ORIGINAL ARTICLE

Biosynthesis of Titanium Dioxide Nanoparticles from the Mangrove (Avicennia marina) and Investigation of its Antibacterial Activity

Mina Shahin Lefteh[1],
Iman Sourinejad[2],
Zahra Ghasemi[3]

[1] MSc in Fisheries, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[2] Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Fisheries, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

(Received January 22, 2020 ; Accepted May 13, 2020)

Abstract

Background and purpose: Development of biocompatible and nontoxic methods for synthesis of nanoparticles is important in bio-nanotechnology. This study aimed at biosynthesis of titanium dioxide nanoparticles (TiO_2 NPs) using leaf of the native mangrove (*Avicennia marina*) and investigating its antibacterial activity.

Materials and methods: Effect of four different solutions composed of dry extract of mangrove leaf and different amounts of chemical titanium isopropoxide in biosynthesis of TiO_2 NPs was evaluated. The biosynthesized TiO_2 NPs were characterized using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), UV–visible spectrophotometry (UV-Vis), and fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. The antibacterial activity was assessed using well diffusion method.

Results: The solution color containing dry extract of mangrove leaf and titanium isopropoxide began to change 10 min after the reaction was started, showing the reduction of Ti ions by the extract and synthesizing TiO_2 NPs. Combination of 1 g dry extract and 3.75 mL of titanium isopropoxide was considered the optimum concentration for TiO_2 NPs biosynthesis.

Conclusion: XRD analysis approved the formation of crystalline TiO_2 NPs. SEM images identified TiO_2 NPs with mean diameter of 25 nm and spherical shape. FTIR analysis distinguished Ti in NPs structure indicating the formation of TiO_2 NPs. UV-Vis showed the reduction of bandgap energy in biosynthesized TiO_2 NPs. Gram-negative bacteria showed more resistance against the bacterial pathogens. Gram-positive *Micrococuss* Sp. was recognized the most sensitive regarding the largest diameter of inhibitory zone and Gram-negative *Vibrio harveyi* was recognized the most resistant regarding no formation of inhibitory zone.

Keywords: bio-nanotechnology, TiO_2 nanoparticles, mangrove plants, biological activity

J Mazandaran Univ Med Sci 2020; 30 (186): 15-27 (Persian).

* **Corresponding Author: Iman Sourinejad -** Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran (E-mail: sourinejad@hormozgan.ac.ir)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره سی ام شماره 187 مرداد سال 1399 (27-15)

سنتز زیستی نانوذرات تیتانیوم دی اکسید با استفاده از گیاه حرا (*Avicennia marina*) و بررسی فعالیت ضدباکتریایی آن

مینا شاهین لفته[1]
ایمان سوری نژاد[2]
زهرا قاسمی[3]

چکیده

سابقه و هدف: توسعه روش‌های سازگار با محیط زیست و فاقد مواد سمی در تولید نانوذرات، از مهم‌ترین جنبه‌های علم زیست‌نانوفناوری می‌باشد. در مطالعه حاضر، سنتز زیستی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید با استفاده از برگ گیاه بومی حرا *Avicennia marina* و فعالیت ضدباکتریایی نانوذرات سنتزی بررسی شد.

مواد و روش‌ها: تاثیر چهار ترکیب مختلف از عصاره خشک برگ و مقادیر متفاوت تیتانیوم ایزوپروپوکساید در سنتز زیستی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید ارزیابی گردید. نانوذرات سنتزی با پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف سنجی UV-Vis و تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) مطالعه و فعالیت ضدباکتریایی آن‌ها به روش انتشار چاهک بررسی گردید.

یافته‌ها: محلول حاوی عصاره خشک برگ حرا و ماده تیتانیوم ایزوپروپوکساید از 10 دقیقه بعد از شروع واکنش تغییر رنگ داد که بیانگر احیاء یون‌های تیتانیوم توسط عصاره و تشکیل نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید می‌باشد. ترکیب یک گرم عصاره خشک برگ با 3/75 میلی‌لیتر محلول تیتانیوم ایزوپروپوکساید به‌عنوان غلظت بهینه برای سنتز زیستی نانوذرات انتخاب گردید.

استنتاج: آنالیز XRD تشکیل نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید کریستالی را اثبات نمود. نتایج حاصل از تصاویر SEM نانوذراتی را با میانگین 25 نانومتر و شکل کروی نشان داد. آنالیز FTIR بیانگر حضور Ti در ساختار نانوذره و تشکیل نانوذرات TiO_2 بود. طیف سنجی UV-Vis کاهش انرژی باند گپ را در نمونه بهینه سنتزی نشان داد. در بررسی خاصیت ضدباکتریایی نانوذرات، باکتری‌های گرم منفی مقاومت بیش‌تری از خود نشان دادند. باکتری گرم مثبت *Micrococuss* Sp. با داشتن بیش‌ترین مقدار هاله عدم رشد، حساس‌ترین و باکتری گرم منفی *Vibrio harveyi* با توجه به عدم تشکیل هاله رشد، مقاوم‌ترین باکتری شناخته شد.

واژه های کلیدی: زیست نانوفناوری، نانوذرات تیتانیوم، گیاهان مانگرو، فعالیت بیولوژیکی

مقدمه

زیست نانوفناوری، فناوری بالقوه ای است که از تلفیق زیست فناوری و فناوری نانو ظهور کرده است و هدف آن تولید مواد و ذرات در مقیاس نانومتر از طریق روش‌های زیستی سازگار با محیط زیست است(1).

مولف مسئول: ایمان سوری نژاد - بندرعباس: کیلومتر 9 جاده میناب، دانشگاه هرمزگان E-mail: sourinejad@hormozgan.ac.ir
1. کارشناسی ارشد شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
2. دانشیار، گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
3. استادیار، گروه شیلات، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
تاریخ دریافت : 1398/11/2 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات :1398/11/28 تاریخ تصویب : 1399/2/24

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

این دانش که بر پایه نانوذرات استوار است به‌علت کاربرد وسیع و فراوان در علوم و صنایع، با سرعت بالایی در حال رشد می‌باشد. نانوفناوری به علت تولید نانوذرات در اندازه، شکل و ترکیب شیمیایی متفاوت و کاربردهای بسیار آن‌ها برای بشر، حوزه تحقیقاتی جذابی به حساب می‌آید. نانوذرات موادی با ساختار سه بعدی می‌باشند که اندازه آن‌ها از 1 تا 100 نانومتر متغیر است. ساخت، دستکاری و استفاده از نانوذرات فلزی به‌علت کاهش ابعاد و در نتیجه داشتن ویژگی‌های حرارتی، نوری و الکتریکی منحصر به فرد اهمیت زیادی دارد. کاربرد نانوذرات در زمینه‌های مختلف علوم ازجمله کشاورزی، صنایع و پزشکی زیاد و متنوع است و توجه زیادی را به خود معطوف ساخته است(۳،۲). روش‌های مختلفی از جمله روش‌های شیمیایی و فیزیکی برای سنتز نانوذرات فلزی در اندازه و شکل‌های مختلف وجود دارد(4، 5). با توجه به این که این روش‌ها گران و زمان‌بر بوده و برای محیط زیست خطرناک هستند نیاز به توسعه روش‌های زیستی سازگار با محیط زیست، مقرون به صرفه و فاقد مواد شیمیایی رو به افزایش است. یکی از این روش‌ها، تولید به روش زیستی یا همان استفاده از زیست نانوفناوری است. گیاهان، جلبک‌ها، قارچ‌ها، مخمرها، باکتری‌ها و ویروس‌ها در تولید زیستی نانوذرات کاربرد دارند و جایگزین مناسبی برای روش‌های شیمیایی و فیزیکی محسوب می‌شوند. استفاده از گیاهان به علت سازگاری با محیط و عدم بروز آسیب‌های زیست محیطی معمولاً فاقد مشکلات معمول سایر روش‌هاست. همچنین گیاهان به علت فراوانی و عدم نیاز به شرایط و مواد غذایی خاص برای رشد گزینه ای مناسب برای تولید نانوذرات به روش زیستی محسوب می‌شوند(۷،۶).

مطالعات حاکی از آن است که گیاهان به عنوان منابعی غنی از ترکیبات ضدمیکروبی، حاوی مقادیر قابل توجهی از انواع ترکیبات فنولی از قبیل اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها، تانن‌ها و دی ترپن‌های فنولی می‌باشند. به همین دلیل، امروزه استفاده از عصاره‌های گیاهی به ویژه گیاهان دارویی در تولید نانوذرات مورد توجه محققین قرار گرفته است زیرا نقش بسیار مهمی را در اصلاح مواد شیمیایی سمی از طریق احیای یون‌های فلزی ایفا می‌کنند(8). عصاره گیاهان در فرایند سنتز هم به عنوان عوامل احیا کننده و هم به عوامل پوشش‌دهنده نانوذرات عمل می‌کنند به‌طوری که احیای یون‌های فلزی از طریق مولکول‌های زیستی مانند پروتئین‌ها، آمینواسیدها، آنزیم‌ها، آلکالوئیدها، کربوهیدرات‌ها و ویتامین‌ها که در عصاره‌های گیاهی وجود دارند به‌صورت سازگار با محیط زیست انجام می‌گیرد(9).

در سال‌های اخیر مواد آلی حاوی یون‌های فلزاتی مثل مس، نقره و تیتانیوم به عنوان مواد دارای خاصیت ضدمیکروبی بسیار مورد توجه بوده‌اند. تیتانیوم یک ماده معدنی ارزان قیمت و بی‌ضرر بوده و به‌عنوان دومین نانوذره پرتولید بعد از نقره، مصارف تجاری و صنعتی گسترده‌ای ازجمله در پاک‌سازی محیط‌زیست، مواد ضدآفتاب و مواد آرایشی دارد(5). در میان گیاهان، مانگروها مجموعه‌ای از گیاهان شورپسند و مقاوم به نمک دریا بوده و به‌طور عمده در نواحی جزر و مدی گرمسیری و نیمه گرمسیری به‌صورت پراکنده در بعضی نقاط دنیا شکل گرفته‌اند. ترپنوئیدها، استروئیدها، تانن‌ها، نفتالین‌ها، فلاونوئیدها، گلوکوزیدها و آلکالوئیدها ترکیبات شیمیایی هستند که از گیاهان مانگرو گزارش شده‌اند و دارای خواص زیستی متنوعی از جمله خواص ضدباکتریایی، ضدویروسی، ضدقارچی، ضدسرطان و ضددیابت هستند(11،10).

گیاه حرا *Avicennia marina* از خانواده Avicenniaceae، گونه غالب و در اصل منحصر به فرد جنگل‌های مانگرو ایران است که عمدتاً در حاشیه خلیج فارس پیرامون جزیره قشم، بندر خمیر، بندر دیر و خلیج نایبند در منطقه عسلویه پراکنش دارد. با توجه به کاربرد گسترده نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در علوم و صنایع مختلف و اهمیت سنتز زیستی نانو ذرات و همچنین رویش گیاه حرا در سواحل جنوب کشور به عنوان گونه غالب مانگرو، در این مطالعه سنتز زیستی نانوذرات تیتانیوم

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

دی‌اکسید با استفاده از عصاره برگ این گیاه بومی مهم و فعالیت ضدباکتریایی آن مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری گیاه حرا و آماده سازی آن

به منظور سنتز زیستی نانوذرات تیتانیوم دی اکسید، از عصاره برگ گیاه حرا استفاده گردید. بدین منظور برگ گونه حرا از سواحل خور آذینی در بندر سیریک استان هرمزگان جمع‌آوری شد (تصویر شماره 1). نمونه‌های برگ جمع‌آوری شده، ابتدا با آب دریا و سپس با آب مقطر شسته شده و در دمای اتاق و در سایه به مدت دو هفته خشک گردیدند. سپس برگ‌های خشک شده با استفاده از دستگاه آسیاب پودر شدند.



تصویر شماره 1: برگ گیاه حرا (*Avicennia marina*)

روش عصاره گیری از برگ حرا

مقدار 100 گرم پودر تهیه شده از برگ حرا با 700 میلی‌لیتر آب دیونیزه مخلوط و به مدت 10 دقیقه در دمای 50 درجه سانتیگراد روی هیتر قرار داده شد تا به جوش بیاید و بعد از سرد شدن، از کاغذ صافی واتمن عبور داده شد. سپس عصاره آبیِ تهیه شده در آون با دمای 60 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا خشک شود (عصاره خشک). پودر حاصل برای آزمایشات بعدی در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری گردید.

سنتز زیستی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید

برای سنتز نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید، یک گرم پودر عصاره در 50 میلی‌لیتر آب دیونیزه مخلوط گردید و روی هیتر با دمای 80 درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس مقدار متناسب منبع تیتانیوم طبق جدول شماره 1 به صورت قطره قطره اضافه شد و30 دقیقه نگهداری گردید. در ادامه محلول در دمای 50 درجه سانتی‌گراد به مدت 150 دقیقه نگه داشته شد. محلول تغییر رنگ داده شده با دور 6000 به مدت 30 دقیقه سانتریفیوژ شد. نانوذرات سنتز شده، جدا گردیده و در آون با دمای70 درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نمونه‌های خشک شده درون کوره با دمای 400 درجه سانتی‌گراد به‌مدت 5 ساعت قرار داده شد(12). سنتز نمونه‌ها در چهار ترکیب مختلف (S1 تا S4) از عصاره خشک برگ‌گیاه و مقادیر متفاوت تیتانیوم ایزوپروپوکساید به عنوان منبع تیتانیوم(5) صورت گرفت (جدول شماره1).

جدول شماره 1: سنتز نمونه‌ها در چهار ترکیب مختلف عصاره خشک برگ گیاه حرا و مقادیر مختلف منبع تیتانیوم

نمونه	S1	S2	S3	S4
مقدار عصاره خشک (گرم)	1	1	1	1
مقدار منبع تیتانیوم (میلی لیتر)	7/5	3/75	15	30

تعیین ویژگی های نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده

کریستالی بودن نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده با دستگاه XRD (x-ray Diffraction؛ مدل X' Pert pro شرکت Panalytical) مورد بررسی قرار گرفت. شکل و اندازه نانو ذرات با استفاده از دستگاه SEM (scanning electron microscopy؛ مدل TESCAN MIRA3, USA) مجهز به EDS (energy-dispersive X-ray spectroscopy) مطالعه شد. همچنین شناسایی نوع پیوندها و ترکیب شیمیایی موجود در نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسیدِ سنتز شده با دستگاه FTIR (fourier transform infrared؛ مدل Spectrum Two از شرکت PerkinElmer) انجام شد. از طیف سنجی UV-Vis DRS (UV-Visible Diffuse Reflectance Spectrometer؛ مدل Shimadzu, UV-2250, Japan) برای تعیین لبه جذب و محاسبه انرژی

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

باند گپ نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده در دامنه طول موج جذب نوری 200 تا 800 نانومتر استفاده گردید. برای بررسی توزیع اندازه ذرات نیز از تکنیک DLS (dynamic light scattering) استفاده شد.

بررسی فعالیت ضدباکتریایی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده

فعالیت ضدباکتریایی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم سنتز شده با استفاده از روش انتشار در چاهک در برابر باکتری‌های گرم منفی (*Vibrio harveyi;Escherichia coli*) و باکتری‌های گرم مثبت (*Staphylococcus aureus;* Micrococcus Sp.) بررسی گردید(2،12). به منظور تهیه محیط کشت، پودر مولر هینتون آگار[1] برای محیط کشت جامد و پودر مولر هینتون براث[2] برای محیط کشت مایع بر اساس دستور العمل تولیدکننده در آب مقطر حل شد و روی هیتر قرار داده شد تا ماده شفاف حاصل گردید و اتوکلاو شد. سپس محیط مولر هینتون آگار در پلیت‌های استریل و محیط مولر هینتون براث در لوله‌های آزمایش به حجم 5 میلی‌لیتر توزیع گردید. تمام سویه‌های باکتری به روش خطی کشت داده شدند و سپس به مدت 24 ساعت در انکوباتور در دمای 37 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. با آغشته‌کردن یک سواپ استریل به سوسپانسیون باکتری‌ها، سوآپ آلوده به باکتری‌ها به‌طور یکنواخت و در سه جهت روی محیط کشت مولر هینتون آگار (کشت چمنی سوسپانسیون‌های باکتریایی) حرکت داده شد تا باکتری روی پلیت‌ها کشت شود. در هر پلیت سه چاهک در فواصل منظم ایجاد شده و 10 میلی‌گرم پودر نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید ساخته شده از برگ گیاه حرای استریل شده (اتوکلاو) به‌طور جداگانه در یک میلی لیتر آب دیونیزه حل شد و پس از انجام سونیکت[3] و نیز ورتکس[4]، با استفاده از سمپلر، حدود 20 میکرولیتر به هر چاهک تزریق شد. قطر هاله‌های عدم رشد بعد از 24 ساعت انکوباسیون در دمای 37 درجه سانتی‌گراد به وسیله خط‌کش معمولی اندازه‌گیری گردید و نتایج به صورت میانگین سه بار تکرار محاسبه شدند. هاله‌های عدم رشد نسبت به نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید مقاومت کم‌تری نشان داده و آن نانوذرات، درصدی از باکتری را از بین برده است. باکتری‌هایی که هاله تشکیل ندادند نسبت به نانوذرات مقاوم بودند.

یافته ها

سنتز نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید

در تحقیق حاضر، سنتز نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید با استفاده از برگ گونه حرا به عنوان گیاه مانگروی غالب ایران مورد بررسی قرار گرفت. محلول حاوی عصاره خشک برگ گونه حرا و محلول تیتانیوم ایزوپروپوکساید در لحظه شروع واکنش به رنگ قهوه‌ای تیره بود (تصویر شماره 2-الف) و بعد از 150 دقیقه نگهداری، محلول به رنگ قهوه ای روشن تغییر رنگ داد و رنگ ثابت شد (تصویر شماره 2-ب).



الف



ب

تصویر شماره 2: سنتز نانوذرات تیتانیوم دی اکسید با استفاده از عصاره برگ گیاه حرا: (الف) رنگ محلول حاوی عصاره و تیتانیوم ایزوپروپوکساید در لحظه شروع واکنش، (ب) بعد از 150 دقیقه نگهداری

1. Muller-Hinton agar
2. Muller- Hinton broth
3. Sonicate
4. Vortex

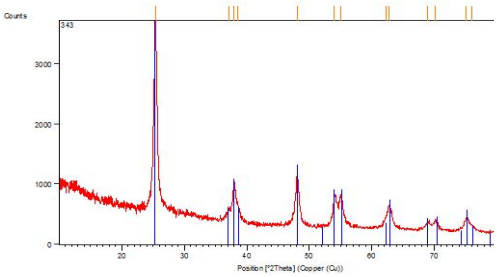
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

در واقع ترکیب عصاره برگ گونه حرا و محلول تیتانیوم ایزوپروپوکساید بعد از 10 دقیقه از شروع واکنش تغییر رنگ داده و در طی دوره نگهداری، رنگ محلول به سمت روشن شدن پیش رفت، به‌طوری که رنگ محلول از قهوه‌ای تیره به قهوه‌ای روشن در مدت 150 دقیقه تغییر پیدا کرد. لازم به ذکر است که با گذشت زمان، به دلیل احیاء یون‌های تیتانیوم میزان تغییر رنگ افزایش پیدا کرد و در محلول حاوی تیتانیوم ایزوپروپوکساید بدون عصاره گیاهی هیچ تغییر رنگی مشاهده نشد.

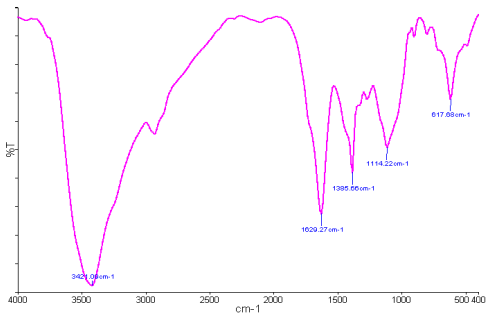
نتایج آنالیز XRD و تطابق آن با نمودارهای استاندارد تیتانیوم دی‌اکسید نیز تشکیل نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید کریستالی توسط گیاه حرا را اثبات نمود. نمونه S1، S2، S3 و S4 دارای فاز آناتاز با زاویه پراش 25/367، 38/667، 48/158، 54/051، 55/204، 62/867 و 75/277 درجه بودند. پیک مشخصه فاز آناتاز $2\theta = 25/3$ است(5).

بر اساس آنالیزهای XRD مشخص شد که بهترین و مناسب‌ترین آنالیز، مربوط به نمونه S2 می‌باشد (تصویر شماره 3) و پیک‌های مشخصه فاز آناتاز با کاهشِ نسبت عصاره به منبع تیتانیوم به‌طور مشخص و واضح‌تر مشاهده شدند. تمامی پیک‌های مشخصه فاز آناتاز در تصویر شماره 3 مربوط به نمونه S2 به‌طور کامل مشخص بوده و این موضوع در محدوده $2\theta = 36-40$ و $2\theta = 53-57$ به‌طور واضح قابل مشاهده است. بنابراین، نمونه S2 سنتز شده با کم‌ترین نسبت عصاره به منبع تیتانیوم و با استفاده از یک گرم عصاره خشک و 3/75 میلی‌لیتر محلول تیتانیوم به عنوان بهترین و مناسب‌ترین نمونه برای آنالیزهای بعدی انتخاب شد.

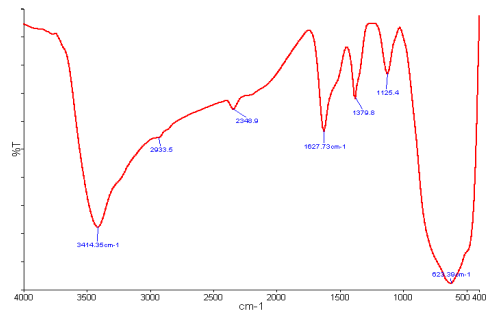
نتایج طیف سنجی FTIR تیتانیوم دی‌اکسید نمونه S2 سنتز شده در تصویر شماره 4-ب نشان داده شده است. دستگاه طیف‌سنجی مورد استفاده، ارتعاشات در محدوده طول موج $4000-450 cm^{-1}$ را اندازه‌گیری کرده است. پیک بزرگی که درناحیه 3400 تا $3600 cm^{-1}$ مشاهده می‌شود، مربوط به ارتعاش کششی گروه هیدروکسیل (OH–) متصل به Ti است(13). پیک $1627 cm^{-1}$ به ارتعاش خمشی OH نسبت داده می‌شود. شانه‌هایی که در 500 و $650 cm^{-1}$ دیده می‌شود و به‌طورکلی پیک‌های پایین‌تر از $810 cm^{-1}$ مربوط به ارتعاشات کششی باندهایی مانند O–Ti و –Ti– می‌باشد(14). حضور باندهای مذکور در طیف FTIR بیانگر حضور Ti در ساختار نانوذره و تشکیل نانوذرات TiO_2 می‌باشد. مقایسه طیف FTIR نمونه نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید نمونه S2 با طیف عصاره برگ حرا (تصویر شماره 4-الف) بیانگر جابه‌جایی پیک‌ها به‌خصوص در محدوده زیر $1500 cm^{-1}$ است.



تصویر شماره 3: الگوی XRD نانوذرات تیتانیوم دی اکسید سنتز شده با استفاده از یک گرم عصاره خشک و 3/75 میلی لیتر محلول تیتانیوم



الف

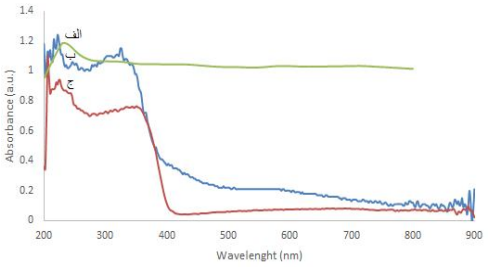


ب

تصویر شماره 4: طیف سنجی FTIR (الف) عصاره برگ حرا و (ب) نانوذرات تیتانیوم دی اکسید نمونه S2 سنتز شده با استفاده از عصاره برگ حرا

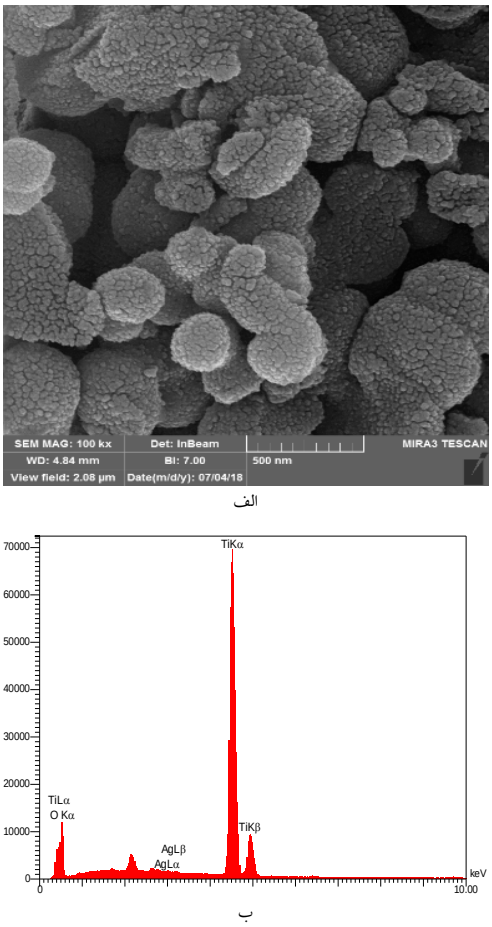
[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

طیف جذب UV-Vis DRS عصاره برگ گیاه حرا، تیتانیوم دی‌اکسید نمونه S2 و تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده به روش شیمیایی و بدون استفاده از عصاره گیاهی در تصویر شماره 5 در دامنه طول موج جذب نوری 200 تا 900 نانومتر نشان داده شده است. لبه جذب نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید نمونه S2 در طول موج 520 نانومتر مشاهده گردید و انرژی باند گپ، 2/38 eV به دست آمد(15). لبه جذب نمونه تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده به روش شیمیایی در مطالعات قبلی در طول موج 400 نانومتر مشاهده شده و انرژی باند گپ TiO_2 در نمونه سنتز شده به روش شیمیایی، 3/1 eV به دست آمده بود(5). مقایسه لبه جذب نمونه S2 با لبه جذب در نمونه تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده با استفاده از عصاره بیانگر کاهش محسوس انرژی باند گپ نمونه S2 و افزایش شدت جذب آن در ناحیه مرئی در طول موج بالاتر از 400 نانومتر می‌باشد.



تصویر شماره 5: طیف UV-Vis DRS (الف) عصاره برگ حرا، (ب) نانوذرات تیتانیوم دی اکسید سنتز شده با استفاده از عصاره برگ حرا و (ج) نانوذرات تیتانیوم دی اکسید سنتز شده به روش شیمیایی

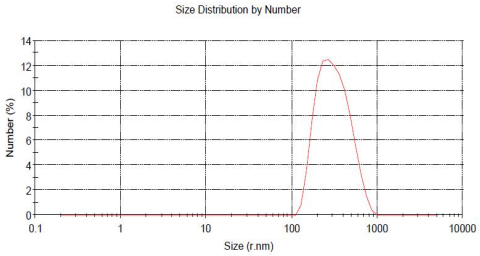
نتایج میکروسکوپی الکترونی روبشی نشان دهنده شکل کروی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده بود. همانطور که در تصویر شماره 6-الف مشخص شده است، نانوذرات سنتزی دارای ذرات کروی شکل با ابعاد حدود 250 نانومتر می‌باشند که از تجمع نانوذرات TiO_2 با اندازه‌های نسبتاً یکسان و در حدود 25 نانومتر به‌وجود آمده‌اند. لازم به ذکر است که اندازه نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید به دمای واکنش، غلظت عصاره، غلظت محلول تیتانیوم و مدت زمان واکنش بستگی دارد(13،14). با توجه به نتایج آنالیز EDS (شکل شماره 6-ب)، درصد محتوای Ti و O نمونه نانوذرات TiO_2 سنتزی به ترتیب 64/26 و 34/09 بود.



تصویر شماره 6: (الف) تصویر SEM و (ب) EDS نانوذرات تیتانیوم دی اکسید نمونه S2 سنتز شده با استفاده از عصاره برگ حرا

بررسی نتایج آنالیز DLS و پروفایل توزیع اندازه ذرات که در تصویر شماره 7 نشان داده شده است، نشان دهنده دامنه اندازه ذرات 100-1000 نانومتر و میانگین اندازه ذرات 265 نانومتر می باشد. نتایج آنالیز DLS تایید کننده نتایج حاصل از تصویر SEM است که نشان دهنده ذرات کروی شکل در ابعاد حدود 250 نانومتر حاصل از تجمع نانوذرات TiO_2 با اندازه‌های نسبتاً یکسان و در حدود 25 نانومتر بود.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]



تصویر شماره 7: پروفایل توزیع اندازه ذرات نانوذرات تیتانیوم دی اکسید نمونه S2 سنتز شده با استفاده از عصاره برگ حرا

نتایج حاصل از بررسی خاصیت ضدباکتریایی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده در جدول شماره 2 ارائه شده است. نتایج گویای آن است که از بین سویه‌های انتخابی، باکتری‌های گرم منفی مقاومت بیش‌تری از خود نشان دادند. باکتری گرم مثبت .Micrococcus Sp با داشتن بیش‌ترین مقدار هاله عدم رشد حساس‌ترین و باکتری گرم منفی *V. harveyi* بدون داشتن هاله عدم رشد به عنوان مقاوم‌ترین باکتری شناخته شد.

جدول شماره 2: نتایج خصوصیات ضدباکتریایی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید و عصاره برگ گیاه حرا به روش انتشار چاهک

میکروارگانیسم	منطقه مهار رشد نانوذرات تیتانیوم دی اکسید سنتز شده (mm) انحراف معیار± میانگین	منطقه مهار رشد عصاره (mm) انحراف معیار± میانگین
Micrococcus Sp.	13/66 ±1/55	-
Staphylococcus aureus	12 ±2/66	13/86±1/57
Escherichia coli	12 ±0/66	13/95±1/36
Vibrio harveyi	0/00	0/00

بحث

در مطالعه حاضر تاثیر چهار ترکیب مختلف از عصاره خشک برگ گیاه بومی حرا و مقادیر متفاوت تیتانیوم ایزوپروپوکساید به عنوان منبع تیتانیوم در سنتز زیستی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید ارزیابی گردید. محلول حاوی عصاره برگ گیاه و تیتانیوم ایزوپروپوکساید در ابتدای واکنش به رنگ قهوه‌ای تیره بود ولی 10 دقیقه بعد از شروع واکنش، شروع به تغییر رنگ داد و بعد از 150 دقیقه به رنگ ثابت قهوه‌ای روشن در آمد. آشکار شدن رنگ قهوه‌ای روشن در عصاره آبی برگ گیاه حرا بعد از واکنش با یون‌های تیتانیوم یک نشانه واضح از تبدیل شدن یون‌های فلزی به تیتانیوم دی‌اکسید و تشکیل نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید می‌باشد(16،15) این تغییر رنگ ناشی از ارتعاشات پلاسمون سطحی در نانوذرات است(17). در واقع، عصاره آبی گیاه حرا با احیای یون‌های تیتانیوم، رنگ محلول تیتانیوم را تغییر می‌دهد(18).

در تحقیقی مشابه که بر روی عصاره برگ *Euphorbia prostrata* انجام گرفت، عصاره برگ به محض قرار گرفتن در معرض محلول تیتانیوم شروع به سنتز نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید نمود و پس از دو ساعت به قهوه‌ای تغییر رنگ داد(16). در تحقیقی دیگر، عصاره آبی گیاه *Euphorbia heterarena* بعد از اضافه‌شدن محلول تیتانیوم دی‌اکسید پس از سه دقیقه به رنگ خاکستری روشن در آمد و بعد از 24 ساعت بعد از شروع واکنش تغییر رنگی مشاهده نشد و رنگ محلول ثابت ماند که این موضوع بیانگر تحریک رزونانس پلاسمونی سطحی و تشکیل نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید می‌باشد(19). در بیوسنتز نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید توسط لاکتوباسیلوس پلانتاروم‌های بومی ایران نیز تغییر رنگ محلول واکنش از قهوه‌ای روشن به قهوه‌ای تیره بیان‌گر احیاء تیتانیوم دی‌اکسید و سنتز نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید بود(20).

یکی از ابزارهای مهم و بسیار پرکاربرد برای مشخصه‌یابی ساختار نانوذرات، پراش پرتو ایکس می‌باشد. این الگوی پراش برای مشخص کردن فازهای کریستالی نانوذرات و اندازه‌گیری خصوصیات ساختاری آن‌ها استفاده می‌شود. تکنیک XRD روشی غیرمخرب و یکی از بهترین شیوه‌ها برای بررسی ویژگی‌های ساختاری نانوذرات می‌باشد. در مطالعه پیش‌رو با توجه به پیک‌های شاخص به‌دست آمده از XRD در 2θ ی استاندارد برای نمونه‌های سنتزی، کریستالی بودن نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید تایید گردید(19،21). نتایج حاصل از مطالعه پراش پرتو ایکس توسط در مورد سنتز نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید توسط عصاره گیاه *Jatropha curcas* با نتایج پیش‌رو همخوانی دارد و حضور کریستال‌های تیتانیوم

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

دی‌اکسید با پیک‌هایی با زاویه پراش 25/01، 37/03، 48/05، 53/87، 55، 62/39 و 71/16 درجه در راستای صفحات 101، 111، 200، 105، 211، 204 و 220 تایید گردید(22).

در مطالعه دیگری که بر روی عصاره آبی گیاه *Eclipta prostrata* انجام شد، آنالیز حاصل از پراش پرتو ایکس وجود کریستال‌های تیتانیوم دی‌اکسید را با پیک‌هایی با زاویه پراش 27/811، 35/55، 45/10، 55/75، 64/80 و 70/05 درجه به‌ترتیب در راستای صفحات 110، 101، 210، 211، 310 و 301 نشان داد(23).

مطالعه Abu-Dalo و همکاران نیز نشان داد که پیک‌هایی با زاویه پراش 25/20، 37/80، 48/04، 53/89، 62/68 و 75/1 درجه نشان‌دهنده راستای صفحات کریستالی 101، 004، 200، 105، 211 و 204 در تیتانیوم دی‌اکسید تولید شده با استفاده از عصاره پوست انار است. آن‌ها همچنین بیان کردند که پیک‌ها با زاویه پراش 25/27 و 48/01 درجه تائیدکننده تشکیل فاز آناتاز نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید می‌باشد(24).

به منظور شناسایی مولکول‌های زیستی که مسئول احیای نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده با استفاده از عصاره گیاهی هستند، می‌توان از تبدیل فوریه مادون قرمز استفاده کرد. نتایج حاصل از آنالیز طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز عصاره برگ گیاه حرا *Avicennia marina* در نمونه S2 نشان داد که این نمونه دارای پیک‌های $33/2323\ cm^{-1}$، $36/2161\ cm^{-1}$، $52/2048\ cm^{-1}$، $72/1108\ cm^{-1}$ و $03/819\ cm^{-1}$ بود. پیک $33/2323\ cm^{-1}$ فرکانس جذب مربوط به ارتعاشات کششی باندهایی مانند Ti–O و –Ti می‌باشد، پیک $36/2161\ cm^{-1}$ فرکانس جذب گروه تیول، تیوسیانات (-SCN)، پیک $52/2048\ cm^{-1}$ فرکانس جذب گروه تیول، ایزوسیانات (-NCS)، پیک $72/1108\ cm^{-1}$ فرکانس جذب ترکیبات فلوروآلیفاتیک مربوط به کشش C-F و پیک $03/819\ cm^{-1}$ فرکانس جذب حلقه‌های آروماتیک را نشان می‌دهد(25). در مطالعه حاضر، حضور پیک‌های مربوط به ارتعاشات کششی باندهای Ti–O و –Ti– تائید کننده نتایج XRD در سنتز زیستی تیتانیوم دی‌اکسید با استفاده از عصاره برگ گیاه حرا است. در یک مطالعه پیشین بر روی عصاره برگ گیاه *Euphorbia heteradena* پیک‌های ایجاد شده در نمودار طیف FTIR با مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد. این پیک‌ها معرف ترکیبات حلقه‌های آروماتیک، گروه هیدروکسیل، گروه آلکن و باند H مربوط به کشش OH می‌باشند که نشان دهنده تشکیل نانوذرات فلزی آزاد هستند. در تحقیق دیگری نیز که بر روی عصاره آبی *Eclipta prostrate* انجام شد، پیک‌های ایجاد شده در نمودار طیف FTIR با مطالعه حاضر مطابقت دارد. این پیک‌ها معرف کشش هیدروکسیل، آلکان‌ها، آمین‌های اولیه و آمین‌های آلیفاتیک می‌باشند که نشان دهنده تشکیل نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید هستند(23).

در مطالعه دیگری، Goutama و همکاران پیک جذبی مربوط به باند Ti–O و Ti–O–Ti را در محدوده $700-500\ cm^{-1}$ مشاهده کردند. همچنین پیک جذبی در $652\ cm^{-1}$ را نشان‌دهنده فاز آناتاز نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده با استفاده از عصاره گیاه *Jatropha curcas L.* گزارش دادند که نتایج آن‌ها با مطالعه حاضر همخوانی دارد(26).

در مواد نیمه رسانا، تراز ظرفیت پر ولی تراز رسانش خالی است و باند گپ که دو تراز را از یکدیگر جدا می‌کند نسبت به مواد عایق کوچکتر است. حال اگر انرژی باند گپ تامین شود و الکترونی از تراز ظرفیت به باند هدایت برانگیخته شود، باند هدایت خالی نخواهد بود. برخورد فوتون‌هایی با انرژی بیش‌تر از انرژی باند گپ فوتوکاتالیست‌های نیمه رسانا می‌تواند موجب تهییج الکترون‌های تراز ظرفیت به تراز رسانش شود. جذب فوتون‌هایی با انرژی کم‌تر از انرژی باند گپ یا با طول موج بلندتر موجب اتلاف انرژی به صورت گرما می‌گردد. تابش نور با سطح انرژی مناسب به سطح فوتوکاتالیست منجر به تشکیل حفره مثبت (hV^+) در تراز ظرفیت و

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

یک الکترون (e^-) در تراز رسانش می‌گردد. حفره مثبت به‌وجود آمده به عنوان یک اکسنده قوی و الکترون انتقال یافته به لایه رسانش به عنوان یک عامل کاهنده قوی در فرایندهای فتوکاتالیستی عمل می‌کند(28،27).

آنالیز طیف سنج فرابنفش مرئی جامد (UV-Vis DRS) ابزاری برای بررسی و تعیین طول موجی است که موجب تهییج الکترون‌های تراز ظرفیت به تراز رسانش در ساختار مواد نیمه رسانا شود و با استفاده از این تکنیک می‌توان انرژی باند گپ مواد نیمه رسانا (تیتانیوم دی اکسید در این مطالعه) را محاسبه نمود. لبه جذب تغییر ناگهانی میزان جذب‌شوندگی پرتو تابیده شده در محیطی معین است که در طولِ‌موج خاصی روی می‌دهد. لبه جذب نقطه‌ای است‌که ازمحل تلاقی خط مماس بر بخش افت جذب در طیف UV-Vis DRS و خط مماس بر بخش پایه طیف (موازی با محور X) به دست می‌آید(29،28). در مطالعه حاضر محل تلاقی دو خط ذکر شده در طول موج 520 نانومتر به‌دست آمد.

در مطالعه حاضر، لبه جذب نمونه تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده با استفاده از عصاره (S2) نسبت به لبه جذب نمونه تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده به روش شیمیایی جابه جایی قرمز را نشان داد و انرژی باند گپ نمونه S2 نسبت به تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده به روش شیمیایی کاهش یافت. همچنین شدت جذب آن در ناحیه مرئی در طول موج بالاتر از 400 نانومتر افزایش یافت.

از تکنیک‌های میکروسکوپی همانند میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ الکترونی عبوری برای مطالعه ریخت سنجی نانوذرات مانند تعیین اندازه و شکل استفاده می‌شود. مواد در مقیاس نانومتر، به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی اهمیت زیادی دارند و دارای کاربردهای فراوان در زمینه‌های مختلف می‌باشند. این خصوصیت منحصر به فرد نانوذرات به مقدار زیادی وابسته به اندازه و شکل آن‌ها می‌باشد. در مطالعه پیش‌رو، نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده از گیاه حرا بر اساس نتایج میکروسکوپ الکترونی روبشی به شکل کروی بودند و تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان‌دهنده توده‌های کروی شکلی با ابعاد حدود 250 نانومتر حاصل از تجمع نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در ابعاد 25 نانومتر بود. نتایج آنالیز EDS و پروفایل توزیع اندازه ذرات نیز تائیدکننده نتایج تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی بود. در مطالعه مشابه در گیاه *Psidium guajava*، میانگین اندازه نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسیدِ تولید شده 32/58 نانومتر توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی به دست آمد. در مطالعه دیگری بر روی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید به روش زیستی با استفاده از لاکتوباسیلوس پلانتاروم‌های بومی ایران، اندازه نانوذرات سنتز شده بین 2 میکرومتر تا 50 نانومتر گزارش شد و شکل نانوذرات کروی بود(20). در مطالعه‌ای، Goutama و همکاران نیز سنتز توده‌های کروی شکلی از نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در ابعاد 10-20 نانومتر با استفاده از عصاره گیاه *Jatropha curcas L.* را گزارش دادند(26).

نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید دارای کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف می‌باشند که یکی از مهم‌ترین این کاربردها داشتن اثر کشندگی در برابر باکتری‌های بیماری‌زا است. توان فعل و انفعالات نانوذرات به دلیل نسبت بالای سطح به حجم آن‌ها بیش‌تر می‌شود که این امر خود موجب افزایش فعالیت ضد باکتریایی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید می‌گردد(۲۱،۱۲).

در مطالعه حاضر، فعالیت ضدباکتریایی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده در برابر باکتری‌های گرم مثبت و باکتری‌های گرم منفی به خوبی نشان داده شد. نتایج گویای آن بود که از بین سویه‌های انتخابی، باکتری‌های گرم منفی مقاومت بیش‌تری از خود نشان دادند. این موضوع به دلیل وجود غشاءهای خارجی احاطه‌کننده دیواره سلولی در باکتری‌های گرم منفی منطقی به نظر می‌رسد که این باکتری‌ها در برابر اثرات ضد باکتریایی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید حساسیت کمتری از خود نشان دهند. در تحقیقی دیگر گزارش شد که اثر ضد باکتری نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

شده توسط عصاره گیاه *Trigonella foenum-graecum* بر علیه باکتری‌های گرم مثبت نسبت به باکتری‌های گرم منفی برجسته تر است به طوری‌که مقدار هاله عدم رشد برای باکتری‌های گرم مثبت *Staphylococcus aureus* و *Streptococcus faecalis* بیش‌تر از باکتری گرم منفی *Escherichia coli* به‌دست آمد(21). همچنین در بررسی خواص ضد باکتریایی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید بر علیه باکتری گرم مثبت *S. aureus* و باکتری گرم منفی *E. coli* نشان داده شد که باکتری گرم مثبت با داشتن بیش‌ترین مقدار هاله عدم رشد حساس‌ترین و باکتری‌های گرم منفی با داشتن کم‌ترین مقدار هاله عدم رشد، مقاوم‌ترین باکتری‌ها بودند(30).

در مطالعه‌ای دیگر، Abu-Dalo و همکاران گزارش دادند که نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده با استفاده از عصاره پوست انار نیز دارای خصوصیت ضدباکتریایی بر ضد باکتری گرم مثبت *S. aureus* و باکتری‌های گرم منفی *pseudomonas aeruginosa* و *E. coli* است(24).

در مجموع، نتایج مطالعه حاضر بیانگر سنتز زیستی موفقیت‌آمیز و بهینه نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید توسط ترکیب یک گرم عصاره خشک برگ حرا با مقدار 3/75 میلی‌لیتر محلول تیتانیوم ایزوپروپوکساید به‌عنوان غلظت بهینه بود. آنالیز XRD تشکیل نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید کریستالی، تصاویر SEM میانگین اندازه 25 نانومتر و شکل کروی نانو ذرات، آنالیز FTIR حضور Ti در ساختار نانوذره و تشکیل نانوذرات TiO_2 و طیف سنجی UV-Vis کاهش انرژی باند گپ را در نمونه بهینه سنتزی نشان داد. هم‌چنین نانو ذرات تیتانیوم دی‌اکسید سنتز شده دارای خاصیت ضدباکتریایی علیه باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبتِ مورد آزمایش بودند که این خاصیت ضد باکتریایی علیه باکتری‌های گرم مثبت قوی‌تر بود.

References

1. Abdi V, Sourinejad I, Yousefzadi M, Ghasemi Z. Biosynthesis of silver nanoparticles from the mangrove Rhizophora mucronata: its characterization and antibacterial potential. Iran J Sci Technol Trans Sci 2019; 43: 2163-2171.
2. Sarkheil M, Sourinejad I, Mirbakhsh M, Kordestani D, Johari SA. Antibacterial activity of immobilized silver nanoparticles on TEPA-Den-SiO_2 against shrimp pathogen, Vibrio sp. Persian1. Aquac Res 2017; 48(5): 2120-2132.
3. Dabirvaziri B, Givianrad MH, Sourinejad I, Mashinchian Moradi A, Ghavam Mostafavi P. A simple and effective synthesis of magnetic γ-Fe_2O_3@SiO_2@TiO_2–Ag microspheres as a recyclable photocatalyst: dye degradation and antibacterial potential. J Environ Health Sci Engineer 2019; 17(2): 949-960.
4. Abdi V, Sourinejad I, Yousefzadi M, Ghasemi Z. Mangrove mediated synthesis of silver nanoparticles using native Avicennia marina plant extract from southern Iran. Chem Eng Commun 2018; 205(8): 1069-1076.
5. Ghasemi Z, Younesi H, Zinatizadeh AA. Preparation, characterization and photocatalytic application of TiO_2/Fe-ZSM-5 nanocomposite for the treatment of petroleum refinery wastewater: optimization of process parameters by response surface methodology. Chemosphere 2016: 159: 552-564.
6. Ahmed S, Ahmad M, Swami BL, Ikram S. A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: a green expertise. J Adv Res 2016; 7(1): 17-28.
7. Makarov VV, Love AJ, Sinitsyna OV, Makarova SS, Yaminsky IV, Taliansky ME,

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

et al. ‘‘Green’’ nanotechnologies: synthesis of metal nanoparticles using plants. Acta Naturae 2014; 6(1): 35-44.

8. Ibrahim HMM. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using banana peel extract and their antimicrobial activity against representative microorganisms. J Radiat Res Appl Sci 2015; 8(3): 265-275.
9. Vanaja M, Annadurai G. Coleus aromaticus leaf extract mediated synthesis of silver nanoparticles and its bactericidal activity. Appl Nanosci 2013; 3: 217-223.
10. Bakshi M, Ghosh S, Chaudhuri P. Green synthesis, characterization and antimicrobial potential of sliver nanoparticles using three mangrove plants from Indian Sundarban. BioNanoScience 2015; 5: 162-170.
11. Balakrishnan S, Srinivasan M, Mohanraj J. Biosynthesis of silver nanoparticles from mangrove plant (Avicennia marina) extract and their potential mosquito larvicidal property. J Parasit Dis 2016; 40(3): 991-996.
12. Santhoshkumar T, Rahuman AA, Jayaseelan C, Rajakumar G, Marimuthu S, Vishnu Kirthi A, et al. Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using Psidium guajava extract and its antibacterial and antioxidant properties. Asian Pac J Trop Med 2014; 7(12): 968-976.
13. Maira AJ, Coronado JM, Augugliaro V, Yeung KL, Conesa JC, Soria J. Fourier transform infrared study of the performance of nanostructured TiO_2 particles for the photocatalytic oxidation of gaseous toluene. J. Catal 2001; 202(2): 413-420.
14. Demirci S, Dikici T, Yurddaskal M, Gultekin S, Toparli M, Celik E. Synthesis and characterization of Ag doped TiO_2 heterojunction films and their photocatalytic performances. Appl Surf Sci 2016; 390: 591-601.
15. Dobrucka R. Synthesis of titanium dioxide nanoparticles using Echinacea. Iran J Pharm Res 2017; 16(2): 753-759.
16. Zahir AA, Chauhan IS, Bagavan A, Kamaraj C, Elango G, Shankar J, et al. Green synthesis of silver and titanium dioxide nanoparticles using Uphorbia prostrate extract shows shift from apoptosis to G_0/G_1 arrest followed by necrotic cell death in Leishmania donovani. Antimicrob Agents Chemother 2015; 59(8): 4782-4799.
17. Singhal G, Bhavesh R, Kasariya K, Sharma AR, Singh RP. Biosynthesis of silver nanoparticles using Ocimum sanctum (Tulsi) leaf extract and screening its antimicrobial activity. J Nanopart Res 2011; 13(7): 2981-2988.
18. Krishnaraj C, Jagan EG, Rajasekar S, Selvakumar P, Kalaichelvan PT, Mohan N. Synthesis of silver nanoparticles using Acalypha indica leaf extracts and its antibacterial activity against water borne pathogens. Colloids Surf B Biointerfaces 2010; 76(1):50-56.
19. Nasrollahzadeh M, Sajadim M. Synthesis and characterization of titanium dioxid nanoparticles using Euphorbia heteradena joub root extract and evaluation of their stability. Ceram Int 2015; 41: 14435-14439.
20. Ladan SAB, Mohammadi azhar A, Tajabadi Ebrahimi M, Heydari Nasrabadi M. Titanium nanoparticles biosynthesis by Lactobacillus isolated from Iran’s traditional dairy products. NCMBJ 2012; 2(6): 83-90.
21. Subhapriya S, Gomathipriya P. Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles by Trigonella foenum-graecum extract and its antimicrobial properties. Microb Pathog 2018; 116: 215-220.
22. Hudlikar M, Joglekar S, Dhaygude M, Kodam K. Green synthesis of TiO_2 nanoparticles by

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]

using aqueous extract of Jatropha curcas L. latex. Mater Lett 2012; 75: 196-199.

23. Rajakumar G, Abdul Rahuman A, Priyamvada B, Gopieshkanna V, Kishorekumar D, Sujin P. Eplicta prastrata leef aqueos extract mediated synthesis of titanium dioxid nanoparticles. J Mater Sci 2012; 68: 115-117.
24. Abu-Daloa M, Jaradata A, Albissb BA, Al-Rawashdeh NAF. Green synthesis of TiO_2 NPs/pristine pomegranate peel extract nanocomposite and its antimicrobial activity for water disinfection. J Environ Chem Eng 2019; 7(5): 103370.
25. Coates J. Interpretation of infrared spectra, a practical approach in: Encyclopedia of Analytical Chemistry, Meyers RA (Ed.) Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2000; p: 10815-10837.
26. Goutama SP, Saxenab G, Singhc V, Yadava AK, Bharagavab RN, Thapaa KB. Green synthesis of TiO_2 nanoparticles using leaf extract of Jatropha curcas L. for photocatalytic degradation of tannery wastewater. Chem Eng J 2018; 336: 386-396.
27. Ao Y, Xu L, Wang P, Wang C, Hou J. Preparation of heterostructured Ag@AgCl/$La_2Ti_2O_7$ plasmonic photocatalysts with high visible light photocatalytic performance for the degradation of organic pollutants. RSC Adv 2016; 6(23): 19223-19232.
28. Zhang J, Liu X, Suo X, Li P, Liu B, Shi H. Facile synthesis of Ag/AgCl/TiO_2 plasmonic photocatalyst with efficiently antibacterial activity. Mater Lett 2017; 198: 164-167.
29. Zhang C, Hua H, Liu J, Han X, Liu Q, Wei Z, Shao C, Hu C. Enhanced Photocatalytic Activity of Nanoparticle-Aggregated Ag–AgX(X = Cl, Br)@TiO_2 Microspheres Under Visible Light. Nano-Micro Lett 2017; 9(4): 49.
30. Castro-Alarcón N, Herrera-Arizmendi JL, Marroquín-Carteño LA, Guzmán-Guzmán IP, Pérez-Centeno A, Santana-Aranda MA. Antibactrial activity of nanoparticles of titanium dioxid Intrinsic and doped with Indium and Iron. Microbiol. Res Int 2016; 4(4): 55-62.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-11-24]