

بهینه‌سازی شرایط عملیاتی و نقش امواج فراصوت در سنتز سبز نانوذره‌های نقره با عصاره برگ درخت سیب

سرورین محمدی اقدم^{۱*} و امید احمدی^۲

۱. استادیار گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲. دکترای مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.

دریافت: بهمن ۱۴۰۱ بازنگری: اسفند ۱۴۰۱ پذیرش: فروردین ۱۴۰۲



10.30495/JACR.2023.1979194.2096



20.1001.1.27835324.2023.17.1.5.3

چکیده

عصاره برگ درخت سیب از مواد مؤثر در سنتز نانوذره‌های نقره بوده که نتیجه‌های به‌دست آمده از آنالیز FTIR نشان از وجود چندین عامل کاهنده داشت. سنتز نانوذره‌ها از اختلاط ۲ میلی‌لیتر عصاره به همراه ۸ میلی‌لیتر محلول نقره نیترات طبق طراحی آزمایش انجام گرفته با روش پاسخ سطح در بازه دمایی گرمادهی ۳۰ تا ۷۰ °C و زمان فراصوت ۵ تا ۲۵ دقیقه سنتز شد. پس از بهینه‌سازی انجام گرفته نتیجه‌ها نشان داد دمای ۵۲°C و مدت زمان ۱۵ دقیقه مناسب‌ترین حالت برای سنتز نانوذره‌ها بوده که در این حالت بیشترین غلظت ۲۷/۱۰ ppm، کمترین میانگین اندازه ذره‌ها ۶۶ نانومتر و بالاترین ویژگی پاداکسندگی ۳۱/۴۸٪ به‌دست خواهد آمد. نتیجه‌های به‌دست آمده از تجزیه‌های UV-Vis و DLS در نقطه بهینه با اختلاف جزئی تأیید شد. شاخص پراکندگی و پتانسیل زتا به ترتیب ۰/۳۹۷ و ۲۱/۲ mV به‌دست آمد. نانوذره‌های نقره ویژگی مناسب پادباکتریایی در مقابل باکتری *استافیلوکوکوس اورئوس* و *اشرشیا کولی* به ترتیب با قطر هاله ۵۶ و ۴۸ میلی‌متر از خود نشان داد. ویژگی پادقارچی نانوذره‌ها ۷۲٪ به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: فراصوت، سنتز سبز، عصاره برگ درخت سیب، طراحی آزمایش، نانوذره‌های نقره.

مقدمه

ریزاندامگان‌ها است، استفاده می‌شود. اتم‌های کاهش‌یافته کم‌کم به هم چسبیده و نانوذره‌ها شکل می‌گیرند [۸ و ۹].

درخت سیب با نام علمی *M. pumila* به خاطر میوه شیرین و گوشتی‌اش شناخته شده است. در سرتاسر دنیا، این درخت برای میوه‌اش کشت می‌شود. برگ‌های درخت سیب مواد و ویتامین‌های مهمی دارند که ارزش غذایی و دارویی آن‌ها را بالا می‌برد، از جمله این مواد می‌توان به آهن، روی، آلومینیم، فسفر و مس اشاره کرد. افزون بر این در برگ درخت سیب ساپونین و کومارین، فرار، فلاونوئیدها و تانن هم وجود دارد. از فواید این برگ می‌توان به ویژگی پادالتهابی و درمان سرفه یا مشکل‌های دستگاه تنفسی اشاره کرد. برگ سیب غشاهای مخاطی را نرم می‌کند و می‌تواند اختلالات دستگاه گوارش را هم برطرف کند. با توجه به مواد موجود در این برگ پتانسیل کاهندگی بالایی برای سنتز سبز نانوذره‌ها می‌تواند داشته باشد [۱۰]. با استفاده از مواد کاهنده موجود در برگ درختان متفاوت و در کنار هم قراردادن آن‌ها با نمک‌های فلزی، امکان وجود سنتز نانوذره‌ها وجود دارد، ولی در برخی موارد برای تسریع سنتز نانوذره‌ها از روش‌های متفاوت گرمایی با به‌کارگیری دم‌فشار، مایکروویو، گرمکن، حمام بن ماری و سایر دستگاه‌های گرمایی استفاده می‌شود [۹، ۱۱ و ۱۲].

به‌کارگیری امواج فراصوت این روند را تسریع و نقش بهتر و مهم‌تری در سنتز نانوذره‌ها ایفا می‌کند. کاهش نمک‌های فلزی با امواج فراصوت مزایای قابل توجه و زیادی نسبت به سایر روش‌های متعارف دارد. برای مثال، در شرایطی ویژه و برای برخی واکنش‌ها هیچ عامل کاهنده شیمیایی مورد نیاز نیست، زمان واکنش‌ها به‌نسبت کوتاه هستند و تولید ذره‌های بسیار کوچک نیز امکان‌پذیر است. در این مورد، صوت کافت^۱ مایع‌های آبی منجر به تولید رادیکال‌های آزاد H و OH می‌شود و رادیکال‌های H تولیدشده با امواج فراصوت به‌عنوان عامل کاهنده عمل می‌کنند [۱۳]. برای بهتر انجام‌شدن آزمایش‌ها و کاهش دفعات تکرار آزمایش‌ها، طراحی آزمایش روش مناسبی

از دیرباز تاکنون نقره به‌علت ویژگی پادباکتریایی خود شهرت یافته است. در واقع نانوذره‌های نقره به دلیل رهایش یون نقره چنین ویژگی را علیه باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی از خود نشان می‌دهند و موجب ایجاد ویژگی پادباکتریایی و پادمیکروبی می‌شوند [۱ و ۲]. در میان فلزها، نانوذره‌های نقره یکی از کاربردی‌ترین نانوذره‌ها نسبت به سایر نانوذره‌های فلزی است. نانوذره‌های نقره به‌طور گسترده‌ای در فرایندهای کاربردی بزرگ و برای سال‌های زیاد نقره کلوئیدی به‌عنوان یک ماده مفید برای ویژگی پادمیکروبی آن استفاده شده است. دارورسانی، زیست‌حسگرها، نانوپزشکی، تصویر برداری از کاربردهای متداول نانوذره‌های نقره است. همچنین، در حال حاضر ویژگی پادباکتریایی آن بسیار موردتوجه قرار دارد [۳]. نانوذره‌ها با روش‌های متفاوتی تهیه می‌شوند که برای مثال، می‌توان به روش‌های فیزیکی، شیمیایی و سنتز سبز اشاره کرد [۴]. سنتز نانوذره با استفاده از ریزاندامگان‌ها و گیاهان (سنتز سبز) می‌تواند در افزایش ویژگی پادباکتریایی و پادمیکروبی یاری‌دهنده باشد [۵]. استفاده از گیاهان برای سنتز نانوذره با حذف خیلی از فرایندهای پیچیده کشت سلول می‌تواند فرایندی سودمند و بی‌خطر باشد. روش‌های سنتز سبز ساده‌ترین، کم هزینه، غیرسمی، سازگار با محیط‌زیست و کارآمد برای بهره‌برداری هستند. مواد ارگانیک متفاوتی در سامانه‌های زیستی استفاده می‌شوند همچون گیاه، قارچ، باکتری که موفقیت‌های خوبی در سنتز نانوذره‌های فلزی داشته‌اند [۶ و ۷].

در سال‌های اخیر، از بخش‌های متفاوت مواد گیاهی برای سنتز نانوذره‌ها استفاده شده است. سنتز نانوذره‌های فلزی با گیاهان به‌دلیل سادگی فرایند، سرعت سریع سنتز، تولید شکل‌های گوناگون و سازگار بودن با محیط‌زیست از اهمیت بالایی برخوردار است. سازوکار سنتز نانوذره‌ها با ریزاندامگان‌ها و گیاهان مشابه است و در هر دو، نمک فلزی متشکل از یون فلزی و یک عامل کاهنده که منبع آن مواد موجود در گیاهان و

بررسی ویژگی پادمیکروبی (پادباکتریایی و پادقارچی) PCA^۲ و PDA^۳ بودند که از شرکت اوکساید^۴ (انگلستان) خریداری شدند. برای بررسی ویژگی پاداکسندگی، ماده ۲ و ۲ دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH^۵) از شرکت سیگما خریداری و استفاده شد.

تهیه عصاره برگ درخت سیب

برگ درخت سیب جمع آوری شده با آب مقطر شسته شد و چون در برگ درخت سیب آب زیادی وجود دارد، به مدت ۵ روز در دمای محیط قرار داده شد. پس از خشک شدن کامل آن، ۲ گرم از برگ پودر شده به ۱۰۰ میلی لیتر آب در حال جوش افزوده و ۱۰ دقیقه فرصت داده شد تا عصاره گیری کامل انجام شود. سپس، با صاف کردن آن با کاغذ واتمن شماره ۱، عصاره به دست آمد و در دمای یخچال (۴ °C) نگهداری شد.

طراحی آزمایش و تحلیل آماری داده‌ها برای سنتز سبز نانوذره‌های نقره با امواج فراصوت

بخش مهم و در واقع مهم‌ترین مسئله پژوهش حاضر، بررسی آثار اصلی و اثر متقابل متغیرهای انتخاب شده برای بهینه‌سازی شرایط سنتز نانوذره‌های نقره است. از این رو، طرح آماری سطح پاسخ برای بخش حاضر انتخاب شد. این روش مجموعه‌ای از روش‌های آماری است که در بهبود فرایندهایی به کار می‌رود که پاسخ مورد نظر با تعدادی از متغیرها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل وایزش درجه دوم و اثر متقابل عامل‌ها، قابل برآورد هستند. در سنتز سبز نانوذره‌های فلزی با امواج فراصوت، متغیرهای عملیاتی متفاوتی می‌توانند اثرگذار باشند که شامل: دمای دستگاه فراصوت، مدت به کارگیری امواج فراصوت و شدت موج به کار گرفته شده هستند. در پژوهش حاضر، بهینه‌سازی و طراحی آزمایش برای

است که اثرات انواع متغیرهای در نظر گرفته شده را بررسی می‌کند و بهترین نتیجه را برای سنتز ارائه می‌دهد [۱۴]. در این میان روش پاسخ سطح^۱ برای بهینه‌سازی و برابند متغیرهای در نظر گرفته شده مناسب‌ترین روش طراحی آزمایش است. با این روش، تعدادی متغیر مستقل تعریف و متغیرهای وابسته آن اندازه‌گیری و با به کارگیری نرم افزار مینی‌تب مدل ریاضی ارائه می‌شود که با آن می‌توان مقادیر متغیر وابسته را بدون انجام آزمایش برای بازه مشخص شده، تعیین کرد [۱۵]. در پژوهش حاضر پس از مطالعه منابع مشابه و پیشینه پژوهش، در سه بخش اصلی کار انجام شد که شامل، تهیه عصاره برگ درخت سیب با روش غوطه‌وری، بهینه‌سازی اثر متغیرهای متفاوت تعریف شده شامل دمای اعمال شده و زمان فراصوت برای سنتز سبز نانوذره‌های نقره و بررسی ویژگی‌های پادمیکروبی و پاداکسندگی نانوذره‌های سنتز شده، است. همچنین، برای پی بردن به گروه‌های عاملی کاهنده در عصاره استخراج شده، طیف‌سنجی فرورسرخ تبدیل فوریه (FTIR) به کار گرفته شد.

بخش تجربی

مواد

برگ درخت سیب از باغ‌های محلی مهاباد تهیه شد. یکی از اصلی‌ترین معیارهای انتخاب این ماده، افزون بر داشتن ویژگی مناسب، در دسترس بودن و داشتن ویژگی متفاوت و متنوع آن است. از آب مقطر (شرکت مروارید پارس)، به عنوان حلال بخش عصاره‌گیری استفاده شد. نمک پایه و اصلی در سنتز نانوذره‌های نقره، نمک نقره نیترات (AgNO₃) بود که از شرکت مرک خریداری شد. برای بررسی ویژگی پادباکتریایی، دو باکتری استافیلوکوکوس اورئوس (PTCC 1112) و اشرشیا کولی (PTCC 1270) و برای بررسی ویژگی پادقارچی، قارچ پنی‌سیلینیوم دیگیتاتوم (PTCC 5251) از بانک میکروبی ایران خریداری و استفاده شدند. محیط کشت‌های مورد استفاده در

1. Response surface methodology (RSM)

3. Potato dextrose agar (PDA)

سال هفدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

2. Plate count agar (PCA)

4. Oxoid

5. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

نشریه پژوهش‌های کاربردی در شیمی (JARC)

در این معادله، β_0 ضریب ثابت، ضرایب β_1 و β_2 اثرات خطی (درجه اول)، β_{11} و β_{22} اثرات مربعی (درجه دوم) و β_{12} اثرات متقابل یا برهم‌کنش دما و زمان انتخاب شده است. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از روش تحلیل وردایی (ANOVA) و از روش آماری آزمون t برای مقایسه داده‌ها استفاده شد. در این مدل $P < 0.05$ به عنوان مقادیر آماری معنی‌دار در نظر گرفته شد و جملاتی که دارای $P > 0.05$ بودند به عنوان نتیجه‌های بی‌معنی و غیر اثرگذار تلقی شدند. مقدار $P < 0.05$ بدین معناست که مدل ارائه شده و استخراج شده با احتمال ۹۵٪ پذیرفته می‌شود. مقدار R^2 نیز معیار خوبی برای ارزیابی مناسب بودن یک مدل است که هرچه مقدار این عدد به یک نزدیک‌تر باشد، دلالت بر دقیق بودن مدل در پیش‌بینی رفتار متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته دارد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده از هرکدام از آزمایش‌ها، تحلیل و همچنین، اثر عامل‌ها و متغیرهای انتخاب شده بر ویژگی نانوذرهای نقره سنتز شده در بخش بحث و نتیجه‌ها گزارش شده است.

شناسایی نمونه‌ها

پس از استخراج عصاره برگ درخت سیب با روش بیان شده، طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) برای مشخص کردن گروه‌های عاملی عصاره استخراج شده با دستگاه UNICAM مدل Shimadzu با به‌کارگیری ماده بی اثر KBr در گستره عدد موجی 400 تا 4000 cm^{-1} انجام گرفت. برای شناسایی و ارزیابی تشکیل و سنتز نانوذرهای نقره برای ۱۳ نمونه آماده‌شده، مقدار جذب آن‌ها در گستره گزارش شده در پژوهش‌های پیشین (گستره 400 الی 450 نانومتر) با روش UV-Vis با دستگاه Jenway مدل 6705 ارزیابی شد و برای تعیین میانگین اندازه ذره‌ها، تجزیه پراکندگی نور پویا (DLS) که روشی غیرمخرب و فیزیکی است، با دستگاه Malvern ساخت انگلستان، به‌کار گرفته شد. همچنین، ویژگی پاداکسندگی با روش DPPH به‌گونه‌ای که در پژوهش احمدی و همکارانش

بهینه‌سازی زمان و دمای عملیاتی برای سنتز نانوذرهای نقره با ویژگی پاداکسندگی بالا، میانگین اندازه ذره‌های پایین و غلظت بالا با شرایط زیر انجام گرفت. با توجه به غلظت‌های متفاوت مورد استفاده نمک نقره نیترات در مراجع متفاوت، از جمله پژوهش‌های بسیار احمدی و همکارانش [۱۶]، بیشترین و متداول‌ترین غلظت برای نمک نیترات نقره 1 میلی‌مولار بوده که در پژوهش حاضر، مقدار 100 میلی‌لیتر محلول 1 میلی‌مولار نمک نیترات نقره تهیه شد. با توجه به در نظر گرفتن دو متغیر عملیاتی دمای گرمادهی (گستره 30 تا 70 °C) و مدت به-کارگیری امواج فراصوت (گستره 5 تا 25 دقیقه)، تعداد 13 آزمایش انجام گرفت. در هر ظرف به مقدار یکسان 2 میلی‌لیتر عصاره برگ درخت سیب و 8 میلی‌لیتر محلول نمک نیترات نقره مخلوط شده و در گستره‌های طراحی شده با نرم افزار مینی‌تب سنتز نانوذرهای نقره انجام گرفت. برای تعیین ویژگی‌های نهایی نانوذرهای نقره سنتز شده، اثر دما و مدت به‌کارگیری فراصوت بر میانگین اندازه ذره‌ها، غلظت و ویژگی پاداکسندگی آن‌ها بررسی شد. برای دو متغیر (زمان و دما)، 13 آزمایش برای بهینه‌سازی انجام و نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش به‌کار گرفته شده، 5 بار تکرار شد و برای طراحی آزمایش از سامانه غیرکد استفاده شد. مزیت 5 بار تکرار آزمایش نقطه مرکزی، برای تکرارپذیری و دست‌یافتن به نتیجه قطعی در آزمایش است. برای طراحی آزمایش به روش سطح پاسخ از روش طرح مرکب مرکزی^۱ (CCD) استفاده شد که در این روش ضرایب به صورت یک رابطه ریاضی نوشته و پاسخ پیش‌بینی می‌شود. معادله 1 بیانگر ارتباط بین Y ، پاسخ یا خروجی همان متغیر وابسته (غلظت نانوذر، میانگین اندازه ذره‌ها و ویژگی پاداکسندگی آن) و مقادیر X مربوط به متغیرهای مستقل (X_1 ، زمان استخراج و X_2 ، دمای گرمادهی) است.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 \quad (1)$$

ویژگی نانوذره‌های سنتز شده نیز بررسی شد. در این بخش نتیجه‌های به دست آمده از طراحی آزمایش، پاسخ‌های مربوط به هر کدام و تاثیرگذاری متغیرهای انتخاب شده، گزارش شده است.

مدل پاسخ سطح

در طراحی آزمایش انجام گرفته، دو متغیر مستقل در نظر گرفته شد که شامل زمان فراصوت و دمای گرمادهی بود و بر پایه طرح مرکب مرکزی و پاسخ سطح، ۱۳ آزمایش انجام شد. شرایط این آزمایش‌ها و نتیجه‌های به دست آمده از مدل در جدول ۱ گزارش شده است.

شرح داده شده است، بررسی شد [۱۷]. پایداری نمونه بهینه به دست آمده با روش پتانسیل زتا با دستگاه DLS بررسی شد. همچنین، کاربرد نانوذره‌های نقره سنتز شده مربوط به نقطه بهینه در مهار رشد میکروبی‌های متفاوت (باکتری و قارچ) بررسی شد. ویژگی پادباکتریایی با روش انتشار چاهک و ویژگی پادقارچی به روش نفوذ به گونه‌ای که در پژوهش‌های احمدی و همکارانش شرح داده شده است [۱۸ و ۱۹]، بررسی شد.

نتیجه‌ها و بحث

در پژوهش حاضر، هدف اصلی بهینه‌سازی شرایط عملیاتی سنتز نانوذره‌های نقره بود و پس از به دست آوردن نقطه بهینه،

جدول ۱ طراحی آزمایش انجام گرفته و نتیجه‌های مربوط به هر کدام از متغیرهای مستقل به همراه نتیجه‌های پیش‌بینی شده با مدل

شماره آزمایش	متغیرهای وابسته						متغیرهای مستقل	
	ویژگی پاداکسندگی (%)		میانگین اندازه ذره‌ها (نانومتر)		غلظت نانوذره‌ها (ppm)		زمان فراصوت (دقیقه)	دمای گرمادهی (درجه سانتیگراد)
	مدل	آزمایشگاهی	مدل	آزمایشگاهی	مدل	آزمایشگاهی		
۱	۱۸	۱۸,۲۱	۶۷	۶۷,۵۷	۳۳,۲۲	۳۱,۹۸	۱۵	۷۰
۲	۲۴	۲۳,۶۸	۶۵	۶۵,۲۸	۲۲,۲۹	۲۲,۷۵	۸	۶۴
۳	۱۹	۱۸,۷۹	۸۱	۷۹,۳۱	۳۷,۵۹	۳۸,۹۳	۲۲	۶۴
۴	۳۲	۳۱,۵۶	۹۷	۹۴,۷۱	۲۴,۲۴	۲۳,۸۹	۲۲	۳۵
۵	۲۳	۲۳,۲۹	۸۷	۸۹,۳۸	۳۱,۷۰	۳۱,۱۴	۲۵	۵۰
۶	۲۸	۲۹,۰۰	۶۹	۶۸,۸۰	۲۶,۰۲	۲۵,۸۷	۱۵	۵۰
۷	۲۹	۲۹,۰۰	۶۸	۶۸,۸۰	۲۶,۰۲	۲۶,۴۱	۱۵	۵۰
۸	۴۰	۴۰,۵۳	۹۵	۹۶,۴۲	۲۰,۷۲	۲۱,۸۶	۱۵	۳۰
۹	۴۳	۴۲,۴۵	۹۱	۹۰,۶۸	۱۷,۶۹	۱۶,۷۴	۸	۳۵
۱۰	۳۴	۳۴,۴۵	۷۷	۷۶,۶۱	۱۶,۴۴	۱۷,۰۱	۵	۵۰
۱۱	۲۹	۲۹,۰۰	۶۹	۶۸,۸۰	۲۶,۰۲	۲۵,۸۴	۱۵	۵۰
۱۲	۲۹	۲۹,۰۰	۷۰	۶۸,۸۰	۲۶,۰۲	۲۶,۰۴	۱۵	۵۰
۱۳	۳۰	۲۹,۰۰	۶۸	۶۸,۸۰	۲۶,۰۲	۲۵,۹۶	۱۵	۵۰

نانوذره‌ها و میانگین اندازه ذره‌ها به ترتیب با مقادیر ۰/۰۴۱ و ۰/۰۰۰ معنی‌دار بوده و بر روی ویژگی پاداکسندگی اثر آنچنانی نداشته است. در نهایت اثرات متقابل دو متغیر مستقل در نظر گرفته شده بر روی تمامی متغیرهای مستقل اثرگذار معنی‌دار بوده و به ترتیب با اعداد ۰/۰۰۳، ۰/۰۱۹ و ۰/۰۰۳ برای غلظت نانوذره‌ها، میانگین اندازه ذره‌ها و ویژگی پاداکسندگی به دست آمد. اثرات متغیرهای مستقل بر روی متغیرهای وابسته در نمودارهای متفاوت دو بعدی و سه بعدی پاسخ سطح به تفصیل توضیح داده شده که در ادامه پژوهش حاضر گزارش شده است.

نتیجه اعتبارسنجی متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده در طراحی آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. برای متغیرهای مستقل اثرات درجه اول برای همه متغیرهای وابسته (غلظت، میانگین اندازه ذره‌ها و ویژگی پاداکسندگی) معنی‌دار بوده و برابر با ۰/۰۰۰ است که نشان می‌دهد، متغیرهای در نظر گرفته شده به درستی انتخاب شده‌اند، اما اثرات درجه دوم متغیرهای درجه دوم متفاوت است، به طوری که اثرات درجه دوم متغیر مستقل دمای گرمادهی فقط بر میانگین اندازه ذره‌ها معنی‌دار بود و مقدار p در آن ۰/۰۰۰ به دست آمد. همچنین، اثرات درجه دوم زمان فراصوت بر روی دو متغیر وابسته غلظت

جدول ۲ مقدار p مربوط به نانوذره‌های نقره سنتز شده (اثرات خطی، درجه دوم و برهم‌کنش)

غلظت نانوذره‌ها			ضرایب	
Y_1	Y_2	Y_3		
۲۶,۰۲	۶۸,۸۰	۲۹,۰۰	ثابت (β_0)	
۴,۴۲	- ۱۰,۲۰	- ۷,۸۸	(β_1)	اثرهای خطی (درجه اول)
۵,۳۹	۴,۵۱	- ۳,۹۴	(β_2)	
۰,۴۷	۶,۶۰	۰,۱۸	(β_{11})	اثرهای مربعی (درجه دوم)
- ۰,۹۷	۷,۱۰	- ۰,۰۶	(β_{22})	
۲,۲۵	۲,۵۰	۱,۵۰	اثرهای متقابل (برهم‌کنش) (β_{12})	
R-square			%	
۹۸,۲۶%	۹۸,۸۱%	۹۹,۴۹%		

وابسته دست یافت، اما اطمینان از نتیجه‌های به دست آمده وابسته به عبارت R^2 است که هرچقدر این عبارت نزدیک به ۱ و یا به بیانی دیگر نزدیک به ۱۰۰٪ باشد، اطمینان به نتیجه به دست آمده بیشتر است. عبارت مربوط به R^2 نیز در جدول ۴ گزارش شده است که برای هر سه مدل به دست آمده غلظت نانوذره‌ها، میانگین اندازه ذره‌ها و ویژگی پاداکسندگی، به ترتیب ۹۸,۲۶٪، ۹۸,۸۱٪ و ۹۹,۴۹٪ به دست آمده است که نشان می‌دهد مدل‌های به دست آمده پیش‌بینی به نسبت دقیقی از خروجی خواهند داشت.

یکی از اهداف کلی در بهینه‌سازی انجام گرفته، به دست آوردن رابطه کلی برای ارتباط پاسخ در نظر گرفته شده (متغیر وابسته) با متغیرهای مستقل در نظر گرفته است که تحت ثابت‌های معادله کلی درجه دوم به دست خواهد آمد. نتیجه‌ها در جدول ۳ گزارش شده است. پس از به دست آمدن ضرایب به دست آمده β (ضرایب ثابت، درجه اول، دوم و اثرات متقابل) و قرار دادن آن‌ها در معادله ۱، به راحتی می‌توان ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته را ایجاد کرد و از طریق معادله‌های به دست آمده به پیش‌بینی خروجی و اعداد مربوط به متغیر

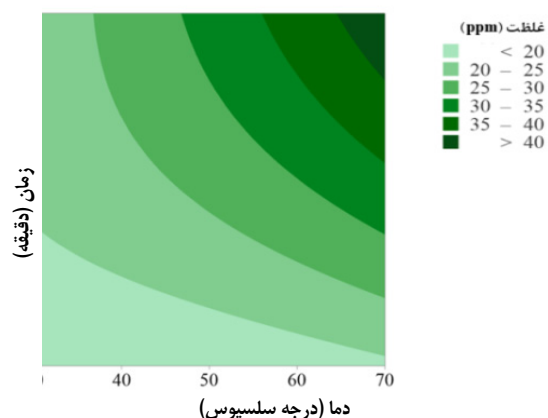
جدول ۳ ضرایب چندجمله‌ای درجه دوم همراه با ضرایب برازشی برای هر متغیر وابسته در سنتز نانوذره‌های نقره

اثرها	متغیرهای مستقل		
	غلظت نانوذره‌ها	میانگین اندازه ذره‌ها	ویژگی پاداکسندگی
	Y_1	Y_2	Y_3
p-value			
خطی (درجه اول)	دمای گرمادهی (X_1)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
	زمان فراصوت (X_2)	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
مربعی (درجه دوم)	X_1^2	۰/۲۶۴	۰/۴۹۱
	X_2^2	۰/۰۴۱	۰/۸۱۶
متقابل (برهم‌کنش)	X_1X_2	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳

نانوذره‌ها افزایش چشم‌گیری پیدا کرده اما در دماهای ثابت و پایین این متغیر، با افزایش زمان فراصوت، غلظت نانوذره‌های سنتز شده تغییر آنچنانی پیدا نکرده است. نتیجه‌های به‌دست‌آمده در بررسی متغیرهای حاضر نشان می‌دهد که دمای گرمادهی و زمان فراصوت در سنتز نانوذره‌های نقره اثرات متقابلی دارند، به عبارتی بر هم‌کنش بین این متغیرها معنی‌دار است که نتیجه‌های به‌دست‌آمده مربوط به مقدارهای p در جدول ۲ نیز با توجه به اینکه کمتر از ۰/۰۵ است، تأییدی در این مورد است. همچنین، در مقادیر ثابت و پایین زمان فراصوت با افزایش دمای گرمادهی تغییر نامحسوسی در غلظت نانوذره‌های سنتز شده مشاهده می‌شود که این تغییرها در مقادیر ثابت و بالای زمان فراصوت، محسوس‌تر است، به عبارتی با افزایش دمای گرمادهی در مقادیر بالا و ثابت زمان فراصوت، غلظت رفته‌رفته افزایش پیدا کرده و به بیشینه مقدار خود می‌رسد. در شکل ۱، نقاط بیشینه با غلظت بیشتر از ۴۰ ppm که با رنگ سبز پررنگ نشان داده شده است، مربوط به زمان‌های بالای فراصوت و دماهای بالای اعمال شده است. همچنین، کمترین غلظت با مقادیر کمتر از ۲۰ ppm مربوط به زمان‌ها و دماهای پایین است. به نظر می‌رسد در مقادیر پایین زمان فراصوت، فرصت کافی برای واکنش کامل بین همه مولکول‌های کاهنده موجود در عصاره استخراج‌شده و مولکول‌های یون نقره با بار مثبت موجود در محلول نمک نقره نیترات وجود نداشته و

اثرات دمای گرمادهی و زمان فراصوت بر غلظت نانوذره‌های نقره سنتز شده

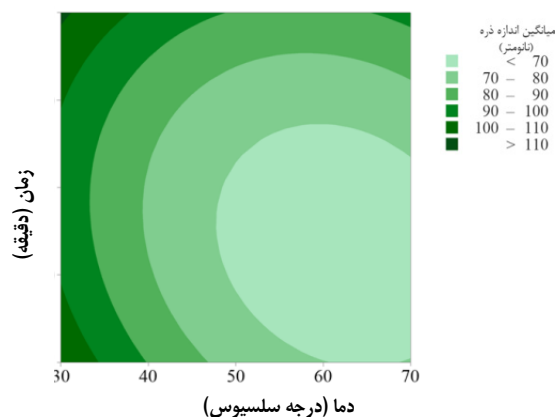
یکی از موارد مهم در سنتز نانوذره‌ها، غلظت این مواد است. هر چقدر فرآورده سنتز شده غلظت بیشتری داشته باشد، نشان‌دهنده کاهش یون‌های فلزی و تبدیل آن‌ها به نانوذره‌ها است. اثر متغیرهای مستقل زمان فراصوت و دمای گرمادهی بر غلظت نانوذره‌های نقره سنتز شده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ نمودار دوبعدی سطح پاسخ برای تغییرهای مقدار غلظت نانوذره‌های نقره سنتز شده با دمای گرمادهی و زمان فراصوت

با توجه به نتیجه‌های نشان داده‌شده در شکل ۱، در مقادیر ثابت و بالای دمای گرمادهی، با افزایش زمان فراصوت، غلظت

زمان کوتاه فراصوت نیز نمی‌تواند از این رشد جلوگیری کند. از این رو، میانگین اندازه نانوذره‌های به‌دست‌آمده بالا است. هرچند که با افزایش زمان فراصوت تا حدودی رشد نانوذره‌های نقره کاهش یافته است. به نظر می‌رسد افزایش دمای اعمال شده موجب حرکت بیشتر مولکول‌های یون نقره و عوامل کاهنده می‌شود و با توجه به اینکه در این حالت، احتمال برخوردی اولیه ممکنه افزایش پیدا می‌کند، سرعت تشکیل هسته‌های اولیه نانوذره‌ها بیشتر و در نهایت میانگین اندازه ذره‌های به‌دست‌آمده پایین است.



شکل ۲ نمودار دوبعدی سطح پاسخ برای تغییرهای میانگین اندازه نانوذره‌های نقره سنتز شده با دمای گرمادهی و زمان فراصوت

اثرهای دمای گرمادهی و زمان استخراج بر ویژگی پاد اکسندگی نانوذره‌های نقره سنتز شده

نتیجه‌های مربوط به این متغیر در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، در مقادیر ثابت و پایین دمای گرمادهی، با افزایش زمان فراصوت از بیشترین مقدار ویژگی پاداکسندگی شروع شده است و رفته‌رفته کاهش پیدا می‌کند، ولی در مقادیر ثابت و بالای دمای گرمادهی، افزایش زمان فراصوت، این اثر روند به‌تقریب ثابتی خواهد داشت. در مقادیر ثابت بالا یا پایین زمان فراصوت با افزایش دمای گرمادهی، ویژگی پاداکسندگی روندی کاهشی دارد. این شکل همچنین،

هرچقدر دمای فرایند افزایش پیدا کند، تاثیری در شدت سنتز نداشته و در نهایت منجر به نانوذره‌های سنتز شده با غلظت پایین شده است.

اثرهای دمای گرمادهی و زمان استخراج بر میانگین اندازه نانوذره‌های نقره سنتز شده

متغیر وابسته در نظر گرفته شده دیگر میانگین اندازه ذره‌ها بوده که در میان متغیرهای متفاوت در نظر گرفته شده در پژوهش حاضر مهم‌ترین عامل است، چراکه با توجه تعاریف موجود در مراجع، میانگین اندازه ذره‌های فلزی بایستی کمتر از ۱۰۰ نانومتر باشد تا بتوان فرآورده تولید شده را در گروه نانوذره‌ها به حساب آورد. اثر متغیرهای مستقل زمان فراصوت و دمای گرمادهی بر میانگین اندازه نانوذره‌های نقره در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در مقادیر ثابت و پایین دمای گرمادهی با افزایش زمان فراصوت، میانگین اندازه ذره‌ها در ابتدا کاهش نسبی داشته و سپس دوباره افزایش پیدا کرده است، ولی تغییرهای ایجاد شده بسیار کم و به‌تقریب ثابت است. در مقادیر ثابت و بالای دمای گرمادهی، با افزایش زمان فراصوت، میانگین اندازه ذره‌ها رفته‌رفته افزایش پیدا کرده است. رفتارهای دوگانه مربوط به مقادیر پایین و بالای متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده با توجه به مقدار $p < 0.05$ برای اثرات متقابل در جدول ۲، درستی نتیجه‌های گزارش شده را نشان می‌دهد. گستره ویژه‌ای از دمای گرمادهی (۵۰ تا ۷۰ °C) و زمان فراصوت (۱۰ تا حدود ۱۸ دقیقه)، گستره بهینه شرایط عملیاتی سنتز نانوذره‌های نقره است که کمترین میانگین اندازه ذره‌ها در این ناحیه به دست می‌آید و در شکل حاضر با ناحیه سبز کم‌رنگ نشان داده شده است. به نظر می‌رسد در مقادیر پایین گرمادهی، نانوذره‌های سنتز شده با توجه به اینکه انرژی فعال‌سازی و دمای اعمال شده مقادیر پایینی داشته، هر کدام از مولکول‌های یون نقره که با گروه‌های عاملی کاهنده موجود در عصاره برگ درخت سیب تبدیل به نانوذره نقره شده‌اند، منجر به رشد هسته‌های بلوری اولیه تشکیل شده، می‌شوند. از طرفی

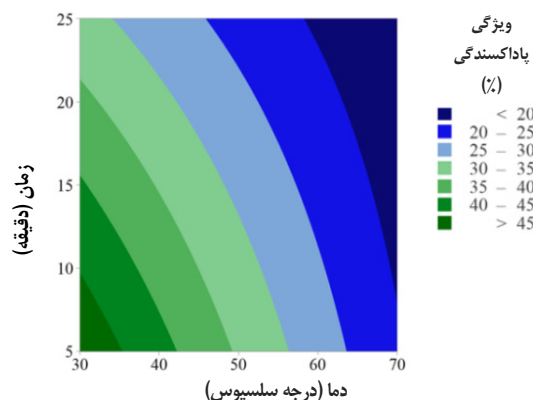
مشاهده می‌شود که تخریب عوامل مهارکننده رادیکال‌های آزاد تحت اثر دما و زمان بالا رخ خواهد داد.

بهینه‌سازی عامل‌های انتخاب‌شده برای سنتز نانوذره‌های نقره پس از انجام طراحی آزمایش، بررسی آماری و تحلیل‌های انجام‌گرفته از اثرات متغیرهای مستقل (دمای گرمادهی و زمان فراصوت) بر متغیرهای وابسته (غلظت، میانگین اندازه و ویژگی پاداکسندگی نانوذره‌های نقره سنتز شده)، بهینه‌سازی در دو حالت گرافیکی و عددی انجام گرفت که به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. در شکل ۴ گستره بهینه برای سنتز نانوذره‌های نقره با بیشترین غلظت، کمترین میانگین اندازه ذره‌ها و بیشترین ویژگی پاداکسندگی نشان داده شده است که با رنگ سفید مشخص شده است.

همچنین، گستره‌هایی که یکی از پاسخ‌های در نظر گرفته شده کمترین مقدار را خواهند داشت نیز مشخص و با رنگ خاکستری مشخص شده است. با توجه به اینکه گستره مشخص شده بازه بسیار زیادی را در بر گرفته است، بایستی بهینه‌سازی به صورت دقیق‌تر بررسی و منجر به نقطه ویژه‌ای شود. در آن نقطه، غلظت نانوذره‌های سنتز شده باید بیشترین، میانگین اندازه ذره‌ها کمترین و ویژگی پاداکسندگی بیشترین مقدار را داشته باشند که در این صورت بایستی از بهینه‌سازی عددی استفاده کرد.

در شکل ۵ این بهینه‌سازی گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نقطه بهینه به دست آمده از طراحی آزمایش مذکور مربوط به زمان گرمادهی ۱۵ دقیقه و دمای گرمادهی 70°C است که در این حالت اگر نانوذره‌های نقره سنتز شوند منجر به غلظت $31/48$ ppm میلی‌لیتر، میانگین اندازه ذره‌های 66 نانومتر با ویژگی پاداکسندگی $27/1\%$ خواهد شد که بایستی این نتیجه‌ها راستی آزمایی و راستی‌آزمایی شوند.

گستره‌های متفاوتی را در بازه 20% تا 45% نشان می‌دهد که کمینه بازه ویژگی پاداکسندگی در گستره دمایی 60°C تا 70°C و زمان فراصوت بیشتر از 10 دقیقه به دست خواهد آمد و در شکل حاضر با رنگ آبی نشان داده شده است.



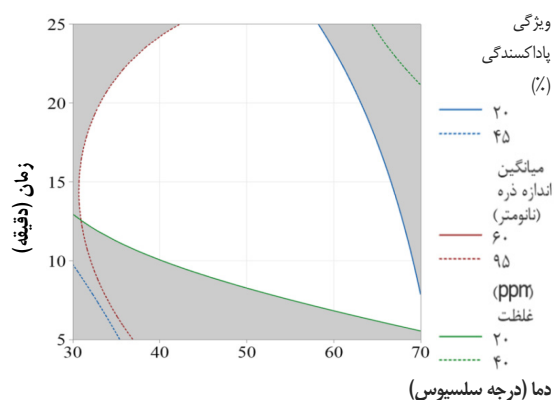
شکل ۳ نمودار دوبعدی سطح پاسخ برای تغییرهای ویژگی پاداکسندگی نانوذره‌های نقره سنتز شده با دمای گرمادهی و زمان فراصوت

بیشترین ویژگی پاداکسندگی نیز در گستره دمایی کمتر از 30°C و گستره زمانی 5 تا 10 دقیقه فراصوت که در شکل با رنگ سبز پررنگ نشان داده شده است به دست خواهد آمد. با توجه به نتیجه‌های به دست آمده و مقایسه آن با دیگر متغیرهای وابسته، در گستره‌های دمایی بالا، گرما و دمای اعمال شده اثرگذاری مناسبی بر غلظت و یا میانگین اندازه ذره‌ها داشته، ولی این اثرگذاری بر ویژگی پاداکسندگی عکس بوده و نامناسب است. به نظر می‌رسد دمای بالای اعمال شده موجب تخریب بخش‌هایی از ساختار نانوذره‌های سنتز شده و کاهش ویژگی پاداکسندگی می‌شود، همچنین، در گستره‌های بالای زمان فراصوت نیز این اثر مشاهده می‌شود که طولانی‌بودن این اثر نتیجه نامناسبی را بر ویژگی پاداکسندگی برجای می‌گذارد. زمانی که این دو اثر هم‌زمان اتفاق بیافتد، به عبارتی زمان بالا و دمای بالا هم‌زمان اعمال شود، اثر هم‌افزایی برای کاهش ویژگی پاداکسندگی

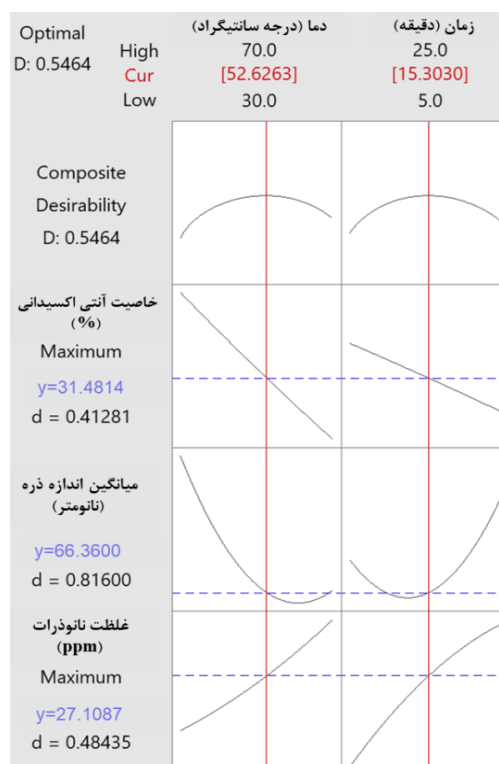
بررسی ویژگی‌های نانوذره‌های سنتز شده در شرایط بهینه با یافتن نقاط بهینه به دست آمده از بهینه‌سازی عددی، در شرایط به دست آمده از طراحی آزمایش، بایستی راستی‌آزمایی نتیجه‌های به دست آمده انجام می‌شد که در بخش حاضر، سنتز نانوذره‌های نقره انجام و مقادیر مربوط به متغیرهای وابسته (غلظت، میانگین اندازه و ویژگی پاداکسندگی) ارزیابی شد. پس از انجام آزمایش‌های مربوط به راستی‌آزمایی طراحی آزمایش، نتیجه‌ها حاکی از آن بود که با مقایسه نتیجه‌های پیش‌بینی شده و نتیجه‌های به دست آمده از انجام آزمایش‌ها، تفاوت معناداری بین داده‌های مدل پیش‌بینی با نتیجه‌های آزمایشگاهی وجود نداشت (غلظت ppm ۳۰/۸۷، میانگین اندازه ذره‌ها برابر با ۶۸ نانومتر و ویژگی پاداکسندگی برابر با ۲۵/۶٪). بنابراین، مدل‌های به دست آمده تأیید شدند و به درستی توانستند اثر متغیرهای مستقل را بر متغیرهای وابسته در گستره مورد نظر را مشخص کنند.

طیف‌سنجی فروسخ تبدیل فوریه FTIR عصاره برگ درخت سیب

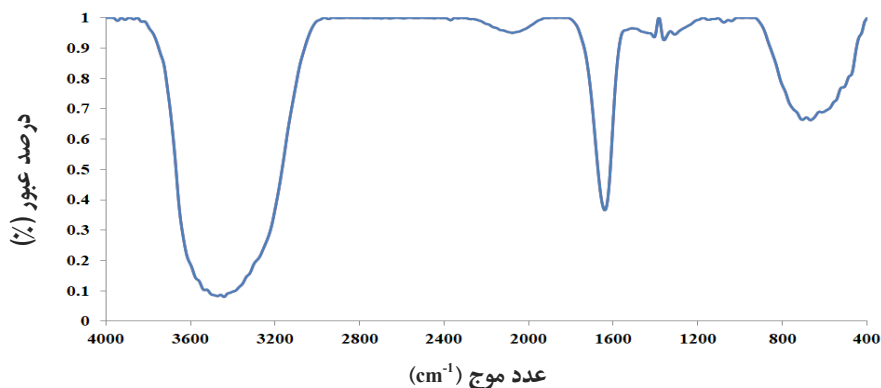
با توجه به اینکه وجود عوامل با ویژگی کاهش یون‌های فلزی بسیار حائز اهمیت است برای مشخص کردن گروه‌های عاملی کاهنده موجود در عصاره برگ درخت سیب از تجزیه طیف عبوری FTIR استفاده شد که نتیجه‌های آن در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل حاضر نشان داده شده است، چهار نوار شاخص در آن قابل تشخیص است که با اعداد موجی 3441.72 ، 2076.99 ، 1359.64 و 666.67 cm^{-1} به ترتیب مربوط به گروه‌های عاملی هیدروکسیل (OH-)، آلدهیدی، آمینی و آلکینی هستند. عامل هیدروکسیل مربوط به حلال استخراج کننده (آب) عصاره است که مربوط به ویژگی کاهندگی آن است.



شکل ۴ بهینه‌سازی گرافیکی نانوذره‌های نقره سنتز شده



شکل ۵ مقادیر بهینه (بهینه‌سازی عددی) نانوذره‌های نقره سنتز شده



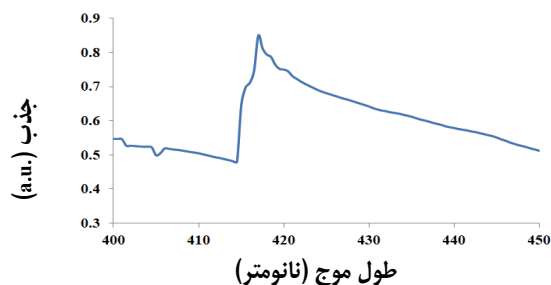
شکل ۶ طیف فروسرخ تبدیل فوریه FTIR عصاره برگ درخت سیب

واحد جذب است. با تبدیل میزان جذب به غلظت، با استفاده از رابطه تعریف شده توسط احمدی و همکارانش، غلظت به دست آمده ۲۶/۴۸ ppm به دست آمد که تفاوت جزئی با نتیجه‌های به دست آمده از بهینه‌سازی داشته و به نظر می‌رسد، مدل‌های ارائه شده از طراحی آزمایش، به خوبی نتیجه‌های به دست آمده را پیش‌بینی و درستی طراحی آزمایش را تأیید می‌کنند. پراکندگی نور پویا (DLS) برای بررسی میانگین اندازه ذره، شاخص پراکندگی و پتانسیل زتا نانوذره‌های نقره

با توجه به انتخاب میانگین اندازه ذره‌ها به‌عنوان یکی از متغیرهای وابسته در طراحی آزمایش، پس از سنتز نانوذره‌های نقره در نقطه بهینه به دست آمده از طراحی آزمایش، ارزیابی میانگین اندازه ذره‌ها با سه بار تکرار انجام گرفت که نتیجه‌های آن در شکل ۸-الف نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۸-الف مشاهده می‌شود، اندازه نانوذره‌های سنتز شده با توزیع مناسب و کمتر از ۱۰۰ نانومتر و میانگین سه تکرار انجام گرفته برابر با 68 ± 2 نانومتر است که تفاوت جزئی با نتیجه‌های به دست آمده از بهینه‌سازی عددی دارد. به نظر می‌رسد با توجه به میانگین اندازه نانوذره‌های نقره به دست آمده، پاسخ در نظر گرفته شده برای پیش‌بینی نتیجه‌ها مناسب است. همچنین، تحلیل آماری و طراحی آزمایش برای بررسی اثر متغیرهای مستقل دمای

طیف‌سنجی مرئی-فرابنفش UV-Vis نانوذره‌های نقره

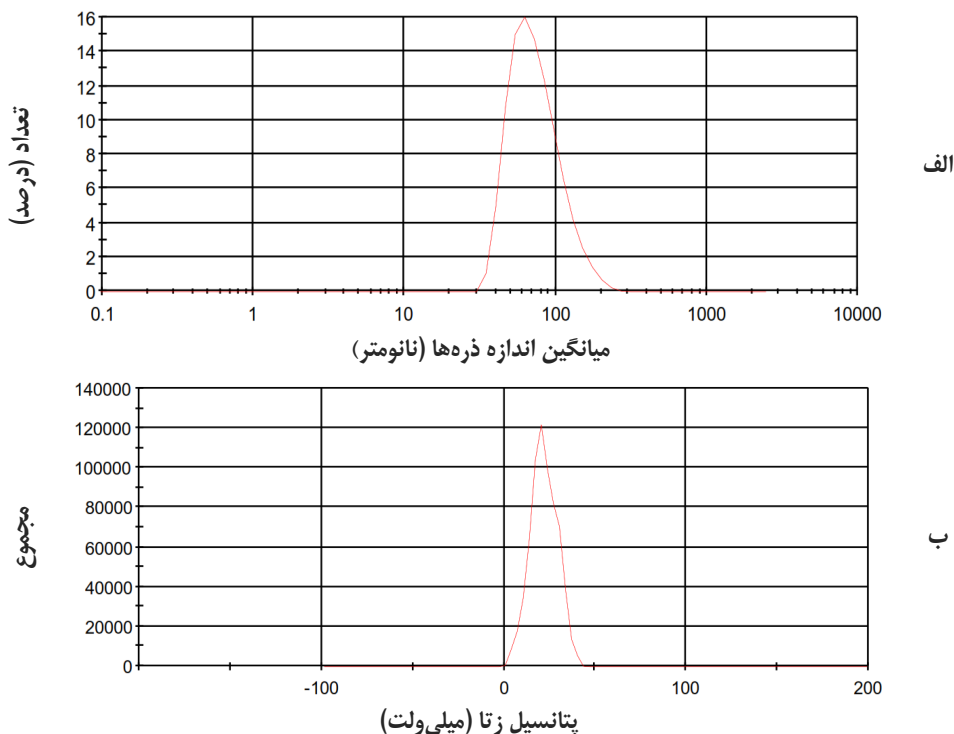
این طیف‌سنجی برای ارزیابی میزان جذب نور عبوری از نمونه بهینه نانوذره‌های نقره سنتز شده استفاده شد که یکی از پاسخ‌های اصلی طراحی آزمایش میزان غلظت نانوذره‌های نقره (میزان جذب) نیز بود. با توجه به رابطه به دست آمده توسط احمدی و همکارانش، می‌توان ارتباط خطی بین مقدار جذب و غلظت برقرار کرد. مقدار جذب نانوذره‌های نقره سنتز شده در نقطه بهینه پس از ۳ بار تکرار در شکل ۷ گزارش شده است.



شکل ۷ طیف مرئی-فرابنفش UV-Vis نانوذره‌های نقره سنتز شده در نقطه بهینه

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود بیشینه جذب در بازه ۴۰۰ تا ۴۵۰ نانومتر به دست آمده و برابر با 0.831 ± 0.04

گرما دهی و زمان فراصوت به کار برده شده برای سنتز سبز نانوذره‌ها در پیش‌بینی نتیجه‌ها به درستی انجام شده است و نتیجه‌های به دست آمده، قابل قبول هستند.



شکل ۸ نمودار پراکندگی نور پویا (الف) و پتانسیل زتا نانوذره‌های نقره سنتز شده در نقطه بهینه (ب)

پتانسیل زتا نشان‌دهنده بار سطحی ذره‌ها بوده است و این عامل بدون توجه به علامت آن (مثبت یا منفی) هرچه قدر بزرگتر باشد، نشان‌دهنده بار سطحی بیشتر و قدرت دافعه بیشتر است که در نهایت منجر به پایداری هرچه بیشتر نانوذره‌های سنتز شده خواهد شد. در پژوهش حاضر نتیجه‌های به دست آمده مربوط به پتانسیل زتا قابل قبول و فرآورده سنتز شده از پایداری نسبی برخوردار است.

ویژگی پاداکسندگی نانوذره‌های نقره

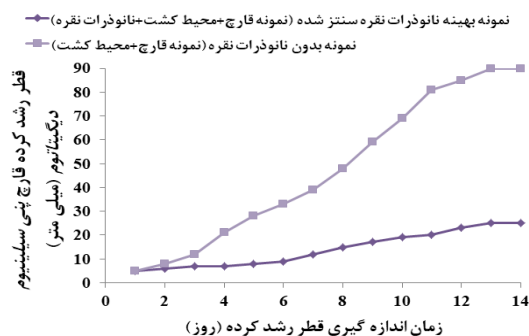
ویژگی پاداکسندگی نانوذره‌های نقره سنتز شده آخرین متغیر وابسته در نظر گرفته شده در طراحی آزمایش است، ویژگی

هم‌زمان با تحلیل پراکندگی نور پویا، دو عامل مهم شاخص پراکندگی (PDI) و پتانسیل زتا نیز ارزیابی شد. نتیجه‌ها نشان داد که نانوذره‌های نقره سنتز شده دارای شاخص پراکندگی ۰٫۳۹۷ و پتانسیل زتای ۲۱٫۲ میلی‌ولت هستند. لازم به توزیع است که شاخص پراکندگی عددی بدون بعد بوده که در بازه صفر تا ۱ متغیر است. این متغیر هر چه قدر به صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده توزیع مناسب ذره‌ها و یکنواختی آن‌ها است و برعکس هر چه قدر به ۱ نزدیک باشد، نشان‌دهنده غیریکنواختی و غیریکسان بودن ذره‌ها است [۲۰] که در پژوهش حاضر با نتیجه‌های به دست آمده از شاخص پراکندگی، نانوذره‌های سنتز شده یکنواختی مناسبی دارند، همچنین،

به ساختار فیزیکی این نوع باکتری‌ها است، به طوری که به تقریب ۹۰ تا ۹۵٪ دیواره سلولی باکتری‌های گرم مثبت از پپتیدوگلیکان تشکیل شده است [۲۲]. در حالی که دیواره سلولی در باکتری‌های گرم منفی از یک لایه نازک پپتیدوگلیکان و یک غشای بیرونی و یک لایه مستحکم لیپولی ساکارید تشکیل شده است.

ویژگی پادقارچی نانوذره‌های نقره

از دیگر ویژگی پادمیکروبی، می‌توان به ویژگی پادقارچی اشاره کرد که در پژوهش حاضر نانوذره‌های نقره سنتز شده در نقطه بهینه ارزیابی شدند و نتیجه‌های مربوط در شکل ۹ گزارش شده است. برای مقایسه اثر و ویژگی نانوذره‌های نقره نسبت به نمونه محیط کشت بدون نانوذره، نتیجه‌ها در یک نمودار رسم شد. ویژگی‌های نانوذره‌های نقره سنتز شده به مدت ۱۴ روز به طور دقیق بررسی و ارزیابی شد. همان طور که در شکل ۹ نشان داده شده است، نمونه محیط کشت حاوی نانوذره‌های نقره پس از ۱۴ روز رشد آنچنانی نداشته و به خوبی از رشد قارچ *پنی‌سیلینیوم دیگیتاتوم* جلوگیری کرده است، در حالی که نمونه محیط کشت PDA بدون نانوذره‌ها پس از ۱۴ روز، تمامی سطح پلیت را پر و به طور کامل رشد کرد. با در نظر گرفتن کل قطر پلیت حاوی محیط کشت به اندازه ۹ سانتی‌متر و بیشترین رشد قارچ بر محیط کشت حاوی نانوذره‌های نقره به اندازه قطر ۲/۵ سانتی‌متر، بازده ویژگی پادقارچی اسانس حاضر، ۷۲/۲۲٪ است.



شکل ۹ مقدار رشد قارچ *پنی‌سیلینیوم دیگیتاتوم* در و بدون حضور نانوذره‌های نقره در محیط کشت

پاداکسندگی مواد اهمیت ویژه‌ای داشته و هرچقدر این مقدار بیشتر باشد، توانایی بالاتری در مهار رادیکال‌های آزاد از خود نشان می‌دهد. پس از ارزیابی آن با سه بار تکرار به روش DPPH مقدار ۲۸/۶۴٪ به دست آمد که تفاوت جزئی با نتیجه‌های پیش‌بینی شده از طراحی آزمایش (۳۱/۸۱٪) داشت. تفاوت جزئی به وجود آمده به نظر می‌رسد به دلیل بازه زمانی سنتز نانوذره‌ها تا ارزیابی ویژگی پاداکسندگی است.

ویژگی پادباکتریایی نانوذره‌های نقره

ویژگی پادباکتریایی نانوذره‌ها بسیار اهمیت دارد و در این میان نانوذره‌های نقره با توجه به مراجع، از ویژگی پادباکتریایی بالایی در برابر طیف‌های متفاوت باکتریایی برخوردار هستند [۲۱]. در پژوهش حاضر، از دو گونه باکتریایی گرم مثبت (*استافیلوکوکوس اورئوس*) و گرم منفی (*شرشیا کولی*) برای بررسی ویژگی پادباکتریایی نانوذره‌های نقره، عصاره برگ درخت سیب و محلول ۱ میلی‌مولار نقره نیترات استفاده شد و نتیجه‌های به دست آمده با یکدیگر مقایسه شدند. ارزیابی انجام گرفته با توجه به قطر هاله تشکیل شده در اطراف چاهک ایجاد شده اندازه‌گیری شد. نتیجه‌ها نشان داد، نانوذره‌های نقره در مهار رشد باکتری گرم مثبت و گرم منفی به ترتیب با قطر هاله ایجاد شده ۵۶ و ۴۸ میلی‌متر، بسیار ویژگی بالاتر و بیشتری نسبت به عصاره برگ درخت سیب (۱۶ و ۱۳ میلی‌متر به ترتیب برای گرم مثبت و گرم منفی) و محلول نقره نیترات (۸ و ۷ میلی‌متر به ترتیب برای گرم مثبت و گرم منفی) دارند. در سنتز نانوذره‌ها با توجه به اینکه نسبت سطح به حجم کاهش چشمگیری داشته، به نظر می‌رسد با توجه به اندازه ریز ذره‌ها، به راحتی توانایی عبور از دیواره سلولی و واپایش رشد ریزاندامگان را دارند و در نهایت مانع رشد آنان می‌شوند یا با چسپیدن به دیواره سلولی آن‌ها به عنوان عامل مختل‌کننده رشد عمل کرده و در نهایت ویژگی پادباکتریایی بالایی از خود نشان خواهند داد. همان گونه که گفته شد این اثر در باکتری گرم مثبت بیشتر بود و جلوگیری بهتری در برابر رشد این نوع باکتری از خود نشان داد. به نظر می‌رسد دلیل این تفاوت در ممانعت از رشد، مربوط

مناسبی از خود نشان دادند. در بررسی کاربردهای نانوذره‌های نقره سنتز شده، ویژگی پاداکسندگی بالا و همچنین، ویژگی پادباکتریایی و پادقارچی قابل قبول و مناسبی مشاهده شد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از دانشگاه پیام نور بابت حمایت مالی طرح پژوهشی به شماره قرارداد ۱۰۳۴۰/۱/۱/۱۰۳۴۰ را به عمل آورند.

نتیجه‌گیری

نتیجه‌های به‌دست آمده از پژوهش حاضر نشان داد که عصاره برگ درخت سیب را می‌توان به‌عنوان عامل کاهنده قوی در سنتز نانوذره‌های نقره به‌کارگرفت. روش سطح پاسخ به‌عنوان یکی از روش‌های طراحی آزمایش و تحلیل آماری به‌عنوان روشی مناسب در کاهش تعداد آزمایش‌ها و همچنین، یافتن نقاط بهینه در سنتز و تولید این نانوذره‌ها عمل کردند. همچنین، به‌کارگیری امواج فراصوت به تسریع هرچه بیشتر و بهتر سنتز نانوذره‌ها کمک کرد که در نهایت کاربرد و ویژگی

مراجع

- [1] Kirtane, A.R.; Verma, M.; Karandikar, P.; Furin, J.; Langer, R.; Traverso, G.; *Nature Nanotechnology* 16, 369-384, 2021.
- [2] Ahmad, S.; Munir, S.; Zeb, N.; Ullah, A.; Khan, B.; Ali, J.; Bilal, M.; Omer, M.; Alamzeb, M.; Salman, S.M.; *International Journal of Nanomedicine* 14, 5087-5107, 2019.
- [3] Naganthran, A.; Verasoundarapandian, G.; Khalid, F.E.; Masarudin, M.J.; Zulkharnain, A.; Nawawi, N.M.; Karim, M.; Che Abdullah, C.A.; Ahmad, S.A.; *Materials* 15, 427-439, 2022.
- [4] Alharbi, N.S.; Alsubhi, N.S.; Felimban, A.I.; *Journal of Radiation Research Applied Sciences* 15, 109-124, 2022.
- [5] Mustapha, T.; Misni, N.; Ithnin, N.R.; Daskum, A.M.; Unyah, N.Z.; *International Journal of Environmental Research Public Health* 19(2), 674-690, 2022.
- [6] Chung, I.-M.; Park, I.; Seung-Hyun, K.; Thiruvengadam, M.; Rajakumar G.; *Nanoscale Res. Lett.* 11, 1-14, 2016.
- [7] Esmaili, S.; Zinsaz, P.; Ahmadi, O.; Najjan, Y.; Vaghari, H.; Jafarizadeh-Malmiri, H.; *Zeitschrift für Physikalische Chemie* 236, 1567-1581, 2022.
- [8] Eshghi, M.; Kamali-Shojaei, A.; Vaghari, H.; Najjan, Y.; Mohebian, Z.; Ahmadi, O.; Jafarizadeh-Malmiri, H.; *Green Processing Synthesis* 10, 606-613, 2021.
- [9] Ahmadi, O.; Jafarizadeh-Malmiri, H.; Jodeiri, N.; *Zeitschrift für Physikalische Chemie* 233, 651-667, 2019.
- [10] Stirpe, M.; Palermo, V.; Bianchi, M.M.; Silvestri, R.; Falcone, C.; Tenore, G.; Novellino, E.; Mazzoni, C.; *BMC Complementary Alternative Medicine* 17, 1-7, 2017.
- [11] Alshahrani, S.H.; Alameri, A.A.; Zabibah, R.S.; Jalil, A.T.J.; Ahmadi, O.; Behbudi, G.; *Journal of the Mexican Chemical Society* 66(4), 480-487, 2022.
- [12] Khalilnejad, A.; Lashkari, R.; Iravani, M.; Ahmadi, O.; "Saint Petersburg 2020 Conference Proceeding", European Association of Geoscientists and Engineers., November 16-19, 2020.
- [13] Manjamadha, V.; Muthukumar, K.; *Bioprocess Biosystems Engineering* 39, 401-411, 2016.
- [14] Zhang, C.; Hu, Z.; Deng, B.; *Water research* 88, 403-427, 2016.
- [15] Ibrahim, S.; Ahmad, Z.; Manzoor, M.Z.; Mujahid, M.; Faheem, Z.; Adnan, A.J.S.R. 11, 1-18, 2021.
- [16] Ahmadi, O.; Seifi, M.; Jafarizadeh-Malmiri, H.; *Iranian Chemical Engineering Journal* 20, 82-96, 2021.
- [17] Ahmadi, O.; Jafarizadeh-Malmiri, H.; *Zeitschrift für Physikalische Chemie* 235, 629-648, 2021.
- [18] Ahmadi, O.; Jafarizadeh-Malmiri, H.; *Green Processing Synthesis* 10, 430-439, 2021.

- [19] Ahmadi, O.; Jafarizadeh-Malmiri, H.; Food Science Biotechnology 29, 783-792, 2020.
- [20] Abdelsalam, N.R.; Fouda, M.M.; Abdel-Megeed, A.; Ajarem, J.; Allam, A.A.; El-Naggar, M.E.; International Journal of Biological Macromolecules 133, 1008-1018, 2019.
- [21] Tang, S.; Zheng, J.; Adv. Healthc. Mater. 7, 1701503, 2018.
- [22] Rajeshkumar, S.; Bharath, L.; Chemico-biological Interactions 273, 219-227, 2017.