف روند کاهشی شدیدی دیده شد و در pH=۹ درصد حذف به ۲۰ درصد برای رنگ مجزا و ۱۲ درصد برای نمونه مخلوط رسید. در محلول کروم در حالت جدا با افزایش pH از ۲ به ۴ درصد حذف آلاینده از ۳۳ درصد به ۷۲ درصد و در حالت هم‌زمان با رنگ از ۲۹ درصد به ۵۹ درصد رسید و سپس با افزایش pH روند کاهشی داشت. همان‌طور که مشخص است در تمام آزمایش‌ها بهترین میزان حذف در pH=۴ مشاهده گردید و حذف در حالت مجزا کمی بالاتر از هم‌زمان است.



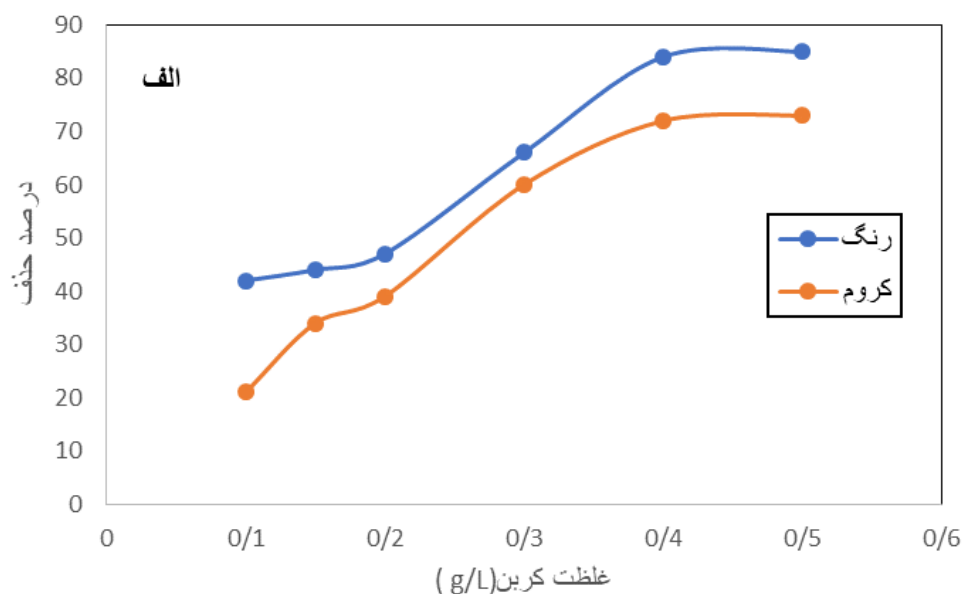


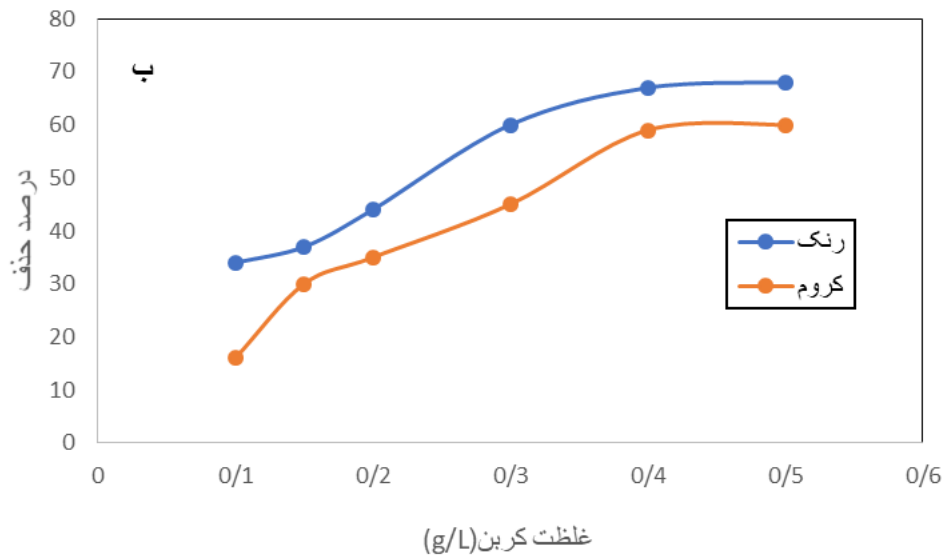
شکل ۳. تأثیر pH بر حذف به صورت مجزا (الف) و هم‌زمان (ب) در ۵۰ ml محلول ۲۵ mg/L در ۴ گرم بر لیتر جاذب به مدت ۱۵ دقیقه

رنگ و کروم افزایش یافته است. در حالت مجزا درصد حذف رنگ از ۴۲ درصد (۱ g/L کربن) به ۸۵ درصد (۰/۵ g/L کربن) و کروم از ۲۱ درصد (۱ g/L کربن) به ۷۳ درصد (۰/۵ g/L کربن) می‌رسد. در حالت هم‌زمان در ۱ g/L کربن، کروم ۱۶ درصد و رنگ ۳۴ درصد حذف داشت که این مقدار برای غلظت ۰/۵ g/L جاذب به ترتیب به ۶۰ درصد و ۶۸ درصد رسید.

#### تأثیر دوز جاذب بر میزان حذف

نتایج حاصل از تغییرات دوز جاذب (۰/۱ - ۰/۵ g/L) بر راندمان حذف در شکل ۴ نمایش داده شده است. در هر آزمایش ۵۰ ml از محلول مجزا یا هم‌زمان کروم و رنگ در ۴ pH= به مدت ۱۵ دقیقه بررسی شد. مشخص گردید که با افزایش مقدار غلظت کربن فعال در شرایط ثابت، راندمان حذف



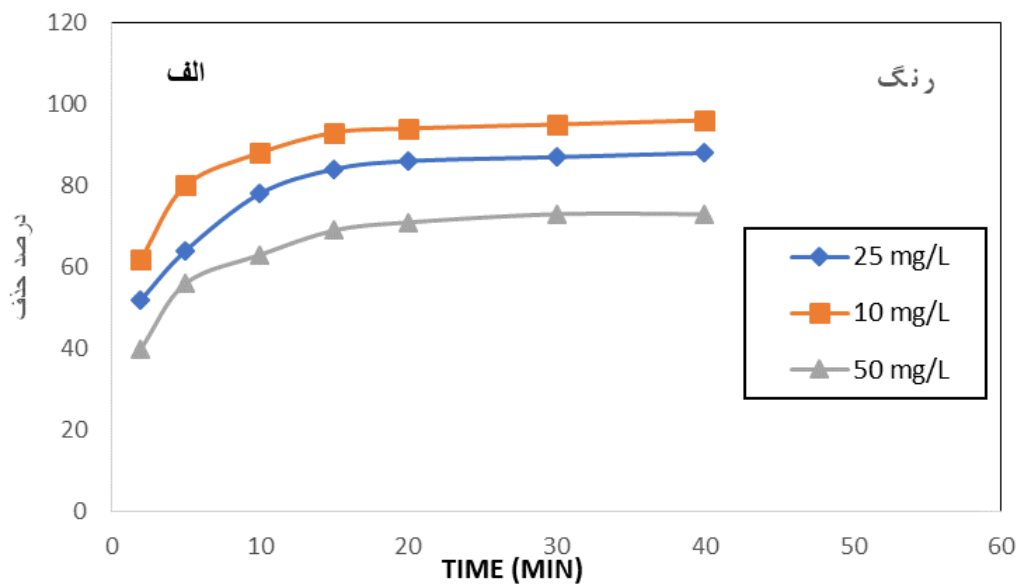


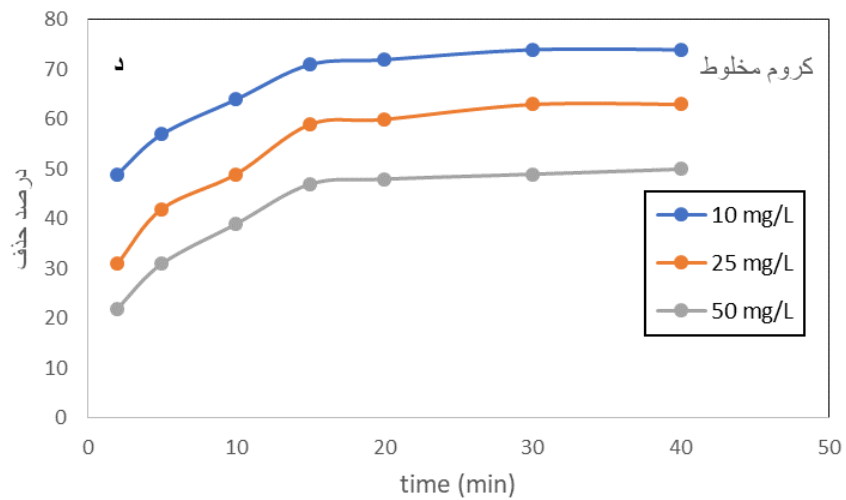
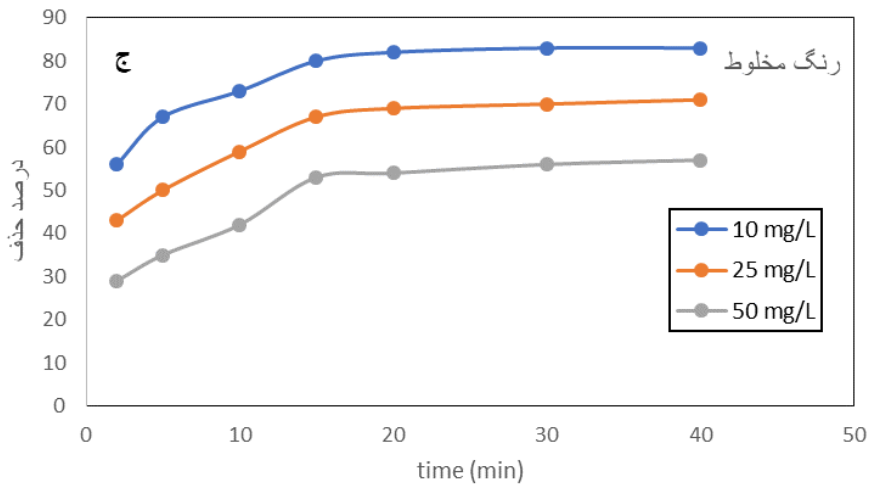
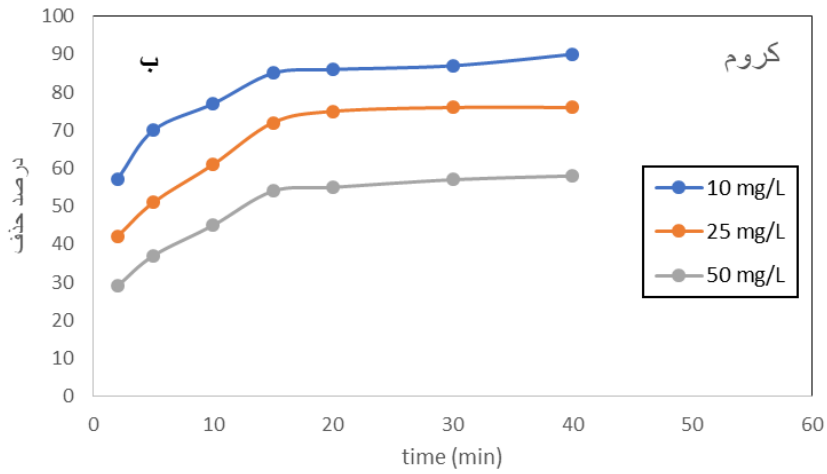
شکل ۴. تأثیر دوز جاذب بر میزان حذف در حالت مجزا (الف) و همزمان (ب).  $50 \text{ ml}$  محلول  $25 \text{ mg/L}$  در  $\text{pH} = 4$  به مدت ۱۵ دقیقه

مشخص گردید در تمام حالات (مجزا و همزمان) رنگ و کروم در ۱۵ دقیقه نخست با افزایش زمان درصد حذف افزایش می‌یابد ولی با دادن زمان بیش‌تر تأثیر زیادی در افزایش جذب مشاهده نمی‌گردد (شکل ۵).

#### تأثیر زمان تماس و بررسی سینتیک واکنش

به منظور بهینه کردن زمان تماس آنالیت (مجزا و همزمان) و جاذب در غلظت‌های  $10 \text{ mg/L}$ ،  $25 \text{ mg/L}$  و  $50 \text{ mg/L}$  را در  $\text{pH} = 4$  در زمان‌های مختلف (۲-۴۰ min) بررسی شد و





شکل ۵. تأثیر زمان تماس در غلظت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بر میزان جذب ۵۰ ml محلول ۲۵ mg/L در pH=۴ در رنگ مجزا (الف)، کروم مجزا (ب)، رنگ همزمان (ج) و کروم همزمان (د)

معادله سینتیک جذب سطحی شبه مرتبه دوم  
آلاینده‌های آب با معادله (۴) بیان می‌شود.

$$t/qt = 1/k_2q_e^2 + t/q_e \quad \text{معادله ۴}$$

و برای بررسی معادله شبه مرتبه دوم نمودار  $t/qt$  بر حسب  $t$  رسم می‌شود. در این معادلات  $qt$  ظرفیت جذب در زمان  $t$  و  $q_e$  ظرفیت جذب در زمان تعادل و  $K$  ثابت سرعت جذب است. نتایج حاصل از بررسی سینتیک شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم در جدول ۱ آمده است.

در این پژوهش، به منظور بررسی سازوکار و سرعت جذب سطحی مولکول‌های آلاینده‌ها (رنگ و کروم) در حالت مجزا و هم‌زمان از دو معادله سینتیک شبه درجه اول و دوم استفاده گردید [۳۱، ۳۲].

معادله شبه مرتبه اول با رابطه معادله ۳ بیان می‌شود. به منظور بررسی معادله شبه مرتبه اول نمودار  $\ln(q_e - qt)$  بر حسب  $t$  رسم می‌گردد.

$$\ln(q_e - qt) = \ln q_e - k_1 t \quad \text{معادله ۳}$$

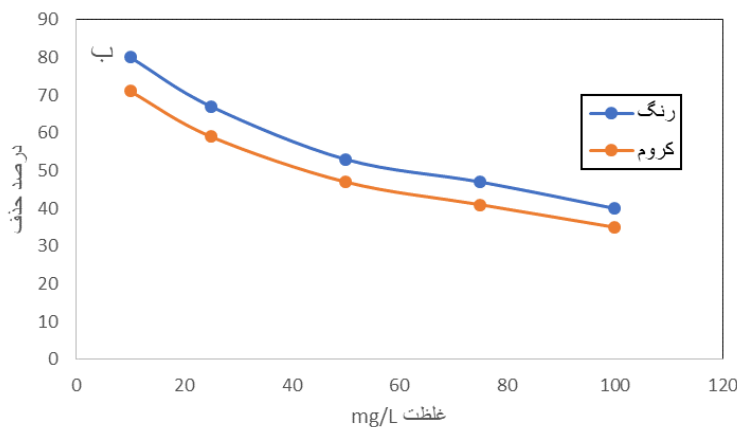
جدول ۱. بررسی پارامترهای سینتیک واکنش

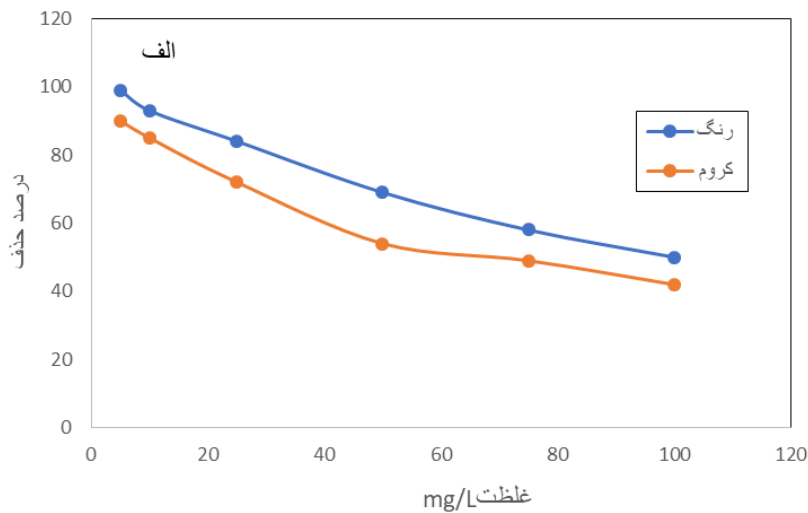
شبه مرتبه دوم		شبه مرتبه اول		بررسی سینتیک جذب
رنگ مخلوط	کروم مجزا	رنگ مجزا	کروم مخلوط	
$R^2 = 0.9994$	$R^2 = 0.9994$	$R^2 = 0.9992$	$R^2 = 0.9995$	غلظت ۱۰
$q_e = 19/30$	$q_e = 21/50$	$q_e = 23/15$	$q_e = 10/65$	
$K = 0.34$	$K = 0.37$	$K = 0.27$	$k_1 = 0.182$	
$R^2 = 0.9977$	$R^2 = 0.9987$	$R^2 = 0.998$	$R^2 = 0.9994$	غلظت ۲۵
$q_e = 42/37$	$q_e = 46/51$	$q_e = 52/63$	$q_e = 57/80$	
$K = 0.08$	$K = 0.08$	$K = 0.07$	$k_1 = 0.235$	
$R^2 = 0.9976$	$R^2 = 0.9971$	$R^2 = 0.998$	$R^2 = 0.9988$	غلظت ۵۰
$q_e = 68/03$	$q_e = 79/92$	$q_e = 78/74$	$q_e = 96/15$	
$K = 0.93$	$K = 0.04$	$K = 0.04$	$k_1 = 0.149$	

۴۰ درصد رسید. در محلول کروم وقتی غلظت از  $5 \text{ mg/L}$  به  $100 \text{ mg/L}$  می‌رسد درصد حذف از ۹۰ درصد به ۴۲ درصد (در حالت مجزا) و ۸۰ درصد به ۳۵ درصد (در حالت مخلوط) کاهش می‌یابد شکل (۶).

### بررسی تأثیر غلظت آلاینده بر حذف کروم و رنگ

با بررسی تأثیر غلظت بر میزان حذف مشخص گردید که با افزایش غلظت رنگ از  $5 \text{ mg/L}$  به  $100 \text{ mg/L}$  در حالت مجزا و مخلوط به ترتیب از ۹۹ درصد به ۵۰ درصد و از ۹۰ درصد به





شکل ۶. تأثیر غلظت آلاینده در حالت مجزا (الف) و هم‌زمان (ب).  $ml\ 50$  محلول در  $pH\ 4$  به مدت ۱۵ دقیقه با  $g/L\ 4/0$  کربن فعال

### بررسی ایزوترم جذب

به منظور تعیین کارایی حذف و روند تغییرات آن از معادلات ایزوترم‌های جذب استفاده می‌شود، مدل‌های ایزوترمی تئوری و تجربی مختلفی برای توصیف انواع مختلف ایزوترم‌های جذب استفاده می‌شود که از بین آن‌ها دو معادله فروندلیچ و لانگمویر بیش‌ترین کاربرد را دارد [۳۳]. معادله لانگمویر مبنای تئوری دارد و قابلیت کاربرد گسترده‌ای دارد به صورت معادله (۵) بیان می‌شود.

$$\frac{C_{eq}}{q_{eq}} = \frac{C_{eq}}{q_m} + \frac{1}{q_m b} \quad (۵)$$

در این رابطه  $C_e$  غلظت مواد باقیمانده در زمان تعادل،  $q_e$  ظرفیت جذب در حال تعادل،  $q_m$  ماکزیمم ظرفیت جذب برای تشکیل لایه کامل و  $b$  ثابت لانگمویر است. با رسم منحنی

$C_e/q_e$  برحسب  $C_e$  مقادیر  $b$ ،  $q_{max}$  و  $R^2$  را می‌توان به دست آورد.

در رابطه فروندلیچ فرض برای است که جاذب دارای سطح گیرکنوختی است که از سطوح مختلفی از سایت‌های جذب تشکیل شده است. مقدار آلاینده‌های جذب شده به صورت نامحدود با افزایش غلظت زیاد می‌شود. رابطه جذب سطحی فروندلیچ به صورت معادله (۶) می‌باشد.

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

که در این معادله  $k$  شدت جذب جاذب و  $n$  ظرفیت جذب است. معادله فروندلیچ حاصل از رسم نمودار  $\ln q_e$  برحسب  $\ln C_e$  است و مقادیر  $N$ ،  $k$  و  $R^2$  محاسبه گردید (جدول ۲).

جدول ۲. اطلاعات آنالیز ایزوترم جذب در مطالعه جذب در مقیاس ناپیوسته

آلاینده		نوع ایزوترم		
رنگ مخلوط	کروم مخلوط	رنگ مجزا	کروم مجزا	لانگمویر
۰/۹۶۶۹	۰/۹۶۱۱	۰/۹۷۴۸	۰/۹۶۷۳	$R^2$
۴۳۴/۷۸	۵۰۰	۴۷۶/۱۹	۵۸۸/۲۴	$q_{max}$
۰/۰۳۱	۰/۰۴۳	۰/۰۴۸	۰/۰۵۵	$B$
فروندلیچ				
۰/۹۹۲۱	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۵	۰/۹۹۸	$R^2$
۵۲/۱۲	۶۵/۰۲	۷۴/۷۱	۷۹/۶۹	$k_f$
۲/۷۱	۲/۶۹	۲/۹۴	۲/۶۳	$N$

کشاورزی، همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، قابل مقایسه است.

به‌طور کلی، مقدار آلاینده جذب شده (کروم و رنگ) در حالت مجزا و هم‌زمان توسط کربن فعال مورد استفاده در این مطالعه با ظرفیت جذب سایر کربن‌های فعال مبتنی بر ضایعات

جدول ۳. مقایسه ظرفیت جذب کربن چوب چنار با سایر کربن‌های فعال مبتنی بر ضایعات کشاورزی

ظرفیت جذب (mg/g)	جاذب
۱۴۹/۲۵ (فنول)	کربن فعال تهیه شده با بیومس (۳۴)
۶۱۵ (متیلن بلو) ۳۳۹ (کنگورد)	کربن فعال تهیه شده از درخت دم اسبی (۳۵)
۲۵۸/۷ (متیلن بلو)	کربن فعال تهیه شده از چمن نپتون (۳۶)
۳۹۸/۲ (متیلن بلو)	کربن فعال تهیه شده از ضایعات کشاورزی (۳۷)
۲۷/۸۶ (کروم)	کربن فعال تهیه شده از ضایعات استخوان حیوانات (۳۸)
۱۶ /۶۶۷ (کروم)	کربن فعال تهیه شده از اسپند (۳۹)

[۴۱]. بنابراین در هر دو آلاینده (رنگ و کروم)  $\text{pH} = 4$  به‌عنوان مقدار بهینه برای آزمایش‌های بعدی فرایند جذب انتخاب شد.

در توضیح تأثیر دوز جاذب نیز همان‌طور که مشخص است با افزایش دوز جاذب در کروم و رنگ در آزمایش‌های هم‌زمان و مجزا میزان جذب با افزایش غلظت کربن فعال زیاد می‌شود که به دلیل افزایش سطح جاذب در دسترس آلاینده‌ها و اشباع نشدن سایت‌های جذب سطح کربن فعال است. با افزایش بیش‌تر جاذب روند افزایشی جذب کمتر می‌شود که به علت کاهش آلاینده‌های در دسترس برای ایجاد حداکثر پوشش سطح جاذب می‌باشد.  $0/4$  گرم بر لیتر به‌عنوان دوز مؤثر و با صرفه اقتصادی انتخاب می‌گردد. موسوی و همکارانش نتایج مشابهی را برای تأثیر دوز جاذب در حذف آموکسی‌سیلین گزارش کردند [۳۰]. در شکل ۴ تأثیر زمان در غلظت‌های مختلف بررسی گردید و مشخص شد که هرچه غلظت بالاتر رود درصد حذف آلاینده‌ها توسط کربن فعال کاهش می‌یابد که این امر به علت پر شدن محل‌های فعال موجود در کربن فعال است اما ظرفیت جذب به دلیل افزایش برخورد بین جاذب و آلاینده افزایش می‌یابد. زمان تماس معمولاً به‌عنوان عاملی بسیار تأثیرگذار در جذب سطحی مطرح است و نتیجه این پژوهش نشان داد درصد حذف در هر دو آلاینده (هم‌زمان و مجزا) تا  $15 \text{min}$  افزایش یافته و سپس تقریباً پایدار بوده است. این رفتار نشان می‌دهد که در زمان‌های اولیه جذب، بسیاری از سایت‌های سطحی برای جذب غیراشباع هستند. پس از  $15$  دقیقه نیروی محرکه انتقال جرم بین مولکول‌های آلاینده و جاذب کاهش می‌یابد. Manirethan و

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش‌ها نشان‌دهنده کارکرد بسیار خوب کربن فعال به‌منظور حذف هم‌زمان و مجزا رنگ راکتیو اورنج ۳ آر راکتیو اورنج ۳ آر و کروم می‌باشد.

$\text{pH}$  با تأثیر بر درجه یونیزاسیون آلاینده‌ها، بار سطحی جاذب، تفکیک گروه‌های کاربردی بر روی سایت‌های فعال جاذب و ... درصد حذف آلاینده‌ها را تغییر می‌دهد. در حذف کروم به‌وسیله کربن فعال در حالت مجزا و در ابتدا با افزایش  $\text{pH}$  غلظت  $\text{HCrO}_4^-$  و  $\text{CrO}_4^{2-}$  که دارای بار منفی هستند بیشتر می‌گردد و به‌وسیله نیروی جاذبه با بار مثبت جاذب جذب می‌شوند و درصد حذف زیاد می‌گردد. با افزایش قلیابیت رقابت و نیروی دافعه بین  $\text{OH}^-$  و آنیون‌های کرومات باعث تمایل کمتر جذب بر روی جاذب و کاهش درصد حذف می‌گردد. اله آبادی و همکاران به نتایج مشابهی در حذف آموکسی‌سیلین از محیط‌های آبی به‌وسیله کربن فعال تولیدی با چوب انار دست یافتند [۴۰]. در حذف راکتیو اورنج ۳ آر میزان حذف از ۲ تا ۴ در حالت مجزا و هم‌زمان تقریباً ثابت است و سپس با افزایش  $\text{pH}$  این مقدار کاهش می‌یابد. در  $\text{pH} = 4$  به دلیل جاذبه الکترواستاتیک بین مولکول‌های با بار منفی رنگ و بار مثبت سطح جاذب، راندمان جذب بالا است. اما در  $\text{pH}$  بالاتر، سطح جاذب دارای بار منفی است و بنابراین نیروی دافعه الکترواستاتیک بین یون‌های دارای بار منفی رنگ آنیونی و جاذب، میزان جذب رنگ را کاهش می‌دهد. در تحقیقات قره خانی در سال ۲۰۱۶ در حذف رنگ راکتیو اورنج ۳ آر با نانو کامپوزیت در  $\text{pH} = 6$  بیش‌ترین میزان حذف مشاهده گردید

همکارانش در پژوهش حذف متیلن بلو توسط کربن فعال حاصل از موز، نحوه جذب را مطابق با ایزوترم فروندلیچ یافتند [۴۴].

### تشکر و قدردانی

مقاله فوق حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم پزشکی سبزوار می‌باشد. بدین وسیله از دانشکده بهداشت و معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه به‌منظور حمایت از طرح فوق کمال تشکر را داریم.

همکارش در حذف فلزات سنگین نتایج مشابهی را گزارش کردند [۴۲].

بررسی مدل‌ها سنتیکی نشان داد که ضریب تعیین ( $R^2$ ) برای مدل‌های شبه درجه دوم در غلظت‌های مختلف آلاینده‌ها و در هر دو حالت مجزا و هم‌زمان بیشتر از شبه درجه اول است. این ویژگی مبین این نکته است که در جذب آلاینده‌ها بر کربن فعال توسط فرایند جذب شیمیایی کنترل می‌شود [۴۳].

بررسی‌های ایزوترم‌های جذب (لانگمویر و فروندلیچ) مشخص کرد که سرعت جذب کربن فعال در جذب آلاینده‌ها بالاست. مدل جذب در این بررسی (کروم و رنگ در حالت مجزا و هم‌زمان) از مدل فروندلیچ تبعیت می‌کند. Misran و

### References

- [1]. Shahrokhi-Shahraki R, Benally C, El-Din MG, Park J. High efficiency removal of heavy metals using tire-derived activated carbon vs commercial activated carbon: Insights into the adsorption mechanisms. *Chemosphere*. 2021;264:128455.
- [2]. Li J, Xing X, Li J, Shi M, Lin A, Xu C, et al. Preparation of thiol-functionalized activated carbon from sewage sludge with coal blending for heavy metal removal from contaminated water. *Environmental Pollution*. 2018;234:677-83.
- [3]. Lo S-F, Wang S-Y, Tsai M-J, Lin L-D. Adsorption capacity and removal efficiency of heavy metal ions by Moso and Ma bamboo activated carbons. *Chemical Engineering Research and Design*. 2012;90(9):1397-406.
- [4]. Ayisha Sidiqia M, Priya VS. Removal of yellow dye using composite binded adsorbent developed using natural clay and activated carbon from sapindus seed. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021;33:101965.
- [5]. Islam MA, Ali I, Karim SMA, Hossain Firoz MS, Chowdhury A-N, Morton DW, et al. Removal of dye from polluted water using novel nano manganese oxide-based materials. *Journal of Water Process Engineering*. 2019;32:100911.
- [6]. Bharathi KS, Ramesh ST. Removal of dyes using agricultural waste as low-cost adsorbents: a review. *Applied Water Science*. 2013;3(4):773-90.
- [7]. Tayebi H-A, Ghanei M, Aghajani K, Zohrevandi M. Modeling of reactive orange 16 dye removal from aqueous media by mesoporous silica/ crosslinked polymer hybrid using RBF, MLP and GMDH neural network models. *Journal of Molecular Structure*. 2019;1178:514-23.
- [8]. Aghajani K, Tayebi H. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference system analysis on adsorption studies of Reactive Red 198 from aqueous solution by SBA-15/CTAB composite. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2017;171:439-48.
- [9]. Aghajani K, Tayebi H-A. Synthesis of SBA-15/PAni mesoporous composite for adsorption of reactive dye from aqueous media: RBF and MLP networks predicting models. *Fibers and Polymers*. 2017;18(3):465-75.
- [10]. Nowruzi R, Heydari M, Javanbakht V. Synthesis of a chitosan/polyvinyl alcohol/activate carbon biocomposite for removal of hexavalent chromium from aqueous solution. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;147:209-16.
- [11]. Javanbakht V, Alavi SA, Zilouei H. Mechanisms of heavy metal removal using microorganisms as biosorbent. *Water Science and Technology*. 2013;69(9):1775-87.
- [12]. Highly Cited Researcher M. Hexavalent chromium removal from aqueous medium by activated carbon prepared from peanut shell: Adsorption kinetics, equilibrium and thermodynamic studies. *The Chemical Engineering Journal*. 2012.
- [13]. Derakhshan Z, Mahvi A, Faramarzian M, Dehghani M, Salari M, Fakhri Y, et al. Data on heavy metal concentration in common carp fish consumed in Shiraz, Iran. *Data in Brief*. 21;2018
- [14]. Hokkanen S, Bhatnagar A, Repo E, Lou S, Sillanpää M. Calcium hydroxyapatite microfibrillated cellulose composite as a potential adsorbent for the removal of Cr(VI) from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal*. 2016; 52:283-445.
- [15]. Zhang H, Tang Y, Cai D, Liu X, Wang X, Huang Q, et al. Hexavalent chromium removal from aqueous solution by algal bloom residue derived activated carbon: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Hazardous Materials*. 2010;181(1):8-801.
- [16]. Dehghani MH, Zarei A, Mesdaghinia A, Nabizadeh R, Alimohammadi M, Afsharnia M. Adsorption of Cr(VI) ions from aqueous systems using thermally sodium organo-bentonite biopolymer composite (TSOBC): response surface methodology, isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*. 2017;85:298-312.
- [17]. Karimi A, Naghizadeh A, Biglari H, Peirovi Minaee R, Ghasemi A, Zarei A. Assessment of human health risks and pollution index for heavy metals in farmlands irrigated by effluents of stabilization ponds. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;27.
- [18]. Sun Y, Peng D, Li Y, Guo H, Zhang N, Wang H, et al. A robust prediction of U(VI) sorption on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/activated carbon composites with surface complexation model. *Environmental Research*. 2020;185:109467.
- [19]. Liu R, Zhang W, Chen Y, Wang Y. Uranium (VI) adsorption by copper and copper/iron bimetallic central MOFs. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2020;587:124334.
- [20]. Basheer AO, Hanafiah MM, Alsaadi MA, Al-Douri Y, Al-Raad AA. Synthesis and optimization of high surface area mesoporous date palm fiber-based nanostructured powder activated carbon for aluminum removal. *Chinese Journal of*



- Chemical Engineering. 2021;32:472-84.
- [21]. Al-Harashsheh M, Batiha M, Kraishan S, Al-Zoubi H. Precipitation treatment of effluent acidic wastewater from phosphate-containing fertilizer industry: Characterization of solid and liquid products. *Separation and Purification Technology*. 2014;123:190-9.
- [22]. Shen J, Schäfer A. Removal of fluoride and uranium by nanofiltration and reverse osmosis: A review. *Chemosphere*. 2014;117:679-91.
- [23]. Yuan H, He Z. Integrating membrane filtration into bioelectrochemical systems as next generation energy-efficient wastewater treatment technologies for water reclamation: A review. *Bioresource Technology*. 2015;195:202-9.
- [24]. Adebisi A, Chowdhury Z, Alaba P. Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies of Lead ion and Zinc ion Adsorption from Aqueous Solution onto Activated Carbon Prepared From Palm Oil Mill Effluent. *Journal of Cleaner Production*. 2017;148:958-68.
- [25]. Ncibi MC, Sillanpää M. Optimizing the removal of pharmaceutical drugs Carbamazepine and Dorzolamide from aqueous solutions using mesoporous activated carbons and multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Molecular Liquids*. 2017;238:379-88.
- [26]. Roosta M, Ghaedi M, Daneshfar A, Darafarin S, Sahraei R, Purkait MK. Simultaneous ultrasound-assisted removal of sunset yellow and erythrosine by ZnS:Ni nanoparticles loaded on activated carbon: Optimization by central composite design. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2014;21(4):1441-50.
- [27]. Giannakoudakis DA, Kyzas GZ, Avranas A, Lazaridis NK. Multi-parametric adsorption effects of the reactive dye removal with commercial activated carbons. *Journal of Molecular Liquids*. 2016;213:381-9.
- [28]. Nandeshwar SN, Mahakalakar AS, Gupta RR, Kyzas GZ. Green activated carbons from different waste materials for the removal of iron from real wastewater samples of Nag River, India. *Journal of Molecular Liquids*. 2016;216:688-92.
- [29]. Mezohegyi G, van der Zee FP, Font J, Fortuny A, Fabregat A. Towards advanced aqueous dye removal processes: A short review on the versatile role of activated carbon. *Journal of Environmental Management*. 2012;102:148-64.
- [30]. Moussavi G, Alahabadi A, Yaghmaeian K, Eskandari M. Preparation, characterization and adsorption potential of the NH<sub>4</sub>Cl-induced activated carbon for the removal of amoxicillin antibiotic from water. *Chemical Engineering Journal*. 2013;217:119-28.
- [31]. Biglari H, Afsharnia M, Javan N, Sajadi SA. Phenol Removal from Aqueous Solutions by Adsorption on Activated Carbon of Miswak's Root Treated with KMnO<sub>4</sub>. *Iran-J-Health-Sci*. 2016;4(1):20-30.
- [32]. Dehghani MH, Hassani AH, Karri RR, Younesi B, Shayeghi M, Salari M, et al. Process optimization and enhancement of pesticide adsorption by porous adsorbents by regression analysis and parametric modelling. *Scientific Reports*. 2021;11(1):11719.
- [33]. Afsharnia M. Sono-Electrocoagulation of Fresh Leachate from Municipal Solid Waste; Simultaneous Applying of Iron and Copper Electrodes. *International Journal of Electrochemical Science*. 2018;13:472-84.
- [34]. Hameed BH, Rahman AA. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from biomass material. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;160(2):576-81.
- [35]. Amran F, Zaini MAA. Valorization of Casuarina empty fruit-based activated carbons for dyes removal - Activators, isotherm, kinetics and thermodynamics. *Surfaces and Interfaces*. 2021;25:101277.
- [36]. Dural MU, Cavas L, Papageorgiou SK, Katsaros FK. Methylene blue adsorption on activated carbon prepared from *Posidonia oceanica* (L.) dead leaves: Kinetics and equilibrium studies. *Chemical Engineering Journal*. 2011;168(1):77-85.
- [37]. Ahmed MJ, Dhedan SK. Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons. *Fluid Phase Equilibria*. 2012;317:9-14.
- [38]. Prabu D, Kumar PS, Rathi BS, Sathish S, Anand KV, Kumar JA, et al. Feasibility of magnetic nano adsorbent impregnated with activated carbon from animal bone waste: Application for the chromium (VI) removal. *Environmental Research*. 2022;203:111813.
- [39]. Nasseh N, Khosravi R, Rumman GA, Ghadirian M, Eslami H, Khoshnamvand M, et al. Adsorption of Cr(VI) ions onto powdered activated carbon synthesized from *Peganum harmala* seeds by ultrasonic waves activation. *Environmental Technology & Innovation*. 2021;21:101277.
- [40]. Alahabadi A, Hosseini-Bandegharai A, Moussavi G, Amin B, Rastegar A, Karimi-Sani H, et al. Comparing adsorption properties of NH<sub>4</sub>Cl-modified activated carbon towards chlortetracycline antibiotic with those of commercial activated carbon. *Journal of Molecular Liquids*. 2017;232:367-81.
- [41]. Gharekhani E. PDF] from bas.bg Investigation and optimization of reactive orange-3R dye surface absorption by nano-MMT/NZVI composite adsorbent in a process of textile industry wastewater treatment. *Bulg Chem Commun*. 2016;48(Special):211-6.
- [42]. Manirethan V, Balakrishnan RM. Batch and continuous studies on the removal of heavy metals using biosynthesised melanin impregnated activated carbon. *Environmental Technology & Innovation*. 2020;20:101085.
- [43]. Salman JM, Njoku VO, Hameed BH. Bentazon and carbofuran adsorption onto date seed activated carbon: Kinetics and equilibrium. *Chemical Engineering Journal*. 2011;173(2):361-8.
- [44]. Misran E, Bani O, Situmeang EM, Purba AS. Banana stem based activated carbon as a low-cost adsorbent for methylene blue removal: Isotherm, kinetics, and reusability. *Alexandria Engineering Journal*. 2021.