DOI: 10.22122/jhsr.v13i4.3060 Published by Vesnu Publications

بررسی عملکرد کامپوزیت نانولوله کربنی/ کیتوسان در جذب آفت‌کش دیازینون از پساب‌های کشاورزی

طاهره تقی‌زاده فیروزجایی[۱]، ناصر مهردادی[۲]، مجید بغدادی[۳]، غلامرضا نبی بیدهندی[۲]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: امروزه آلودگی منابع آب به وسیله سموم آفت‌کش و وجود باقی‌مانده آن در زنجیره غذایی، یکی از معضلات زیست محیطی محسوب می‌گردد. بنابراین، حذف آفت‌کش‌ها در طی فرایند تصفیه آب، اهمیت فراوانی دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی جذب آفت‌کش دیازینون توسط جاذب نانولوله کربنی/ کیتوسان (Chitosan/Carbon Nanotube یا CHN-CNT) انجام شد.

روش‌ها: جاذب CHN-CNT از روش پیوند بین زنجیره پلیمری (Cross linking methods) با نسبت‌های وزنی مختلف نانولوله کربنی (Carbon Nanotube یا CNT) به کیتوسان به دست آمد. به منظور بررسی مورفولوژی و ساختار شیمیایی جاذب سنتز شده، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning electron microscopy یا SEM) و طیف‌سنج مادون قرمز (Fourier-transform infrared spectroscopy یا FTIR) استفاده گردید. همچنین، تأثیر شاخص‌های میزان غلظت جاذب، غلظت دیازینون و زمان تماس بر میزان جذب دیازینون روی CHN-CNT مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: جاذب CHN-CNT تا حدود زیادی دیازینون را از محیط آبی حذف نمود؛ به طوری که ظرفیت جذب دیازینون (q_e) در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دیازینون و غلظت ۰/۵ گرم بر لیتر جاذب و زمان ۶۵ دقیقه، به ۵۹ میلی‌گرم به گرم جاذب رسید. فرایند احیای جاذب با چهار چرخه متوالی انجام گرفت. درصد احیای جاذب در چرخه چهارم، ۹۴/۹ درصد به دست آمد.

نتیجه‌گیری: استفاده از جاذب CHN-CNT به دلیل ساخت آسان، کارایی بالا در جذب و قابلیت احیای مؤثر وآسان، می‌تواند به عنوان جاذب مناسبی در حذف آفت‌کش‌ها از منابع آبی آلوده مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آفت‌کش‌ها، دیازینون، کیتوسان، نانولوله کربنی، جذب

ارجاع: تقی‌زاده فیروزجایی طاهره، مهردادی ناصر، بغدادی مجید، نبی بیدهندی غلامرضا. **بررسی عملکرد کامپوزیت نانولوله کربنی/ کیتوسان در جذب آفت‌کش دیازینون از پساب‌های کشاورزی.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۶؛ ۱۳ (۴): ۴۶۳-۴۵۷

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۳ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱/۱۵

مقدمه

دیازنیون (Diazinon) از گروه آفت‌کش‌های ارگانوفسفره می‌باشد که به طور گسترده‌ای در کشاورزی جهت کنترل انواع مختلفی از حشرات مورد استفاده قرار می‌گیرد. به علت مقاوم به تجزیه بودن این سموم، استفاده از آن‌ها سبب ورود به محیط زیست و ماندگاری در آب‌های زیرزمینی و سطحی و خاک‌ها می‌شود (۱). روش‌های مختلفی جهت حذف آفت‌کش‌ها از محیط‌های آبی به کار گرفته شده است که شامل روش‌های بیولوژیکی، اکسیداسیون پیشرفته، انعقاد، فیلتراسیون و جذب می‌باشد. یکی از روش‌های پرکاربرد در تصفیه آب و فاضلاب، جذب سطحی است که به دلیل آسانی در راهبری، انعطاف‌پذیری و قابلیت حذف سموم، بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته است (۳، ۲). از میان جاذب‌های مختلف، کیتوسان از جمله جاذب‌های کارامد و زیست تجزیه‌پذیر به شمار می‌رود که به دلیل داشتن مقدار بالای گروه‌های عاملی آمین و هیدروکسیل، توجه زیادی را به خود جلب نموده است (۴). تعدادی از محققان بر روی حذف برخی از آفت‌کش‌های ارگانوکلره با استفاده از کیتوسان مطالعه نموده‌اند (۷-۵). رحمانی‌فر و مرادی دهقی از کیتوسان به همراه نانواکسید نقره جهت حذف آفت‌کش‌های کلره استفاده نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ۰/۵ گرم از جاذب توانست ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر از آفت‌کش را در محلول ۲۵ میلی‌لیتر با راندمان ۹۹ درصد حذف نماید (۵). مرادی دهقی و همکاران پژوهشی را با هدف حذف آفت‌کش پرمترین با استفاده از کیتوسان به همراه نانواکسید روی انجام دادند و دریافتند که این جاذب به خوبی می‌تواند آفت‌کش پرمترین را از طریق واکنش الکترواستاتیکی و واندروالسی حذف نماید (۴). هرچند که کیتوسان کاربرهای فراوانی دارد، اما کیتوسان خام دارای معایبی همچون خواص نامناسب مکانیکی، تقلیل طول شدید و تغییر شکل پس از خشک کردن است که استفاده از آن را در مقیاس تجاری به عنوان جاذب محدود می‌کند. بنابراین، یکی از روش‌های مؤثر جهت بهبود خواص مکانیکی کیتوسان، استفاده از نانولوله کربنی (Carbon Nanotube یا CNT) می‌باشد (۸). CNT به دلیل دارا بودن خواص

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
نویسنده مسؤول: طاهره تقی‌زاده فیروزجایی
Email: taghizade.eng@gmail.com

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-20]
[DOI: 10.22122/jhsr.v13i4.3060]

مکانیکی، الکتریکی و گرمایی خوب، به عنوان تقویت کننده مناسبی برای کیتوسان جهت افزایش کاربردهای آن به شمار می‌رود.

با توجه به این که کیتوسان جاذب مؤثر و ارزانی محسوب می‌شود، پس با افزایش استقامت مکانیکی جاذب به کمک CNT، می‌توان از جاذب ترکیبی نانولوله کربنی/ کیتوسان (Chitosan/Carbon Nanotube یا CHN-CNT) در فرایندهای تصفیه استفاده نمود؛ به طوری که جریان آب و فرایند احیا تحت فشارهای هیدرولیکی گسیخته نشود. در تحقیق حاضر، ابتدا جاذب CHN-CNT سنتز شد و سپس میزان جذب دیازینون توسط این جاذب و همچنین، ارزیابی مقرون به صرفه بودن آن با استفاده از فرایند احیا بررسی گردید. جهت بررسی استقامت مکانیکی جاذب از دستگاه Universal testing machine (UTM)، برای تعیین مورفولوژی و ساختار ذرات از میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning electron microscopy یا SEM) و به منظور بررسی تغییرات شیمیایی ایجاد شده در ساختار نانوذرات نیز از طیف‌سنج مادون قرمز (Fourier-transform infrared spectroscopy یا FTIR) استفاده شد.

روش‌ها

مواد مورد استفاده شامل دیازینون (شرکت Sigma-Aldrich، آمریکا)، کیتوسان با وزن مولکولی متوسط (شرکت Sigma-Aldrich، آمریکا)، اسید استیک (شرکت Merck، آلمان)، اسید نیتریک ۶۵ درصد (شرکت Merck، آلمان)، استونیتریل (شرکت Merck، آلمان)، متانول (شرکت Merck، آلمان) و گلوتارآلدئید (Glutaraldehyde) ۲۵ درصد (شرکت Merck، آلمان) بود. همچنین، CNT خام از شرکت نانوسا (ایران) تهیه شد که طول آن کمتر از ۱۰ میکرومتر، قطر خارجی آن بین ۱۰ تا ۳۰ نانومتر و میزان ناخالصی‌های آن (کربن آمورف و...) کمتر از ۵ درصد بود. جهت تعیین میزان دیازینون باقی‌مانده، از دستگاه High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) (مدل Agilent 1100 Series ، آمریکا) و از ستون C۱۸ استفاده شد.

سنجش دیازینون در طول موج ۲۴۸ نانومتر و با دبی ۱ میلی‌لیتر در دقیقه و در فاز متحرک استونیتریل و آب به نسبت ۶۵ به ۳۵ انجام گرفت. آزمایش‌های اولیه نشان داد که راندمان حذف در محیط‌های اسیدی بیشتر می‌شود. با توجه به این که pH آب‌های طبیعی نزدیک به خنثی می‌باشد؛ بنابراین، مقدار pH در تمام آزمایش‌ها ۵/۵ در نظر گرفته شد. جهت بررسی میزان حذف دیازینون توسط جاذب CHN-CNT، نرم‌افزار Design-Expert نسخه ۷ و روش‌شناسی رویه پاسخ (Response Surface Methods یا RSM) مورد استفاده قرار گرفت. در این روش‌شناسی نیز از طرح مرکب مرکزی (Central Composite Design یا CCD) برای طراحی آزمایش استفاده شد. شاخص‌های تأثیرگذار شامل مقدار ماده جذب شونده (۵۰–۵ گرم)، مقدار جاذب (۰/۶–۰/۴ گرم بر لیتر) و زمان (۱۸۰–۱۰ دقیقه) به عنوان مقادیر مستقل برای نرم‌افزار Design-Expert تعیین گردید. شاخص ظرفیت جذب q_e (بر حسب میلی‌گرم بر گرم) به منزله پاسخ از رویه دریافت شد که میزان آن از رابطه ۱ به دست می‌آید (۹).

$$q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{M} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن C_0 غلظت اولیه دیازینون بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، C_e غلظت تعادلی دیازینون بر حسب میلی‌گرم بر لیتر، V حجم محلول بر حسب لیتر و M جرم جاذب بر حسب گرم می‌باشد.

مراحل تهیه جاذب CHN-CNT

اکسید کردن CNT چند دیواره: جهت ساخت کامپوزیت‌های پلیمری، اکسیداسیون سطح نانوکربنی سبب پخش بهتر آن در میان ذرات کیتوسان و به دنبال آن، افزایش خواص مکانیکی کامپوزیت خواهد شد. همچنین، برای از بین بردن ناخالصی‌های موجود در CNT خام (کاتالیست‌های فلزی، کربن آمورف و...) و افزایش ظرفیت جذب آن، از اکسیداسیون استفاده می‌شود (۸). برای اکسید کردن، ابتدا ۴ گرم CNT چند لایه با ۱۵۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد مخلوط گردید و به مدت ۵ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس محتویات با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفوژ قرار داده شد. محتویات باقی‌مانده بعد از عمل سانتریفوژ، چندین مرتبه با آب مقطر شستشو داده شد و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد (۱۰).

برای تهیه جاذب CHN-CNT که در آن نسبت وزنی CNT به کیتوسان ۲/۵ درصد می‌باشد، ابتدا ۶۰ میلی‌گرم از CNT در ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد و به مدت ۹۰ دقیقه تحت امواج فراصوت و دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد اولتراسوند قرار گرفت. ۲/۵ گرم از کیتوسان به همراه ۱/۵ میلی‌لیتر اسید استیک ۲/۵ درصد در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید و به مدت ۲۴ ساعت بر روی همزن مغناطیسی قرار داده شد تا محتویات آن به خوبی مخلوط گردد. سپس محلول CNT در دو مرحله به محلول کیتوسان اضافه و به مدت ۱ ساعت در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد اولتراسوند شد. محلول نهایی با استفاده از یک سرنگ با قطر ۰/۲ میلی‌متر برداشته شد و در یک محلول بافری ($H_2O/MeOH/NaOH$ با نسبت‌های ۴:۵:۱ وزنی) به ترتیب به میزان ۴۰ سی‌سی، ۵۰ سی‌سی و ۱۰ گرم با سرعت ۱ دور در دقیقه در دمای اتاق و به مدت ۲۴ ساعت و با چرخش پیوسته، عمل انعقاد آن صورت گرفت. گرانول‌های به دست آمده چندین بار با آب مقطر شستشو داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در محلول گلوتارآلدئید غوطه‌ور گردید. سپس به خوبی با آب مقطر شسته و در دمای محیط خشک شد. کراسلینک کردن نه تنها پایداری کیتوسان را در محلول‌های اسیدی افزایش می‌دهد، بلکه سبب بهبود خواص مکانیکی آن نیز می‌شود (۱۱).

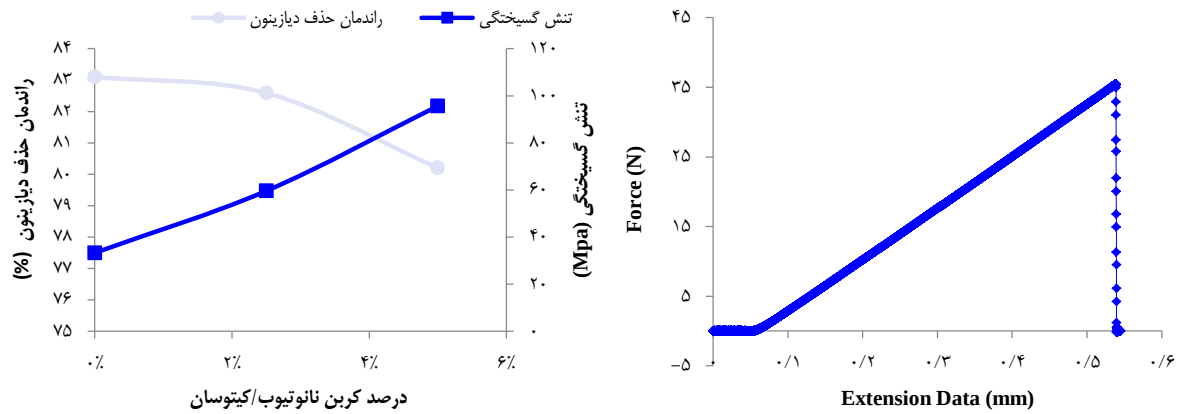
یافته‌ها

آزمون استقامت مکانیکی و تعیین نسبت بهینه کربن به کیتوسان:

جهت تعیین نسبت بهینه کربن به کیتوسان، میزان جذب و مقاومت جاذب‌ها برای غلظت اولیه دیازینون و جاذب به ترتیب ۵ میلی‌گرم بر لیتر و ۰/۵ گرم بر لیتر و زمان ۶۰ دقیقه بررسی شد. نمونه‌ای از نحوه تغییرات طول گرانول نسبت به نیروی اعمال شده و شکست آن برای جاذب ۲/۵ درصد در شکل ۱ (قسمت الف) نشان داده شده است. میزان جذب و مقاومت جاذب‌ها نیز در قسمت ب شکل ۱ مشخص شده است. نتایج بررسی بر روی میزان جذب و استحکام جاذب CHN-CNT با نسبت‌های مختلف کربن به کیتوسان نشان داد که با افزایش میزان کربن، به ترتیب درصد حذف دیازینون کاهش و استحکام آن بیشتر می‌شود و این یافته بیانگر بیشتر بودن سهم کیتوسان در جذب دیازینون نسبت به CNT است (شکل۱، قسمت ب).

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-20]

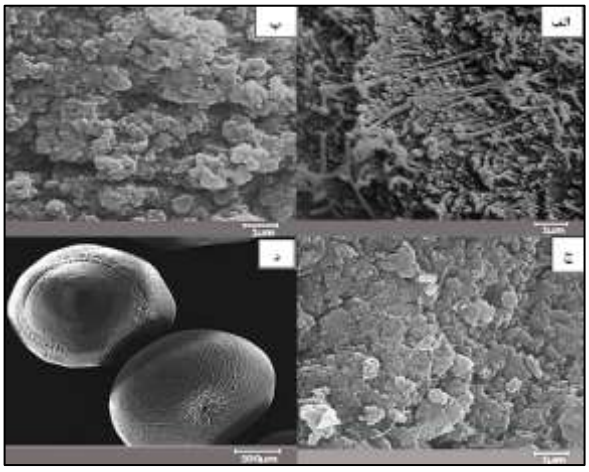
[DOI: 10.22122/jhsr.v13i4.3060]



شکل ۱. تغییرات طول گرانول نسبت به نیروی اعمال شده در جاذب Chitosan/Carbon Nanotube (CHN-CNT) با نسبت ۲/۵ درصد (الف) و میزان استقامت فشاری و کارایی جذب برای درصدهای مختلف کربن به کیتوسان در جاذب CHN-CNT (ب)

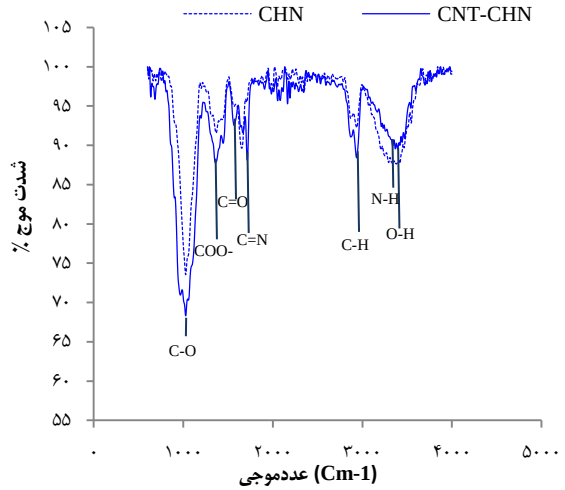
هرچند میزان جذب کیتوسان خام و CHN-CNT با نسبت ۲/۵ درصد اختلاف ناچیزی با یکدیگر داشت، اما میزان استقامت فشاری CHN-CNT با نسبت ۲/۵ درصد بسیار بیشتر از کیتوسان خام می‌باشد. بنابراین، با توجه به نتایج آزمایش‌های جاذب بهینه CHN-CNT با نسبت ۲/۵ درصد، از این جاذب جهت انجام آزمایش‌های بعدی استفاده گردید.

تصاویر SEM: تصاویر به دست آمده از سطوح نمونه‌های کیتوسان، CNT و CHN-CNT با استفاده از SEM در شکل ۲ نشان داده شده است. قسمت الف از شکل ۲ سطح کیتوسان را نشان می‌دهد که به صورت کاملاً یکنواخت و همگن می‌باشد. قسمت ب از شکل ۲ سطح CNT را نشان می‌دهد که رشته‌ها بر روی سطح آن نمایان است. شکل ۲، قسمت ج نیز سطح CHN-CNT را نشان می‌دهد که در آن پوشش غیر یکنواختی از CHN به صورت رشته رشته بر روی سطح کیتوسان مشاهده می‌شود. مورفولوژی سطح گرانول‌های CHN-CNT نیز در قسمت د شکل ۲ مشاهده می‌گردد.



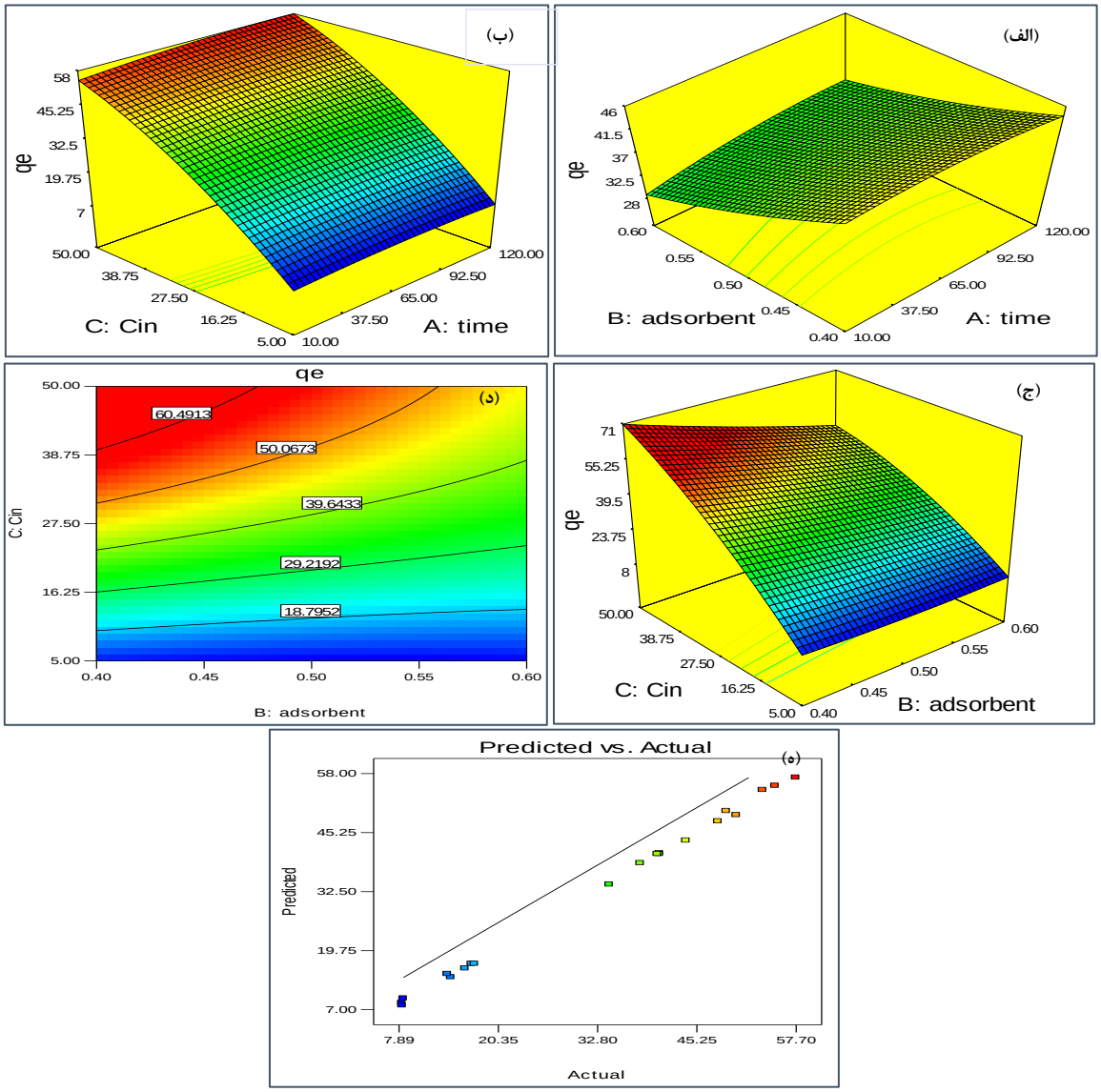
شکل ۲. تصاویر Scanning electron microscopy (SEM) کیتوسان خام (الف)، Carbon Nanotube (CNT) اکسید شده (ب)، Chitosan/Carbon Nanotube (CHN-CNT) (ج و د)

FTIR: شکل ۳ طیف مادون قرمز کیتوسان خام و CHN-CNT را نشان می‌دهد. در آنالیز FTIR برای کیتوسان خام، عدد موجی ۳۵۴۵ و ۳۳۷۹ بر سانتی‌متر مربوط به پیوندهای O-H و N-H، عدد موجی ۲۹۳۶ بر سانتی‌متر برای پیوندهای C-H و $-CH_2-$، عدد موجی ۱۶۵۲ بر سانتی‌متر برای C=O گروه کربونیل، عدد موجی ۱۳۷۸ بر سانتی‌متر برای COO- گروه‌های کربوکسیلیک و عدد موجی ۱۰۳۵ بر سانتی‌متر برای O-C-O گروه گلوکوزامین می‌باشد. دو پیک جدید در اثر واکنش کراسلینک کردن به وجود آمد که شامل عدد موجی ۱۷۲۰ و ۱۵۸۷ بر سانتی‌متر بود و به ترتیب برای C=N و C=O مربوط به گروه آلدئیدی بود که در نمودار مربوط به CHN-CNT ظاهر شد. همچنین، به دلیل وجود CNT اکسید شده در جاذب CHN-CNT، عدد موجی برای گروه‌های کربنی C-H، COO- و C-O شامل ۲۹۳۶، ۱۳۷۸ و ۱۰۳۵ بر سانتی‌متر بود که در طیف مادون قرمز CHN-CNT پیک‌های قوی‌تری نسبت به کیتوسان خام داشت.



شکل ۳. طیف مادون قرمز کیتوسان خام و Chitosan/Carbon Nanotube (CHN-CNT)

www.mui.ac.ir
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-20]
[DOI: 10.22122/jhsr.v13i4.3060]



شکل ۴. بررسی اثر شاخص‌های مختلف بر ظرفیت جذب و مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی

بررسی میزان حذف دیازینون توسط جاذب Chitosan/Carbon Nanotube (CHN-CNT):

اثر شاخص‌های غلظت جاذب (C_{in})، غلظت جذب شونده (Adsorbent) و زمان تماس (Time) به صورت دوگانه در فرایند جذب در شکل ۴ نشان داده شده است. اثر دو شاخص زمان و میزان جاذب بر روی ظرفیت جذب در شکل ۴ (قسمت الف) ارایه شده است. با توجه به شاخص غلظت جاذب، می‌توان نتیجه گرفت که در غلظت‌های پایین جاذب، از ظرفیت آن بیشتر استفاده شده است و با افزایش زمان نیز ظرفیت جذب به کندی افزایش یافت. همچنین، میزان افزایش ظرفیت جذب در میزان جاذب ۰/۵ تا ۰/۶ گرم بر لیتر به کندی صورت گرفت.

اثر شاخص‌های زمان و غلظت جذب شونده به صورت هم‌زمان در شکل ۴ (قسمت ب) نشان داده شده است. بر این اساس، با افزایش غلظت دیازینون تا ۵۰ میلی‌گرم و افزایش زمان تا حدود ۱۲۰ دقیقه، میزان ظرفیت جذب افزایش یافت. همچنین، میزان ظرفیت جذب از ۶۵ تا ۱۲۰ دقیقه تغییر چندانی را نشان نداد؛ به طوری که میزان ظرفیت جذب در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر دیازینون و زمان‌های ۶۵ تا ۱۲۰ دقیقه در دامنه ۶۵-۵۹ میلی‌گرم بر گرم بود. تأثیر شاخص‌های جاذب و غلظت جذب شونده در شکل ۴ (قسمت ج) نشان داده شده است. بر اساس شکل می‌توان گفت که ظرفیت جذب در غلظت‌های بالای دیازینون و غلظت‌های پایین جاذب، به حداکثر مقدار خود رسید. در غلظت‌های بالاتر دیازینون، نرخ کاهش ظرفیت جذب با افزایش غلظت جاذب بیشتر شد؛ چرا که در غلظت‌های بالاتر، برخورد مولکول‌ها با سطح جاذب بیشتر می‌شود و باید غلظت جاذب افزایش داده شود تا حذف به خوبی صورت گیرد. همچنین، شکل۴ (قسمت د) خطوطی را نشان می‌دهد که نقاط بر روی خطوط دارای

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-20]
[DOI: 10.22122/jhsr.v13i4.3060]

ظرفیت جذب یکسانی می‌باشند. همان‌گونه کـه مشـاهده مـی‌شـود، بـا افـزایش غلظت دیازینون، شیب خطوط بیشتر گردید که بیـان کننـده برخوردهـای بیشـتر میان مولکول‌های دیازینون و جاذب بود.

بر اساس داده‌های به دست آمده از نرم‌افزار، مدل مربعی به خوبی توانسـت با ضریب تعیین نزدیک به یک (R^2 = ۰/۹۹۸) داده‌ها را پیش‌بینی کند. شـکل ۴ (قسمت ه) مقادیر پیش‌بینی شده (Predicted) و واقعی(Actual) را بر اسـاس مدل توصیفی در RSM نشان می‌دهد که مطابق با آن، مقادیر پیش‌بینی شده یا پاسخ‌های دریافتی از مدل به مقادیر واقعی نزدیک است. تحلیـل واریـانس مـدل q_e در جدول ۱ ارایه شده است. در تحلیل واریانس نه تنها اثـر مجـزای عوامـل، بلکه برهم‌کنش عوامل نیز بررسی می‌شود که در آن اگر مقـدار عـددی P بـرای آن عامل کمتر از ۰/۰۵ باشد، به این معنی است کـه آن عامـل مـؤثر مـی‌باشـد. مطابق جدول ۱، هر سه شاخص به صورت مجزا بر میزان حذف دیـازینون مـؤثر بود. در مجموع، با توجه به این کـه تـأثیر عوامـل مختلـف بـر حـذف دیـازینون (Model) مهـم اسـت (Significant) و عـدم بـرازش مهـم نیسـت (Not significant)، پـس مـی‌تـوان اذعـان نمـود کـه مـدل بـر داده‌هـا منطبق می‌باشد.

جدول ۱. تحلیل واریانس مدل qe

منبع	P(Prob > F)	
Model	< ۰/۰۰۰۱	مهم است
A-time	۰/۰۱۹۷	
B-adsorbent	< ۰/۰۰۰۱	
C-C_{in}	< ۰/۰۰۰۱	
AB	۰/۲۵۴۳	
AC	۰/۳۷۷۶	
BC	< ۰/۰۰۰۱	
A^2	۰/۱۱۹۸	
B^2	۰/۱۳۰۰	
C^2	< ۰/۰۰۰۱	
عدم برازش	۰/۱۵۷۰	مهم نیست

ظرفیت جذب (q_e) بر اساس شاخص‌های مستقل، ترکیب آن‌ها و توان دوم هر متغیر از رابطه ۲ به دست می‌آید. در این رابطه، غلظـت دیـازینون بـر حسـب میلی‌گرم بر لیتر، غلظت جاذب بر حسب گرم بر لیتر، زمـان بـر حسـب دقیقـه و ظرفیت جذب بر حسب میلی‌گرم بر گرم می‌باشد.

رابطه ۲

$$q_e = 26.42 - 0.078 \times time - 100.97 \times adsorbent + 2.96 \times C_{in} + 0.25 \times time \times adsorbent + 2.68415 \times adsorbent \times C_{in} - -4.87\times10^{-4} \times time \times C_{in} - 3.29\times10^{-4} \times time2 + 91.47 \times adsorbent2 - 0.01\times C_{in}2$$

احیای نانوجاذب: در مطالعه حاضر، فرایند احیا با استفاده از هیدروکسـید سدیم ۰/۱ مولار انجام گرفت. در محیط‌های قلیایی به دلیل این که گروه آمینی پروتون نمی‌گیرد و نیروی الکترواستاتیکی میان دیـازینون و جـاذب و همچنـین، جذب دیازینون کاهش می‌یابد، دیازینون به خوبی از سطح جاذب آزاد مـی‌شـود. مقدار pH احیا برابر با ۱۳ و مدت آن ۳۰ دقیقـه در نظـر گرفتـه شـد. جـدول ۲ میزان جذب پس از هر مرحله احیا و درصد احیا را برای غلظت اولیه ۵ میلی‌گـرم بر لیتر نشان می‌دهد. مطابق با نتایج، ظرفیت جذب قبل از احیا ۸/۲۵ میلـی‌گـرم بر گرم بود و بعد از اولین مرحله احیا بـه ۸/۰۱ میلـی‌گـرم بـر گـرم و در مرحلـه چهارم احیا به ۷/۸۲ میلی‌گرم بر گرم رسید. کامل نشدن واجذب دیازینون در هر مرحله احیا، منجر به کاهش میزان ظرفیت جذب دیازینون می‌شود (۱۰).

جدول ۲. میزان جذب و درصد احیا بعد از هر چرخه

چرخه	ظرفیت جذب دیازینون (میلی‌گرم بر گرم)		احیا (درصد)
	قبل از احیا	بعد از احیا	
۱	۸/۲۵	۸/۰۱	۹۷/۲
۲	۸/۲۵	۷/۹۰	۹۵/۹
۳	۸/۲۵	۷/۸۷	۹۵/۴
۴	۸/۲۵	۷/۸۲	۹۴/۹

بحث

نتایج حاصل از جذب دیازینون توسط جاذب CHN-CNT نشان مـی‌دهـد کـه افزایش زمان تأثیر چندانی بر ظرفیت جذب ندارد؛ چرا که جـاذب دارای ظرفیـت جذب مشخصی است و این ظرفیت جذب تابع تغییرات زمـان نیسـت و بـه طـور عمده میزان ماده جذب شونده است که بر آن تـأثیر مـی گـذارد. ظرفیـت بـالای جذب در غلظت‌های بیشتر حاکی از آن است کـه برخـورد مولکـول‌هـای جـذب شونده در آن غلظت‌ها با سطح جاذب افزایش مـی‌یابـد و همـین امـر منجـر بـه افزایش ظرفیت جذب می‌گردد. همچنین، داده‌های بـه دسـت آمـده از نـرم‌افـزار نشان داد که مدل مربعی به خوبی توانست با ضـریب تعیـین نزدیـک بـه یـک، داده‌ها را پیش‌بینی نمایـد. بـه دلیـل نزدیـک بـودن مقـادیر پـیش‌بینـی شـده و پاسخ‌های دریافتی از مدل، می‌توان نتیجه گرفت که مـدل بـرازش و معادلـه بـه دست آمده از آن قابل قبول می‌باشد. در جـدول ۳ نتـایج تحقیقـات گذشـته کـه برای حذف دیـازینون اسـتفاده شـده اسـت، ارایـه گردیـد. مطـابق ایـن جـدول، جاذب‌های مختلفی برای حذف دیازینون استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که جاذب CHN-CNT به خوبی دیازینون را حذف می‌کند؛ به طوری که می‌توانـد میـزان حـذف بـالا و نزدیـک بـه جـاذب کـربن فعـال گرانـولی (Granular Activated Carbon یا GAC) که از جاذب‌های کارامد و گران است، داشته باشد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، جذب آفت‌کش دیازینون توسط CHN-CNT مـورد بررسـی قـرار گرفـت. تـأثیر شـاخص‌هـای مختلـف بـر میـزان حـذف بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار Design-Expert بررسی شد. مدل مربعی به عنوان مدل مناسبی جهت پـیش‌بینـی داده‌ها انتخاب گردید و معادله‌ای به دست آمد که شامل تأثیر هـر کـدام از شـاخص‌هـا می‌باشد. همچنین، مقادیر پیش‌بینی شده از مدل بـه مقـادیر واقعـی نزدیـک بـود؛ بـه طوری که با ضریب تعیین نزدیک به یـک (R^2 = ۰/۹۹۸)، توانسـت داده‌هـا را بـرآورد نماید. فرایند احیا توسط هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار انجام گرفت.

www.mui.ac.ir
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-20]
[DOI: 10.22122/jhsr.v13i4.3060]

جدول ۳. مقایسه جاذب‌های مورد استفاده برای حذف دیازینون

جاذب	میزان حذف	منابع
سه جاذب GAC، PAC و ماسه زرد (لس)	بیشترین میزان حذف برای جاذب GAC بود که راندمان حذف دیازینون برای غلظت اولیه ۱۰۰–۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و میزان جاذب ۱ گرم بر لیتر، ۸۵–۷۵ درصد به دست آمد.	۱
حذف دیازینون با استفاده از جاذب کربن فعال عامل‌دار شده با NH_4Cl	راندمان حذف دیازینون در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر دیازینون به ازای ۰/۳ گرم بر لیتر جاذب و زمان ۳۵ دقیقه، ۹۶/۴ درصد به دست آمد.	۹
خاک بنتونیت (Bentonite)/ کیتوسان	میزان ظرفیت جذب برای غلظت اولیه دیازینون ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر، ۰/۲۸۲ میلی‌گرم دیازینون به ازای هر گرم از جاذب به دست آمد.	۱۲
جاذب نانویی اکسید آلومینیوم	راندمان حذف دیازینون در غلظت ۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر دیازینون به ازای ۵ گرم بر لیتر جاذب و زمان ۵ دقیقه، ۹۰ درصد به دست آمد.	۱۳
CHN-CNT	راندمان حذف دیازینون برای غلظت اولیه دیازینون ۵۰–۵ میلی‌گرم بر لیتر و جاذب ۰/۵ گرم بر لیتر، ۸۳–۵۶ درصد به دست آمد.	مطالعه حاضر

GAC :Granular Activated Carbon; PAC: Powdered activated carbon; CHN-CNT: Chitosan/Carbon Nanotube

جاذب CHN-CNT در محیط قلیایی با درصد بالایی احیا گردید. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که جاذب علاوه بر این که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد، جذب و استقامت مکانیکی بالایی دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود حذف سایر سموم نیز توسط این جاذب بررسی گردد.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از پایان‌نامه مقطع دکتری مهندسی محیط زیست، مصوب دانشگاه تهران می‌باشد. بدین وسیله نویسندگان از مسؤولان آزمایشگاه دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران که در انجام این تحقیق همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آورند.

References

1. Ryoo KS, Jung SY, Sim H, Choi J. Comparative study on adsorptive characteristics of diazinon in water by various adsorbents. Bull Korean Chem Soc 2013; 34(3): 2753-59.
2. Moazeni M, Ebrahimi A, Rafiei N, Pourzamani HR. Removal of arsenic (iii) and chromium (vi) from aqueous solutions using nanoscale zerovalent iron (NZVI) particles and determining adsorption isotherms. J Health Syst Res 2017; 13(1): 126-33. [In Persian].
3. Khorsandi H, Karimzadeh S, Saed-Moucheshi A. Kinetic simulation of hexavalent chromium adsorption on granular activated carbon columns from continuous flow of water. J Health Syst Res 2017; 13(2): 164-9. [In Persian].
4. Moradi Dehaghi S, Rahmanifar B, Moradi AM, Azar PA. Removal of permethrin pesticide from water by chitosanozinc oxide nanoparticles composite as an adsorbent. J Saudi Chem Soc 2014; 18(4): 348-55.
5. Rahmanifar B, Moradi Dehaghi S. Removal of organochlorine pesticides by chitosan loaded with silver oxide nanoparticles from water. Clean Technol Environ Policy 2014; 16(8): 1781-86.
6. Yoshizuka K, Lou Z, Inoue K. Silver-complexed chitosan microparticles for pesticide removal. React Funct Polym 2000; 44(1): 47-54.
7. Lu LC, Wang CI, Sye WF. Applications of chitosan beads and porous crab shell powder for the removal of 17 organochlorine pesticides (OCPs) in water solution. Carbohydr Polym 2011; 83(4): 1984-9.
8. Wang SF, Shen L, Zhang WD, Tong YJ. Preparation and mechanical properties of chitosan/carbon nanotubes composites. Biomacromolecules 2005; 6(6): 3067-72.
9. Moussavi G, Hosseini H, Alahabadi A. The investigation of diazinon pesticide removal from contaminated water by adsorption onto NH4Cl-induced activated carbon. Chem Eng J 2013; 214(Supplement C): 172-9.
10. Skandari S, Torabian A, Nabi Bidhendi G, Baghdadi M, Aminzadeh B. Preparation of engineered carbon nanotube materials and its application in water treatment for removal of hydrophobic natural organic matter (NOM). Desalin Water Treat 2016; 57(52): 24855-66.
11. Shawky HA, El-Aassar AH, Abo-Zeid DE. Chitosan/carbon nanotube composite beads: Preparation, characterization, and cost evaluation for mercury removal from wastewater of some industrial cities in Egypt. J Appl Polym Sci 2012; 125(S1): E93-E101.
12. Permanasari A, Zackiyah WS. Chitosan-bentonite: the save adsorbent for pesticides residues in drinking water. 2009. Proceedings of the Seminar Kimia Bersama UKM-ITB VIII; 2009 June 9-11; Selangor, Malaysia.
13. Armaghan M, Amini MM. Adsorption of diazinon and fenitrothion on nanocrystalline alumina from non-polar solvent. Colloid J 2012; 74(4): 427-33.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.22122/jhsr.v13i4.3060]

DOI: *10.22122/jhsr.v13i4.3060* *Published by Vesnu Publications*

Journal of Health System Research Received: 22.01.2017

Vol. 13, No. 4, Winter 2018 Accepted: 04.04.2017

An Investigation on Performance of Chitosan/Carbon Nanotube Composite for Adsorption of Diazinon from Agricultural Wastewater

Tahere Taghizadeh-Firozjaee[1], Naser Mehrdadi[2], Majid Baghdadi[3], Gholamreza Nabi-Bidhendi[2]

Original Article

Abstract

Background: In recent years, water pollution and pesticide residues in food chain have become a serious environmental problem. Therefore, it is essential to remove pesticides in water treatment. In this study, adsorption of diazinon by chitosan/carbon nanotube (CHN-CNT) adsorbent was investigated.

Methods: A protected crosslinking method was used to synthesize CHN-CNT with various ratios of carbon nanotube to chitosan. Scanning electron microscopy (SEM) and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) were used to investigate morphological changes and chemical structure of the prepared adsorbent. Tests were done to evaluate the effects of adsorbent concentration, diazinon concentration, and contact time on adsorption of diazinon by CHN-CNT.

Findings: CHN-CNT removed diazinon from aqueous solution to a great extent. By an initial diazinon concentration of 50 mg/l, CHN-CNT concentration of 0.5 g/l, and contact time of 65 minutes, the adsorption capacity (q_e) reached to 59 mg/g adsorbent. Regeneration process of the adsorbent was performed with four cycles. The efficiency recovery was obtained as 94.9% in fourth cycle.

Conclusion: CHN-CNT, due to being easier to prepare, high performance in adsorption, and simple and effective regeneration capacity, could be an appropriate adsorbent to eliminate the pesticide from contaminated water source.

Keywords: Pesticides, Diazinon, Chitosan, Carbon nanotube, Adsorption

Citation: Taghizadeh-Firozjaee T, Mehrdadi N, Baghdadi M, Nabi-Bidhendi G. **An Investigation on Performance of Chitosan/Carbon Nanotube Composite for Adsorption of Diazinon from Agricultural Wastewater.** J Health Syst Res 2018; 13(4): 457-63.

1- PhD Candidate, Department of Environmental Engineering, School of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Environmental Engineering, School of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
3- Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, School of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran
Corresponding Author: Tahere Taghizade-Firozjaee, Email: taghizade.eng@gmail.com

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-20]

[DOI: 10.22122/jhsr.v13i4.3060]