مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علم<u>ى پژو</u>هشى

بررسی تاثیر نانوذرات سیلیکا و فرایند فرابنفش بر میزان سمزدایی زیرالنون در روغن.های آفتابگردان

ندا غفاری'، احسان صادقی\*۲، نسرین چوبکار ۳

گروه مواد غذایی،واحد کرمانشاه،دانشگاه آزاد اسلامی،کرمانشاه،ایران

مرکز تحقیقات عوامل محیطی موثر بر سلامت دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران

۳- مرکز تحقیقات بیوتکنولوژی گیاهی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

چکیدہ	اطلاعات مقاله
در این مطالعه، اثر نانوذرات سیلیکا (SNPs) و تابش UV بر حذف زیرالنون (ZEN)	تاریخ های مقاله :
	تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۱۲/۱۵
از روعن افتابخردان بررسی شد. تمویه روعن افتابخردان خالص الود کی به ZEIN را نشان	تاریخ پذیرش: ۱٤۰۳/٤/۱۳
نداد. بهترین شرایط برای حذف ZEN توسط SNPs در زمان تماس ۲٤۰ دقیقه، غلظت	
	كلمات كليدى:
اولیه ZEN برابر با ۲۵ میکروکرم بر لیتر، و مقدار ٤ میلیکرم SNPs تعیین شد. دادههای	نانوذرات سيليكا،
سینتیکی مطابق مدل فروندلیچ و مدل شبه مرتبه دوم بودند. نتایج نشان داد که SNPs	ز بر النو ن،
	3 9.13
ظرفیت جذب بالایی داشته و به عنوان یک جاذب مناسب برای حذف ZEN در روغن	روغن أفتابگردان،
آفتابگردان عمل میکنند. تاثیر SNPs در کاهش ZEN بسیار موثرتر از تابش UV بود.	تابش <i>ی</i> UV،
مکانیسم جذب احتمالی شامل پیوند شیمیایی گروه عملکردی ZEN با گروههای سیلیکا	جذب سطحي
و تخلخل بالای SNPs میباشد. استفاده از SNPs به دلیل هزینه کم و عدم اثر سمی،	DOI:10.22034/FSCT.21.157.31.
	* مسئول مكاتبات:
روش موثری برای حدف ZEN از محصولات غذایی معرفی شد. این روش می تواند به	ahaan aadaah 50 Qaadaa aan
عنوان یک راهکار موثر برای حذف ZEN در نمونههای طبیعی مانند روغن خوراکی	ensan.sadegm59@yanoo.com
مورد استفاده قرار گیرد.	

[ Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-08 ]

۱–مقدمه

ايمني مواد غذايي نقش مهمي در زندگي انسان دارد. مايكو-توکسین ها متابولیت های ثانویه سمی هستند که توسط طیف گستردهای از قارچها تولید میشوند و رشد آنها زندگی انسان را تهديد مي كند. مايكوتوكسين ها به دليل داشتن تنوع ساختمانی و خصوصیات متفاوت فیزیکی، طیف وسیعی از اثرات بيولوژيک نظير ژنوتوکسيسيتي، جهش زايي، سرطانزایی، ناقص الخلقه زایی، اثرات سمی بر کلیه، کبد، پوست، سیستم اعصاب و ... را ایجاد می نمایند [۱, ۲]. مایکوتوکسینها مولکولهای کوچک و کاملاً پایداری هستند که حذف یا ریشهکن کردن آنها بسیار دشوار است و در عین حفظ خصوصيات سمي خود وارد زنجيره خوراک مي شوند. با توجه به سمیت مایکوتوکسینها و ایجاد خطرات جدی برای انسانها و حیوانات می توان با کنترل تمامی مراحل از مزرعه تا رسيدن محصول به مصرف كننده ميزان توليد مایکوتوکسین را به حداقل رساند. آفلاتوکسین ب۱ (AFB1)<sup>7</sup>، فومونيسين ب (FB1)<sup>7</sup>، دئوكسي نيوالنول (DON)<sup>3</sup>، اکراتوکسین آ (OTA)<sup>°</sup> و زیرالنون (ZEN)<sup>۲</sup> پنج مایکوتوکسین اصلی که آلودگی اصلی در محصولات کشاورزی و مواد غذایی را باعث می شوند و مشکل سازترین انواع آلودگی قارچی در محصولات کشاورزی را ایجاد می – کنند [۳, ٤].

ZEN یک مایکوتوکسین غیراستروئیدی و استروژنیک است که توسط چندین گونه از قارچهای فوزاریومی مانند فوزاریوم گرامیناروم<sup>۷</sup> و فوزاریوم کالموروم<sup>۸</sup>، تولید می شود و به عنوان یک اختلال غدد درون ریز در پستانداران نقش دارد [0]. ZEN به عنوان یک مایکوتوکسین استروژنیک شناخته می شود، که این به معنای آن است که ZEN می تواند به عنوان مشابه هورمون استروژن در بدن عمل کرده و تنظیمات هورمونی نامتناسب را در افراد، به ویژه زنان و دختران، ایجاد کند. این مایکوتوکسین به علت تأثیرات استروژنیک

- Mycotoxins
   Aflatoxin B1
- 3. Fumonisin B1

می تواند منجر به اختلالات هورمونی، کاهش کیفیت اسپرم، ناقص الخلقه های جنینی، و حتی آسیب های جدی به سیستم عصبی، کبد، و سیستم ایمنی بدن شود. مصرف مواد غذایی آلوده به ZEN می تواند به طور جدی به سلامتی انسان ها و حیوانات آسیب بزند، به همین دلیل کنترل و حذف این مایکو توکسین از محصولات غذایی حائز اهمیت بسیاری است. اگر ZEN در طول فرایند تولید حذف نشود زنجیره غذایی را از طریق چندین ماده غذایی از جمله ذرت ، گندم موراکی، روغن های خوراکی گیاهی، آجیل، ادویه جات، شیر، تخم مرغ، گوشت، فرآورده های تخمیر شده، نوشیدنی ها و حتی آب آشامیدنی می تواند در معرض این سم باشند [7, ای

سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) آلودگی ZEN را برای محصولات غذایی مختلف در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰۰ میکروگرم در کیلوگرم با سطح نظارتی بالاتر برای محصولات ذرت گزارش کرده است[7]. در بسیاری از کشورها، حداکثر سطح مجاز ZEN در مواد غذایی بین ۲۰ کشورها، حداکثر سطح مجاز میلا در مواد غذایی بین یا ۲۰ تا ۱۰۰۰ میکروگرم بر کیلوگرم برای مصرف انسان تعیین شده است [7]. به دلیل شرایط نامناسب فرآیند و شده است [7]. به دلیل شرایط نامناسب فرآیند و زخیرهسازی، محصولات کشاورزی که برای استخراج روغنها استفاده میشوند، به عنوان محیطهای بالقوه برای رشد قارچها و تولید مایکوتوکسینهایی نظیر ZEN شناخته شدهاند [۸].

برای حذف مایکوتوکسین زیرالنون (ZEN) از روغنهای خوراکی، مواجهه با مشکلات فنی و عملیاتی چندگانهای وجود دارد که نیازمند رویکردهای مناسب و کارآمد برای حل آنها هستند. این مشکلات شامل موارد زیر می شود: اولاً، ZEN، عنوان یک مایکوتوکسین با پایداری حرارتی بالا، مانع از تخریب کامل آن در روش های حرارتی می شود، بنابراین نیازمند استفاده از روش هایی است که با پایداری

Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-08

<sup>5.</sup> Ochratoxin A

<sup>6.</sup> Zearalenone

Fusarium graminearum
 Fusarium culmorum

<sup>4.</sup> Deoxynivalenol

مجله علوم و صنایع غذایی ایران

حرارتی ZEN مقابله کنند[۹]. دوماً، در فرآیندهای حذف ZEN، خطر انتقال این مایکوتوکسین به دیگر محصولات وجود دارد که ممکن است به تلف شدن آن منجر شود، بنابراین استفاده از روشهای ایمن و کارآمد حیاتی است. سوماً، ZENحساس به شرایط فیزیکی و شیمیایی خاصی است که برای حذف آن نیازمند شرایط دقیقی هستیم، مانند Haمحیط، دما، زمان تماس و غلظت مواد جاذب. چهارماً، انتخاب روش مناسب برای حذف ZEN نیازمند بررسی دقیق کارآیی و بازدهی فرآیندهاست که هزینه کمتری داشته و استفاده از مواد جاذبی که توانایی جذب ZEN را دارند، نیازمند فرآیندها و تجهیزات پیچیدهای است که انتخاب مواد جاذبی با ثبات و عملکرد مطلوب، چالشی اساسی در این زمینه است [۱۰].

تلاشهای زیادی برای حذف یا کاهش ZEN با استفاده از روشهای مختلف صورت گرفته است [۱۱]. مواد افزودنی خوراکی و مواد جاذب بیاثر، بیشترین کاربرد را برای کاهش اثرات سمی ZEN نشان دادهاند. تابش UV نیز به عنوان روشی برای سمزدایی روغنهای خوراکی پیش از بستهبندی و تخریب سموم در غذاها مورد استفاده قرار می گیرد. این فرآیند سمزدایی کارآمد، سریع، پایدار و اقتصادی است و همچنین کاهش کیفیت مواد مغذی، رنگ و از بین رفتن طعم محصول را به حداقل می رساند[۱۲].

در سالهای اخیر، استفاده از نانومواد، از جمله پلیمرها، نانوذرات فلزی (MeNPs)<sup>۹</sup>، نقاط کوانتومی (QDs)<sup>۱</sup>، نانولولههای کربنی (CNTs)<sup>۱۱</sup> و نانوذرات مغناطیسی (MNPs)<sup>۲۱</sup> به عنوان جاذب برای حذف مایکوتوکسینها از مواد غذایی توجه زیادی را به منظور توسعه فرآیندهای سم زدایی جدید به خود جلب کرده است. نانومواد و نانوذرات به دلیل نسبت سطح به حجم بالا، میتوانند به غلظتهای بالاتر مایکوتوکسینها متصل شوند. علاوه بر این، نانوذرات میتوانند گروههای عاملی مختلف را با استفاده از لیگاندهای خاص یا پوشانندهای سطحی تغییر دهند [۲].

برای استفاده از نانوذرات سیلیکا به عنوان جاذب برای حذف ZENاز روغنهای خوراکی، ویژگیها و خصوصیات زیر بسیار مهم هستند: اولاً، نانوذرات سیلیکا دارای سطح بالا و ساختار پوشش داده شده سطحی هستند که این ویژگی باعث افزایش تماس نانوذرات با ZEN در روغن های خوراکی مي شود و احتمال جذب مواد آلاينده را افزايش مي دهد. دوماً، ظرفیت بالای بارگذاری نانوذرات سیلیکا باعث می شود که توانایی جذب و نگهداری ZEN بر روی نانوذرات بهبود یابد و نیاز به تعویض مکرر جاذب کاهش یابد[۱۳]. سوماً، به دلیل ساختار خود، نانوذرات سیلیکا پایداری بالایی در شرایط مختلف مانند دما، pHو خوردگی دارند که این ویژگی می تواند باعث حفظ عملکرد جذبی آنها در طول زمان شود. چهارماً، نانوذرات سيليكا قابليت دارند كه با استفاده از پوششهای سطحی مختلف، خواص جذبی و انتقالی خود را تنظیم کنند که این امکان را برای افزایش انتخاب پذیری نانوذرات برای ZEN فراهم می سازد. و در پنجم، ساختار منظم و همگن نانوذرات سیلیکا باعث می شود که توزیع و جذب مواد آلاینده به طور یکنواخت و بهینه صورت گیرد، که این امر به بهبود اثربخشی حذف ZEN از روغنهای خوراکی کمک میکند. با توجه به این ویژگیها و خصوصيات، نانوذرات سيليكا به عنوان جاذبهاي مناسبي برای حذف ZEN از روغنهای خوراکی معرفی میشوند که می توانند به طور مؤثر به کنترل آلودگی مایکوتوکسینی در محصولات خوراكي كمك كنند[١٤, ١٥].

تابش فرابنفش (UV) به عنوان یک روش فیزیکی مؤثر برای حذف مایکوتوکسینها از مواد غذایی، به ویژه برای ZEN، مورد توجه قرار گرفته است. این روش از خواص تابش UV برای شکستن بندهای شیمیایی ZEN بهره می برد، که باعث کاهش فعالیت سمی این مایکوتوکسین و کاهش خطرات سلامتی می شود. تابش UV همچنین می تواند به طور معناداری توانایی سمی ZEN را کاهش دهد و از مواد غذایی آلوده به این مایکوتوکسین حفاظت کند. از جمله مزایای

Carbon nanotubes
 Magnetic NPs

9. Metal nanoparticles 10. Quantum dots

اقتصادی و اجرایی این روش می توان به کارآیی و سرعت بالا در حذفZEN، کاهش ضایعات و افزایش بازده تولید، و استفاده از یک تکنولوژی پایدار و کم مصرف انرژی اشاره کرد. به طور کلی، استفاده از تابش UV به عنوان یک روش کارآمد و پایدار برای حذف ZEN از مواد غذایی، از نظر اقتصادی و محیطی مزایای قابل توجهی دارد و به بهبود کیفیت و سلامت محصولات غذایی کمک میکند[17].

در تحقيقات مرتبط با مايكوتوكسين ها، به ويژه زيرالنون، مدلها و سینتیکها به عنوان ابزارهای حیاتی برای تحلیل و پیش بینی فرایند حذف و تخریب این مواد نوپاش توسط عوامل خارجي، مورد توجه قرار گرفتهاند. در اين تحقيق، از مدل های ریاضی و سینتیکی برای بررسی فرایند حذف ZEN تحت تأثير نانوذرات سيليكا و تابش UV استفاده شد[١٧]. مدلهایی همچون مدل لانگمویر و فرست پورم برای تعیین نرخ حذف ZEN در شرایط مختلف به کار رفتند. این مدل ها به ما کمک میکنند تا عملکرد نانوذرات سیلیکا و تابش UV در حذف ZEN را به طور دقیق و کمی تحلیل کنیم و با استفاده از تکنیکهای تجزیه و تحلیل دادهها، مکانیزمهای موثر در سمزدایی ZEN را بهبود بخشیم. این مطالعات نشان میدهند که مدلهای ریاضی و سینتیکی نه تنها به بهبود فهم از فرایندهای حذف ZEN کمک میکنند، بلکه از اهمیت بسزایی برای بهبود تکنولوژیهای سمزدایی از مايكو توكسين ها برخو ردارند[١٨].

مطالعات متعددی در زمینه اثر نانوذرات سیلیکا به عنوان جاذب های کارآمدی برای حذف مایکو توکسین ها صورت گرفته است به عنوان مثال Raesi و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر نانوذرات ZnO بر فرایند حذف آفلاتوکسین AFB1 (AFB1) از محلول های آبی تحت نور UV را بررسی کردند. استفاده از ۱۰. میلی گرم بر میلی لیتر ZnO به مدت ۲۰ دقیقه باعث حذف کامل AFB1 با غلظت اولیه ۱۰ میکرو گرم بر لیتر شد. نتایج نشان داد که این فرایند با مدل شبه اولین گونه و ایزو ترم لانگمویر ساز گار بوده و نانوذرات ZnO می توانند به عنوان

مورد استفاده قرار گیرند[۱۹].همچنین Nicolau-Lapeña به بررسی استفاده از تابش نور فرابنغش (UV-C 254nm) برای کاهش پتولین در محصولات مشتق از سیب و آبمیوه پرداختند. نتایج نشان داد که تابش با انرژی ۸/۸ (I-UV) و ۲۰/۱ (I-UV) و UV-2 پردن اسپورهای ۳۰/۱ (۲۰۳ (۲۰۳ (۲۰۳ وی سطح سیب را داشت[۲۰]. Garcia و همکاران (۲۰۲۳) نیز با استفاده از مدل کینتیک تولید آفلاتوکسین توسط قارچ *آسپرژیلوس فلاووس* در محیط آگار ذرت و دانه ذرت را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اندازه کلونی/مساحت، وزن خشک بیوماس و تجمع آفلاتوکسین با هم در ارتباط مستقیم بوده و مدل مدرد ماستفاده قرار گرفت[۲۰].

تاکنون، تحقیقی در زمینه استفاده همزمان از نانوذرات سیلیکا و تابش UV برای حذف زیرالنون از روغنهای آفتابگردان انجام نشده است. بنابراین، هدف اصلی این مطالعه، بررسی و مقایسه تأثیر این دو عامل بر کارایی حذف زیرالنون از روغنهای آفتابگردان است. این تحقیق به دنبال بررسی عمیق ر مکانیسمهای جذب و تخلیه زیرالنون تحت شرایط مختلف زمانی، غلظتی و میزان نانوذرات سیلیکا است تا بهینه سازی فرایند حذف و بهبود کارایی آن در محیطهای واقعی غذایی را ممکن سازد.

# ۲- مواد و روشها ۲-۱- مواد

پودر استاندارد ZEN از شرکت سیگما آلدریچ (ایالات متحده آمریکا) خریداری شد. اسید فرمیک (HCOOH)، تترااتیل ارتوسیلیکات (TEOS)، متانول و استونیتریل از شرکت مرک (آلمان) خریداری شد. معرف های تجزیهای و مواد شیمیایی مورد استفاده در این مطالعه بدون خالص سازی اضافی مورد استفاده قرار گرفتند. از متانول، HCOOH، استونیتریل و آب مقطر به عنوان حلال استفاده شد. آب مقطر به عنوان فاز متحرک در HPLC و همچنین به عنوان حلال در تهیه محلول ها مورد استفاده قرار گرفت.

Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-08

34

#### ۲-۲- آنالیز HPLC

اندازه گیری ZEN در سه مرتبه اندازه گیری تکراری با یک سیستم HPLC آزورا (آلمان) همراه با آشکارساز فلورسانس RF-20A ساخت کشور ژاپن مدل Shimadzu و مشتقسازی فتوشیمیایی پس از ستون مدل HPLC ساحت کشور آلمان انجام شد. سیستم HPLC شامل یک ستون تجزیهای C18 با طول ۲۰۰ و قطر ۶/۱ میلی متر و اندازه ذرات ۵ میکرومتر مجهز به یک پیش ستون بود که دمای ستون را در ٤٠ درجه سانتی گراد حفظ میکرد. استونیتریل و آب با نسبت ۸۰ به ۲۰ حجمی/حجمی با

سرعت جریان ۱/۰ میلیلیتر در دقیقه به عنوان فاز متحرک استفاده شد. طول موج برانگیختگی و نشر آشکارساز فلورسانس به ترتیب ۲۷۶ و ٤٤٠ نانومتر بود. حجم محلول استاندارد و نمونه تزریقی ۲۰ میکرولیتر بود.

محلول استوک ZEN (۱۰ میلیگرم بر لیتر) با حل کردن ZEN در متانول/آب با نسبت ۸۰ به ۲۰ حجمی/حجمی و محلول ۱٪ HCOOH تهیه شد و محلولها در دمای ۲۰-درجه سانتی گراد نگهداری شدند. شکل ۱ کروماتوگرام استاندارد ZEN را با غلظت ۱۰ میلیگرم بر لیتر نشان می-دهد.





#### SNPs سنتز SNPs

روش های فراوانی برای تولید SNPs وجود دارد. مواد اولیه برای سنتز SNPs، اغلب پیش ماده های آلکوکسیدی مانند تترااتیل اورتوسیلیکات (TEOS) و تترامتیل اورتوسیلیکات (TMOS) و یا پیش ماده های نمک فلزی مانند سدیم سیلیکات است. این مواد، هم در محیطهای اسیدی و هم در محیطهای بازی با آب واکنش می دهند و در نهایت ژل سیلیکا حاصل می شود .در عمل، برای پیشروی واکنش از

اسید و باز به عنوان کاتالیزور استفاده می شود .واکنش تشکیل ژل سیلیکا، هم در محیط بازی و هم در محیط اسیدی دارای دو مرحله است : در مرحلهی اول، پیش مادهی آلکوکسیدی با آب واکنش می دهد و تبدیل به گروه های سیلانول می شود ( آبکافت) در مرحلهی دوم، گروه های سیلانول حاصل از مرحلهی اول، با یکدیگر واکنش و ژل سیلیکا را تشکیل می-دهند (تراکم) [SNPs بر اساس روش گزارش شده قبلی تهیه شدند [۳۳]. سنتز SNPs در اینکار از حل کردن ۱ میلی لیتر TEOS و ۳ میلی لیتر هیدروکاریک اسید در ۲۵ میلی

لیتر آب دیونیزه شده در دمای محیط آغاز می شود. محلول ساخته شده از ۲ میلی لیتر TEOS و ۱۰ میلی لیتر اوره (۹ مولار) به آرامی به محلول قبل اضافه می شود. این محلول جدید به مدت ۷ روز در دمای ٤۰ درجه سانتیگراد قرار می-

گیرد. در نهایت به مدت دو ساعت در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد قرار می گیرد تا نانوذرات سیلیکای ما حاصل شود. شکل ۲ مراحل آمادهسازی SNPs را نشان میدهد.



Fig 2 The pathway of synthesis of SNPs

در معادلات بالا %R درصد حذف Co ، ZEN و Co ، ZEN علظت اولیه و نهایی ZEN بر حسب میکروگرم بر لیتر، qe ظرفیت جذب در شرایط تعادل بر حسب میکروگرم بر گرم، V حجم محلول بر حسب میلیلیتر و W وزن جاذب (SNPs) بر حسب میلیگرم نشان میدهند.

UV -0-۲ سمزدایی ZEN با اشعه UV

در این آزمایش، ۱۰ میلیلیتر مخلوط حجمی/حجمی متانول/آب (۵۰:۵۰) و محلول ۱ HCOOH %حاوی ۱۰۰

#### ZEN -٤-۲ فرآيند جذب

آزمایشات جذب با افزودن مقدار مشخصی از SNPs به عنوان جاذب به ۱۰ میلی لیتر محلول ZEN با غلظتهای مختلف انجام شد. برای ارزیابی اثر زمان تماس بر روی حذف ZEN، آزمایشات در فواصل زمانی معین از ۱۰ تا ۳۰۰ دقیقه در مخلوط حجمی/حجمی متانول/آب (۵۰:۰۰) و محلول ۱٪ HCOOH انجام شد. محلولهایZEN ، در زمانهای تماس تعیین شده، در ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند، پس از آن مایع رویی با یک کاغذ صافی با قطر منافذ ۲/۰ میکرومتری صاف گردید. غلظت بهینهسازی زمان تماس، غلظت اولیه HPLC (محدوده ۲۰ تا بهینهسازی زمان تماس، غلظت اولیه ZEN (محدوده ۲۰ تا ۱۲۵ میکروگرم بر لیتر) و مقدار SNPs (۰ تا ۸ میلی گرم) تغییر یافت. هر آزمایش جذب (۹) و درصد حذف استفاده از دو پارامتر ظرفیت جذب (۹) و درصد حذف

میکروگرم بر لیتر ZEN در یک لوله آزمایش ریخته شد و به مدت ۲۰ تا ۳۹۰ دقیقه تحت تابش مستقیم UV در فاصله ۱۰ سانتیمتر از لامپ UV با توان ۱۵ وات قرار گرفت. پس از سانتریفیوژ کردن نمونهها در ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه و صاف کردن محلول با کاغذ صافی ۲/۰ میکرومتری، غلظت باقیمانده ZEN با روش HPLC اندازه گیری شد. برای ارزیابی تاثیر تابش UV بر حذفZEN، درصد حذف ZEN

۲–۲– مطالعه سینتیک جذب

برای مطالعه سینتیک جذب ZEN توسط نانوذرات سیلیکا (SNPs)، محلول های استاندارد ZEN با غلظت های مشخص (۱۰، ۲۰، ۳۰، ٤٠، و ۵۰ میلی گرم در لیتر) در دمای ثابت (۲۵ درجه سانتی گراد) تهیه شدند. مقدار معینی از نانوذرات سیلیکا به هر یک از این محلولها اضافه شد و مخلوطها در بازههای زمانی مشخص (۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۲۰، ۱۲۰، و ۱۸۰ دقیقه) نمونهبرداری شدند. غلظت باقی مانده ZEN در هر نمونه با استفاده از روش طیفسنجی UV-Vis در طول موج ۲۷٤ نانومتر اندازهگیری شد. دادههای بهدست آمده برای تعيين پارامترهای سينتيک، شامل ثابت سرعت جذب (k) و ظرفیت جذب تعادلی(qe) ، با استفاده از مدل های سینتیکی درجه اول و دوم کاذب تحلیل شدند. این تحلیل ها با نرمافزار OriginProنسخه (OriginLab Corporation ۲۰۲۱)، ایالات متحده) انجام شد تا بهترین مدل سینتیکی که توصیف کنندهی فر آيند جذب ZEN توسط نانوذرات سيليكا باشد، تعيين شود [72]

### ۲–۲– سمزدایی ZEN در روغن آفتابگردان

در این بخش، فرآیند سمزدایی ZEN در روغن آفتابگردان با استفاده از نانوذرات سیلیکا (SNPs) و تابش UV شرح داده می شود. نمونه های روغن آفتابگردان با غلظت های مشخصی از ZEN آلوده شدند. سپس، تاثیر SNPs و تابش UV بر میزان حذف ZEN بر رسی شد.

SNPs توسط ZEN توسط SNPs

برای بررسی جذب ZEN توسط نانوذرات سیلیکا(SNPs)، نمونههای روغن آفتابگردان با غلظتهای مختلف 25) ZEN، 50، 75، 100میکروگرم بر لیتر) تهیه و مقادیر مختلفی از 1) SNPs، 2، 3، 4، 5میلیگرم) به ۱۰ میلیلیتر از این نمونهها اضافه شد. نمونهها در فواصل زمانی مختلف (۳۰، ۲۰، ۲۰، اضافه شد. دمونهها در دمای محیط نگهداری و سپس در ۲۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شدند. مایع رویی صاف گردیده و غلظت باقیمانده ZEN با استفاده از روش DPLC

### FTIR) حيفسنجى زير قرمز تبديل فوريه (FTIR)

برای بررسی تعاملات شیمیایی بین ZEN و نانوذرات سیلیکا (FTIR)، از طیفسنجی زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR) استفاده شد. نمونههای ZEN ، SNPs جذب شده بر روی SNPs آماده شدند و طیفهای FTIR آنها در محدوده FTIR آماده شدند و طیفهای FTIR آنها در محدوده FTIR سانتی متر ۱ با استفاده از دستگاهط FTIR FTIR ایالات متحده) ثبت گردید. تغییرات در باندهای جذبی مشخص، به ویژه در ناحیههای مربوط به گروههای عاملی هیدروکسیل، کربونیل و سیلیکاتی مورد تحلیل قرار گرفت.

۸-۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای بررسی مورفولوژی و اندازه نانوذرات سیلیکا (SNPs) و تأثیر جذب ZEN بر روی سطح آنها، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. نمونه ها با لایه ای نازک از طلا پوشش داده شدند تا رسانایی الکتریکی آنها بهبود یابد. تصاویر SEM با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل MIRA3 ساخته شده توسط جمهوری چک (Tescan) گرفته شد.

## ۲–۷–آزمونهای آماری

برای تجزیه و مقایسه دادهها از نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ (ایالات متحده آمریکا) استفاده شد. تمام آزمایشات جذب در سه آزمایش تکراری، همراه با تجزیه دو بار تکرار HPLC انجام شد. دادههای تجربی به صورت میانگین و انحراف

معیار برای سه آزمایش تکراری گزارش شد. میانگین ± فاصله اطمینان ۹۵ ٪ برای مشخص کردن تفاوتهای معنی-دار بین میانگینها در هر آزمایش و نتیجه در نظر گرفته شد. جهت مقایسه تمامی نتایج با یکدیگر از آنالیز واریانس ANOVA یک طرفه در سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده و معنیداری هر مقدار میانگین مشخص شد (P<0.05).

## ۳– نتایج و بحث

#### SNPs تعیین مشخصات

طیف FT-IR مربوط به SNPs در شکل ۳ نشان داده شده است. یک پیک قوی متمایز و پهن در <sup>۱</sup>-۱۱۰۷ m با ارتعاش کششی نامتقارن پیوندهای Si-O-Si مطابقت نشان داد. پیکهای ظاهر شده در محدوده <sup>۱</sup>-۸۰۱ cm و ۶۲۹ cm

را می توان به ترتیب به ارتعاش کششی متقارن و ارتعاش جنبانهای پیوندهای Si-O-Si نسبت داد. این دادهها گزارشات در مطالعات قبلی در مورد پیکهای سیلیکا را تایید می کنند [۲۲].

SNPs برای ارزیابی ویژگیهای سطحی ساختار SNPs سنتز شده به کار برده شد. شکل ٤ تصویر SEM مربوط به SNPs را نشان میدهد. همانطور که مشاهده می شود، ذرات سیلیکا در خوشههایی با اندازههای مختلف از ٤٧ تا ٦٨ نانومتر به هم چسبیدهاند. با چسبیدن خوشهها به هم، یک شبکه پیوسته تشکیل شده که در نتیجه آن، ذرات به صورت ژل ظاهر می-شوند. خوشهها بر اندازه دیگر خوشههای اطراف خود تأثیر گذاشته و در نتیجه، تراکم آنها توسط تعدادشان محدود می-شود [۲۲].



Fig 3 FT-IR spectra of SNPs



#### Fig 4 SEM image of synthesized SNPs

#### ۳–۲– اعتبارسنجی روش

بسیار تحت تأثیر آشکارساز مورد استفاده قرار میگیرند [۲۲].

ZEN -۳-۳ تاثیر زمان تماس بر جذب

برای بررسی اثر زمان تماس بر جذب ZEN، آزمایشات حذف با ۲۵ میکروگرم بر لیتر محلول ZEN بین ۱۰ تا ۳۰۰ دقیقه در دمای اتاق انجام شد. شکل ۵ نتایج به دست آمده را نشان می دهد. با افزایش زمان تماس، اثر حذف ZEN بر روی سطح SNPs افزایش یافت و زمان تعادل حذف در رمان مشخصی افزایش یافت و سپس با رسیدن به تعادل به زمان مشخصی افزایش یافت و سپس با رسیدن به تعادل به آرامی افزایش یافت. پس از ۲۶۰ دقیقه، تغییر ظرفیت جذب اثر قابل توجهی نشان نداد. بر این اساس، بهترین زمان برای تعادل جذب ۲۰۰ دقیقه برای جذب ZEN انتخاب شد که جذب سریع ZEN توسط SNPs نشان داد که به دلیل وجود گروههای عاملی فعال، مساحت سطح و تخلخل بالاتر در می دهد. این عوامل باعث انتشار سریعتر مولکولهای ZEN در محلول به سطح جاذب می شوند [۲۲]. HPLC با آشکارساز فلورسانس برای تجزیه و شناسایی ZEN انتخاب شد [۲۲]. معادله رگرسيون خطي = y I.0317x + 32.782 برای منحنی استاندارد ZEN با ضریب همبستگی ۰/۹۹۷۸ بر اساس ارتباط خطی بین سطح پیک و غلظتهای متفاوت ZEN (۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر) به دست آمد. به منظور ارزیابی دقت و صحت روش به صورت تجربی، تزریق غلظتهای ۲۵ و ۵۰ میکروگرم بر لیتر ZEN به نمونه روغن آفتابگردان انجام شد. میانگین بازیابی و انحراف استاندارد نسبی (RSD)، با توجه به تعداد اندازه گیری برابر ۳ (n=3)، برای ۲۵ و ۵۰ میکرو گرم بر لیتر ZEN، به ترتیب ۳۲/۲۳، ۳/۷٤، و ۳/۱۵، ۳۲/۱۵٪ محاسبه شد. نتایج نشان داد که این روش برای تعیین ZEN در نمونههای حقیقی قابل اطمینان است. حد کمی (LOQ) و حد تشخیص (LOD)، به ترتیب ۲ و ۰/۵ میکروگرم بر ليتر بر اساس دستيابي به نسبت سيگنال به نويز 3≤ (S/N) و 6≤ (S/N) به ترتیب برای LOD و LOQ تعیین شدند که



Fig 5 Effect of contact time on ZEN removal efficiency

محلول بیشتر می شود. در نتیجه، حداکثر راندمان حذف برای ZEN در ۲۵ میکروگرم در لیتر به دست آمد. در محلول های رقیق، به دلیل تحرک بیشتر مولکول های ZEN، برهمکنش و تمایل SNPs به جذب مولکول های ZEN بیشتر می باشد. در غلظت های اولیه ZEN ۲۵ و ۱۲۵ میکروگرم بر لیتر، میانگین راندمان حذف به ترتیب ۵۲/۲۶ و ۸۳/۸۲ درصد و انحراف استاندارد ۵۱/۰ و ۹۹/۰ به دست آمد، در حالی که این نتایج نشان دهنده تفاوت معنی دار بین غلظت ها می باشد (P<0.05).

۳-٤- تأثیر غلظت اولیه بر جذب ZEN تأثیر غلظت اولیه ZEN بر راندمان حذف در محدوده غلظت تأثیر غلظت اولیه ZEN بر راندمان حذف در محدوده غلظت ۲۵ تا ۱۲۵ میکروگرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲۰۵ تا ۱۲۵ میکروگرم بر لیتر کاهش یافت. با افزایش بیشتر ZEN تا ۱۲۵ میکروگرم بر لیتر کاهش یافت. با افزایش بیشتر غلظت ZEN در محلول آبی، راندمان جذب کاهش یافت. از طرف دیگر، هر چه غلظت ZEN بدون تغییر در جرم جاذب در محلول بیشتر باشد، جرم مولکولهای ZEN در



Fig 6 Effect of initial concentration of ZEN (A) and SNPs (B) on ZEN removal efficiency جاذب، راندمان حذف ممكن است كاهش يابد. حداكثر

راندمان حذف با به کار بردن ٤ میلی گرم SNPs برای جذب ZEN به دست آمد، بنابراین این مقدار به عنوان بهترین مقدار برای SNPs انتخاب شد.

جاذبهای مایکوتوکسین در حال حاضر مستقیمترین، عملی ترین و امکان پذیر ترین راه برای کاهش آلودگی ZEN در مواد غذایی هستند و بسیاری از انواع جاذبهای مایکوتوکسین معمولاً در بازار استفاده میشوند. به عنوان مثال، افزودن درصد کمی از عوامل ضد قارچی (اسید سوربیک، اسید بنزوئیک، پروپیونات کلسیم و اسید پروپيونيک) مي تواند آلودگي را به ميزان قابل توجهي کاهش دهد. اما کیفیت این جاذب ها متفاوت است و استاندارد ملی ۳-۵- تاثیر مقدار SNPs بر جذب ZEN

شکل B ٦ اثر مقدار SNPs به عنوان جاذب بر جذب ZEN را نشان میدهد. در این مرحله، حذف ZEN توسط SNPs با مقادیر مختلف جاذب از ۰ تا ۸ میلی گرم مورد مطالعه قرار گرفت. در نتیجه، با افزایش SNPs تا ٤ میلی گرم، راندمان حذف ZEN افزایش یافت که منجر به افزایش سطح جاذب و همچنین فرآیند جذب شد. پس از افزودن مقادیر بیشتری از SNPs، راندمان حذف ZEN تقريباً بدون تغيير باقى ماند. افزایش SNPs در محلول ممکن است باعث ایجاد تجمع جاذب شود. بنابراین، سایتهای جذب موجود ممکن است کارایی موثر جذب را کاهش دهند. بنابراین، با افزایش دوز

واحدی برای آنها وجود ندارد. بنابراین، ضرورت زیادی برای ایجاد یک روش ارزیابی خاص برای بررسی اثر سمزدایی جاذبهای مایکوتوکسین وجود دارد [۲۲].

Savi و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که نانوذرات سیلیکا مسوپور (MSN) توانایی خوبی در جذب آفلاتوکسین B1 (AFB1)دارند. نتایج نشان داد که با غلظت ۰/۱ میلی گرم در میلی لیتر MSN، ظرفیت جذب AFB1 به ۳۰٪ میرسد که با افزایش غلظت به ۲ میلی گرم در میلی لیتر، به ۷۰٪ افزایش مییابد. این نانوذرات در مدت زمان کوتاهی (حدود ۱۵ دقیقه) حدود ۲۷٪ از AFB1 را جذب کرده و ظرفیت جذب آنها در محلول پایدار میماند [۱٤]

#### ۳–٦– مطالعه سینتیک جذب

جذب، به دلیل طراحی و عملکرد نسبتاً ساده، مقرون به صرفه بودن و کارایی انرژی، یکی از مهمترین و پرکاربردترین روشها به شمار میآید [۲۲]. برای مطالعه نتایج تجربی، از مدلهای شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم برای بررسی فرآیند جذب و ارزیابی مکانیسم سینتیکی جذب استفاده شد [۲۲]. به منظور بررسی مکانیسم جذب و توانایی سرعت کنترل مراحل جذب، مانند انتقال جرم و فرآیندهای واکنش شیمیایی، از مدلهای سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم برای آزمایش دادههای تجربی استفاده شد. فرض بر این بود که مرتبه واکنش و ثابت سرعت توسط آزمایشها تعیین شود [۲۲]. این دو مدل در طیف گستردهای از سیستمهای جذب، از زیست توده گرفته تا نانومواد به عنوان جاذب، به کار گرفته شدهاند [۲۲]. تجزیه و آنالیز در شرایط تعادل برای ارزيابي تمايل يا ظرفيت يک جاذب بسيار مهم و اساسي است. بنابراین، تعیین اینکه چگونه میزان جذب به غلظت جاذب و جذب شونده در یک محلول بستگی دارد و چگونه سرعت جذب تحت تأثير ظرفيت جذب يا ويژگي جاذب از نظر سینتیکی قرار می گیرد، مهم است. این مدل ها با معادله ۳

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

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + t/q_e$$
 (2)

که  $q_e$  مقدار ZEN در شرایط تعادل بر حسب میکروگرم بر بر گرم،  $q_t$  مقدار ZEN در هر زمان بر حسب میکروگرم بر گرم،  $k_1$  مقدار Mar در هر زمان بر حسب میکروگرم بر گرم،  $k_1$  ثابت سرعت شبه مرتبه دوم بر حسب <sup>1</sup>-min<sup>-1</sup> و  $g \cdot \mu g^{-1} \cdot min^{-1}$  می-ثابت سرعت شبه مرتبه دوم بر حسب <sup>1</sup> nin<sup>-1</sup> ساب  $g \cdot \mu g^{-1} \cdot min^{-1}$  می-باشند. بر اساس نمودار خطی ( $q_e - q_t$ ) در برابر t در معادله ۳ (شکل VA) و  $t/q_t$  در برابر t در معادله ٤ (شکل B )، پارامترهای  $k_1$  مو  $k_2$  به دست آمدند. مقدار  $q_p$  برابر ۲۱/۰۲ میکروگرم بر گرم محاسبه شد.

همانطور که نشان داده شد، ضریب همبستگی مدل سینتیکی مرتبه اول برای جذب ZEN کمتر از ضریب همبستگی در مدل مرتبه دوم است. این نتایج نشان میدهد که مدل شبه مرتبه دوم می تواند سینتیک جذب ZEN توسط SNPs را بسیار بهتر از مدل شبه مرتبه اول نشان دهد. بنابراین مدل شبه مرتبه دوم استفاده شد، که نشان داد که سرعت جذب به غلظت جذب شونده وابسته نيست، بلكه به ظرفيت جذب بستگی دارد [۲۲]. اگر مدل سینتیکی به خوبی با مدل شبه مرتبه اول مطابقت داشته باشد، نشان میدهد که واکنش بیشتر به سمت جذب فیزیکی (فرایند کنترلشده انتشار) تمایل دارد. به طور مشابه، اگر واکنش به خوبی با مدل شبه مرتبه دوم مطابقت داشته باشد، نشان دهنده تمایل به جذب شیمیایی (واکنش جذب در سطح مشترک مایع / جامد در جاذب) را نشان میدهد [۲۲]. جدول ۱ پارامترهای سینتیکی محاسبه شده را نشان میدهد. بنابراین، این نتایج نشان داد که مرحله محدودکننده سرعت، انتشار فیلم مایع در فرآیند جذب بود [۲۲].

DOI: 10.22034/FSCT.21.157.31 ]

Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-08



Fig 7 Plots of pseudo-first (A) and pseudo-second (B) order kinetic models of ZEN adsorption on silica NPs

Table 1 Parameters	of kinetic	models in	ZEN adsor	ption by	<b>SNPs</b>
--------------------	------------	-----------	-----------	----------	-------------

Sorbent	Pseudo-first-order			Pseudo	-second-ord	er
Silice ND-	Regression equation	k 1 ( min <sup>-1</sup> )	<b>R</b> 2	Regress ion equation	$k_2$ (g $\mu g^{-1}min^{-1}$ )	2
Silica NPS	$ \frac{Ln (q_e - q_t)}{= 4.0853 - 0.0068} $ t	0 .0068	0 .949 1	$t/q_t =$ 1.256 + 0.0201 t	0.00 021	.9 8 4 4

۳–۷– ایزوترم جذب

ایزوترمها در ارزیابی فرآیند جذب، به عنوان یکی از جزئیات مهم، توزیع گونه مورد نظر را بین فاز جاذب یا جامد و محلول حاوی آنالیت یا فاز مایع پس از رسیدن فرآیند جذب به حالت تعادل، نشان میدهد. برای ارزیابی ایزوترمهای تعادلی در فرآیند جذب، مدلهای لانگمویر و فروندلیچ اغلب مورد استفاده قرار می گیرند [۲۲]. توزیع همگن سطح جاذب با سایتهای مشابه، با استفاده از مدل لانگمویر بر اساس معادله زیر مورد بررسی قرار می گیرد:

$$C_e/q_e = C_e/q_m + 1/K_L q_m \tag{0}$$

که  $q_e$  ،(µg/l) که Ce غلظت تعادلی یک ماده در محلول (µg/l)،  $q_m$  مقدار (µg/g) در هر گرم جاذب در شرایط تعادل (µg/g)، ZEN

حداکثر مقدار XEN در هر گرم جاذب ( $\mu g/g$ ) و KL ثابت Wiگمویر ( $\mu g/g$ ) است. نمودار خطی Ce/qe در برابر eC در شکل AA می تواند برای اندازه گیری پارامترهای  $q_m$  و KL استفاده شود. با نشان دادن سطح به عنوان سایتهای جذب متنوع و توزیع ناهمگن، مدل فروندلیچ به عنوان یک مدل جذب چند لایه، بر روی سطح جاذبها بر اساس رابطه زیر مورد استفاده قرار می گیرد:  $q_e = K_F C_e^{1/n}$ 

معادله فوق در حالت خطی با معادله زیر ارائه می شود:

$$\operatorname{Ln} \mathbf{q}_{\mathrm{e}} = \ln \mathbf{K}_{\mathrm{F}} + 1/n \ln \mathbf{C}_{\mathrm{e}} \tag{V}$$

DOI: 10.22034/FSCT.21.157.31 ]

که  $q_e$  مقدار ZEN در هر گرم جاذب در شرایط تعادل  $C_e$  مقدار  $K_F$ ، ( $\mu g/g$ )، n شدت جذب و  $C_e$  غلظت تعادلی یک ماده در محلول ( $\mu g/l$ ) است. بر اساس نمودار خطی  $q_e$  ماده در برابر  $(\mu g/l)$  همانطور که در شکل  $M_e$  نشان داده شده است، پارامترهای  $K_F$  و n را می توان محاسبه کرد.

عملکرد جذب جاذب با توجه به مدلهای فوق با افزودن ٤ میلی گرم SNPs به ٢٥ میکرو گرم بر لیتر ZEN به عنوان غلظت اولیه به مدت ٢٤٠ دقیقه ارزیابی شد. غلظت باقیمانده ZEN توسط HPLC اندازه گیری شد و پارامترها در مدل-های فروندلیچ و لانگمویر محاسبه شدند (جدول ٢). این نتایج نشان داد که تحت شرایط تجربی مورد مطالعه، جذب نتایج نشان داد که تحت شرایط تجربی مورد مطالعه، جذب دلیل ضریب همبستگی بالا نشان داد. بر این اساس، مدل فروندلیچ به عنوان یک مدل مناسب برای ارزیابی تعادل جذب ZEN بر روی SNPs شناخته شد، که یک سطح چندلایه و ناهمگن در فرآیند جذب را ارائه کرد.

مطالعات پیشین در زمینه مدلسازی کاهش یا حذف مایکوتوکسینها، به ویژه آفلاتوکسین، متنوع هستند و از

رویکردهای مختلفی برای مدلسازی و پیشبینی این فرآیندها استفاده کردهاند.[۲۵] برخی از این مطالعات به بررسى سينتيك جذب واجذبيت جاذبهاى مختلف براى آفلاتوکسین پرداختهاند، در حالی که دیگران از مدلهای رياضي براي شبيهسازي و پيش بيني حذف آفلاتو کسين استفاده کردهاند[۲۷, ۲۷]. مطالعهای از هاشمی و امیر در سال ۲۰۲۰ نشان داد که مدلسازی با استفاده از مدل Langmuir و Freundlich به خوبی میتواند جذب آفلاتوکسین B1 توسط نانوذرات گرافن اکسید را توصیف کند و با دادههای آزمایشگاهی سازگاری دارد [۲۸]. همچنین عباسی و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که نانوکامیوزیت گرافن اکسید مغناطیسی (MGO) به طور موثری برای حذف همزمان آفلاتوكسين (AFB1) B1 و اوكراتوكسين (AFB1) قابل استفاده است. بهینهسازی شرایط با استفاده از روش سطح پاسخ نشان داد که بهینهسازیpH ، زمان و دما موثر در جذب این مایکوتوکسین،ها است. مدل کینتیکی پسودو-دومین و ایزوترم فروندلیش به خوبی با دادههای تجربی همخوانی داشته و نشان داد که جذب این مایکوتوکسین ها به صورت اندرکنش های فیزیکی نظیر اتصال هیدروژنی، استوکیمگ پای پای، الکترواستاتیک و هیدروفوبیک رخ میدهد.



Fig 8 Plots of Langmuir isotherm (A) and Freundlich isotherm (B) models of SNPs for ZEN adsorption Table 2 Langmuir and Freundlich isotherm constants in ZEN adsorption by SNPs

orbent	Langmuir isotherm model		Freundlich isotherm model			
	q_m μg/g)(	K <sub>L</sub> (L μg <sup>-1</sup> )		$\frac{K_{F}}{(\mu g} g^{-1})(L \mu g^{-1})^{1/n}$	n	R <sup>2</sup>
SNPs	303.03	0.262	0.9764	77.29	2.431	0.9979

فیزیکوشیمیایی محصولات غذایی ندارد [۲۲]. اشعه UV همچنین می تواند به راحتی از طریق مایعات شفاف نفوذ کند، اما نفوذ آن به ترکیبات جامد محدود است. بنابراین، بازده سمزدایی در محصولات مرتبط با مواد غذایی حاوی مقادیر بالایی از مواد جامد معلق پایین است [۲۲]. بنابراین، در آزمایشات سمزدایی با اشعهUV ، محصولات غذایی غیر شفاف یا پودری باید به صورت یک لایه نازک استفاده شوند [۲۲].

موراتا و همکارانش تأثیر تابش ضعیف UV (20 mW cm<sup>2</sup>) مورد و قوی UV (20 mW cm<sup>2</sup>) را برای کاهش سطح ZEN مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه آنها، ZEN (۳۰ میلیگرم بر کیلوگرم) به ترتیب با تابش قوی در طی ۱۵ دقیقه و تابش ضعیف در طی ۲۰ دقیقه به طور کامل کاهش یافت [۲۲]. در کار دیگری، ۲۲ تا ۷۹ ٪ از ZEN در دانههای ذرت پس از قرار گرفتن در معرض نور UV در 20 J/cm<sup>2</sup> کاهش یافت [۲۲]. در مطالعه حاضر، سطح ZEN به طور قابل توجهی به کاهش یافت. UV تخريب ZEN توسط تابش UV

به منظور مقابله با سموم، تابش UV به دلیل حساسیت نوری بلندمدت به عنوان يک روش فيزيکي بسيار موثر شناخته شده است. تابش UV به عنوان یک روش غیرحرارتی برای ضدعفونی مواد غذایی، برتریهایی مانند سازگاری با محیط زیست، مقرون به صرفه بودن، و عملی بودن را ارائه میدهد و همچنین نتایج سمیت و تولید زباله را به تصویر نمیکشد [۲۲]. تأثیر این فرآیند وابسته به پارامترهایی مانند زمان قرار گرفتن در معرض تابش و شدت تابش است. درمان UV در این مطالعه در ۲٦٥ نانومتر نشان داد که سطح ZEN با تابش UV در طول ۱۸۰ دقیقه به ۹۸/۸۱ کاهش یافت (شکل ۹). مکانیسم سمزدایی در سراسر پرتوهای UV در ماكرومولكولها به شكستن پيوندهاي شيميايي بستگي دارد که منجر به ایجاد واحدهای کوچک درشت مولکول می شود. اگرچه مکانیسم دقیق کاهش و غیرفعال شدن ZEN توسط اشعه UV ناشناخته است، اما ممكن است به دليل تجزيه ساختار این سم به قطعات غیرسمی یا کمتر سمی باشد. در کل، بر اساس نتایج گزارش شده، استفاده از مقادیر تابش UV ضعیف، اثرات بسیار مضری بر ویژگیهای حسی و



Fig 9 Effect of UV irradiation on ZEN adsorption with variation of time

آمد. علاوه بر این، دادههای سینتیکی بر اساس مدل فروندلیچ با مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم تطابق نشان دادند. این دادهها حاکی از آن هستند که SNPs دارای بیشترین ظرفیت جذب بوده و همچنین می توانند به عنوان یک جاذب مناسب برای حذف ZEN در روغن آفتابگردان مورد استفاده قرار گیرند. مطالعه حاضر تایید کرد که اثر SNPs در کاهش مقدار ZEN بسیار موثر تر از تابش UV بوده است. مشخص شد که فر آیند جذب با مدل فروندلیچ سازگارتر است ، و این نشانگر روند جذب برای ZEN توسط SNPs است که توسط یک جاذبه چندگانه در سطح لایه و بین لایه های ساختار سیلیکا صورت می گیرد. مکانیسم جذب احتمالی به این صورت است که گروه عملکردی مولکول زیرالنون می تواند با گروههای سيليكا پيوند شيميايي خاصي واكنش نشان دهد، بنابراين جذب شیمیایی خوبی برای ZEN اتفاق افتاد. به طور کلی تعامل شیمیایی با گروههای عاملی SNPs به و همچنین تخلخل این ذرات به نظر میرسد مکانیسم اصلی جذب ZEN بر روی سطح جاذب است. استفاده از SNPs در كاهش ZEN در مقايسه تابش UV مؤثرتر بود. انتخاب ارزانترین هزینه در فرایند حذف آلودگی از محصولات آلوده خوراک بسیار مهم است و در این کار موثرترین روش

# ۳–۹– تعیین مقدار کمی ZEN در نمونه روغن آفتابگردان

برای ارزیابی کیفیت روش جدید سمزدایی توسط SNPs، یک نمونه روغن آفتابگردان خالص توسط تزریق ۲۵ میکروگرم بر لیتر ZEN آلوده شد و با تابش UV مقایسه شد. بر اساس شرایط بهینه و زمان در معرض قرار گرفتن، راندمان حذف ZEN توسط SNPs و تابش UV به ترتیب (۱۸۰ در ۲٤۰ دقیقه و ۲۲/۲۹٪ در ۱۸۰ دقیقه برآورد شد. نتایج نشان داد که ZEN، با راندمان حذف بالا در نمونههای روغن آفتابگردان بسیار حساس به SNPs و تابش UV

## ٤- نتيجه گيرى

در این مطالعه، اثر SNPs به عنوان جاذب و همچنین تابش UV، بر روی نمونه روغن آفتابگردان با ZEN مورد بررسی قرار گرفت. نمونه روغن آفتابگردان خالص آلودگی SNPs را نشان نداد. بهترین شرایط برای حذف ZEN توسط SNPs به در زمان تماس به مدت ۲٤۰ دقیقه با غلظت اولیه ZEN به مقدار ۲۵ میکروگرم بر لیتر و ٤ میلیگرم SNPs به دست اندازه منافذ ریز، آبدوستی و سطح جذب بسیار بالا بهدلیل نسبت سطح به حجم چشمگیر می تواند به عنوان یک ترکیب جدید جهت ساخت فیلم در صنعت بسته بندی و نگهداری مواد غذایی معرفی گردد. در نتیجه، این روش می تواند به عنوان یک روش موثر برای حذف قابل توجه ZEN در نمونه های طبیعی مانند روغن خوراکی قابل استفاده باشد.

- [7] Akhavan-Mahdavi S, Mirzazadeh M, Alam Z, Solaimanimehr S. The effect of chitosan coating combined with cold plasma on the quality and safety of pistachio during storage. Food Science & Nutrition. 2023;11(7):4296-307.
- [8] Noroozi R, Sadeghi E, Rouhi M, Safajoo S, Razmjoo F, Paimard G, et al. Fates of aflatoxin B1 from wheat flour to Iranian traditional cookies: Managing procedures to aflatoxin B1 reduction during traditional processing. Food science & nutrition. 2020;8(11):6014-22.
- [9] Zhang W, Zhang S, Wang J, Dong J, Cheng B, Xu L, et al. A novel adsorbent albite modified with cetylpyridinium chloride for efficient removal of zearalenone. Toxins. 2019;11(11):674.
- [10] Poór M, Faisal Z, Zand A, Bencsik T, Lemli B, Kunsági-Máté S, et al. Removal of zearalenone and zearalenols from aqueous solutions using insoluble betacyclodextrin bead polymer. Toxins. 2018;10(6):216.
- [11] Wu N, Ou W, Zhang Z, Wang Y, Xu Q, Huang H. Recent advances in detoxification strategies for zearalenone contamination in food and feed. Chinese Journal of Chemical Engineering. 2021;30:168-77.
- [12] Wang N, Wu W, Pan J, Long M. Detoxification strategies for zearalenone using microorganisms: A review. Microorganisms. 2019;7(7):208.
- [13] Tan H, Guo T, Zhou H, Dai H, Yu Y, Zhu H, et al. A simple mesoporous silica nanoparticle-based fluorescence aptasensor for the detection of zearalenone in grain and cereal products.

استفاده از یک جاذب که هرینه و بی اثر در حذف آفلاتوکسینها است. استفاده از SNPs همچنین باعث کاهش سطح ZEN به همان روش وابسته به زمان، اما با سرعت بیشتری می شود. بنابراین در شرایط آزمایشگاهی تأیید شد که SNPs در کاهش سطح ZEN مؤثر است. SNPs سنتز شده هیچ گونه اثر سمی و مخرب بر روی مواد غذایی ندارد و با توجه به ویژگیهای منحصربه فرد همچون ٥- منابع

- [1] Ahmadi M, Jahed Khaniki G, Shariatifar N, Molaee-Aghaee E. Investigation of aflatoxins level in some packaged and bulk legumes collected from Tehran market of Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2022;102(16):4804-13.
- [2] Fakhri Y, Ghorbani R, Taghavi M, Keramati H, Amanidaz N, Moradi B, et al. Concentration and prevalence of aflatoxin M1 in human breast milk in Iran: Systematic review, meta-analysis, and carcinogenic risk assessment: A review. Journal of food protection. 2019;82(5):785-95.
- [3] Babakhanian A, Momeneh T, Aberoomandazar P, Kaki S, Torki M, Kiaie SH, et al. A fabricated electro-spun sensor based on Lake Red C pigments doped into PAN (polyacrylonitrile) nano-fibers for electrochemical detection of Aflatoxin B1 in poultry feed and serum samples. Analyst. 2015;140(22):7761-7.
- [4] Richard JL. Some major mycotoxins and their mycotoxicoses—An overview. International journal of food microbiology. 2007;119(1-2):3-10.
- [5] Gazzah AC, Camoin L, Abid S, Bouaziz C, Ladjimi M, Bacha H. Identification of proteins related to early changes observed in Human hepatocellular carcinoma cells after treatment with the mycotoxin Zearalenone. Experimental and toxicologic pathology. 2013;65(6):809-16.
- [6] Poór M, Kunsági-Máté S, Bálint M, Hetényi C, Gerner Z, Lemli B. Interaction of mycotoxin zearalenone with human serum albumin. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 2017;170:16-24.

- [21] Garcia D, Ramos AJ, Sanchis V, Marín S. Modeling kinetics of aflatoxin production by Aspergillus flavus in maize-based medium and maize grain. International journal of food microbiology. 2013;162(2):182-9.
- [22] Buckley A, Greenblatt M. The sol-gel preparation of silica gels. journal of chemical education. 1994;71(7):599.
- [23] Al-Harbi T, Al-Hazmi F, Mahmoud WE. Synthesis and characterization of nanoporous silica film via non-surfactant template sol–gel technique. Superlattices and Microstructures. 2012;52(4):643-7.
- [24] Zhao Z, Liu N, Yang L, Wang J, Song S, Nie D, et al. Cross-linked chitosan polymers as generic adsorbents for simultaneous adsorption of multiple mycotoxins. Food Control. 2015;57:362-9.
- [25] Aguilar-Zuniga K, Laurie VF, Moore-Carrasco R, Ortiz-Villeda B, Carrasco-Sánchez V. Agro-industrial waste products as mycotoxin biosorbents: a review of in vitro and in vivo studies. Food Reviews International. 2023;39(5):2914-30.
- [26] Jard G, Liboz T, Mathieu F, Guyonvarc'h A, Lebrihi A. Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. Food Additives & Contaminants: Part A. 2011;28(11):1590-609.
- [27] Pourmohammadi K, Sayadi M, Abedi E, Mousavifard M. Determining the adsorption capacity and stability of Aflatoxin B1, Ochratoxin A, and Zearalenon on single and co-culture L. acidophilus and L. rhamnosus surfaces. Journal of Food Composition and Analysis. 2022;110:104517.
- [28] Hashemi SMB, Amiri MJ. A comparative adsorption study of aflatoxin B1 and aflatoxin G1 in almond butter fermented by Lactobacillus fermentum and Lactobacillus delbrueckii subsp. lactis. LWT. 2020;128:109500.

Analytical and bioanalytical chemistry. 2020;412:5627-35.

- [14] Savi GD, Torres Zanoni E, Scussel R, Córneo EdS, Guimarães Furtado B, Macuvele DLP, et al. Mesoporous silica nanoparticles adsorb aflatoxin B1 and reduce mycotoxin-induced cell damage. Journal of Environmental Science and Health, Part B. 2023;58(1):1-9.
- [15] Horky P, Skalickova S, Baholet D, Skladanka J. Nanoparticles as a solution for eliminating the risk of mycotoxins. Nanomaterials. 2018;8(9):727.
- [16] Liu M, Zhao L, Gong G, Zhang L, Shi L, Dai J, et al. Invited review: Remediation strategies for mycotoxin control in feed. Journal of Animal Science and Biotechnology. 2022;13(1):19.
- [17] Haidukowski M, Casamassima E, Cimmarusti MT, Branà MT, Longobardi F, Acquafredda P, et al. Aflatoxin B1adsorbing capability of Pleurotus eryngii mycelium: efficiency and modeling of the process. Frontiers in Microbiology. 2019;10:1386.
- [18] Kifer D, Jakšić D, Šegvić Klarić M. Assessing the effect of mycotoxin combinations: which mathematical model is (the most) appropriate? Toxins. 2020;12(3):153.
- [19] Raesi S, Mohammadi R, Khammar Z, Paimard G, Abdalbeygi S, Sarlak Z, et al. Photocatalytic detoxification of aflatoxin B1 in an aqueous solution and soymilk using nano metal oxides under UV light: Kinetic and isotherm models. Lwt. 2022;154:112638.
- [20] Nicolau-Lapeña I, Rodríguez-Bencomo JJ, Colás-Medà P, Viñas I, Sanchis V, Alegre I. Ultraviolet applications to control patulin produced by Penicillium expansum CMP-1 in apple products and study of further patulin degradation products formation and toxicity. Food and Bioprocess Technology. 2023;16(4):804-23.



Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:<u>www.fsct.modares.ir</u>

#### Scientific Research

### Evaluation the Effect of Silica Nanoparticles and Ultraviolet Process on Deoxynivalenol Detoxification in Sunflower Oils

Neda Ghaffari<sup>1</sup>, Ehsan Sadeghi<sup>\*2</sup>, Nasrin Choobkar<sup>3</sup>

1- Food Department, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

2- Research Center for Environmental Factors Affecting Health, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran

3- Plant Biotechnology Research Center, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article History: Received:2024/3/5 Accepted:2024/7/3	In this study, the effect of silica nanoparticles (SNPs) and UV radiation on the removal of zearalenone (ZEN) from sunflower oil was investigated. Pure sunflower oil samples showed no contamination with ZEN. The optimal conditions for ZEN removal using SNPs were determined to be a contact time of
Keywords:	240 minutes, an initial ZEN concentration of 25 $\mu$ g/L, and 4 mg of SNPs. The kinetic data conformed to the Freundlich model
Silica Nanoparticles,	and pseudo-second-order model. The results showed that SNPs have a high adsorption capacity and act as an effective adsorbent
Zearalenone,	for removing ZEN from sunflower oil. The effect of SNPs in
Sunflower Oil,	reducing ZEN was significantly more effective than UV
UV Radiation,	radiation. The probable adsorption mechanism includes the chemical bonding of ZEN functional groups with silica groups
Adsorption	and the high porosity of SNPs. Due to the low cost and non-
	toxic nature, the use of SNPs was introduced as an effective method for ZEN removal from food products. This method can
DOI: 10.22034/FSCT.21.157.31.	be utilized as an efficient approach for ZEN removal in natural samples like edible oil.

\*Corresponding Author Eehsan.sadeghi59@yahoo.com