JEHE Journal of Environmental Health Engineering , 2026; 14(2):206-219 Original Article

Investigation of the Effect of Dissolved Ions on the Removal Efficiency of the Pesticide Malathion from Aqueous Media Using Modified Activated Carbon

Received: 05 February 2026, Accepted: 18 August 2026

Forough Riahimanesh[1,2], Ahmad Alahabadi[1], Fayyaz Mahdipour[1], Maryam Baghaee[3], Mehdi Salari[1*]

[1] *Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran*
[2] *Student Research Committee, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran*
[3] *Department of Education, Sabzevar, Iran*

***Corresponding Author:**
msalari_22@yahoo.com

How to Cite This Article:
Riahimanesh F, Alahabadi A, Mahdipour F, Baghaee M, Salari M. Investigation of the Effect of Dissolved Ions on the Removal Efficiency of the Pesticide Malathion from Aqueous Media Using Modified Activated Carbon. Journal of Environmental Health Engineering. 2026;14(2):206-19.

DOI:

ABSTRACT

Background: Contamination of aquatic environments with organophosphorus pesticides, including malathion, is an important environmental and public health concern. The ionic composition of natural waters and wastewaters may affect adsorption-based treatment. This study investigated the effect of dissolved ions on malathion removal from aqueous media using modified activated carbon.

Materials and Methods: Modified activated carbon was prepared from pomegranate wood using ammonium chloride. Batch adsorption experiments were performed to evaluate the effects of pH (2–10), adsorbent dose (0.4–1.5 g/L), and contact time (2–60 min) at an initial malathion concentration of 50 mg/L. The effects of chloride, nitrate, sulfate, bicarbonate/carbonate, and phosphate anions, as well as sodium, potassium, calcium, magnesium, and iron cations, were assessed at 1 and 10 mM. Residual malathion concentration was measured by high-performance liquid chromatography.

Results: The highest removal efficiency was achieved at approximately pH 7, an adsorbent dose of 1 g/L, and a contact time of 15 min, with about 86% malathion removal. Phosphate and bicarbonate/carbonate caused the greatest reduction in adsorption efficiency, whereas chloride and nitrate had limited effects. Calcium and magnesium enhanced removal at the higher concentration, while iron markedly reduced adsorption performance.

Conclusion: The ionic composition of aqueous media plays a key role in malathion adsorption onto modified activated carbon. Therefore, the type and concentration of dissolved ions should be considered when designing and optimizing adsorption-based treatment processes for surface waters and wastewaters.

Keywords: Malathion, modified activated carbon, dissolved ions, adsorption, water treatment

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

Copyright © 2026 The Authors.
Published by Alborz University of Medical Sciences
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).Non-commercial uses of the work are permitted,provided the original work is properly cited.

JEHE Alborz University of Medical Sciences
مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۱۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۵، صفحات ۲۰۶ تا ۲۱۹
مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر یون‌های محلول بر راندمان حذف آفت‌کش مالاتیون از محیط‌های آبی با استفاده از کربن فعال اصلاح‌شده

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۷

فروغ ریاحی منش[۲،۱]، احمد اله آبادی[۱] ،فیاض مهدی پور[۱]، مریم بقایی[۳]، مهدی سالاری[۱*]

[۱] گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

[۲] کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

[۳] اداره آموزش و پرورش شهرستان سبزوار، سبزوار، ایران

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول:**
msalari_22@yahoo.com

نحوه استناد به این مقاله:
Riahimanesh F, Alahabadi A, Mahdipour F, Baghaee M, Salari M. Investigation of the Effect of Dissolved Ions on the Removal Efficiency of the Pesticide Malathion from Aqueous Media Using Modified Activated Carbon. Journal of Environmental Health Engineering. 2026;14(2):206-19.

DOI:

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی منابع آبی به آفت‌کش‌های ارگانوفسفره، از جمله مالاتیون، از چالش‌های مهم زیست‌محیطی و بهداشتی است. ترکیب یونی آب‌های طبیعی و پساب‌ها می‌تواند کارایی جذب را تغییر دهد. این مطالعه با هدف بررسی اثر یون‌های محلول بر حذف مالاتیون با کربن فعال اصلاح‌شده انجام شد.

مواد و روش ها: کربن فعال اصلاح‌شده از چوب انار و با کلرید آمونیوم تهیه شد. آزمایش‌های جذب به‌صورت ناپیوسته انجام گرفت. اثر pH در محدوده ۲ تا ۱۰، دوز جاذب ۰/۴ تا ۱/۵ گرم بر لیتر و زمان تماس ۲ تا ۶۰ دقیقه در غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر مالاتیون بررسی شد. اثر آنیون‌های کلرید، نیترات، سولفات، بی‌کربنات/کربنات و فسفات و کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن در غلظت‌های ۱ و ۱۰ میلی‌مولار ارزیابی شد. غلظت مالاتیون باقیمانده با HPLC اندازه‌گیری شد.

یافته ها: بیشترین راندمان حذف در pH حدود ۷، دوز جاذب ۱ گرم بر لیتر و زمان تماس ۱۵ دقیقه به‌دست آمد و حدود ۸۶٪ بود. فسفات و بی‌کربنات/کربنات موجب کاهش بیشتر جذب شدند، در حالی‌که کلرید و نیترات اثر محدودتری داشتند. کلسیم و منیزیم در غلظت بالاتر سبب افزایش راندمان شدند، اما آهن کارایی جذب را کاهش داد.

نتیجه گیری: ترکیب یونی محیط نقش مهمی در جذب مالاتیون توسط کربن فعال اصلاح‌شده دارد. بنابراین، نوع و غلظت یون‌های محلول باید در طراحی و بهینه‌سازی فرآیندهای جذب برای تصفیه آب‌های سطحی و پساب‌ها لحاظ شود.

واژه های کلیدی: مالاتیون، کربن فعال اصلاح‌شده، یون‌های محلول، جذب، تصفیه آب

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

مقدمه

با توسعه کشاورزی مدرن، استفاده از آفت کش ها به یکی از فرآیندهای ضروری تولید محصولات زراعی تبدیل شده است[1]. سموم ارگانوفسفره (Organophosphate pesticide) عمدتاً از استرها، آمیدها یا مشتقات تیول اسیدهای فسفریک، فسفونیک، فسفورتیونیک یا فسفونتیونیک بوده که در سطح جهانی برای کنترل آفات استفاده می‌شوند[2، 3]. سموم ارگانوفسفره به علت مقرون به صرفه بودن و اثربخشی بر طیف گسترده‌ای از آفات، ۳۴ درصد از فروش جهانی سموم را به خود اختصاص می‌دهند[1، 3-5]. عدم آگاهی و استفاده نادرست از این سموم منجر به آلودگی‌های زیست محیطی شده است و سبب گردیده عموم مردم از مسیرهای متعددی در معرض این ترکیبات قرار گیرد. مهمترین مسیر مواجهه با آفت‌کش‌ها در عموم مردم، خوردن محصولات غذایی آلوده با این سموم است که ممکن است روی محصول باقی بماند و یا توسط گیاهان از طریق خاک و آب آلوده وارد بافت گیاه شده باشد[6-9]. در کشورهای مختلف، وجود آفت‌کش‌ها در آب آشامیدنی به طور مداوم گزارش شده است[10، 11]. این وضعیت ضرورت اعمال چارچوب‌های نظارتی دقیق و سخت‌گیرانه را ایجاب می‌کند. چین در سال ۲۰۲۲ استاندارد ملی جدیدی را معرفی کرد که ضمن گسترش دامنه شاخص‌های آفت‌کش‌ها، محدودیت‌های غلظت آن‌ها را نیز تنظیم نموده است[12]. بریتانیا و اتحادیه اروپا استانداردهای دقیقی برای کیفیت آب آشامیدنی وضع کرده‌اند که بر اساس آن، غلظت آفت‌کش‌های تک‌ترکیب ۰/۱ میکروگرم در لیتر و مجموع آفت‌کش‌ها به ۰/۵ میکروگرم در لیتر محدود شده است.

عملکرد تأسیسات تصفیه آب موجود کارایی کافی را در حذف آفت‌کش‌ها ندارد. در نتیجه، روش‌های تصفیه جایگزین برای رفع این نقص ضروری می‌باشد. چندین فرآیند تصفیه برای حذف این ترکیبات از آب‌های آشامیدنی و فاضلاب‌ها در دسترس است[13]. فرآیندهای متداول لخته‌سازی/انعقاد، ته‌نشینی و فیلتراسیون در حذف سموم آلی کشاورزی از آب، ناکارآمد نشان داده شده‌اند، که احتمالاً به دلیل اندازه مولکولی کوچک و حلالیت بالای این آلودگی‌ها در آب است[14]. جذب به عنوان یک روش کارآمد در مقایسه با سایر روش‌ها، برای حذف آفت‌کش‌ها شناخته می‌شود، زیرا این روش از عملیات ساده، هزینه پایین، سازگاری وسیع، کارایی بالا و آلودگی ثانویه کم برخوردار است[15]. کربن‌های فعال به دلیل ظرفیت جذب بالا، که ناشی از تخلخل توسعه‌یافته و مساحت سطح وسیع همراه با گروه‌های شیمیایی قابل تعامل مولکولی است، رایج‌ترین ماده مورد استفاده در فرآیندهای جذب به شمار می‌روند[16].

افزون بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی جاذب و آلاینده، ترکیبات یونی و قدرت یونی محیط حاوی مالاتیون نقش تعیین‌کننده‌ای در کارایی فرآیندهای جذب ایفا می‌کند. حضور یون‌ها در محلول (کاتیون و آنیون) می‌تواند راندمان حذف در آب‌های طبیعی و پساب‌ها را به طور قابل‌توجهی تغییر دهد[17].

هدف این مطالعه، ارزیابی تأثیر یون‌های متداول محلول بر راندمان حذف مالاتیون با استفاده از کربن فعال سنتزی در شرایط بهینه عملیاتی است. نتایج این پژوهش برای بهینه‌سازی طراحی فرآیندهای جذب در شرایط واقعی (آب‌های سطحی و پساب‌ها) و ارائه نتایج برای انتخاب دوز

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

و پیش‌تصفیه در حضور یون‌های محیطی قابل‌استفاده خواهد بود.

مواد و روش‌ها

مواد شیمیایی

مالاتیون با درجه خلوص تحلیلی از شرکت سیگما تهیه شد و برای تهیه محلول‌های استاندارد مورد استفاده قرار گرفت. نمک‌های مورد استفاده شامل کلرید سدیم (NaCl)، کلرید پتاسیم (Kcl)، کلرید کلسیم($CaCl_2$)، کلرید منیزیم ($MgCl_2$) و کلرید آهن (III) ($FeCl_3$)، نیترات سدیم ($NaNO_3$)، سولفات سدیم (Na_2SO_4)، بی‌کربنات سدیم($NaHCO_3$) و فسفات سدیم (Na_3PO_4) و کلرید آمونیوم (NH_4Cl) همگی با درجه خلوص تحلیلی از شرکت Merck تهیه شدند. کلیه محلول‌ها با آب دیونیزه تهیه شد. محلول‌های مادر تهیه و رقیق‌سازی‌های لازم برای دستیابی به غلظت‌های مورد نظر انجام گرفت.

سنتز کربن فعال اصلاح‌شده با آمونیوم کلراید

کربن فعال اصلاح‌شده با کلرید آمونیوم از چوب خشک‌شده‌ی انار، مطابق روش‌های گزارش‌شده در مطالعات پیشین گروه تحقیقاتی ما تهیه شد. به‌طور خلاصه، چوب انار پس از خردایش و الک، در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت و تحت جریان نیتروژن کربونیزه شد. گرانول‌های کربونیزه‌شده در محلول آبی NH_4Cl (۲ درصد وزنی) به مدت ۲ ساعت در دمای محیط غوطه‌ور شدند و سپس در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند. در ادامه، نمونه‌ها در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت و در اتمسفر نیتروژن فعال‌سازی حرارتی شدند. پس از سرد شدن، محصول نهایی الک شد و ذرات با اندازه مش ۲۰–۱۶ برای آزمایش‌های جذب انتخاب گردید[۱۸].

آزمایش‌های جذب ناپیوسته

آزمایش‌های جذب مالاتیون به‌صورت ناپیوسته (Batch) در ارلن‌های ۲۵۰ میلی‌لیتری حاوی ۵۰ میلی‌لیتر محلول مالاتیون انجام شد. آزمایش‌های جذب در ماتریس آبی سنتزی انجام شد. ماتریس پایه شامل آب دیونیزه حاوی غلظت مشخصی از مالاتیون بود. در هر آزمایش، مقدار معینی از کربن فعال به محلول اضافه گردید و مخلوط تحت هم‌زدن مداوم قرار گرفت تا تماس کامل بین جاذب و محلول تضمین شود. پس از زمان تماس تعیین‌شده، نمونه‌ها با استفاده از فیلتر مناسب صاف شدند تا ذرات معلق کربن از محلول جدا شود. سپس، محلول شفاف به‌دست آمده برای اندازه‌گیری غلظت باقیمانده مالاتیون با استفاده از کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مورد استفاده قرار گرفت. کلیه آزمایش‌ها در شرایط کنترل‌شده از نظر pH، دما و دوز جاذب انجام گرفت و هر آزمایش حداقل در سه تکرار مستقل انجام شد تا دقت و قابلیت اعتماد داده‌ها تضمین شود.

بررسی اثر کاتیون‌ها و آنیون‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر یون‌های محلول بر جذب مالاتیون توسط کربن فعال، کاتیون‌های Na^+ ، K^+، Ca^{2+}، Mg^{2+} و Fe^{3+} و آنیون‌های Cl^-، NO_3^-، SO_4^{2-}، HCO_3^-/CO_3^{2-} و PO_4^{3-} به محلول‌های مالاتیون افزوده شدند. این یون‌ها در دو سطح غلظت متفاوت ۱ mM و ۱۰mM بررسی شدند تا اثرات غلظت بر راندمان جذب مورد ارزیابی قرار گیرد. انتخاب غلظت‌های ۱ و ۱۰ میلی‌مولار با هدف بررسی اثر یون‌های محلول در دو سطح متفاوت از قدرت یونی انجام شد. غلظت ۱ میلی‌مولار به‌عنوان سطح پایین‌تر و غلظت ۱۰ میلی‌مولار به‌عنوان سطح

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

بالاتر یون‌های محلول در نظر گرفته شد تا مشخص شود افزایش غلظت یون‌ها چه تأثیری بر راندمان جذب مالاتیون دارد. تمامی آزمایش‌ها در شرایط بهینه جذب انجام گرفت.

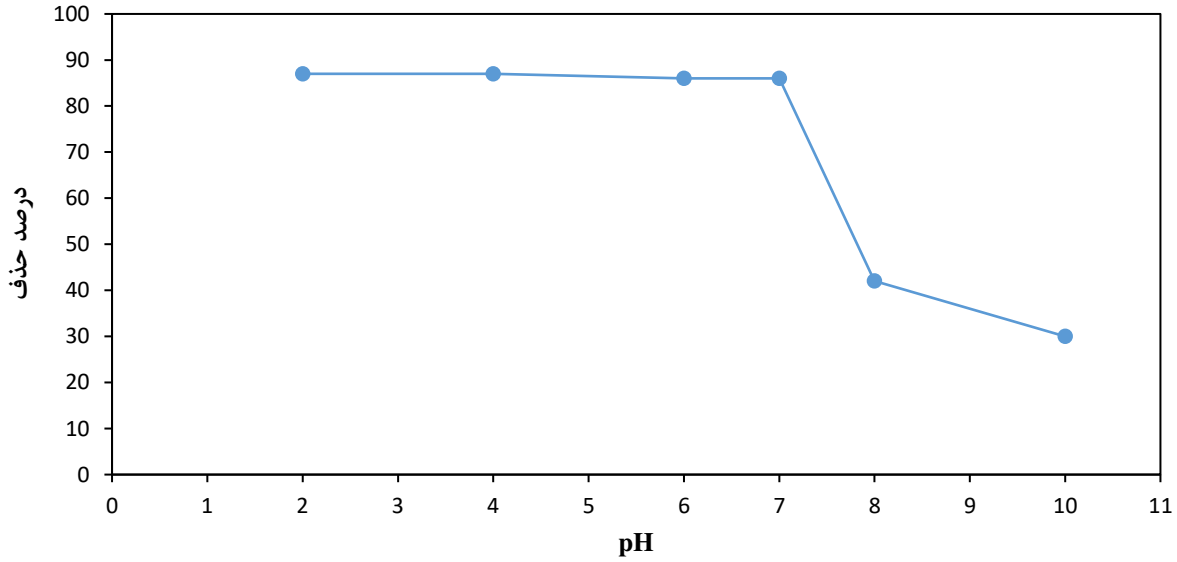
روش آنالیز مالاتیون

غلظت باقیمانده مالاتیون قبل و پس از فرآیند جذب با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)مجهز به آشکارساز فرابنفش (UV) اندازه‌گیری شد. جداسازی کروماتوگرافی بر روی ستون C18 با ابعاد ۴/۶ × ۲۵۰ میلی‌متر انجام گرفت. فاز متحرک شامل مخلوط متانول و آب به نسبت حجمی ۷۵:۲۵ بود و دبی جریان ۰/۱ میلی‌لیتر بر دقیقه تنظیم شد. طول موج آشکارسازی ۲۹۵ نانومتر و دمای ستون ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. حجم تزریق نمونه‌ها ۲۰ میکرولیتر بود. پیش از آنالیز، نمونه‌ها از فیلتر غشایی با اندازه منافذ ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شدند. منحنی کالیبراسیون با استفاده از محلول‌های استاندارد مالاتیون در محدوده غلظتی مناسب تهیه گردید و کلیه آزمایش‌ها به‌صورت سه تکرار مستقل انجام شد.

یافته ها

اثر pH برحذف مالاتیون با کربن فعال

اثر pH در بازه ۲ تا ۱۰ بر راندمان حذف مالاتیون توسط کربن فعال با دوز ۱g/L در زمان تماس ۱۵ دقیقه و دمای محیط مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد (شکل ۱) که راندمان حذف در محدوده pH اسیدی تا خنثی حدود ۸۶٪ بود و درpH های بالاتر کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهند که بهترین راندمان حذف در pH اسیدی و خنثی مشاهده شد، که نشان‌دهنده بهینه بودن این شرایط برای جذب مالاتیون توسط کربن فعال است.

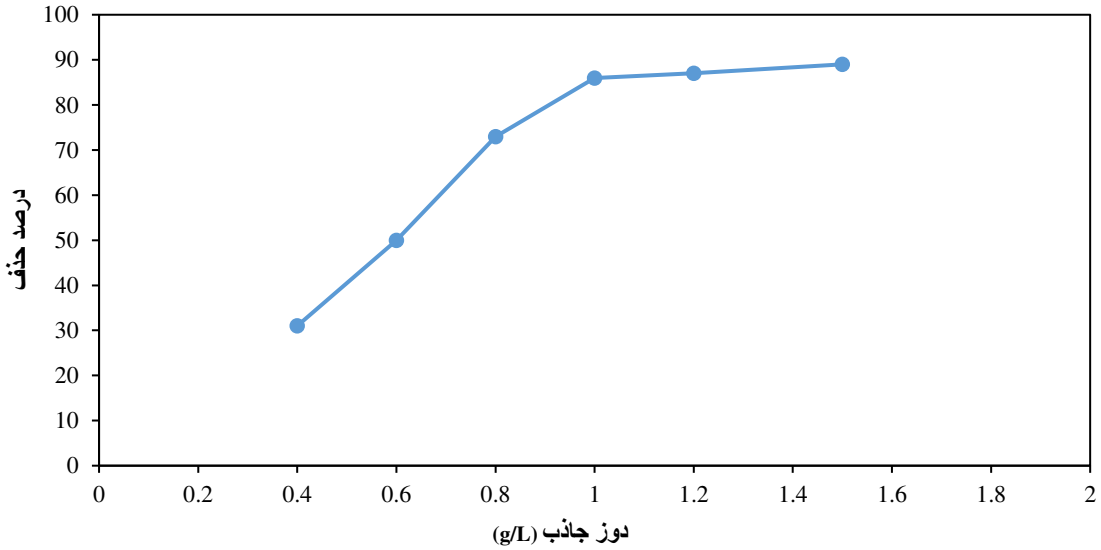


شکل ۱. اثر pH محلول بر راندمان حذف مالاتیون توسط کربن فعال در شرایط: دوز جاذب g/L ۱، غلظت اولیه مالاتیون mg/L ۵۰، زمان تماس ۱۵ دقیقه و دمای محیط

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

اثر دوز جاذب بر درصد حذف مالاتیون

اثر دوز کربن فعال بر درصد حذف مالاتیون در بازه g/L ۰/۴ تا g/L ۱/۵ در pH= ۷ ، غلظت اولیه ۵۰mg/L مالاتیون، زمان تماس ۱۵ دقیقه و دمای محیط مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد (شکل ۲) که با افزایش دوز جاذب، درصد حذف مالاتیون افزایش می‌یابد. در دوزg/L ۰/۴ ، درصد حذف ۳۱٪ بود و با افزایش دوز به g/L ۱/۰ این مقدار به ۸۶٪ رسید. اما پس از آن تغییرات در درصد حذف چندان قابل توجه نبود.

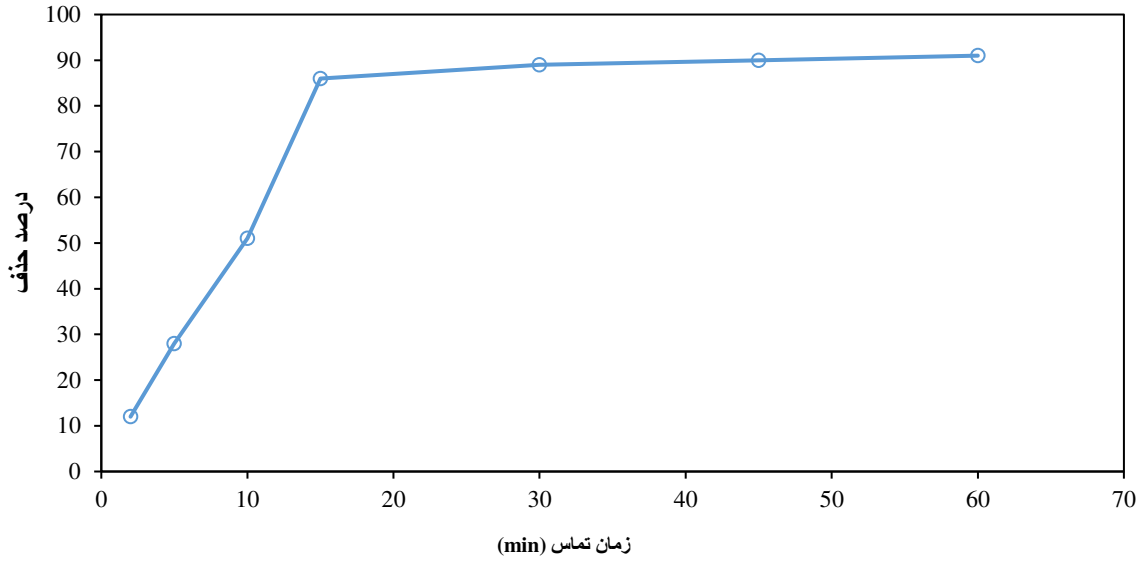


شکل ۲. اثر دوز جاذب بر درصد حذف مالاتیون توسط کربن فعال در شرایط pH=۷ غلظت اولیه مالاتیون mg/L ۵۰، زمان تماس ۱۵ دقیقه و دمای محیط

اثر زمان تماس بر درصد حذف

به منظور بررسی تأثیر زمان تماس بر میزان حذف مالاتیون توسط کربن فعال، آزمایش‌ها در pH= ۷ ، دوز جاذب g/L ۱، غلظت ۵۰ppm مالاتیون در دمای محیط انجام شد و زمان تماس در بازه ۲ تا ۶۰ دقیقه بررسی گردید. نتایج نشان داد (شکل ۳) که با افزایش زمان تماس، راندمان حذف مالاتیون به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بیشترین افزایش راندمان تا زمان ۱۵ دقیقه مشاهده شد که درصد حذف به حدود ۸۶٪ رسید. پس از این زمان، افزایش بیشتر زمان تماس تنها به بهبود جزئی در حذف منجر شد و تا ۶۰ دقیقه تغییر قابل‌توجهی مشاهده نشد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

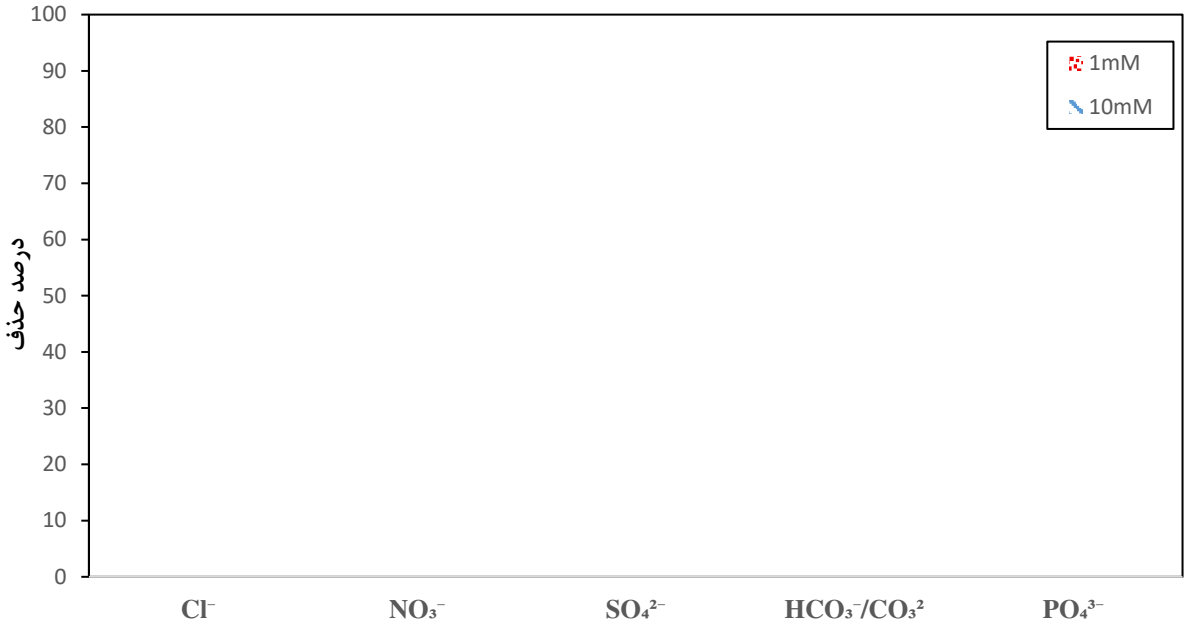


شکل۳. اثر زمان تماس بر راندمان حذف مالاتیون توسط کربن فعال در شرایط pH=۷، دوز جاذب g/L ۱، غلظت اولیه مالاتیون ۵۰ppm و دمای محیط

بررســـی اثر آنیون‌های محلول بر رلندمان جذب مالاتیون با کربن فعال

اثر حضور آنیون‌های مختلف بر راندمان حذف مالاتیون در شرایط بهینه ($50 mg \cdot L^{-1}$ مالاتیون، $1/0 g \cdot L^{-1}$ کربن فعال pH =۷، زمان تماس ۱۵min و دمای محیط) بررسی شد. نتایج حاصل از حضور غلظت‌های mM ۱ و mM ۱۰ آنیون‌ها در شکل۴ ارائه شده است. در غیاب آنیون‌ها، راندمان حذف مالاتیون برابر با ۸۶٪ بود. با افزودن آنیون‌ها، کاهش راندمان حذف مشاهده شد. به‌طور کلی، افزایش غلظت آنیون منجر به کاهش بیشتر راندمان حذف گردید. در غلظت mM ۱، تغییرات راندمان حذف نسبت به شرایط بدون آنیون محدود بود، به‌طوری که راندمان حذف در حضور Cl^- و NO_3^- تقریباً مشابه حالت شاهد باقی ماند، در حالی که در حضور SO_4^{2-}، HCO_3^-/CO_3^{2-} و PO_4^{3-} کاهش بیشتری مشاهده شد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

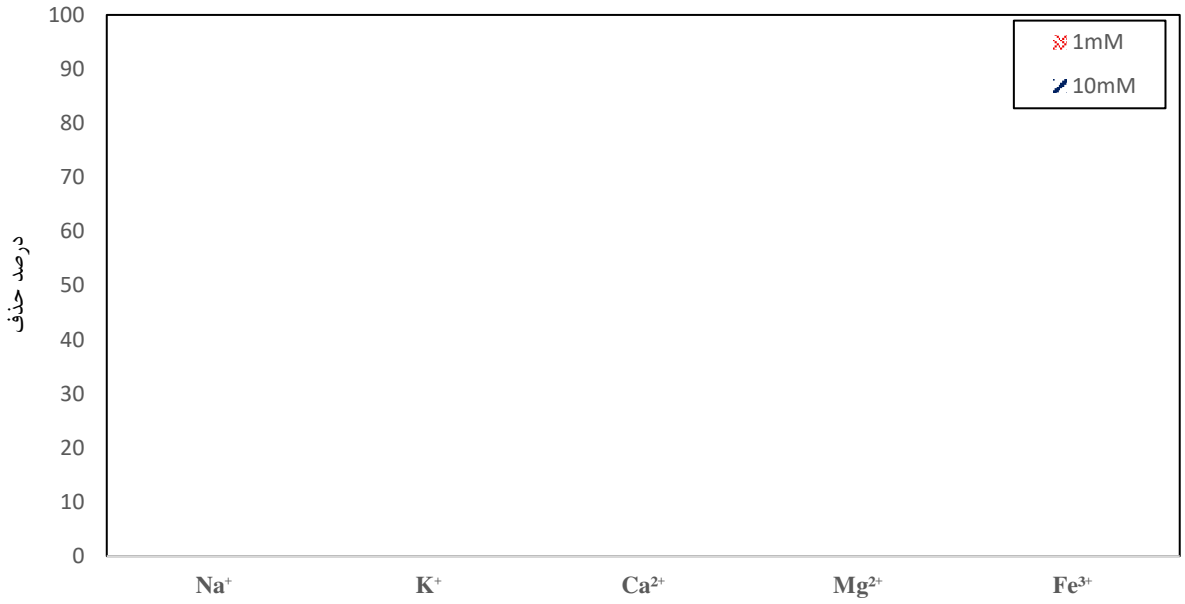


شکل ۴ .اثر آنیون‌های مختلف(Cl^-، NO_3^-، SO_4^{2-}، HCO_3^-/CO_3^{2-} و PO_4^{3-}) بر جذب مالاتیون توسط کربن فعال در شرایط بهینه $50 mg \cdot L^{-1}$ مالاتیون، دوز $1 g \cdot L^{-1}$، pH =۷، زمان ۱۵ دقیقه، دمای محیط

بررسی اثر کاتیون‌های محلول بر راندمان جذب مالاتیون با کربن فعال

اثر حضور کاتیون‌های مختلف بر جذب مالاتیون در شرایط بهینه ($50 mg \cdot L^{-1}$ مالاتیون، $1 g \cdot L^{-1}$ کربن فعال، pH=۷، زمان تماس ۱۵ دقیقه و دمای محیط) بررسی شد. نتایج مربوط به دو غلظت ۱ mM و ۱۰ mM کاتیون‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. در غلظت ۱mM، حضور Na^+ و K^+تغییر قابل‌توجهی در راندمان حذف ایجاد نکرد، در حالی که کاتیون‌های دو و سه ظرفیتی مانندCa^{2+}، Mg^{2+} و Fe^{3+} باعث تغییرات نسبی شدند. با افزایش غلظت کاتیون‌ها به۱۰ mM، اثر آن‌ها واضح‌تر شد؛ Ca^{2+} و Mg^{2+} راندمان حذف را افزایش دادند، اما Fe^{3+} موجب کاهش قابل توجه آن گردید.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]



شکل ۵. اثر کاتیون‌های مختلف (Na^+، K^+، Ca^{2+}، Mg^{2+} و Fe^{3+}) بر جذب مالاتیون توسط کربن فعال در شرایط بهینه ($50 mg \cdot L^{-1}$ مالاتیون، دوز $1 g \cdot L^{-1}$، $pH = 7$، زمان ۱۵ دقیقه، دمای محیط)

بحث

تأثیر pH بر راندمان جذب مالاتیون

اثر pH بر جذب مالاتیون را می‌توان با تغییر در وضعیت پروتوناسیون گروه‌های سطحی کربن فعال و در نتیجه تغییر خواص فیزیکوشیمیایی سطح جاذب تبیین کرد. درpH های اسیدی تا نزدیک به خنثی، پروتوناسیون گروه‌های سطحی موجب کاهش بار منفی و کاهش هیدراتاسیون سطح می‌شود که این امر تماس نزدیک‌تر بین مولکول‌های مالاتیون و سطح کربن را تسهیل می‌کند. در مقابل، درpH های قلیایی، دپروتوناسیون گروه‌های سطحی باعث افزایش بار منفی و قطبیت سطح شده و تشکیل لایه آب پایدارتر در اطراف سطح را تشدید می‌کند که این پدیده انتقال جرم و دسترسی مالاتیون به سایت‌های جذب را محدود می‌سازد. علاوه بر این، افزایش pH می‌تواند منجر به افزایش نرخ هیدرولیز مالاتیون شود که در مجموع به کاهش راندمان جذب در محیط قلیایی می‌انجامد[۱۹، ۲۰].

تأثیر دوز کربن فعال بر حذف مالاتیون

نتایج نشان می‌دهند که با افزایش دوز جاذب، درصد حذف مالاتیون افزایش یافت. در دوزهای پایین‌تر، با افزایش دوز جاذب، جذب به‌طور قابل‌توجهی بهبود یافت. این امر به دلیل افزایش تعداد سایت‌های فعال برای جذب مالاتیون است که با افزایش دوز جاذب در دسترس قرار می‌گیرند. با رسیدن به دوز g/L ۱، درصد حذف به ۸۶٪ رسید، اما پس از این مقدار تغییرات در درصد حذف کاهش یافت و در دوز g/L۱/۵، درصد حذف تنها به ۹۰٪ رسید. این نشان‌دهنده اشباع نشدن سطح کربن فعال به علت در دسترس بودن است، به طوری که دیگر افزایش دوز جاذب تأثیر قابل توجهی بر درصد حذف ندارد[۱۸، ۲۱]. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که دوز جاذب g/L۱ برای جذب مالاتیون بهینه

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

است، زیرا در این دوز، جذب به حداکثر خود می‌رسد و افزایش بیشتر دوز جاذب تأثیر قابل توجهی بر بهبود فرآیند جذب نخواهد داشت.

تأثیر زمان تماس بر راندمان جذب مالاتیون

افزایش راندمان در زمان‌های اولیه به دلیل در دسترس بودن تعداد زیادی از سایت‌های فعال روی سطح کربن فعال و شیب بالای گرادیان غلظت بین محلول و سطح جاذب است. با گذشت زمان و اشغال شدن تدریجی سایت‌های فعال، سرعت جذب کاهش یافته و سیستم به تعادل نزدیک می‌شود. ثابت ماندن نسبی راندمان پس از ۱۵ دقیقه نشان می‌دهد که بیشتر سایت‌های مؤثر اشباع شده‌اند و انتقال جرم به مرحله کندتری وارد شده است. بنابراین، زمان تماس ۱۵ دقیقه به‌عنوان زمان بهینه در این مطالعه در نظر گرفته شد، زیرا افزایش بیشتر زمان تماس تأثیر معنی‌داری بر بهبود حذف مالاتیون نداشت [۲۲، ۲۳].

اثر آنیون‌های مختلف بر راندمان حذف مالاتیون توسط کربن فعال

کاهش راندمان جذب مالاتیون در حضور آنیون‌ها عمدتاً به افزایش قدرت یونی محلول و رقابت برای سایت‌های فعال روی سطح کربن فعال نسبت داده می‌شود. افزایش قدرت یونی باعث فشردگی لایه دوگانه الکتریکی و کاهش دسترسی مؤثر مولکول‌های مالاتیون به منافذ ریز کربن می‌شود که در نتیجه انتقال جرم و جذب کاهش می‌یابد. این اثر با افزایش غلظت آنیون از ۱mM به ۱۰mM تشدید شد که نشان‌دهنده نقش غالب قدرت یونی در کاهش راندمان است. PO_4^{3-} و HCO_3^-/CO_3^{2-} بیشترین کاهش راندمان را ایجاد کردند، در حالی که Cl^- و NO_3^- کمترین تأثیر را داشتند. این رفتار به تمایل بیشتر آنیون‌های چندظرفیتی برای screening قوی‌تر بار سطحی و نیز برهم‌کنش اختصاصی با سایت‌های فعال نسبت داده می‌شود که منجر به رقابت مؤثر با مالاتیون برای دسترسی به سطح و منافذ می‌گردد. اثر قابل‌توجه بی‌کربنات/کربنات علاوه بر نقش قدرت یونی، به تغییر شرایط شیمی سطح و افزایش هیدراتاسیون و قطبیت سطح کربن فعال مرتبط است که می‌تواند نفوذ مالاتیون به منافذ و برهم‌کنش‌های هیدروفوبی را تضعیف کند. این نتایج با گزارش‌های اخیر درباره تأثیر ترکیب یونی و آنیون‌های چندظرفیتی بر کاهش جذب ترکیبات آلی روی مواد کربنی همخوانی دارد[۲۴-۲۶]. در مقایسه با روش‌هایی مانند تخریب پرتوی آفت‌کش‌های ارگانوفسفره با تابش گاما، روش جذب با کربن فعال اصلاح‌شده از نظر اجرا ساده‌تر و برای کاربرد در سامانه‌های متداول تصفیه آب قابل‌دسترس‌تر است Khedr و همکاران تخریب چند آفت‌کش ارگانوفسفره را در محلول‌های آبی با استفاده از تابش گاما بررسی کردند و نشان دادند که این روش می‌تواند در کاهش این ترکیبات مؤثر باشد؛ با این حال، نیاز به منبع پرتودهی، تجهیزات تخصصی، کنترل دوز جذب‌شده و تأثیرپذیری از نوع ماتریس آبی، از محدودیت‌های کاربرد عملی آن محسوب می‌شود[۵].

اثر کاتیون‌های مختلف بر رلندمان حذف مالاتیون توسط کربن فعال

حضور کاتیون‌های دوظرفیتی(Ca^{2+}، Mg^{2+}) منجر به افزایش در راندمان حذف مالاتیون شد افزایش در غلظت ۱۰ mM واضح‌تر بود. این رفتار با مکانیسم پل‌زنی کاتیونی (cation-bridging)قابل توجیه است؛ کاتیون‌های دوظرفیتی می‌توانند بارهای سطحی و یا گروه‌های قطبی را واسطه قرار دهند و تماس مولکولی و تثبیت آلی‌ها روی سطوح کربنی را تقویت کنند. مشاهدات مشابه تأثیر

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

Ca/Mgبر افزایش جذب و تثبیت ترکیبات آلی گزارش شده است[۲۷]. افزایش جذب در حضور K^+ نشان‌دهنده اثرات اندک در ساختار لایه دوتایی و یا تغییرات جزئی در هیدراتاسیون مولکولی است و با نقش کلی-ionic strengthدر تعدیل انتقال جرم همخوانی دارد. مطالعات نشان می‌دهند که تأثیر یون‌های تک‌ظرفیتی معمولاً کمتر از کاتیون‌های چندظرفیتی است. کاهش معنی‌دار جذب در حضورFe^{3+} ، به‌ویژه در غلظت ۱۰mM ، احتمالاً ناشی از مجموعه‌ای از فرآیندها است که شامل تغییرات قابل توجه در بار و شیمی سطحی جاذب در اثر اتصال یا هیدرولیز Fe^{3+}، تشکیل گونه‌های هیدروکسیدی یا رسوبات آهن $(Fe–(OH)_x)$که می‌توانند منافذ را مسدود کرده یا سایت‌های فعال را اشغال کنند، و همچنین رقابت مستقیم یون‌های سه‌ظرفیتی با مولکول‌های مالاتیون برای دسترسی به سایت‌های سطحی یا ایجاد تغییر در پایداری مولکولی مالاتیون می‌باشد[۲۸، ۲۹].

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، اثر یون‌های محلول بر جذب آفت‌کش مالاتیون با استفاده از کربن فعال اصلاح‌شده تهیه‌شده از چوب انار و فعال‌شده با NH_4Cl بررسی شد. نتایج نشان داد که بیشترین راندمان حذف (حدود ۸۶٪) در شرایط۷ $\approx pH$، دوز جاذب $1g\cdot L^{-1}$ و زمان تماس ۱۵ دقیقه حاصل می‌شود. ترکیب یونی نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد فرآیند جذب ایفا می‌کند؛ به‌طوری‌که آنیون‌های چندظرفیتی مانند PO_4^{3-} و HCO_3^-/CO_3^{2-} موجب کاهش قابل توجه راندمان جذب شدند، در حالی که Cl^- و NO_3^- تأثیر محدودی داشتند. در مقابل، کاتیون‌های دوظرفیتی Ca^{2+} و Mg^{2+} در غلظت‌های بالاتر باعث افزایش جذب شدند که این رفتار با مکانیزم پل‌زنی کاتیونی قابل تبیین است، اما حضورFe^{3+} به‌ویژه در غلظت‌های بالاتر منجر به کاهش قابل‌توجه کارایی شد که احتمالاً ناشی از هیدرولیز، تشکیل رسوبات و انسداد منافذ جاذب است. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در طراحی و بهینه‌سازی فرآیندهای جذب برای تصفیه آب‌های طبیعی و پساب‌ها، در نظر گرفتن ترکیب یونی و قدرت یونی محیط امری ضروری است.

سپاسگزاری

نویسندگان از حوزه معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی سبزوار جهت حمایت های مادی و معنوی انجام تحقیق حاضر تشکر و قدردانی می نمایند.

تعارض منافع

نویسندگان اذعان می دارند که در اجرای پژوهش و همچنین نگارش مقاله‌ی آن هیچگونه تعارض منافعی نداشته‌اند.

حمایت مالی

این تحقیق با پشتیبانی و حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی سبزوار انجام شده است.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی با کد اخلاق IR.MEDSAB.REC.1403.159 می‌باشد.

مشارکت نویسندگان

طراحی مطالعه، انجام آزمایش‌ها، تحلیل داده‌ها: فروغ ریاحی‌منش

نگارش پیش‌نویس اولیه مقاله: فروغ ریاحی‌منش، مریم بقایی

گردآوری داده‌ها: فروغ ریاحی‌منش، فیاض مهدی‌پور

مشارکت در طراحی روش تحقیق، نظارت بر اجرای آزمایش‌ها: احمد اله‌آبادی

تحلیل و تفسیر نتایج: احمد اله‌آبادی، مهدی سالاری

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

مشارکت در انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی، آماده‌سازی مواد و نمونه‌ها: فیاض مهدی‌پور

بازبینی نسخه نهایی مقاله: احمد اله‌آبادی، فیاض مهدی‌پور، مریم بقایی، مهدی سالاری

مشارکت در طراحی مطالعه: مریم بقایی

ایده‌پردازی و طراحی مطالعه، نظارت علمی بر پژوهش، ویرایش نهایی مقاله: مهدی سالاری

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

References

1. Fu H, Tan P, Wang R, et al. Advances in organophosphorus pesticides pollution: Current status and challenges in ecotoxicological, sustainable agriculture, and degradation strategies. Journal of Hazardous Materials 2022;424: 127494. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.127494.
2. Katsikantami I, Colosio C, Alegakis A, et al. Estimation of daily intake and risk assessment of organophosphorus pesticides based on biomonitoring data – The internal exposure approach. Food and Chemical Toxicology 2019;123: 57-71. DOI: 10.1016/j.fct.2018.10.047.
3. Baumert BO, Fiedler N, Prapamontol T, et al. Urinary Concentrations of Dialkylphosphate Metabolites of Organophosphate pesticides in the Study of Asian Women and their Offspring's Development and Environmental Exposures (SAWASDEE). Environment International 2022;158: 106884. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106884.
4. Malakootian M, Shahesmaeili A, Faraji M, et al. Advanced oxidation processes for the removal of organophosphorus pesticides in aqueous matrices: A systematic review and meta-analysis. Process Safety and Environmental Protection 2020;134: 292-307. DOI: 10.1016/j.psep.2019.12.004.
5. Khedr T, Hammad AA, Elmarsafy AM, et al. Degradation of some organophosphorus pesticides in aqueous solution by gamma irradiation. Journal of Hazardous Materials 2019;373: 23-8. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.03.011.
6. Wolfram J, Stehle S, Bub S, et al. Meta-Analysis of Insecticides in United States Surface Waters: Status and Future Implications. Environmental Science & Technology 2018;52(24): 14452-60. DOI: 10.1021/acs.est.8b04651.
7. Tsygankov VY. Organochlorine pesticides in marine ecosystems of the Far Eastern Seas of Russia (2000–2017). Water Research 2019;161: 43-53. DOI: 10.1016/j.watres.2019.05.103.
8. Hyland C, Kogut K, Gunier RB, et al. Organophosphate pesticide dose estimation from spot and 24-hr urine samples collected from children in an agricultural community. Environment International 2021;146: 106226. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106226.
9. Damalas CA, Koutroubas SD. Farmers' Exposure to Pesticides: Toxicity Types and Ways of Prevention. Toxics 2016;4(1).: 1. DOI: 10.3390/toxics4010001
10. Kamata M, Matsui Y, Asami M. National trends in pesticides in drinking water and water sources in Japan. Science of The Total Environment 2020;744: 140930. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140930.
11. Sjerps RMA, Kooij PJF, van Loon A, Van Wezel AP. Occurrence of pesticides in Dutch drinking water sources. Chemosphere 2019;235: 510-8. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.06.207.
12. Shi W, Cheng Y, Li X, et al. Synergistic removal of pesticides and transformation products through optimization of ozonation and granular activated carbon filtration parameters toward achieving toxin-free drinking water. Journal of Water Process Engineering 2025;77: 108598. DOI: 10.1016/j.jwpe.2025.108598.
13. Tahmasebi AA, Salimi Beni A, Azhdarpoor A, Moeini Z. The application of granular and biological activated carbon columns in removal of organochlorine and organophosphorus pesticides in a water treatment plant. Journal of Water Process Engineering 2023;56: 104383. DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.104383.
14. Li W, Dong C, Hao Z, et al. The effectiveness and feasibility of ball-milled powdered activated carbon (BPAC) for removal of organic pesticides in conventional drinking water treatment process. Chemosphere 2024;359: 142229. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.142229.
15. Wang Y, Lin C, Liu X, et al. Efficient removal of acetochlor pesticide from water using magnetic activated carbon: Adsorption performance, mechanism, and regeneration exploration. Science of The Total Environment 2021;778: 146353. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146353.
16. Harabi S, Guiza S, Álvarez-Montero A, et al. Adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on activated carbons from macadamia nut shells. Environmental Research 2024;247: 118281. DOI: /10.1016/j.envres.2024.118281.
17. Bui TX, Choi H. Influence of ionic strength, anions, cations, and natural organic matter on the adsorption of pharmaceuticals to silica. Chemosphere 2010;80(7): 681-6. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.05.046.
18. Moussavi G, Alahabadi A, Yaghmaeian K, Eskandari M. Preparation, characterization and adsorption potential of the NH4Cl-induced activated carbon for the removal of amoxicillin antibiotic from water. Chemical Engineering Journal 2013;217: 119-28.
19. Ali ASM, Allam EA, Nabil GM, et al. Removal assessment of malathion and dichlorodiphenyltrichloroethane pesticides from wastewater using intercalated bentonite clay with mixed aluminum–zinc oxides nanoparticles. RSC Advances 2025;15(19): 14929-45. DOI: https://doi.org/10.1039/d5ra00683j.
20. Allam EA, Ali ASM, Elsharkawy RM, Mahmoud ME. Framework of nano metal oxides N-NiO@N-Fe3O4@N-ZnO for adsorptive removal of atrazine and bisphenol-A from wastewater: Kinetic and adsorption studies. Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management 2021;16. DOI: 10.1016/j.enmm.2021.100481.
21. Riahimanesh F, Alahabadi A, Baghayeri M, et al. Investigation on the removal of entacapone from contaminated water using magnetic activated carbon. Materials Research Express 2019;6(9): 096105. DOI: 10.1088/2053-1591/ab2ceb.
22. Wang FY, Wang H, Ma JW. Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low-cost adsorbent--bamboo charcoal. J Hazard Mater 2010;177(1-3): 300-6. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.12.032.
23. Rao MM, Rao GP, Seshaiah K, et al. Activated carbon from Ceiba pentandra hulls, an agricultural waste, as an adsorbent in the removal of lead and zinc from aqueous solutions. Waste Manag 2008;28: 849-58(5). DOI: 10.1016/j.wasman.2007.01.017
24. Bernal V, Giraldo L, Moreno-Piraján JC. Thermodynamic analysis of acetaminophen and salicylic acid adsorption onto granular activated carbon: Importance of chemical surface and effect of ionic strength. Thermochimica Acta 2020;683: 178467. DOI: 10.1016/j.tca.2019.178467.
25. Li B, Chen Y, Ren G, et al. Efficient low-concentration phosphate removal from sub-healthy surface water by adsorbent prepared based on functional complementary strategy. Science of The Total Environment 2023;902: 166476. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166476.
26. Milanković V, Tasić T, Brković S, et al. The adsorption of chlorpyrifos and malathion under environmentally relevant conditions using biowaste carbon materials. Journal of Hazardous Materials 2024;480: 135940. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.135940.
27. Barreto MSC, Elzinga EJ, Ramlogan M, et al. Calcium enhances adsorption and thermal stability of organic compounds on soil minerals. Chemical Geology 2021;559: 119804. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2020.119804.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]

28.Arafat H, Franz M, Pinto N. Effect of Salt on the Mechanism of Adsorption of Aromatics on Activated Carbon†. Langmuir 1999;15. DOI: 10.1021/la9813331.
29.Maneechakr P, Karnjanakom S. Environmental surface chemistries and adsorption behaviors of metal cations (Fe(3+), Fe(2+), Ca(2+) and Zn(2+)) on manganese dioxide-modified green biochar. RSC Adv 2019;9(42): 24074-86. DOI: 10.1039/c9ra03112j.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-11-07]