



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال چهاردهم، شماره‌ی ۵۶
زمستان ۱۴۰۲، صفحات ۶۰-۵۳

بررسی محصولات جانبی حذف دیازینون با استفاده از روش ترکیبی اولتراسونیک و نانوکاتالیست مغناطیسی $N-TiO_2@SiO_2@Fe_3O_4$

سید مجتبی حسینی

گروه مهندسی محیط زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

مهرداد چراغی*

گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

Email: cheraghi_md@yahoo.com

سعید جامه بزرگی

گروه شیمی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

علی شهریاری

گروه مهندسی بهداشت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گلستان، گرگان، ایران

مریم کیانی صدر

گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۲

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸

چکیده

امروزه استفاده بیش از حد سموم و کودهای شیمیایی برای تولید محصول بیش تر در تمامی نقاط جهان، یک چالش عمده زیست محیطی و بهداشتی به حساب می آید. دیازینون تحت شرایطی به ترکیبات خطرناکی تبدیل می شود بخصوص وقتی که حلال هیدروکربن، مقدار کمی ۱ تا ۲ درصد آب داشته باشد و در معرض حرارت، نور و هوا قرار گیرد. این مطالعه با هدف سنتز نانو کامپوزیت $N-TiO_2@SiO_2@Fe_3O_4$ به عنوان یک کاتالیست به همراه اولتراسونیک در حضور نور مرئی جهت سنجش محصولات جانبی ناشی از سنتز مولکولی دیازینون از محلول های آبی انجام شد. نانو کاتالیست به روش هم رسوبی و سل-ژل سنتز شد. در این مطالعه محصولات جانبی تولیدی ناشی از حذف سم دیازینون با استفاده از روش GC-MS مورد بررسی قرار گرفت. طیف حاصله با جستجوی کتابخانه ای در NIST، تطابق داده شد. نتایج طیف های حاصل از این تحقیق نشان داد که با طیف های حاصل از شکست مولکولی دیازینون تطابق نداشته و محصولات جانبی تولید نشدند.

کلید واژه: دیازینون، محصولات جانبی، اولتراسونیک، نانو کاتالیست مغناطیسی.

مقدمه

آفت کش‌های گیاهی یکی از گروه‌های اصلی آلوده کننده‌های زیست محیطی در محیط‌های آبی و خاک محسوب می‌شوند. استفاده بیش از حد از این سموم در کشاورزی منتج به افزایش باقی‌مانده آن‌ها در محصولات کشاورزی می‌شوند [۱]. با افزایش جمعیت، نیاز به استفاده بهینه از منابع کشاورزی و بهره‌وری بهتر، هر چه بیشتر محسوس می‌شود. امروزه استفاده بیش از حد از سموم و کودهای شیمیایی برای تولید محصول بیشتر در تمامی نقاط جهان، یک چالش عمده زیست محیطی و بهداشتی به حساب می‌آید. این مواد می‌توانند از راه‌های مختلفی از جمله دفع فاضلاب‌ها، روان-آب‌های سطحی، زه‌کش فعالیت‌های کشاورزی و غیره به آسانی وارد آب‌های سطحی و زیر زمینی شده و سپس منجر به آلودگی آب‌ها شوند [۲]. دیازینون یک حشره‌کش اورگانوفسفره^۱ است که بوسیله سازمان بهداشت جهانی^۲ در کلاس ۲ طبقه بندی شده است. دوره کارنس دیازینون ۱۰ روز و اثر ابقایی آن ۲-۱/۵ ماه است. اثرات آن به علت جذب سطحی از بین می‌رود. بدین معنی که جذب سطوح شده و سریعاً تحت تاثیر نور و حرارت و ... تجزیه می‌شود. نیمه عمر دیازینون ۳۰ و گاهی ۶۰ روز است. دیازینون تحت شرایطی به ترکیبات خطرناکی تبدیل می‌شود بخصوص وقتی که حلال هیدروکربن، مقدار کمی (۱ تا ۲ درصد) آب داشته باشد و در معرض حرارت، نور و هوا قرار گیرد تحت این شرایط دیازینون به (S-S TEEP) Sulfo Teep, (O.S.TEEP) mono thio Teep تبدیل می‌شود. این دو ترکیب به شدت سمی هستند و مشخص شده که O.S TEEP به مقدار ۱۴۰۰۰ بار سمی‌تر از دیازینون است [۳].

نتایج پژوهش حذف دیازینون با استفاده از اولتراسونیک^۳ و اکسید روی داپ شده با نیتروژن نشان داد که می‌تواند در حذف مواد آلی از محیط‌های آبی موثر باشد. در نهایت نتایج

ارزیابی سمیت دافنی با استفاده از این روش نشان داد که سمیت محلول دیازینون تحت اولتراسونیک کاهش می‌یابد [۴]. نتایج حاصل از پژوهش حذف سم دیازینون از محلول آبی با استفاده از اولتراسونیک نشان داد که دیازینون می‌تواند به طور موثر و سریع توسط اولتراسونیک تجزیه شده و سینتیک آفت کش به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد [۵]. مطالعه ردیابی آفت کش دیازینون در آب و خاک شالیزارهای استان مازندران با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی با طیف سنج جرمی^۴ نشان داد که در طی دوره کشت برنج بالاخص کشت دوم با توجه به افت دما در پاییز و بارندگی، مردم منطقه در معرض غلظت بیش‌تری از این آفت کش قرار دارند [۶]. نتایج پژوهش تجزیه دیازینون توسط نانو کاتالیست دی اکسید تیتانیوم در محیط آبی با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی با طیف سنج جرمی نشان داد که محصولات جانبی حاصل از شکست مولکولی دیازینون در محلول آبی وجود دارند [۷]. در مطالعه حذف دیازینون با استفاده از نانو ذره در حضور نور مرئی و ازن، حذف ۱۰۰ درصدی سم دیازینون بدست آمد [۸]. در پژوهش شناسایی محصولات تخریب فوتوکاتالیستی^۵ دیازینون در سوسپانسیون های آبی دی اکسید تیتانیوم با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی با طیف سنج جرمی، مشتقات هیدروکسید مشاهده شدند [۹]. نتایج پژوهش نانوذرات مغناطیسی ZnO/Fe₃O₄ مبتنی بر نور مرئی برای سم‌زدایی دیازینون نشان داد که نانو کامپوزیت^۶ ZnO/Fe₃O₄ می‌تواند رادیکال‌های آزاد فعال را از طریق اشعه ماوراء بنفش تولید کند و این رادیکال‌ها می‌توانند با موفقیت در شرایط واقعی دیازینون را حذف کنند [۱۰]. هدف از این پژوهش بررسی محصولات جانبی تولیدی ناشی از حذف سم دیازینون با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی با طیف-سنج جرمی از روش ترکیبی اولتراسونیک و نانو ذره

⁴ Gas chromatography/mass spectrometry

⁵ Photocatalytic

⁶ Nano composite

¹ Organophosphorus

² World Health Organization

³ Ultrasonic

دقیقه قرارداد شده و سپس بمدت ۲۴ ساعت روی هم‌زن با سرعت اندک قرار داده شد. در ادامه با آب دیونیزه و اتانول ۷۰٪ چندین بار شستشو داده شد. ماده تشکیل شده با سوپر آهن‌ریا جدا شد و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بمدت ۱۲ ساعت خشک و سپس به دسیکاتور منتقل شد [۱۲].

- سنتز نانوذره $N-TiO_2@SiO_2@Fe_3O_4$
نانو ذرات $N-TiO_2@SiO_2@Fe_3O_4$ به روش سل-ژل تهیه شدند. ۰/۲۵ گرم نانو ذرات تهیه شده در مرحله پیش در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه در ۲۵ میلی‌لیتر اتانول به وسیله سونوکاسیون مخلوط شد. سپس تیتانیوم باتوکساید به میزان ۵ میلی‌لیتر به محلول افزوده شد. در ادامه محلول اوره به صورت ۳/۶ گرم در ۲ میلی‌لیتر NH_4OH بصورت قطره قطره افزوده شد و در ۸۰ درجه سلسیوس اختلاط شدید داده شد. بعد از حرارت به مدت ۱۶ ساعت پودر بدست آمده در آون با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت خشک شد. سپس در کوره در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت کلسینه و تا رسیدن به دمای اتاق خنک و در آب بوسیله سونوکاسیون پخش شد. در ادامه نانو ذره با آهن‌ریا جدا شد تا محلول شفاف شود. مجدداً نانو ذرات در آون ۱۰۰ درجه سلسیوس بمدت ۶ ساعت خشک و در دسیکاتور نگهداری شد [۱۱].

- تعیین خصوصیات کاتالیست سنتز شده
ساختار فاز و اندازه کریستال نمونه‌های آماده شده با پراش اشعه ایکس^۹ با استفاده از دستگاه آنالیز XRD مدل PW ۱۷۳۰ ساخت کشور هلند تعیین شدند. مورفولوژی و میکرو ساختار نمونه‌های آماده شده توسط میکروسکوپ زمینه انتشار الکترونی رویشی مدل Quantum ۲۰۰۰ ساخت کشور آمریکا و برای تعیین مساحت ویژه نانو ذره از دستگاه سنجش مدل Mini ۲۰ ساخت کشور ژاپن استفاده شد. جاذب با روش مغناطیسی با کمک سوپر آهن‌ریا در مدت ۲ دقیقه از محلول جدا گردید. محصولات واسطه تولیدی ناشی از

مغناطیسی $N-TiO_2@SiO_2@Fe_3O_4$ و مقایسه کتابخانه‌ای در NIST^۷ است.

مواد و روش‌ها

- مواد شیمیایی و معرف‌های مورد استفاده
مواد اولیه شامل نمک کلرید آهن ۶ آبه ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$)، نمک کلرید آهن ۴ آبه ($FeCl_2 \cdot 4H_2O$)، تترا اتیل ارتوسیلیکات (TEOS)^۸، تیتانیوم باتوکساید، آمونیاک، اتانول ساخت شرکت مرک و سم دیازینون ۹۷ درصد ساخت شرکت سیگمای چین استفاده شد. برای محاسبه pH_{Zpc} نانو کامپوزیت مغناطیس شده از روش pH drift استفاده شد. آزمایشات در بشر ۲۰۰ سی سی انجام شد. pH نمونه‌ها برابر ۶، غلظت ۵ میلی‌گرم در لیتر سم دیازینون، دوز جاذب ۰/۳ گرم در لیتر، زمان ۹۰ دقیقه و سرعت همزن مغناطیسی ۲۵۰ دور در دقیقه در حضور نور مرئی و نانو ذره مغناطیسی و اولتراسونیک منظور گردید. از میانگین داده‌ها برای بررسی و تحلیل آن‌ها استفاده شد. سنتز نانو ذره $N-TiO_2@SiO_2@Fe_3O_4$ طبق مراحل زیر انجام شد:

- سنتز نانو ذره مغناطیسی Fe_3O_4
از روش هم‌ترسیبی برای تهیه نانوذره Fe_3O_4 استفاده شد. در ابتدا ۱۵ میلی‌لیتر آمونیاک در ۳۵ میلی‌لیتر آب حل شده و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس نگهداری شد. سپس ۰/۵۴ گرم $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ و ۰/۲ گرم $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ در ۲۵ میلی‌لیتر آب مخلوط شد و قطره قطره به محلول اولیه اضافه شد. محلول به‌دست آمده به شدت به مدت ۵ ساعت اختلاط داده شد و سپس نانو ذرات بدست آمده به وسیله سوپر آهن‌ریا جدا شده و با آب شسته و ۲۴ ساعت در خلأ خشک شدند [۱۱].

- سنتز نانوذره $SiO_2@Fe_3O_4$
 $SiO_2@Fe_3O_4$ به روش سل-ژل تهیه شد. در این مرحله ۱ گرم از Fe_3O_4 و ۱۰۰ میلی‌لیتر (آب دیونیزه و اتانول ۹۸٪) به همراه ۳ میلی‌لیتر تترا اتیل ارتوسیلیکات (TEOS) و ۳ میلی‌لیتر آمونیاک مخلوط و در دستگاه اولتراسونیک بمدت ۲۰

^۹ X-Ray diffraction

^۷ National Institute of Standards and Technology

^۸ Tetra ethyl Ortho silicate

21-1272، ساختار TiO_2 و Fe_3O_4 را تایید کردند. فرکانس‌های ایجادشده در زوایای $23/55$ ، $35/86$ ، $45/04$ ، $54/8$ ، $53/61$ درجه مربوط به Fe_3O_4 و پیک‌های ایجادشده در زوایای $25/34$ و $48/37$ مربوط به تیتانیوم دی‌اکساید می‌باشند. در جدول ۱ مقادیر کمی و فاز کریستالی اکسیدهای آهن و دی‌اکساید تیتانیوم نشان داده شده است. کریستال‌های اکسید آهن بیش‌تر بصورت مگنتیت می‌باشد.

شکست مولکولی دی‌ازینون با استفاده از روش GC-MS مورد بررسی قرار گرفت. سپس طیف‌های حاصله با جستجوی کتابخانه‌ای در NIST، تطابق داده شد.

یافته‌ها و بحث

- نتایج مربوط به آنالیز XRD

نتایج حاصل از آنالیز (X-Ray diffraction) XRD و تطابق آن‌ها با استانداردهای JCPDScard 19-0629 و JCPDS Scar

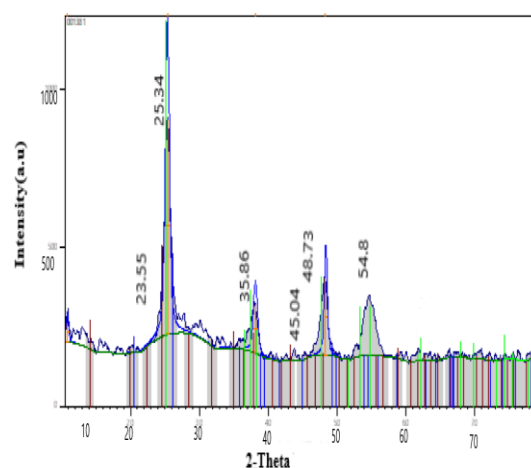
جدول ۱- مقادیر کمی و فاز کریستالی اکسیدهای آهن و دی‌اکساید تیتانیوم

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [$^{\circ}2\theta$]	semiQunt%	Chemical Formula
*	96-900-8214	۶	Anatase	-۰/۴۱۰	%۴۹	Ti4.00 O8.00
*	96-900-0140	۲۲	Hematite	۰/۰۶۴	%۵	Fe12.00 O18.00
*	96-101-0110	۳۱	Diiron titanium oxide	۱/۰۳۱	%۳	Fe16.00 Ti8.00 O32.00
*	96-901-1413	۱۷	Goethite	۰/۰۹۶	%۵	Fe4.00 O8.00
*	96-900-4142	۸	Rutile	-۰/۲۰۲	%۲۷	Ti2.00 O4.00
*	96-900-2330	۲۸	Magnetite	-۰/۵۰۰	%۱۱	Fe24.00 O32.00

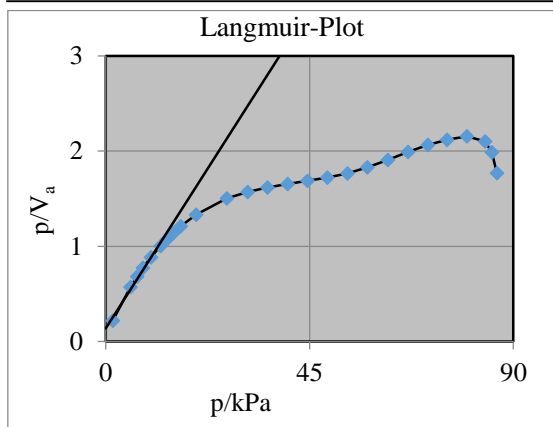
- نتایج مربوط به آنالیز BET

متداول‌ترین روش برای اندازه‌گیری مساحت سطح ویژه نانو ذرات، BET (Brunauer-Emmett-Teller) است که بر اساس سنجش حجم گاز نیتروژن جذب و واجذبش توسط ماده در دمای ثابت نیتروژن مایع کار می‌کند. مقدار p/p_0 در منحنی BET از $0/01$ تا $0/3$ سطح ویژه $51/288 \text{ m}^2/\text{g}$ را نشان می‌دهد که دارای سطح بسیار خوبی برای عملیات جذب می‌باشد. میانگین قطر حفره‌ها $5/892$ نانومتر بدست آمد. منحنی BJH نشان می‌دهد که دهانه حفره‌ها $1/64$ نانومتر بوده و نمونه کاملاً "دهانه‌هایی کوچک داشته و به شکل مکعب‌هایی روی هم می‌باشند.

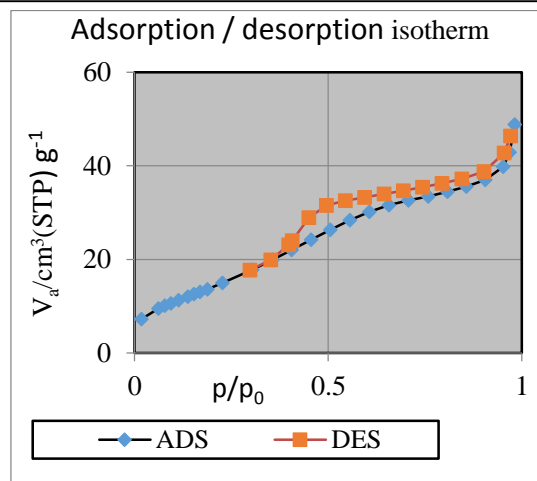
الگوی XRD برای نانوذره $\text{N-TiO}_2@ \text{SiO}_2@ \text{Fe}_3\text{O}_4$ در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: الگوی پراش اشعه X نانوذره $\text{N-TiO}_2@ \text{SiO}_2@ \text{Fe}_3\text{O}_4$



نمودار ۴: منحنی ایزوترم لانگمویر

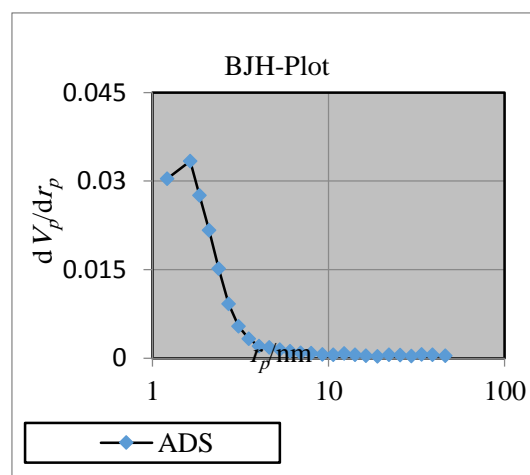


نمودار ۱: منحنی جذب و واجذب نانو کاتالیست

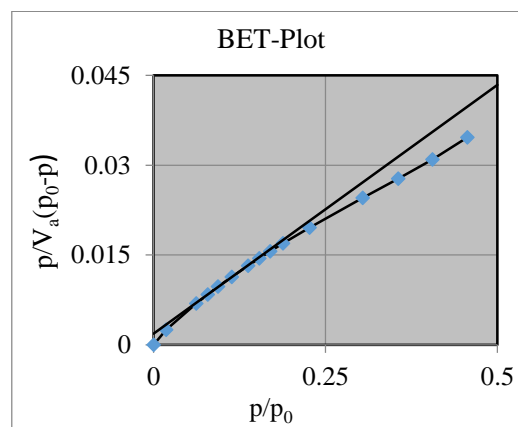
- بررسی محصولات جانبی تولیدشده در مسیر تجزیه‌ی

دیازینون

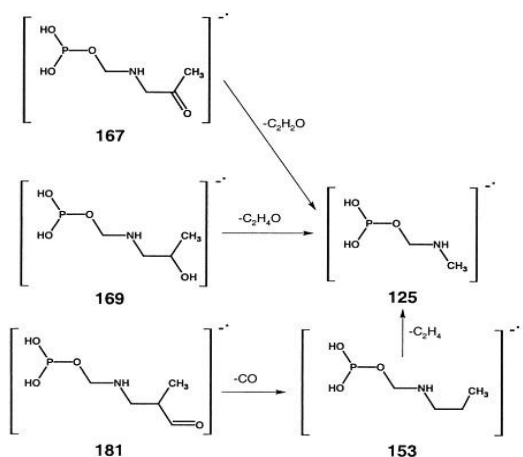
عملکرد دستگاه (Gas chromatography/mass spectrometry) بدین گونه است که با استفاده از برنامه‌ی گرمادهی مشخصی به نمونه‌ی تزریقی در ستون، نمونه به اجزا و ترکیبات کوچک‌تر شکسته و در مسیر خروج از دستگاه با استفاده از اسپکتروسکوپی جرمی شناسایی و ثبت می‌کند. اگر نمونه حاوی دیازینون به دستگاه تزریق شود، بعد از جداسازی نمونه توسط ستون و شناسایی توسط اسپکتروسکوپی جرمی، بایستی پیک جرمی ۳۰۴ که مربوط به دیازینون است مشاهده شود. همچنین پیک‌های جرمی ۱۹۷-۱۵۲-۱۳۵-۱۵۳-۱۲۵-۱۳۷-۷۹-۱۸۳ و ... نیز که مربوط به شکست‌های دیازینون هستند را بتوان مشاهده نمود. طیف‌های جرمی مربوط به دیازینون و اجزای شکسته شده‌ی آن برابر NIST در شکل ۲ نشان داده شده است.



نمودار ۲: منحنی HBJ

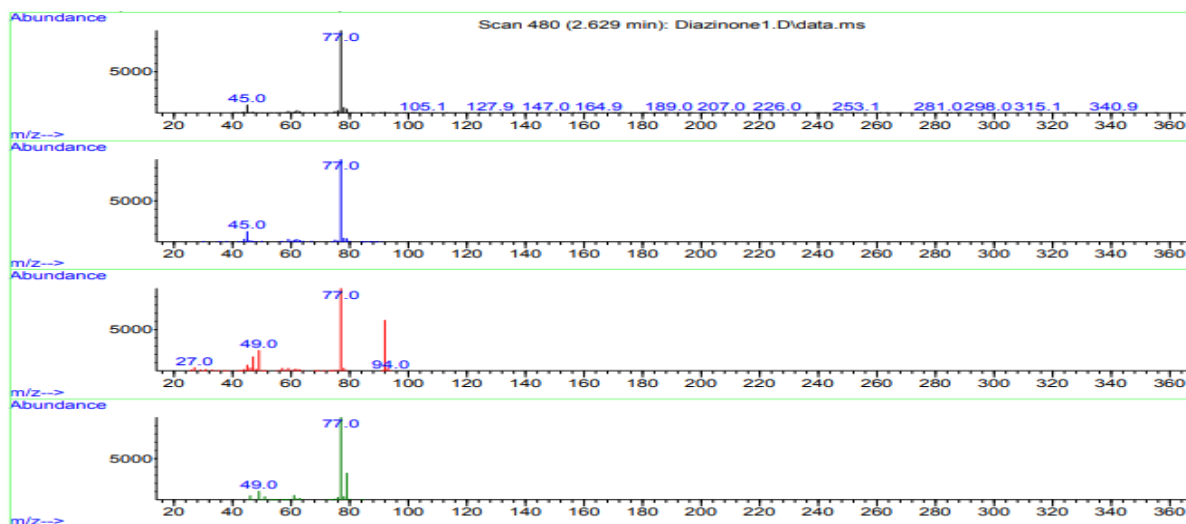
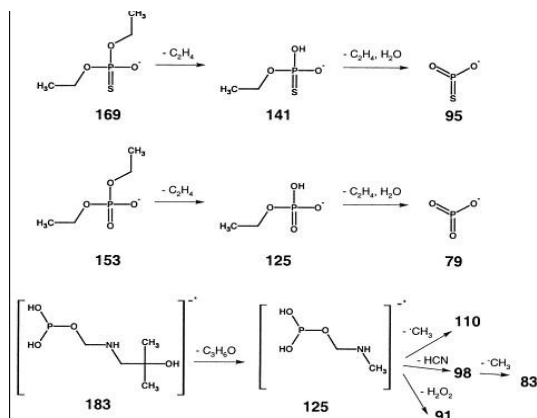
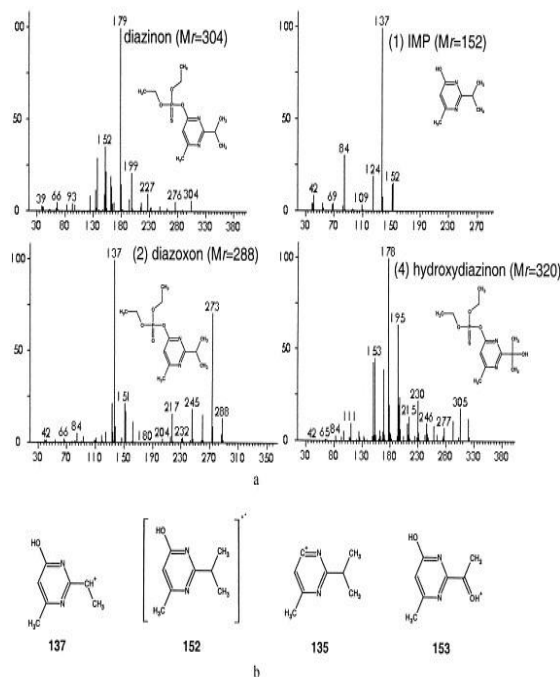


نمودار ۳: منحنی BET



شکل ۲: پیک‌های حاصل از شکست مولکولی دیازینون

طیف جرمی حاصل از شکست دیازینون با استفاده از روش GC-MS در شکل ۳ آمده است.



شکل ۳: طیف جرمی حاصل از شکست سم دیازینون

دارند. با توجه به اینکه مقدار نسبت $\frac{p}{p_0}$ کم می‌باشد از ایزوترم لانگمویر تبعیت می‌کند ولی در نسبت‌های بالاتر میزان جذب افزایش پیدا می‌کند و دیگر از ایزوترم لانگمویر تبعیت نمی‌کند.

- ویژگی‌های مربوط به شکست مولکولی دیازینون
pH نقش مهمی در تجزیه ترکیبات آلی در محیط‌های آبی دارد. رادیکال‌های هیدروکسیل عامل اصلی در فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته هستند. تغییرات pH بر میزان اکسیداسیون مواد آلی از طریق تولید رادیکال‌های متنوع تأثیرگذار است که نوع و تعداد رادیکال‌های تولیدی در این فرآیندها، مهم‌ترین علت بر تجزیه ترکیبات آلی در فرایندهای اکسیداسیون می‌باشند [۱۷-۱۶]. دیازینون نسبت به سایر ارگانو فسفرها از پایداری بیش تری برخوردار است. این امر را می‌توان به دلیل ساختار فیزیکی شیمیایی این آفت کش و پایداری بیش تر دیازینون در محیط قلیایی به نسبت دیگر سموم فسفره دانست. اغلب سموم ارگانو فسفره در pH بالای ۵ پایدار نبوده و سرعت هیدرولیز در pH بالای ۸ به ازای افزایش هر واحد ۱۰ برابر می‌شود. افزایش pH باعث افزایش تجزیه سموم ارگانو فسفره می‌گردد [۶]. در مطالعه واسیلیس و همکاران مکانیسم احتمالی تخریب دیازینون از طریق رادیکال‌های هیدروکسیل اتفاق افتاد [۹]. در پژوهش باهاراک و همکاران مقدار pH بهینه جهت حذف تجزیه دیازینون ۶ بدست آمد [۸]. در این پژوهش نیز مقدار pH بهینه ۶ در نظر گرفته شد. در شکست‌های دیازینون باید ترکیبات و اجزایی که از نقاط مختلف می‌شکند دیده شوند. طبق کروماتوگرام آنالیز نمونه‌ای که وارد دستگاه شده شامل ۱۷ ترکیب در زمان‌های مختلف است. بعنوان مثال در دقیقه ۲/۶۲۹ نمونه‌ای که خارج گشته، بعد از بررسی طیف حاصله و جستجوی کتابخانه‌ای در NIST، سه نمونه با این جز تطابق داده شده که با شکست مولکولی دیازینون تطابق ندارد.

بحث و نتیجه گیری

- ویژگی‌های مربوط به کاتالیست سنتز شده
فعالیت کاتالیست بشدت متأثر از ساختار کریستالی و اندازه ذرات آن است [۱۳]. شکل ۱ بیانگر طیف XRD است و نشان می‌دهد که TiO_2 آمورف به بلور تبدیل و به فاز آاناتاز منتقل شده و بخوبی در سنتز ساختار کریستالی هسته - پوسته از طریق روش سل ژل نشسته است. ظهور پیک در محدود زاویه ۳۴/۲۵ ساختار آاناتاز TiO_2 را تأیید می‌کند. وجود پراکندگی در زوایای ۲۵ و ۴۸ درجه نشان دهنده فاز آاناتاز TiO_2 است. پیک‌های ایجاد شده در زوایای ۲۳/۵۵، ۳۵/۸۶، ۴۵/۰۴ و ۵۳/۶۱ نشان دهنده وجود Fe_3O_4 می‌باشند. با تطابق پیک‌های این صفحات و زوایای پراش مربوط به آن‌ها با استاندارد JCPDS card 21-1272 و 19-0629 JCPDS card هم‌خوانی داشته و مشابه مطالعات انجام شده است [۱۲-۱۱].
با توجه به مطالعات مشابه کلسینه شدن نانو کامپوزیت در دما 500°C مواد آلی موجود بر روی سطح نانو کامپوزیت بطور کامل حذف شده و تعداد میکرو حفره‌های بر روی کاتالیست افزایش می‌یابد. در این دمای کلسینه، BET افزایش یافته و در دماهای بالاتر 550°C تا 900°C مساحت سطح ویژه کاهش می‌یابد. مساحت سطح ویژه نانو کامپوزیت سنتز شده مشابه با دیگر تحقیقات می‌باشد [۱۵-۱۴]. طیف جذب و واجذب نانو کاتالیست مغناطیسی بیانگر این است که با جذب شماره ۴ ایوپاک^{۱۰} همخوانی داشته و حاکی از جذب احتمالی خوب می‌باشد. از آنجا که منحنی دارای هیستریزس^{۱۱} بوده و زیر $0/5 (p/p)$ به هم رسیده اند، حاکی از حفره‌های با دهانه خیلی کم و در حد میکرو هستند. با تطابق منحنی های جذب و واجذب منحنی هیستریزس نشان می‌دهد که حفره‌ها به شکل مهندسی مکعبی و پهن می‌باشد. از آنجا که دارای هیستریزس می‌باشد حاکی از حفره‌های دو سر باز که حفره‌ها از دو طرف به محیط بیرون ارتباط

¹⁰ International Union of Pure and Applied Chemistry

¹¹ Hysteresis

و chromatography-mass spectrometry (GC-MS) فصلنامه انسان و

محیط زیست، شماره ۶۴، (۹۸-۸۳).

[7] Vasilios A Sakkas, A. Dimou, K. Pitarakis, Mantis, G., 2005, TiO₂ photocatalyzed degradation of diazinon in an aqueous medium. *Environmental Chemistry Letters* 3(2):57-61.

[8] Ayoubi-Feiz, B., Mashhadizadeh, M.H., Sheydaei, M., 2019, Degradation of diazinon by new hybrid nanocomposites N-TiO₂/Graphene/Au and N-TiO₂/Graphene/Ag using visible light photo-electro catalysis and photo-electro catalytic ozonation: Optimization and comparative study by Taguchi method. separation-and-purification-technology, Pages 704-714.

[9] Yasilis N Koulombos, Despina F Tsipi, Anastasia E Hiskia, Dejan Nikolic, Richard B van Breemen., 2003, Identification of photocatalytic degradation products of diazinon in TiO₂ aqueous suspensions using GC/MS/MS and LC/MS with quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *journal-of-the-american-society-for-mass-spectrometry*. Volume 14, Issue 8, August, Pages 803-817

[10] Kalantar, S., Bemani, A., Sayadi, M.H., Chamanehpour, E., 2023, Visible light-driven ZnO/Fe₃O₄ magnetic nanoparticles for detoxification of diazinon: the photocatalytic optimization process with RSM-BBD model. *Environmental Science and Pollution Research*. 09 August.

[11] Rahman, I., Vejayakumaran, P., Sipaut, C., Ismail, J., Chee, C., 2008, Effect of the drying techniques on the morphology of silica nanoparticles synthesized via sol-gel process. *Ceramics International*;34(8):2059-66.

[12] Sarrafioun, F., Jamehbozorgi, S., Ramezani, M., 2019, Synthesis of Tetrazoles Catalyzed by Novel Cobalt Magnetic Nanoparticles. *Russian Journal of Organic Chemistry*; 55(11):1777-84.

[13] Weiyang, C., Liu X., Yuwei W., Yong, Z., Xianxin, H., Congzhi, F., 2021, Study on photodegradation activity of Fe₃O₄@SiO₂@TiO₂-Ce/rGO magnetic photocatalyst. communication..

[14] Kumar, A., Khan, M., Fang, L., Lo IM J. of hazardous materials, 2019, 370-375.

[15] Vaiano, V., Sacco, O., Sannino, D., Stoller, M., Ciambelli, P., Chianese, A. J., 2016, *Chemical of Engineering Transactions*, 40-47.

[16] Asgari, G., Seidmohammadi, A., Chavoshani, A. J., 2014, *Environmental of Health Science and Engineering*, 7-12.

[17] Shiyang, Y., Ping, W., Xin, Y., Guang, W., Zhang, W., Liang, S J., 2009, *environmental of sciences*, 9-21.

بنابراین می‌توان بیان کرد که محصولات جانبی ناشی از شکست مولکولی دیازینون در نمونه‌های آزمایش مشاهده نشدند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که نانو ذره N-TiO₂@SiO₂@Fe₃O₄ اصلاح شده در حضور اولتراسونیک و نور مرئی می‌تواند روش موثری برای جلوگیری از تولید محصولات جانبی ناشی از سنتز مولکولی دیازینون باشد.

سپاس‌گذاری

این مقاله حاصل بخشی از رساله مقطع دکتری بوده و بدینوسیله نویسندگان مقاله از کارشناسان آزمایشگاه شیمی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان و دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی گلستان که همکاری لازم در اجرای این کار تحقیقاتی را داشتند تقدیر و تشکر بعمل می‌آوردند.

منابع

[1] Naghmeh Orooji, A., Takdastan, R., Jalilzadeh, Y., Jorfi, s., Davam, A.H., 2020, Photocatalytic degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid using Fe₃O₄@TiO₂/Cu₂O magnetic nanocomposite stabilized on granular activated carbon from aqueous solution. *Research on Chemical Intermediates*, 46:2833-2857

[2] Karimi Takanlu, L., Farzadkia, M., Mahvi, A.H., Esrafilly, A., Golshan, M., 2014, Optimization of adsorption process of Cadmium ions from synthetic wastewater using synthesized iron magnetic nanoparticles (Fe₃O₄). *Iranian Journal of Health and Environment*. 7(2):84-171

[۳] حسینی، م.، ۱۳۸۴، بررسی مقدار باقی مانده حشره کش‌های مصرفی فسفره در آب رودخانه‌های گروسیوند و آب‌های زیر زمینی و محصول غالب منطقه خیار در زیر حوزه آن‌ها. دانشگاه علوم پزشکی تهران.

[4] Naimi-joubani, M., Ayagh, K., Tahergerabi, M., Shirzad-Siboni, M., Yang, J.K., 2022, Design and modeling of diazinon degradation in hydrous matrix by Ni-doped ZnO nanorods under ultrasonic irradiation: process optimization using RSM (CCD), kinetic study, reaction pathway, mineralization, and toxicity assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022, volume 30, pages3527-3548.

[5] Dehghani Mo, H. and Fadaei, Ab., 2013, Sonochemical kinetic model of diazinon and malathion pesticides degradation in aqueous solution. *Indian Journal of Science and Technology*. 6.

[۶] انصاری همدانی، ش.، ارجمدی، ر.، متصدی زرنیدی، س.، باغستانی، م.، عزیزی نژاد، ر.، ۱۴۰۲، ردیابی آفت کش دیازینون در آب و خاک شالیزارهای استان مازندران با استفاده از Gas