



Environment and Water Engineering

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)



ISSN: 2476-3683

Research Paper

# Use of Decision Tree Algorithm to Model 2,4-D Herbicide Removal Process from Water by Rice Husk Biochar

Mehdi Bahrami<sup>1\*</sup>, Anahita Zare<sup>2</sup> and Mohammad Javad Amiri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Assoc. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran

<sup>2</sup>M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Fasa University, Fasa, Iran

## Paper Information

Received: March 01, 2022

Revised: July 13, 2022

Accepted: July 13, 2022

## Keywords:

Adsorption

Data Mining

Decision Tree

Dichlorophenoxyacetic Acid

Rice Husk Biochar

\*Corresponding author:

bahrami@fasau.ac.ir



## Abstract

This study modeled the adsorption process of 2,4-D pollutant from the aqueous medium by rice husk biochar adsorbent using CART and CHAID decision tree algorithms. The effect of contact time (0-120 min), temperature (20-60 °C), initial concentration of contaminant (60-600 mg/L), adsorbent dose (0.05-0.2 g), and pH (2-9) was examined on the adsorption capacity. The results indicated that the adsorption capacity reached the maximum at pH=5.50 and the temperature lower than 30 °C. The outputs of both models showed that the initial concentration of the contaminant and the adsorbent dose had the most significant effect on the adsorption capacity, increasing with the initial concentration increment and the adsorbent dose decrement. At the initial concentration of less than 350 mg/L and the adsorbent dose of less than 0.08 g, the maximum adsorption capacity was 37.1 mg/g. The CART model, with an R<sup>2</sup> of 98.1%, showed higher performance than the CHAID model, with a 97.7% value, in estimating the adsorption capacity of rice husk biochar. Rice husk biochar (BRH) can be used as a suitable adsorbent to remove 2,4-D herbicide from water due to its low initial cost, high physical and chemical capability, and high ability to remove the studied contaminant.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access paper distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## Introduction

The quantitative and qualitative crisis of water in Iran is caused by the uneven distribution of water resources, hydrological droughts, mismanagement, excessive use of these water resources, non-compliance with quality standards, etc. The increasing use of pesticides and chemical fertilizers in agriculture to increase the productivity of fertile lands has caused the destructive effects of herbicides on non-target species. Due to their high solubility, phenoxy

herbicides are easily washed away and enter surface and underground waters. One of the herbicides used to control weeds in agricultural fields is 4,2-dichlorophenoxy-acetic acid (2,4-D). Various methods including ion exchange, advanced oxidation, membrane technologies, biological treatment, and adsorption are used to remove toxins such as 2,4-D from polluted water. In the adsorption process, it is important to use a material with a high adsorption capacity and a cheap price, like rice husk biochar. In this study,



the effect of independent variables of contact time, temperature, initial concentration of 2,4-D in solution, adsorbent dose, and pH on the adsorption capacity ( $q$ ) of rice husk biochar was investigated during batch experiments, and the criteria between these parameters and adsorption capacity were simulated using CART and CHAID algorithms.

### Material and Methods

The 2,4-D herbicide with the chemical formula  $C_8H_6Cl_2O_3$  was purchased from Sigma Aldrich (USA) with a purity of 97.5%. The stock solution was prepared with a concentration of 1000 mg/L, and then the required concentrations were prepared with distilled water and stock solution. Rice husk was obtained from a local farm in Fars province. The surface morphology and pore structure of the adsorbent was determined using a scanning electron microscope (SEM). Also, BET and BJH analyzes were used to determine the surface characteristics of the particles and analyze the pores. To determine the effect of different parameters on the adsorption of 2,4-D by biochar, all experiments were performed in a batch system. The amount of adsorption for different initial concentrations of contaminant (60-600 mg/L), pH (2-9), temperatures (20 to 60 °C), contact times (0-120 min), and adsorbent dosages (0.05-0.2 g) was measured in the laboratory. A certain mass of the rice husk biochar adsorbent was added into 10 ml of 2,4-D solution with a certain concentration, and then it was shaken on a shaker with an intensity of 130 rpm, using a spectrophotometer model UV/VIS 2100S to read the residual concentration of the 2,4-D pollutant at a wavelength of 283 nm. Certain concentrations of the pollutant were used to calibrate the device. Equation (1) was used to calculate the equilibrium adsorption capacity of rice husk biochar:

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} V \quad (1)$$

where  $C_0$  and  $C_e$  are the initial concentration of the solution and the concentration in the equilibrium state (mg/L),  $V$  is the volume of the solution (L),  $m$  is the mass of the adsorbent (g), and  $q_e$  is the adsorption capacity in the equilibrium state (mg/g). Then, using the CART and CHAID decision tree algorithms in the STATISTICA software, the adsorption capacity and the effective independent variables were modeled to investigate the effect of each of the independent variables on the adsorption capacity (Mirhashemi et al. 2019). In this study, for both

models, 80% of the available information was used for model training and the remaining 20% was used for the validation process.

### Results

Based on the morphological characteristics presented in Fig. 1, the crystalline and homogeneous structure with different pore shapes allows biochar to be successfully used in the adsorption of 2,4-D herbicide. The changes in the structure of the pores and the surface morphology of the rice husk after adsorption show that the pores have not changed clearly. Also, according to the results of BET and BJH analysis, the diameter of rice husk biochar adsorbent particles is 0.3-5.5  $\mu\text{m}$ , the specific surface area of these particles is 320  $\text{m}^2/\text{g}$ , the density of particles is 1.42  $\text{g}/\text{cm}^3$ , and their pore size is 5.89 nm.

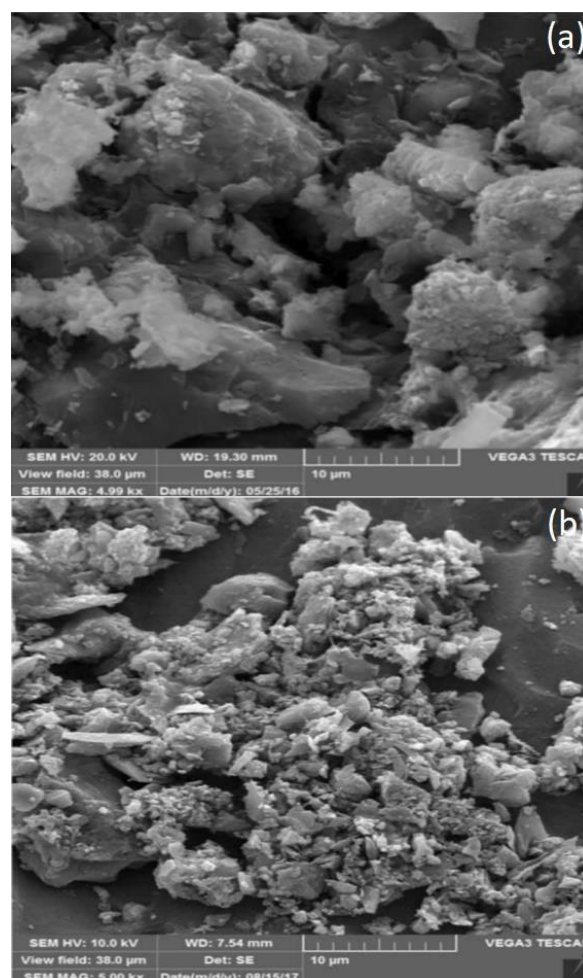


Fig. 1 SEM images of rice husk biochar (a) before adsorption and (b) after 2,4-D adsorption (Beigzadeh et al. 2020)

The results indicated that the adsorption capacity increased with increasing pH, and reached the maximum value (47.1 mg/g) at pH = 5.5. As the temperature increased, the adsorption capacity

decreased and the highest value was observed at a temperature lower than 30 °C, so the adsorption of 2,4-D herbicide by rice husk biochar is a spontaneous process. By increasing the initial concentration of 2,4-D herbicide, the adsorption capacity also increased, which can be attributed to the reduction of available sites for adsorption on the adsorbent surface. Increasing the adsorbent dose decreases the adsorption capacity because the increment of the adsorbent particles prevents the spread of the herbicide to the rice husk biochar surface (Ansari et al. 2017). Enhancing the contact time increases the

adsorption capacity because augmenting the contact time between the surface of the adsorbent and the pollutant increases the possibility of more contact of 2,4-D herbicide molecules with functional groups in the structure of the adsorbent. The adsorption process was simulated using CART and CHAID algorithms. The trees produced by these models are presented in Fig. 2, which shows the effect of independent variables (contact time, temperature, initial concentration of contaminant, adsorbent dose, and pH) on the dependent variable of adsorption capacity ( $q$ ).

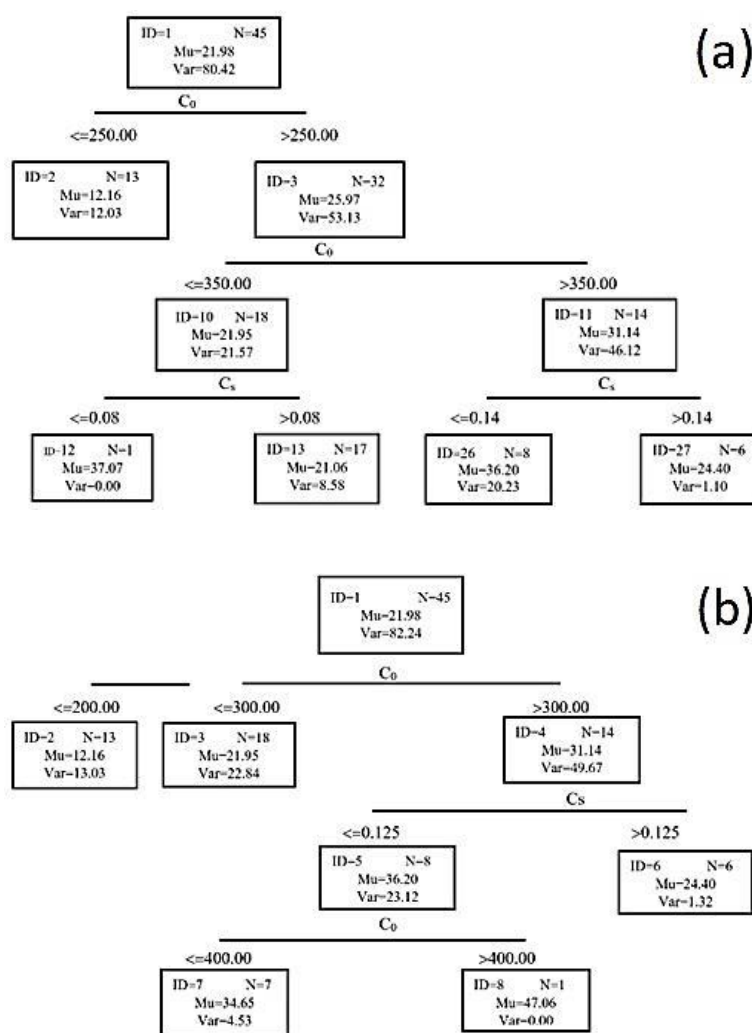


Fig. 2 Tree structure for estimating the amount of adsorption (a) CART and (b) CHAID models

The performance evaluation results of the CART and CHAID models in estimating adsorption capacity show that the CART model with a determination coefficient of 98.1% has a better simulation capability than the CHAID model (a determination coefficient of 97.7%). Based on these results, both models are well able to simulate the adsorption capacity of biochar adsorbent in removing 2,4-D pollutant, but the CART model with a higher coefficient of

determination and lower RMSE has a higher prediction ability than the CHAID model.

### Conclusion

This study was carried out to investigate the effect of parameters on the 2,4-D herbicide removal from water using rice husk biochar adsorbent, and to simulate the adsorption rate by CART and CHAID decision tree algorithms. Based on the results of comparing the values

measured in the laboratory and predicted by the models, it can be concluded that the CART model performed better than the CHAID model in predicting the adsorption capacity.

#### **Data Availability**

The datasets are available from the corresponding author by email (bahrami@fasau.ac.ir) on a reasonable request.

#### **Conflicts of interest**

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مقاله پژوهشی

## استفاده از الگوریتم درخت تصمیم برای مدل سازی فرایند حذف علف کش 2,4-D از آب به وسیله بیوچار پوسته شلتوک

مهدی بهرامی<sup>۱\*</sup>، آناهیتا زارع<sup>۲</sup> و محمدجواد امیری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران  
<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا، فسا، ایران

### اطلاعات مقاله

### چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۱۲/۱۰]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۴/۲۲]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۴/۲۲]

### واژه های کلیدی:

بیوچار پوسته شلتوک

جذب

داده کاوی

درخت تصمیم

دی کلروفلوئوکسی استیک اسید

### \*نویسنده مسئول:

[bahrami@fasau.ac.ir](mailto:bahrami@fasau.ac.ir)



در این پژوهش فرایند جذب آلاینده 2,4-D از محیط آبی به وسیله جاذب بیوچار پوسته شلتوک با استفاده از الگوریتم های درخت تصمیم CART و CHAID مدل سازی شد. تأثیر پارامترهای زمان تماس = ۰-۱۲۰ min، دما = ۲۰-۶۰ °C، غلظت اولیه محلول = mg/L ۶۰-۶۰۰، دوز جاذب = ۰/۲ - ۰/۵ g و pH (۲-۹) بر ظرفیت جذب بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که ظرفیت جذب در pH برابر با ۵/۵۰ و دمای کمتر از ۳۰ °C به حداکثر رسید. نتایج هر دو مدل نشان داد غلظت اولیه آلاینده و مقدار جاذب بیشترین تأثیر را بر ظرفیت جذب دارد، به طوری که با افزایش غلظت اولیه آلاینده و کاهش مقدار جاذب، ظرفیت جذب افزایش یافت. بیشینه ظرفیت جذب در غلظت اولیه کمتر از ۳۵۰ mg/L و مقدار جاذب کمتر از ۰/۸ g برابر با ۳۷/۱ mg/g به دست آمد. مدل CART با ضریب تبیین ۹۸/۱٪ کارایی بالاتری نسبت به مدل CHAID با ضریب تبیین ۹۷/۷٪ در تخمین ظرفیت جذب بیوچار پوسته شلتوک نشان داد. بیوچار پوسته شلتوک به دلیل هزینه اولیه پایین، قابلیت فیزیکی و شیمیایی بالا و نیز توانایی بالا در حذف آلاینده می تواند به عنوان جاذبی مناسب برای حذف 2,4-D از آب استفاده شود.

### ۱- مقدمه

بحران کمی و کیفی آب در ایران ناشی از توزیع غیریکنواخت منابع آب، خشکسالی های هیدرولوژیکی، سوء مدیریت، استفاده بی رویه از این منابع آبی و عدم رعایت استانداردهای کیفی است. استفاده روزافزون از سم و کود شیمیایی در کشاورزی برای بهره وری بیشتر از زمین های حاصل خیز باعث ایجاد اثرات مخرب علف کش ها بر روی گونه های غیر-هدف شده است. علت این است که این مواد شیمیایی در زمین های کشاورزی پاشیده شده و نفوذ آب می تواند علف-کش ها را به محیط های آبی وارد کند (Hajighasemkhan et al. 2020). یکی از سمومی که برای کنترل علف های هرز

بحران کمی و کیفی آب در ایران ناشی از توزیع غیریکنواخت منابع آب، خشکسالی های هیدرولوژیکی، سوء مدیریت، استفاده بی رویه از این منابع آبی و عدم رعایت استانداردهای کیفی است. استفاده روزافزون از سم و کود شیمیایی در کشاورزی برای بهره وری بیشتر از زمین های حاصل خیز



استحکام شیمیایی و دوام فیزیکی بالایی دارد (Jamali et al. 2010). در بسیاری از کشورهای دارای زراعت برنج، پوسته شلتوک به علت قابلیت های فیزیکی و شیمیایی بالایی که دارد، ماده با ارزشی محسوب می شود و بهره برداری های متعددی از آن صورت می گیرد (Gheisarian-Fard et al. 2011). به عنوان مثال، Mohammad-Poor et al. (2017) از جاذب پوسته شلتوک به ترتیب برای حذف کروم و کادمیم از محلول آبی استفاده کردند.

با توجه به تأثیر پارامترهای مختلف بر ظرفیت جذب مواد جاذب، در سال های اخیر از مدل های ریاضی مختلفی برای شبیه سازی و مدل سازی فرایند جذب استفاده شده است (Beigzadeh et al. 2020; Amiri et al. 2022). در این راستا می توان از روش های داده کاوی بهره برد که مجموعه ای از روش ها در فرآیند کشف دانش هستند و برای تشخیص الگوها و روابط نامعلوم در داده ها مورد استفاده قرار می گیرد (Soleimanpour et al. 2018). به طور کلی به فرایند کشف دانش از داده، داده کاوی گفته می شود که در آن، بخش های مهم و غیرمهم داده ها تفکیک می شوند و یک سری توصیفات منطقی به شکل کاملاً فشرده ارائه می شود. درخت تصمیم، یکی از شیوه های دسته بندی در داده کاوی است که با ارائه یک درخت، روال دسته بندی را خلاصه می کند (Soleimanpour et al. 2018). یکی از روش های داده-کاوی، درخت طبقه بندی و رگرسیون (CART)<sup>۱</sup> است که زیرمجموعه الگوریتم درخت تصمیم است و متغیرهای ورودی را برای یافتن بهترین تجزیه می آزماید تا شاخص ناخالصی حاصل از تجزیه کم ترین مقدار باشد (Hasanipanah et al. 2017). الگوریتم CART متغیرهای ورودی را برای یافتن بهترین تجزیه می آزماید تا شاخص ناخالصی حاصل از تجزیه کمترین مقدار باشد. در تجزیه دو زیرگروه تعیین می شود و هر کدام در مرحله بعد به دو زیرگروه دیگر تقسیم خواهند شد. این روند ادامه می یابد تا زمانی که یکی از معیارهای توقف برآورده شود. درخت CART بازگشتی دودویی است که گره های والدین را دقیقاً به دو گروه فرزند منشعب می کند و به طور بازگشتی منشعب کردن را تا زمانی ادامه می دهد که انشعاب دیگری نتواند ساخته شود (Singh and Gupta 2014).

در زمین های کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد، علف-کش های ۴،۲ دی کلروفنوکسی استیک اسید (2,4-D) است. این علف کش متعلق به خانواده ای از هیدروکربن های معطر است که به طور گسترده برای کنترل گونه های مختلف علف-های هرز برای بسیاری از محصولات استفاده می شوند (Amiri et al. 2020).

علف کش های فنوکسی به دلیل حلالیت زیادی که دارند به راحتی آبشویی شده و وارد آب های سطحی و زیرزمینی می شوند (Hajighasemkhan et al. 2020). حضور این آلاینده ها علاوه بر اثرات جبران ناپذیری که در بوم سازگان ایجاد می کنند باعث ایجاد اثرات نامطلوبی در جهش زایی و ایجاد سرطان در موجودات زنده می شوند (Azari et al. 2017). سازمان بهداشت جهانی (WHO) حد مجاز 2,4-D در آب آشامیدنی را ۱۰۰ ppb گزارش کرده است (Beigzadeh et al. 2020). بنابراین این ماده با توجه به ضررهایی که برای انسان ها و حیوانات دارد، باید از آب آشامیدنی حذف شود. روش های گوناگونی از جمله تبادل یونی (Humbert et al. 2008)، اکسیداسیون پیشرفته (Saritha et al. 2007)، فناوری های غشایی (تصفیه بیولوژیکی (Santacruz et al. 2005) و جذب (Abigail and Chidambaram 2016) برای حذف سمومی مانند 2,4-D از آب آلوده مورد استفاده قرار می گیرد. بیشتر این روش ها مشکلاتی مانند هزینه بالا، کارایی پایین و در برخی موارد تولید مواد سمی را به همراه دارند. روش اسمز معکوس یکی از جدیدترین فناوری ها برای تصفیه آب است که از تولید باکتری های مضر در آب جلوگیری می کند. در این روش میزان هدررفت آب کم است، اما در مقابل هزینه و انرژی بالایی نیاز دارد و در برخی موارد نیازمند پیش تصفیه است. از بین روش های ارائه شده برای حذف این سموم، روش های جذبی قابلیت بیشتری دارند و از مزایای این روش ها می توان به مقرون به صرفه بودن، سرعت، کارایی بالا، ظرفیت بالای جذب، قابلیت احیای جاذب و بازیافت آلاینده جذب شده اشاره کرد (Hajighasemkhan et al. 2020).

در فرایند جذب استفاده از جاذبی با قابلیت جذب بالا و ارزان قیمت حائز اهمیت است. یکی از موادی که هم ارزان-قیمت بوده و هم قابلیت جذب بالایی دارد بیوچار پوسته شلتوک است (Gheisarian-Fard et al. 2011). پوسته شلتوک به دلیل ساختار دانه ای، غیرقابل حل در آب است و

<sup>1</sup>Classification and Regression Tree

اکسیژن با تأمین نیتروژن خالص تا ۹۹/۹٪ از دمای ۲۵ تا °C ۸۰۰ به مدت ۴ h حرارت داده شد. سپس برای به دست آوردن بیوچار به مدت ۲ h در دمای محیط نگهداری شده و پس از نرم کردن در هاون، با استفاده از یک الک نایلونی به ذراتی با ابعاد کوچکتر تقسیم بندی شد (Beigzadeh et al. 2020).

## ۲-۲- تعیین ویژگی های جاذب

ریخت شناسی سطح و ساختار منافذ جاذب با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۲</sup> (SEM) تعیین گردید. همچنین از آنالیزهای BET<sup>۳</sup> و BJH<sup>۴</sup> برای بررسی خصوصیات سطح ذرات و تحلیل حفرات استفاده شد.

## ۲-۳- آزمایش های جاذب

برای تعیین اثر پارامترهای مختلف بر جذب 2,4-D توسط بیوچار، تمامی آزمایش ها در سیستم ناپیوسته انجام گردید. میزان جذب به ازای غلظت های مختلف علف کش از ۶۰ تا ۶۰۰ mg/L pH های بین ۲ تا ۹، دماهای ۲۰ تا ۶۰ °C، زمان های تماس صفر تا ۱۲۰ min و مقادیر مختلف میزان جاذب از ۰/۰۵ تا ۰/۲۰ g در آزمایشگاه اندازه گیری شد. جرم معینی از جاذب به ۱۰ میلی لیتر محلول 2,4-D با غلظت مشخص اضافه و سپس با شدت ۱۳۰ rpm روی شیکر تکان داده شد. از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل UV/VIS 2100S برای خواندن غلظت باقی مانده آلاینده 2,4-D در طول موج ۲۸۳nm استفاده شد. برای کالیبراسیون دستگاه، غلظت های معینی از آلاینده مورد استفاده قرار گرفت. برای محاسبه ظرفیت جذب تعادلی بیوچار پوسته شلتوک از رابطه (۱) استفاده شد.

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} V \quad (1)$$

که در آن  $C_0$  و  $C_e$  به ترتیب غلظت اولیه محلول و غلظت در حالت تعادل (mg/l)،  $V$  حجم محلول (l)،  $m$  جرم جاذب (g) و  $q_e$  ظرفیت جذب در حالت تعادل (mg/g) است.

## ۲-۴- مدل سازی جذب

با استفاده از الگوریتم های درخت تصمیم CART و CHAID در نرم افزار STATISTICA بین ظرفیت جذب و

از دیگر الگوریتم های ساخت درخت تصمیم، روش شناسایی اثرات متقابل خودکار کای ۲ (CHAID)<sup>۱</sup> است که داده ها را متناوباً به زیرمجموعه های مشابه افراز می کند. تا آنجا که هر زیرمجموعه دارای تعداد مشخصی نمونه شود (Panahi and Mir-Hashemi 2016). در روش CHAID در هر گام، متغیر پیشگویی که بیشترین میزان ارتباط با متغیر وابسته را دارد در مدل و درخت تصمیم به کار می رود. سطوح یا طبقه های هر متغیر پیشگو ممکن است در این حالت با یکدیگر ادغام شوند. زیرا سطح معنی داری ممکن است در هر طبقه کمتر از مقدار مورد انتظار باشد. محاسبه آماره کای ۲ و محاسبه سطح معنی داری و رد فرض صفر در آزمون با سطح  $\alpha$  باعث ایجاد گره جدید خواهد شد. به این ترتیب شاخه ها تولید شده و درخت تصمیم رشد می کند (Gokhan and Keceoglu 2019).

از آنجا که در مطالعات پیشین جذب در آزمایشگاه، اثر هر یک از پارامترهای مؤثر بر میزان جذب به صورت جداگانه و با ثابت نگه داشتن سایر عوامل بررسی می شود نیاز است از روش هایی برای تعیین اثر هم زمان این عوامل استفاده شود. با توجه به اهمیت تعیین میزان اثر عوامل مؤثر بر فرایند جذب آلاینده از محیط آبی، در این پژوهش اثر متغیرهای مستقل زمان تماس، دما، غلظت اولیه علف کش 2,4-D در محلول، دوز جاذب و pH بر ظرفیت جذب (q) بیوچار پوسته شلتوک طی آزمایش های ناپیوسته بررسی و ضوابط بین این پارامترها و ظرفیت جذب با استفاده از الگوریتم های CART و CHAID شبیه سازی شد.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- مواد

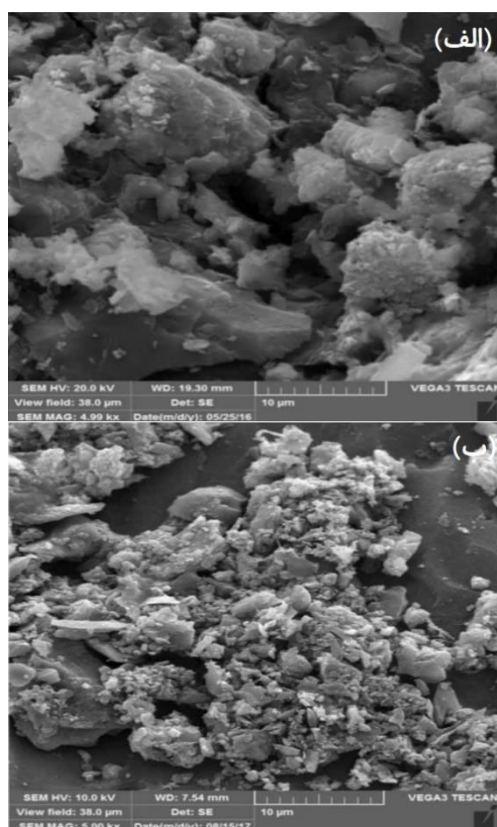
علف کش 2,4-D با فرمول شیمیایی  $C_8H_6Cl_2O_3$  از شرکت سیگما آلد ریچ (آمریکا) با خلوص ۹۷/۵٪ خریداری شد. محلول استوک آن با غلظت ۱۰۰۰ mg/l تهیه شد. سپس غلظت های مورد نیاز از علف کش با آب مقطر و محلول استوک تهیه شدند. پوسته شلتوک از یک مزرعه محلی در استان فارس تهیه شد. پوسته شلتوک تهیه شده به مدت چند ساعت در محلول آبی HCl با غلظت ۱ N غوطه ور شد. چند بار با آب مقطر شستشو داده شد تا اسید از آن خارج شود و پس از آن خشک شد. برای تهیه بیوچار، به مقدار لازم از پوسته شلتوک در یک بوته چینی ریخته و درون کوره بدون

<sup>2</sup>Scanning Electron Microscopy

<sup>3</sup>Brunauer-Emmett-Teller

<sup>4</sup>Barrett-Joyner-Halenda

<sup>1</sup>Chi-square automatic interaction detection



شکل ۱- تصاویر SEM از بیوچار پوسته شلتوک: (الف)- قبل از جذب و (ب)- بعد از جذب علف کش 2,4-D (Beigzadeh et al. 2020)

Fig. 1 SEM images of rice husk biochar: a) before adsorption and b) after 2,4-D adsorption (Beigzadeh et al. 2020)

طیف FT-IR بیوچار پوسته برنج قبل و بعد از جذب علف-کش 2,4-D در محدوده  $400-4000 \text{ cm}^{-1}$  برای شناسایی گروه‌های عاملی موجود در جاذب مورد بررسی قرار گرفت که خروجی آن در شکل (۲) نشان داده شده است.

بالاترین پیک در محدوده  $3400-3500 \text{ cm}^{-1}$  به‌طور معمول به گروه‌های هیدروکسیل (O-H) مربوط می‌شود. همچنین یک پیک قوی در  $1401 \text{ cm}^{-1}$  وجود دارد که به دلیل وجود مقادیر زیاد سیلیکون در پوسته برنج است (Kizito et al. 2015). پس از جذب علف‌کش 2,4-D به‌وسیله بیوچار پوسته برنج، شکل پیک‌ها به‌طور قابل توجهی تغییر و برخی از آن‌ها جابجا شدند. این را می‌توان به شکل‌گیری گروه‌های جدید حاوی اکسیژن در سطح نسبت داد که به دلیل تأثیر عمیق بر خصوصیات سطح جاذب و ویژگی‌های جاذب هستند (Amiri et al. 2018). این تغییرات نشان می‌دهد

متغیرهای مستقلی که روی جذب تأثیرگذارند مدل‌سازی صورت گرفت تا میزان تأثیر هر کدام از متغیرهای مستقل بر ظرفیت جذب بررسی شود (Mirhashemi et al. 2019). در این مطالعه برای هر دو مدل، از مجموع اطلاعات در دسترس، ۸۰٪ داده‌ها برای آموزش مدل و ۲۰٪ باقی‌مانده برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. درخت تصمیم ابزاری برای اتخاذ تصمیم مناسب‌تر است. به‌طوری‌که شکل و ساختاری درختی<sup>۱</sup> یا سلسله مراتبی<sup>۲</sup> به ارتباط بین دو یا چند متغیر کمی و کیفی می‌بخشد. درخت تصمیم شبیه یک نمودار گردش عملیات<sup>۳</sup> است که در آن هر گره<sup>۴</sup> به‌صورت یک آزمایش<sup>۵</sup> در نظر گرفته می‌شود. از طرفی هر شاخه نیز بیانگر نتایج حاصل از این آزمایش است. به این ترتیب برگ‌های هر شاخه نیز شامل شماره تصمیم اتخاذ شده یا برچسب کلاس‌بندی در خوشه‌بندی یا طبقه‌بندی خواهد بود. مسیری که از ریشه به برگ‌ها طی می‌شود، بیانگر قوانین طبقه‌بندی یا رده‌بندی<sup>۶</sup> است (Hasanpoor et al. 2021). رشد درخت به معنای طی کردن یک مسیر از ریشه تا رسیدن به هدف است. به‌منظور توسعه و رشد درخت، فن‌های مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به CART و روش CHAID اشاره کرد.

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- ویژگی‌های جاذب

بر اساس خصوصیات ریخت‌شناسی ارائه شده در شکل (۱)، ساختار بلوری و همگن با شکل‌های مختلف منافذ اجازه می‌دهد تا بیوچار کاربرد موفقیت‌آمیزی در جذب علف‌کش 2,4-D داشته باشد. تغییرات ساختار منافذ و مورفولوژی سطح پوسته شلتوک پس از جذب نشان می‌دهد که منافذ به‌وضوح تغییر نکرده است. همچنین با توجه به نتایج حاصل از آنالیز BET و BJH قطر ذرات جاذب بیوچار پوسته شلتوک  $0.5-3.0 \mu\text{m}$ ، سطح مخصوص این ذرات  $320 \text{ m}^2/\text{g}$ ، چگالی ذرات  $1.42 \text{ g}/\text{cm}^3$  و اندازه منافذ آنها  $5.89 \text{ nm}$  است (Beigzadeh et al. 2020).

<sup>1</sup>Tree Structure

<sup>2</sup>Hierarchical

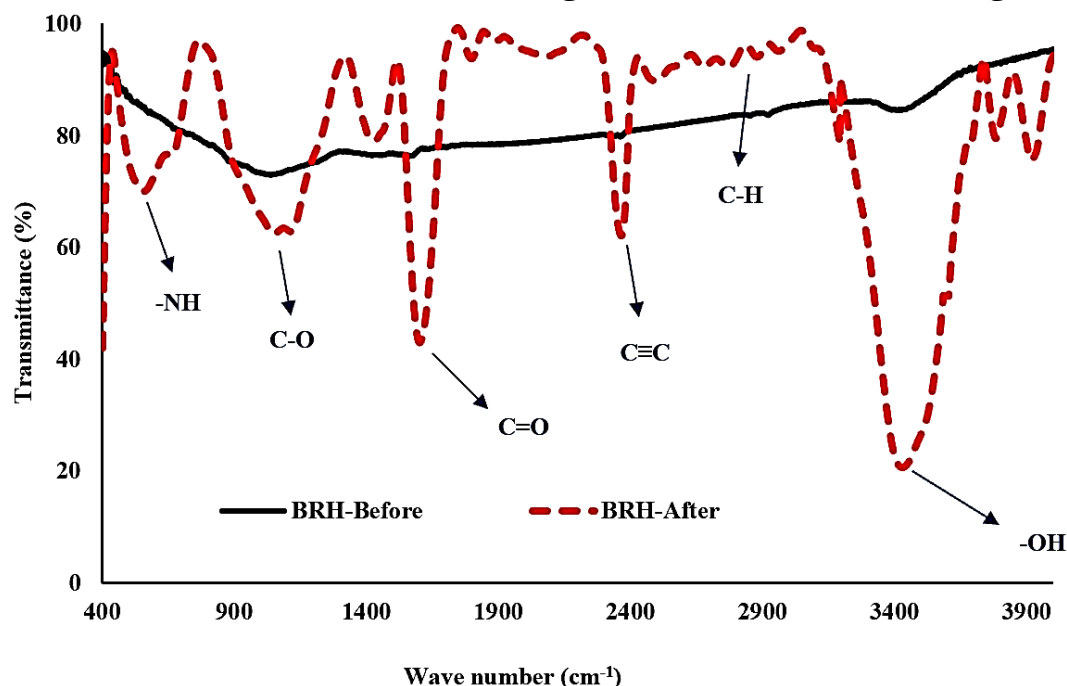
<sup>3</sup>Flow Chart

<sup>4</sup>node

<sup>5</sup>Experiment

<sup>6</sup>Rules

که یک واکنشی بین مولکول های 2,4-D و گروه های عاملی وجود دارد.



شکل ۲- طیف FTIR بیوچار پوسته شلتوک قبل و بعد از جذب علف کش 2,4-D

Fig. 2 The FT-IR spectra of BRH before and after 2,4-D adsorption

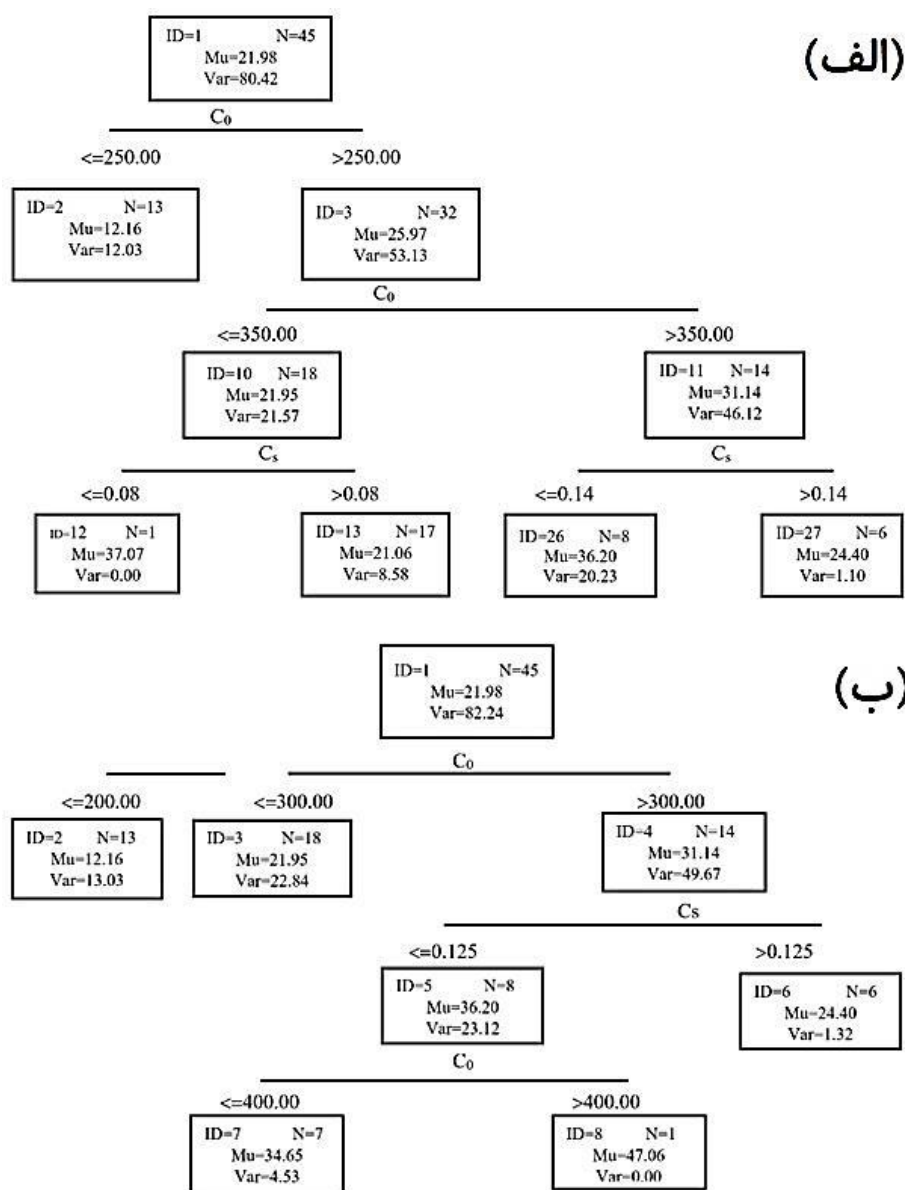
های عاملی در ساختار جاذب افزایش می دهد ( Bahrami and Amiri 2022).

نتایج مشابهی در زمینه حذف علف کش 2,4-D از محلول آبی و یا کارکرد جاذب آلی پوسته برنج گزارش شده است. Azari et al. (2017) در حذف 2,4-D به وسیله نانوذرات اکسید گرافن مغناطیسی دریافتند که با افزایش pH از ۳ تا ۵ و نیز با افزایش زمان تماس کارایی حذف افزایش یافت. نتایج Sobhanardakani et al. (2013) در حذف کروم و مس از فاضلاب توسط پوسته برنج نشان داد که مقدار حذف این فلزات سنگین با افزایش زمان تماس افزایش می یابد. با افزایش غلظت اولیه فاضلاب نیز کارایی حذف در ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد که علت آن اشباع شدن ذرات پوسته برنج است. Sobhanardakani et al. (2015) در حذف فلزات سنگین نیکل و کادمیوم از آب به وسیله پوسته برنج (RH) و پوسته برنج اصلاح شده با اسید تارتاریک (TARH) مقادیر pH بهینه را برای این جاذب ها به ترتیب ۶ و ۴ به دست آوردند. دلیل جذب کمتر در pH های کمتر از مقادیر بهینه را رقابت  $H^+$  با کاتیون های  $Ni^{2+}$  و  $Cd^{2+}$  برای اتصال به سایت های فعال سطحی و نیز افزایش بار مثبت سطح جاذب در  $pH < pH_{zpc}$  عنوان کردند.

نتایج پیشین حاکی از آن است که با افزایش pH، ظرفیت جذب افزایش می یابد و در pH=۵/۵ ظرفیت جذب به حداکثر مقدار خود (۴۷/۱ mg/g) رسید. در pH های بیشتر از ۵/۵ کارایی حذف به مقدار ثابتی می رسد و تغییر قابل توجهی ندارد. با افزایش دما، ظرفیت جذب کاهش یافت و بالاترین ظرفیت جذب در دمای کمتر از ۳۰°C مشاهده شد. پس جذب علف کش 2,4-D به وسیله بیوچار پوسته برنج یک فرایند خود به خودی است (Beigzadeh et al. 2020). با افزایش غلظت اولیه علف کش 2,4-D، ظرفیت جذب هم افزایش یافت که دلیل آن را می توان به کاهش مکان های موجود برای جذب روی سطح جاذب نسبت داد (Bahrami et al. 2017). افزایش دوز جاذب باعث کاهش ظرفیت جذب می شود. زیرا افزایش ذرات جاذب باعث جلوگیری از انتشار علف کش به سطح بیوچار پوسته برنج می شود (Ansari et al. 2017). همچنین، به دلیل ثابت بودن غلظت اولیه آلاینده، افزایش دوز جاذب ظرفیت جذب را کاهش می دهد. یعنی مقدار آلاینده جذب شده در واحد جرم جاذب کاهش می یابد. افزایش زمان تماس باعث افزایش ظرفیت جذب می شود. زیرا افزایش زمان تماس بین سطح جاذب و آلاینده امکان تماس بیشتر مولکول های علف کش 2,4-D را با گروه-

متغیرهای مستقل (زمان تماس، دما، غلظت اولیه محلول، دوز جاذب و pH) را بر متغیر وابسته ظرفیت جذب جاذب (q) نشان می‌دهند.

شبه‌سازی فرایند جذب با استفاده از الگوریتم‌های CART و CHAID صورت گرفت. درخت‌های تولیدشده توسط این مدل‌ها در شکل (۳) ارائه شده است. این درخت‌ها اثر



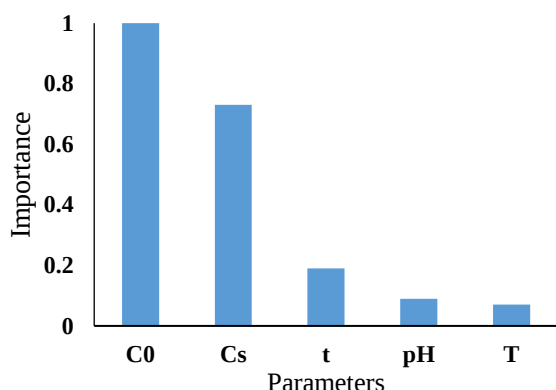
شکل ۳- ساختار درختی مدل‌ها برای برآورد میزان جذب: (الف) مدل CART و (ب) مدل CHAID

Fig. 3 Tree structure for estimating the amount of adsorption: a) CART and b) CHAID models

مشاهده می‌شود، در اولین گره پارامتر غلظت اولیه به‌عنوان مهم‌ترین صفت برای ایجاد شاخه انتخاب گردید. این امر نشان‌دهنده تأثیر غلظت اولیه آلاینده بر ظرفیت جذب است. میانگین ظرفیت جذب در تمام ۴۵ سری داده برابر با ۲۵۰ mg/g است. اما در غلظت‌های کمتر از ۲۵۰ mg/l آلاینده، میانگین ظرفیت جذب ۱۲/۲ mg/g است. در حالی‌که غلظت‌های بیش‌تر از ۲۵۰ mg/l آلاینده منجر به ظرفیت‌های جذب بسیار بالاتری می‌شود (میانگین ۲۶ mg/g). در

الگوریتم CART دارای ۹ گره است که ۵ گره انتهایی یک کمیت عددی را به‌عنوان خروجی نشان می‌دهد (Mu). این کمیت بیانگر میانگین ظرفیت جذب جاذب مربوط به اطلاعات آن شاخه از درخت است. بر اساس نتایج شکل‌های ۲ و ۳، مؤثرترین پارامترها در تعیین ظرفیت جذب جاذب بیوجار پوسته شلتوک برای حذف علف‌کش 2,4-D از محلول آبی، میزان غلظت اولیه آلاینده در محلول و سپس مقدار جاذب مورد استفاده است. همان‌طور که در شکل ۳ (الف)

شکل (۴) نیز مؤید این نتایج است. به‌گونه‌ای که مؤثرترین پارامترها بر ظرفیت جذب بیوچار پوسته شلتوک به‌ترتیب عبارت است از: غلظت اولیه آلاینده ( $C_0$ )، میزان جاذب ( $C_s$ )، زمان ( $t$ )، pH، و درجه حرارت محیط جذب ( $T$ ). این نتایج با یافته‌های (Beigzadeh et al. (2020) مطابقت دارد. ایشان در مدل‌سازی حذف 2,4-D از محلول آبی توسط جاذب بیوچار پوسته شلتوک با استفاده از مدل‌های رگرسیون جنگل تصادفی (RFR)، رگرسیون خطی چندگانه بیزی (BMLR) و رگرسیون خطی چندگانه (MLR) مؤثرترین عوامل تأثیرگذار بر مقدار جذب را به‌ترتیب غلظت اولیه آلاینده و مقدار جاذب به‌دست آوردند. پارامترهای زمان تماس، دما و pH با اختلاف فاحشی بعد از این دو عامل قرار گرفتند.



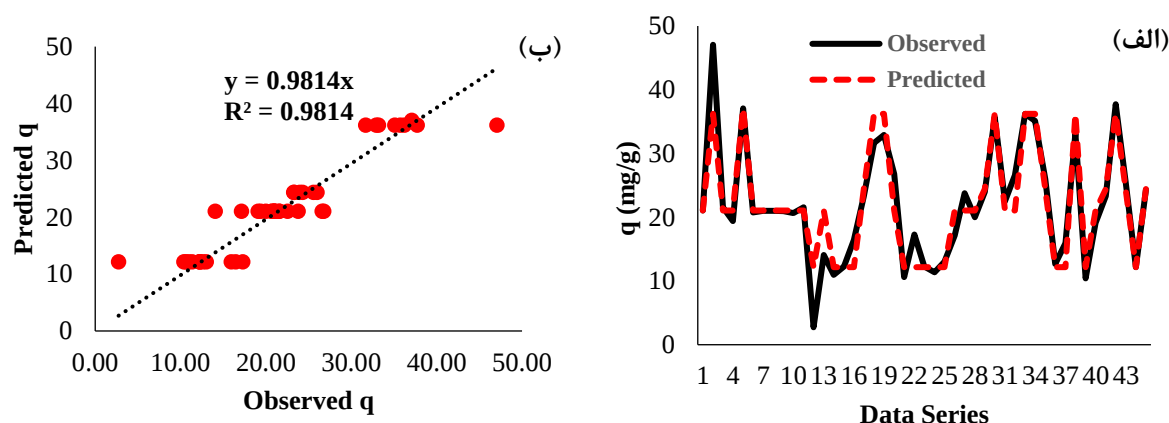
شکل ۴- اهمیت متغیرهای مستقل بر ظرفیت جذب در مدل‌های CHAID و CART

Fig. 4 Importance of independent variables on adsorption capacity in CART and CHAID models

نتایج ارزیابی عملکرد مدل‌های CART و CHAID در برآورد ظرفیت جذب در شکل‌های (۵) و (۶) نشان می‌دهد که مدل CART با ضریب تبیین برابر با ۹۸/۱٪ قابلیت شبیه‌سازی مطلوب‌تری نسبت به مدل CHAID (ضریب تبیین برابر با ۹۷/۷٪) دارد. همچنین مقدار RMSE مدل‌های CART و CHAID به‌ترتیب برابر با ۳/۲۳ و ۳/۵۸ به‌دست آمد. بر اساس این نتایج، هر دو مدل به‌خوبی قادر به شبیه‌سازی ظرفیت جذب جاذب بیوچار در حذف آلاینده 2,4-D هستند، اما مدل CART با مقدار ضریب تبیین بالاتر و RMSE کمتر، توانایی بالاتری نسبت به مدل CHAID در پیش‌بینی ظرفیت جذب دارد.

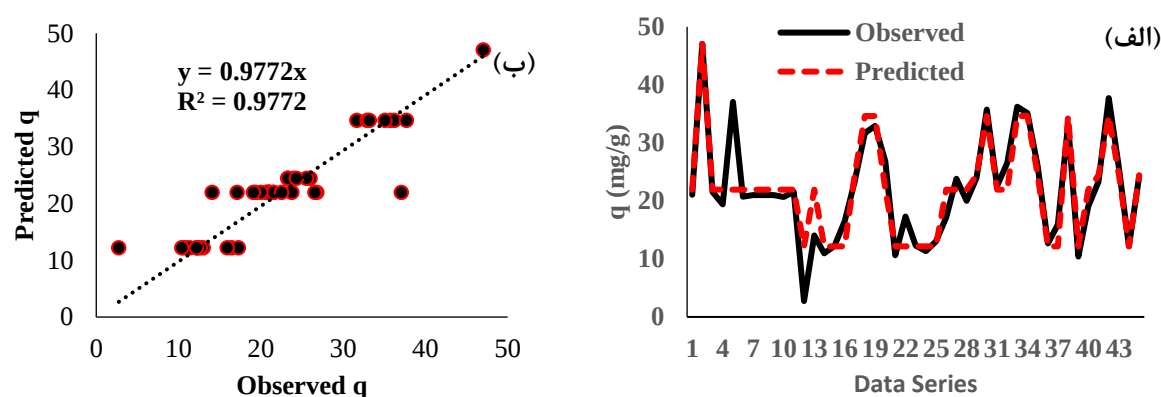
گره شماره ۳،  $C_0$  به مقادیر بیش‌تر از ۳۵۰ و کم‌تر از  $\text{mg/l}$  تقسیم می‌شود. مقایسه میانگین‌ها در گره‌های ۱۰ و ۱۱ نشان می‌دهد هر چه غلظت اولیه آلاینده در محلول بیشتر باشد میزان ظرفیت جذب جاذب بیشتر خواهد بود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در گره‌های ۱۲، ۱۳، ۲۶ و ۲۷ به‌ازای تمام بازه‌های غلظت اولیه، با افزایش میزان جاذب مورد استفاده ظرفیت جذب کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، ظرفیت جذب هر جاذبی بر اساس معادله (۱)، با افزایش جرم جاذب کاهش می‌یابد. بیشینه ظرفیت جذب در غلظت اولیه کمتر از  $350 \text{ mg/L}$  و با میزان جاذب کمتر از  $0.08 \text{ g}$  برابر با  $37/1 \text{ mg/g}$  حاصل شد.

الگوریتم CHAID دارای ۸ گره است که ۵ گره انتهایی یک کمیت عددی را به‌عنوان خروجی نشان می‌دهد. مطابق شکل ۳ (ب)، مؤثرترین پارامترها در تعیین ظرفیت جذب جاذب بیوچار پوسته شلتوک برای حذف علف‌کش 2,4-D از محلول آبی، میزان غلظت اولیه آلاینده در محلول و سپس مقدار جاذب مورد استفاده است. بنابراین هر دو مدل نتایج مشابهی را در شبیه‌سازی فرایند جذب نشان می‌دهند. بر اساس درخت الگوریتم CHAID، میانگین ظرفیت جذب در تمام ۴۵ سری داده مورد بررسی برابر با  $22 \text{ mg/g}$  است. در غلظت‌های کم‌تر از  $200 \text{ mg/l}$  و کم‌تر از  $300 \text{ mg/l}$  آلاینده، میانگین ظرفیت جذب به‌ترتیب برابر با  $12/2 \text{ mg/g}$  و  $12/2 \text{ mg/g}$  است. در حالی که در غلظت‌های بیش از  $300 \text{ mg/l}$  آلاینده، میانگین ظرفیت جذب  $31/1 \text{ mg/g}$  است. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت اولیه آلاینده، ظرفیت جذب افزایش می‌یابد. زیرا افزایش میزان آلاینده در محلول سبب برخورد بیش‌تر مولکول‌های آن با سطح جاذب می‌شود. در گره شماره ۴، میزان جاذب ( $C_s$ ) به بازه‌های کم‌تر و بیش‌تر از  $0.125 \text{ mg/l}$  تقسیم می‌شود. مقایسه میانگین ظرفیت جذب در گره‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد هر چه میزان جاذب در محلول بیش‌تر باشد میانگین ظرفیت جذب کم‌تر می‌شود. در گره‌های ۷ و ۸ به‌ازای دوز جاذب کم‌تر از  $\text{mg/l}$   $0.125$ ، با افزایش غلظت اولیه آلاینده، ظرفیت جذب نیز افزایش یافت.



شکل ۵- الف) عملکرد مدل CART و ب) خط ۱:۱ در تخمین ظرفیت جذب بیوچار پوسته شلتوک

Fig. 5 a) Performance of CART model and b) 1:1 line in estimating the adsorption capacity of rice husk biochar



شکل ۶- الف) عملکرد مدل CHAID و ب) خط ۱:۱ در تخمین ظرفیت جذب بیوچار پوسته شلتوک

Fig. 6 a) Performance of CART model and b) 1:1 line in estimating the adsorption capacity of rice husk biochar

غلظت اولیه آلاینده، ظرفیت جذب افزایش یافت. در حالی که

با افزایش دوز جاذب ظرفیت جذب کاهش یافت.

۴- بر اساس ضریب تبیین و RMSE حاصل از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که مدل CART در پیش‌بینی ظرفیت جذب عملکرد بهتری نسبت به مدل CHAID داشته است.

باتوجه به نتایج حاصل از این پژوهش، برای مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود احیای جاذب به روش‌های گوناگون و بررسی کارایی آن بعد از فرایند واجذب بررسی شود. همچنین استفاده از سایر مدل‌های شبیه‌سازی فرایند جذب و مقایسه آن‌ها با یکدیگر و نیز بررسی آماره‌ها و خطاهای دیگر برای مقایسه عملکرد مدل‌ها پیشنهاد می‌شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، حذف علف‌کش 2,4-D از آب با استفاده از جاذب بیوچار پوسته شلتوک مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر پارامترهای مؤثر بر فرایند جذب بررسی شد و میزان جذب با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم CART و CHAID شبیه‌سازی گردید. نتایج کلی این پژوهش عبارت‌اند از:

۱- بر اساس تصاویر SEM که قبل و بعد از جذب از بیوچار پوسته شلتوک تهیه شد، ساختار منافذ و مورفولوژی سطح پوسته شلتوک پس از جذب به‌وضوح تغییر نکرده است.

۲- افزایش pH، کاهش دما، افزایش غلظت اولیه علف‌کش 2,4-D در آب و افزایش دوز جاذب سبب افزایش ظرفیت جذب شد.

۳- نتایج شبیه‌سازی میزان جذب با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم CART و CHAID نشان داد که با افزایش

## دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل (bahrami@fasau.ac.ir) قابل ارسال می‌باشد.

## تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نوشتن و یا انتشار این مقاله ندارد.

## References

- Abigail, M. and Chidambaram, R. (2016). Rice husk as a low cost nanosorbent for 2,4-dichlorophenoxyacetic acid removal from aqueous solutions. *Ecol. Eng.*, 92, 97-105. DOI: [10.1016/J.ECOLENG.2016.03.020](https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2016.03.020).
- Amiri, M. J., Bahrami, M., and Rajabi, S. (2022). Assessment of M5 model tree for prediction of azithromycin antibiotic removal by multi-wall carbon nanotubes in a fixed-bed column system. *AQUA — Water Infrastruct. Ecosyst. Soc.*, 71(4), 533 DOI: [10.2166/aqua.2022.157](https://doi.org/10.2166/aqua.2022.157)
- Amiri, M. J., Bahrami, M., Beigzadeh, B. and Gil, A. (2018). A response surface methodology for optimization of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid removal from synthetic and drainage water: a comparative study. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 25, 34277-34293. DOI: [10.1007/s11356-018-3327-x](https://doi.org/10.1007/s11356-018-3327-x).
- Amiri, M. J., Roohi, R., Arshadi, M. and Abbaspourrad, A. (2020). 2,4-D adsorption from agricultural subsurface drainage by canola stalk-derived activated carbon: insight into the adsorption kinetics under batch and column conditions. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 27, 16983-16997. DOI: [10.1007/s11356-020-08211-7](https://doi.org/10.1007/s11356-020-08211-7).
- Ansari, A., Ghaedi, M., Ghaedi, A.M., Bahari, F., Azarian, G. and Godini, K. (2017). Random forest modeling for the kinetic and isotherm study of malachite green adsorption from aqueous environments using zinc sulfide nanoparticle loaded with activated carbon. *Desalin. Water Treat.*, 89, 258-273. DOI: [10.5004/dwt.2017.21393](https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21393).
- Azari, A., Salari, M., Dehghani, M. H., Ali-Mohammadi, M., Ghafari, H. R., Sharafi, K., Shariati-far, N. and Baziar, M. (2017). Efficiency of magnetized graphene oxide nanoparticles in Removal of 2,4-dichlorophenol from aqueous solution. *J Mazandaran Univ. Med. Sci.*, 26(144), 265-281 [In Persian].
- Bahrami, M., Amiri, M. J. and Koochaki, S. (2017). Investigation of isotherms and kinetics of caffeine adsorption from aqueous solutions using multi-walled carbon nanotubes. The Second National Congress of Irrigation and Drainage of Iran. [In Persian].
- Bahrami, M. and Amiri, M. J. (2022). Nitrate removal from contaminated waters using modified rice husk ash by Hexadecyltrimethylammonium bromide surfactant. *Reac. Kinet. Mech. Cat.*, 135, 459-478. DOI: [10.1007/s11144-021-02149-8](https://doi.org/10.1007/s11144-021-02149-8).
- Beigzadeh, B., Bahrami, M., Amiri, M. J. and Mahmoudi, M. R. (2020). A new approach in adsorption modeling using random forest regression, Bayesian multiple linear regression, and multiple linear regression: 2,4-D adsorption by a green adsorbent. *Water Sci. Technol.*, 82(8), 1586-1602. DOI: [10.2166/wst.2020.440](https://doi.org/10.2166/wst.2020.440).
- Gheisarian-Fard, G., Alizadeh-Dakhel, A. and Nazemi, A. (2011). Investigation of lead and mercury uptake in industrial effluents using rice husk ash. Fourth Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering. [In Persian].
- Gokhan, A. and Keceoglu, C. R. (2019). Comparison of results obtained from logistic regression, CHAID analysis and decision tree methods. *Eurasian J. Edu. Res.*, 19(84), 115-134. DOI: [10.14689/ejer.2019.84.6](https://doi.org/10.14689/ejer.2019.84.6).
- Hajighasemkhan, A., Taghavi, L., Moniri, E., Hassani, A. H. and Ahmad-Panahi, H. (2020). Removal of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and 4-chloro-2-methyl phenoxyacetic acid herbicides from aquatic environments by a novel polymer magnetic nanoparticle. *Iran. J. Health Environ.*, 13(1), 149-66 [In Persian].
- Hasanipanah, M., Shirani-Faradonbeh, R., Bakhshandeh-Amnieh, H., Jahed-Armaghani, D. and Monjezi, M. (2017). Forecasting blast-induced ground vibration developing a CART model. *Eng. Comput.*, 33, 307-316. DOI: [10.1007/s00366-016-0475-9](https://doi.org/10.1007/s00366-016-0475-9).



- Hasanpoor, D., Valian, H., Safari-Graili, M. and Tahmasebi-Zadeh, R. (2021). Using Ruff Theory (ERST) and Interpretive-Structural Analysis (ISM) and Decision Tree (CART) models to help auditors identify fraud in the financial statements of companies listed on the Iran Stock Exchange. Ninth Year Investment Know. Res. Quart., 9, 179-208. [In Persian]
- Humbert, H., Gallard, H., Suty, H. and Croue, J. P. (2008). Natural organic matter (NOM) and pesticides removal using a combination of ion exchange resin and powdered activated carbon (PAC). Water Res., 42(6-7), 1635-1643. DOI: [10.1016/j.watres.2007.10.012](https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.012).
- Jamali-Armandi, H., Shahmohammadi, Z. (2010). Influence of concentration on yield and equilibrium time of lead uptake from aqueous medium of paddy sorbent. Twelfth course in environmental science and technology, Iran [In Persian].
- Kizito, S., Wu, S., Kirui, W. K., Lei, M., Lu, Q., Bah, H. and Dong, R. (2015). Evaluation of slow pyrolyzed wood and rice husks biochar for adsorption of ammonium nitrogen from piggery manure anaerobic digested slurry. Sci. Total Environ., 505, 102-112. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2014.09.096](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.096).
- Mirhashemi, H., Haghighat-Joo, P., Mirzai, F. and Panahi, M. (2019). Use of CART algorithm in predicting groundwater level fluctuations inside and outside the irrigation network (Case study: Irrigated area of Qazvin city). Iran. J. Soil Water Res., 49(2), 385-395. DOI: [10.22059/ijswr.2017.232795.667677](https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.232795.667677). [In Persian].
- Mohammad-Poor, M., Baba-Zadeh, H., Afroos, A. and Pazira, A. (2017). Analysis of the weight of cadmium heavy metals from industrial effluents using rice paddy. National Conference on Water and Hydraulic Structures of Islamic Azad University, Dezful Branch, Iran [In Persian].
- Panahi, M. and Mir-Hashemi, H. (2016). Evaluation of two data mining algorithms CHAID and CART in predicting the air temperature of Arak synoptic station. J. Environ. Sci., 13(4), 53-58 [In Persian].
- Rouniasi, N., Monavari, S. M., Abdoli, M. A., Baghdadi, M. and Karbasi, A. (2018). Removal of heavy metals of cadmium and lead from aqueous solutions using graphene oxide nanosheets process optimization by response surface methodology. Iran. J. Health Environ., 11(2), 197-214 [In Persian].
- Santacruz, G., Bandala, E. R. and Torres, L. G. (2005). Chlorinated pesticides (2,4-D and DDT) biodegradation at high concentrations using immobilized *Pseudomonas fluorescens*. J. Environ. Sci. Health B., 40(4), 571-83. DOI: [10.1081/PFC-200061545](https://doi.org/10.1081/PFC-200061545).
- Saritha, P., Aparna, C., Himabindu, V. and Anjaneyulu, Y. (2007). Comparison of various advanced oxidation processes for the degradation of 4-chloro-2 nitrophenol. J. Hazard. Mater., 149, 609-614. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2007.06.111](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.111).
- Singh, S. and Gupta, P. (2014). Comparative study ID3, cart and C4.5 decision tree algorithm: a survey. Int. J. Adv. Sci., 27(27), 97-103.
- Sobhanardakani, S., Parvizimosaed, H. and Olyaie, E. (2013). Heavy metals removal from wastewaters using organic solid waste rice husk. Environ. Sci. Pollut. Res., 20, 5265-5271. DOI: [10.1007/s11365-013-1516-1](https://doi.org/10.1007/s11365-013-1516-1).
- Sobhanardakani, S. and Zandipak, R. (2015). Adsorption of Ni(II) and Cd(II) from Aqueous Solutions Using Modified Rice Husk. Iran. J. Health Sci., 3(1), 1-9. DOI: [10.7508/ijhs.2015.01.001](https://doi.org/10.7508/ijhs.2015.01.001).
- Soleimanpour, S. M., Mesbah, S. H. and Hedayati, B. (2018). Application of CART decision tree data mining to determine the most effective drinking water quality factors (case study: Kazeroon plain, Fars province). Iranian J. Health Environ., 11(1), 1-14 [In Persian].

### How to cite this paper:

Bahrami, M., Zare, A. and Amiri, M. J. (2023). Use of decision tree algorithm to model 2,4-D herbicide removal process from water by rice husk biochar. Environ. Water Eng., 9(1), 1-14. DOI: [10.22034/ewe.2022.332084.1736](https://doi.org/10.22034/ewe.2022.332084.1736)