

(مقاله پژوهشی)

ویژگی ضد باکتریایی نانو ذرات نقره / کلرید نقره بیوسنتزی با استفاده از عصاره برگ گیاه مرزه تحت تاثیر پرتو گاما

مریم قنادنیا*

۱-استادیار، گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۶

DOI: 10.30495/jfst.2022.1938228.1747

چکیده

یکی از مهمترین مشکلات بهداشتی در سراسر جهان افزایش میکروارگانسیم های بیماری زای مقاوم به انواع مواد ضد میکروبی است. در این پژوهش ویژگی ضد باکتریایی نانو ذرات نقره / کلرید نقره بیوسنتزی توسط عصاره برگ گیاه دارویی مرزه تحت تاثیر دوزهای مختلف پرتو گاما مقایسه شده است. بیوسنتز نانو ذرات نقره / کلرید نقره توسط عصاره برگ گیاهان روئیده از بذرهایی که تحت تاثیر دوزهای مختلف از اشعه گاما (۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گری) قرار گرفته بودند، انجام شد. تشکیل نانو ذرات بیوسنتزی توسط دستگاه های اسپکتروفتومتری UV و XRD تایید شده و ویژگی های آنها مانند میانگین اندازه توسط DLS، شکل و اندازه توسط FESEM، آنالیز عنصری توسط EDAX، تعیین گروه های عاملی عصاره گیاه موثر در فرایند توسط FTIR و ویژگی ضد باکتریایی آنها به روش انتشار دیسک (Disc Diffusion) انجام شد. بیشترین خاصیت ضد باکتریایی نانو ذرات نقره / کلرید نقره بیوسنتزی توسط دوز ۱۵ گری از گاما با میانگین اندازه نانو ذرات ۴۰/۰۲ nm و قطر هاله بازدارندگی رشد ۱۳ mm بر ضد باکتری *Escherichia coli* و کمترین آن در دوز ۹۰ گری با میانگین اندازه نانو ذرات ۱۷۰/۶۲ nm و قطر هاله بازدارندگی رشد ۱۰ mm بر ضد همین باکتری مشاهده شد. نانو ذرات نقره بیوسنتزی توسط عصاره گیاه مرزه تیمار شده با دوز ۱۵ گری از پرتو گاما، بیشترین ویژگی ضد باکتریایی را بر علیه باکتری *Bacillus subtilis* و به ویژه *E. coli* نشان داد. زیست سازگاری بالای این نانو ذرات بیوسنتزی، آنها را جایگزین مناسبی به جای مواد مشابه سنتز شده از روش های غیر زیستی نشان می دهد.

واژه های کلیدی: فعالیت ضد باکتری، عصاره گیاه مرزه، پرتو گاما، *E. coli*، *B. subtilis*

۱- مقدمه

تولید انواع مواد ضد باکتریایی جدید و مختلف همواره از اهداف مهم سازمان‌های بهداشتی جوامع جهانی بوده است. ترکیبات آلی ضد میکروبی به دلیل برخی ویژگی‌های نامطلوب از جمله حساسیت به دما، قابلیت تجزیه پذیری زیاد و عدم مقاومت نسبت به درجه حرارت و فشار زیاد دارای محدودیت استفاده هستند (۳۱). بنابراین استفاده از مواد ضد باکتریایی غیر آلی مورد توجه خاص بسیاری از محققین قرار گرفته که نانو ذرات یکی از مهمترین آن‌ها هستند. از سوی دیگر در سال‌های اخیر مقاومت انواعی از باکتری‌ها در مقابل عوامل ضد باکتریایی به دلیل استفاده بی‌رویه از این مواد و توسعه سویه‌های مقاوم، افزایش زیادی یافته است. نتایج بسیاری از محققان ویژگی ضد باکتریایی نانو ذرات فلزی به ویژه نقره را بر ضد باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی تأیید کرده است (۶۲، ۶۴). نانو ذرات نقره به دلیل ویژگی‌های خاص مانند اثر ضد باکتریایی بدون ایجاد سمیت برای انسان، در صنایع مختلفی مانند کشاورزی، داروسازی، پزشکی، تصفیه آب، تولید مواد آرایشی-بهداشتی کاربرد زیادی یافته است (۶، ۶۷، ۷۰، ۸۵، ۸۷). نانو ذراتی که از روش‌های زیستی بیوسنتز می‌شوند به دلیل وجود ترکیبات آلی بر سطوح خود از ویژگی زیست سازگاری بیشتری برخوردار بوده و ضمناً بیوسنتز آنها از این روش به دلیل ویژگی‌های مطلوب زیاد از جمله نیاز کمتر به انرژی، مقرون به صرفه بودن و عدم تولید مواد سمی برای محیط زیست از اهمیت خاصی برخوردار است (۲۲، ۲۵، ۵۷، ۷۶، ۸۴). جدیدترین تحقیقات ما مشخص نموده که با کنترل شرایط کشت گیاه و همچنین ایجاد تغییر در محیط کشت آن‌ها می‌توان مسیر بیوسنتزی جهت تولید نانو ذراتی با ویژگی‌های مورد نظر را تسهیل نمود (۶۲، ۶۴). با اینکه مکانیسم دقیق بیوسنتز نانو ذرات با استفاده از عصاره‌های گیاهی به خوبی مشخص نشده، نتایج اکثر تحقیقات شرکت ترکیبات فعال زیستی موجود در عصاره‌های گیاهی مانند انواع پروتئین‌ها، فنل‌ها، فلاونوئیدها، الکل‌ها و سایر مواد مشابه در احیای یون‌ها و ایجاد پوششی از ترکیبات آلی در اطراف آن‌ها را تأیید نموده است (۵، ۴۳). از خواص متابولیت‌های گیاهی می‌توان به خاصیت ضد میکروبی ترپنوئیدها؛ آنتی بیوتیکی

فلاونوئیدها؛ ضد قارچی، ضد میکروبی و ضد ویروسی لیگنان‌ها اشاره نمود (۷۱). حتی بسیاری از تحقیقات نوین، کارآیی برخی ترکیبات گیاهی بر ضد باکتری‌های مقاوم به داروهای چندگانه و ویروس‌هایی مانند آنفلوآنزا (۱۷)، ایدز (۵۱)، سارس (۶۸) و حتی کووید-۱۹ (۱۰) را امکان‌پذیر نشان داده است. استفاده از پرتو تابشی سبب ایجاد تحولات بزرگی در رابطه با تحقیقات گیاهی شده است (۳۹) به عنوان مثال استفاده از پرتو گاما، به سبب در دسترس بودن و قدرت نفوذ بیشتر، موثرتر و مقرون به صرفه تر از سایر پرتوهای یونیزان است (۵۵). استفاده از تیمارهای مختلف مانند پرتو گاما بر بذره‌های برخی گیاهان به ویژه انواع دارویی آن‌ها می‌تواند سبب تغییرات مختلف از جمله تغییرات بیوشیمیایی در گیاهان رویش یافته از آن‌ها گردد (۲۶، ۳۲، ۵۲). اگرچه ویژگی‌های ضد باکتریایی نانوذرات نقره بیوسنتزی بسیار مورد بررسی قرار گرفته ولی تحقیقات کمی در رابطه با نانو ذرات کلرید نقره بیوسنتزی گزارش شده است (۲۰). از جهت دیگر در چند دهه اخیر تقاضا جهت غذاهای آماده برای "استفاده"، "پختن" و "خوردن" به شدت افزایش یافته است. بنابراین توجه به صنایع غذایی به ویژه بسته بندی آن‌ها جهت افزایش ماندگاری بدون تغییر کیفیت و به ویژه ممانعت و یا تاخیر در فساد آن‌ها مورد توجه خاصی قرار گرفته است (۱۳). با توجه به این که بیماری‌های ناشی از غذا یکی از مشکلات جهانی سلامت عمومی است (۵۴)، یکی از ضروری‌ترین مسائل در این رابطه تولید و استفاده از بسته بندی‌های جدید ضد میکروبی است که مواد فعال مرتبط را جهت افزایش کیفیت مواد غذایی، افزایش ماندگاری و ممانعت یا به تاخیر انداختن فساد آن‌ها آزاد کند. این ویژگی ضد میکروبی می‌تواند مستقیماً در ارتباط با مواد غذایی و یا فضای اطراف آن‌ها ایجاد گردد (۸۳) که توسط مواد آلی یا معدنی ویژه امکان پذیر است (۴۷). استفاده از نانو مواد در زمینه‌های مختلف توسعه سریعی داشته (۱۴) و به ویژه اخیراً جهت بسته بندی مواد غذایی مورد توجه خاصی قرار گرفته است (۱۲، ۵۶). بسته بندی مواد غذایی بر اساس فناوری نانو، به دو شکل غیر مستقیم و ترکیب با سایر مواد و یا به صورت مستقیم با "بسته بندی فعال" امکان پذیر است (۱۹). عملکرد نانوذرات فلزی از نوع اخیر بوده و با

بسته بندی مواد غذایی مورد بررسی قرار داد. این نوع از نانو ذرات با توجه به وجود پوششی از ترکیبات آلی بر روی آن‌ها، علاوه بر خاصیت ضد میکروبی، مضرات کمتری را نسبت به انواع سنتز شده از سایر روش‌ها (فیزیکی و شیمیایی) به هنگام مصرف مواد غذایی بسته بندی شده با آنها خواهند داشت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این پژوهش، بذر گیاه مرزه از شرکت پاکان بذر اصفهان و باکتری‌های (*Escherichia coli* (PTTC 1276) و (*Bacillus subtilis* (M59KP406766) از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه شدند. از محیط کشت لوریا-برتانی و آگار باکتریولوژی (QUELAB)، نیرتات نقره و پتاسیم پروماید (Merck) استفاده شد.

۲-۲- کشت گیاهان در گلخانه

بذرهای گیاه دارویی مرزه پس از خریداری از شرکت پاکان بذراصفهان، جهت پرتوتابی به پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای کرج جهت پرتودهی با دزهای ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گری از منبع کبالت ۶۰ با سرعت پرتوتابی ۱۰ گری در ۲ دقیقه و ۴۸ ثانیه ارسال شده و بذره‌ای بدون پرتوتابی به عنوان شاهد (صفرگری) در نظر گرفته شدند. در تیرماه سال ۱۳۹۹، بذره‌ای تیمار شده در گلدان‌هایی با ابعاد ۲۰×۲۰×۲۰ cm (Klasman-Deilmann)، پر شده با پیت ماس (آلمان) واقع در گلخانه ناحیه یک از اداره کل آموزش و پرورش استان قزوین کشت شده و به شکل روزانه و منظم آبیاری شدند. پس از حدود ۴۵ روز گیاهان در فاز رویشی یکسان با تعداد گره بین ۵ تا ۷ عدد برداشت شده، برگ‌ها پس از جداسازی و خشک شدن بر روی کاغذ صافی در شرایط آزمایشگاهی (۲۵±۳ °C)، در ظروف شیشه‌ای در دار و در تاریکی جهت ادامه تحقیق نگهداری شدند.

۲-۳- تهیه عصاره آبی از برگ‌های مرزه

نمونه برگ‌های خشک شده گیاه مرزه از دوزهای مختلف به شکل جداگانه با هاون چینی پودر شده و به نسبت ۰/۲

توجه به خاصیت بیشتر ضدباکتریایی، ضد مخمری، ضد قارچی و ویروسی، نانو ذرات نقره نسبت به فلزاتی مانند مس، روی، طلا و تیتانیوم، امروزه بیشتر مورد استفاده است (۴۸، ۶۳). از جهت دیگر نقره نسبت به سایر فلزات سمیت کمتری بر روی سلول‌های جانوری نشان داده است (۹). به هر حال مقدار انتقال نانو ذرات نقره از پوشش بسته بندی یا پدهای جذب کننده رطوبت داخل بسته‌ها به مواد غذایی باید دقیقاً کنترل شده و مطابق استانداردهای جهانی باشد (۲۷). در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در رابطه با تاثیر مواد بسته بندی حاوی نانو ذرات نقره جهت ممانعت از فساد مواد غذایی توسط میکروارگانیسم‌ها انجام شده که می‌توان به گوشت مرغ (۸)، گردو و پسته (۸۰) اشاره کرد. کاربرد نانوذرات سنتز شده با روش‌های غیر زیستی از لحاظ محیط زیستی و سلامتی انسان با نگرانی‌های زیادی همراه بوده (۷۵) و گزارش‌های زیادی در این رابطه وجود دارد (۱۱). تحقیقات اخیر نشان داده که پوشش دار کردن نانو ذرات با ترکیبات آلی مختلف مانند پلی ساکاریدها و چربی‌های می‌تواند از مضرات آن‌ها کاسته، زیست‌سازگاری آن‌ها را افزایش داده و کارآیی آن‌ها جهت مصارف مختلف را بهبود بخشد. در دانش نوین بیونانو تکنولوژی، بیوستتزمستقیم نانو ذرات پوشش دار توسط ترکیبات آلی موجودات زنده از جمله مخمرها، قارچ‌ها و گیاهان امکان پذیر شده است (۵۸). مرزه با نام علمی *Satureja hortensis*، گیاه دارویی و معطر از خانواده نعنائیان است که اهمیت اقتصادی داشته و علاوه بر مصارف خوراکی، در صنایع مختلف تولید مواد دارویی و آرایشی-بهداشتی کاربرد دارد (۴۱) که تحقیقات پیشین ما ویژگی‌های نانوذرات بیوستتزی از عصاره برگ‌های آن تحت تنش شوری را تأیید نموده است (۶۴). لذا با توجه به عدم مطالعه ویژگی‌های نانوذرات بیوستتزی از عصاره این گیاه تحت تاثیر پرتوهای گاما، پژوهش حاضر با هدف مقایسه ویژگی‌های ضد میکروبی نانو ذرات نقره/کلرید نقره بیوستتز شده توسط عصاره گیاهان مرزه که بذره‌ای آن‌ها تحت تاثیر پرتو گاما با دزهای مختلف قرار گرفته اند، انجام شده است. با استفاده از نتایج این مطالعه می‌توان استفاده از نانو ذرات نقره بیوستتز شده را در علوم و صنایع مختلف از جمله صنعت

۲-۵-۴- تعیین اندازه، شکل و نوع نانوذرات توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FESEM) و آنالیز عنصری (EDAX)

مقداری از پودر نانو ذرات نقره بر روی گرید دستگاه میکروسکوپ الکترونی (FE-SEM ZEISS Sigma 300)، قرار داده شده و تحت شرایط تنظیمی تصویربرداری انجام شد (۶۲). آنالیز عنصری نیز با استفاده از دستگاه متصل شده به SEM انجام شد (۲۱).

۲-۵-۵- تعیین گروه‌های عاملی مؤثر در فرآیند توسط دستگاه تبدیل طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)

پودر نانو ذرات نقره بیوستتزی و پودر عصاره‌های خالص هر دوز (بدون نانو ذره)، به شکل جداگانه به نسبت ۱ به ۱۰۰ با نمک پتاسیم بروماید مخلوط شده و توسط دستگاه FTIR (Bruker، آلمان، cm^{-1}) در محدوده طول موج های $4000-400$ مورد بررسی قرار گرفته و نمودارهای پیک‌های جذبی رسم شدند (۶۴).

۲-۶- بررسی خاصیت ضدباکتریایی نانوذرات نقره بیوستتزی

این ویژگی با استفاده از روش انتشار صفحه‌ای (Diffusion Disc) با سه تکرار بر ضد دو گونه باکتری (*E. coli* (PTTC 1276) و *B. subtilis* (M59KP406766) انجام شد. به این منظور مقادیر مساوی از نانو ذرات نقره بیوستتزی در آب مقطر حل شد. محیط کشت لوریا- برتانی (LB) جامد شده با آگار تهیه و درپتری‌های شیشه‌ای تحت شرایط استریل ریخته شدند. باکتری‌های محیط مایع با غلظت و حجم مساوی بر روی محیط کشت‌ها پخش شده و دیسک‌های کاغذی مخصوص با قطر حدود ۶ میلی‌متر بر روی محیط کشت‌ها با فاصله قرار داده شدند. حجم مساوی از محلول‌های نانو ذره نقره بیوستتزی شده در دوزهای مختلف بر روی دیسک‌ها ریخته شده و از آب مقطر و محلول نیترات نقره ۱ میلی مولار به عنوان کنترل استفاده شد. پتری‌ها در دستگاه اینکوباتور (azma gostar $\pm 0.5^{\circ}C$, Fan) با دمای $35^{\circ}C$ به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شده و نهایتاً با خط کش میلیمتری قطر هاله عدم رشد باکتریها در اطراف دیسک‌های کاغذی اندازه گیری و ثبت شد (۶۲).

گرم با ۱۰ سی سی آب مقطر مخلوط و تا ۵ دقیقه توسط هات پلیت جوشانده شده، سپس در دمای آزمایشگاه خنک شده و با کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف شدند (۶۴).

۲-۴- بیوستتزی نانوذرات نقره

عصاره‌های به دست آمده به شکل جداگانه با نسبت ۱ به ۹ سی سی با نیترات نقره مخلوط شده و تا تثبیت رنگ بر روی شیکر (شرکت فن آزما گستر) با شرایط $7,900\text{rpm}$ ، ۷ ثانیه چرخش، ۳ ثانیه مکث و دمای $25^{\circ}C$ ، با سه تکرار قرار داده شدند (۶۲).

۲-۵-۲- تعیین خصوصیات نانوذرات نقره بیوستتزی شده

۲-۵-۱- بررسی جذب نوری توسط دستگاه UV

با توجه به تأیید کند بودن مکانیسم توسط آزمون‌های اولیه، اسپکتروفوتومتری (Ar2015، شرکت طیف‌سنج پیشرو پژوهش، $200-700\text{nm}$) در طول موج‌های بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر، ابتدا در آغاز واکنش و سپس هر ۲۴ ساعت یکبار تا ۷۲ ساعت انجام گرفت (۶۲).

۲-۵-۲- تعیین ماهیت نانوذرات به وسیله دستگاه تفرق اشعه ایکس XRD

محلول‌های حاصل شده در حجم انبوه از دوزهای مختلف، در پایان آزمایش در سطوح نازک تحت شرایط آزمایشگاهی خشک شدند. پودر نانو ذرات نقره بیوستتزی توسط دستگاه XRD (Philips PW 1730، 0.05°) مورد آزمایش قرار گرفته و طول موج های انعکاس یافته بین ۰ تا ۹۰ نانومتر اندازه گیری و نمودار آن‌ها رسم شد (۶۲).

۲-۵-۳- تعیین میانگین اندازه نانوذرات بیوستتزی شده توسط

دستگاه پراکندگی دینامیکی نور (DLS)

جهت این بررسی حدود ۱۰ میلی گرم از پودر حاصل شده نانو ذرات در ۱۰ سی سی آب مقطر مخلوط شده تحت تابش فراصوت با شدت ۱۰۰ وات قرار گرفته، پس از رقیق سازی توزیع ذرات در محلول از لحاظ اندازه توسط دستگاه DLS (Mastersizer 2000، 0.1 nm) مورد بررسی قرار گرفت (۳۶).

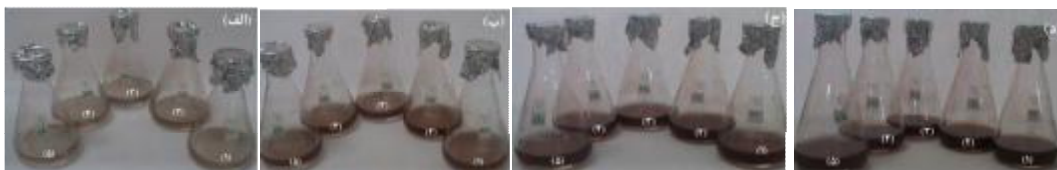
۲-۲- تجزیه و تحلیل آماری

جهت بررسی تجزیه و تحلیل آماری، نمونه برداری و آزمون‌ها با سه تکرار در طرح کاملاً تصادفی انجام شده و جهت آنالیز واریانس از روش آنالیز آماری ANOVA یکطرفه، مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن Duncan's Test و نرم افزار SPSS, 16 در سطح احتمال $p \leq 0.01$ استفاده شد. نمودارهای لازم توسط نرم افزار Excel رسم شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مراحل تغییر رنگ محلول‌های حاصل از واکنش

تغییر رنگ حاصل از مخلوط عصاره گیاهان با نیترات نقره ۱ میلی مولار که یکی از مدارک تائیدی بیوستتزی نانو ذرات نقره است، از آغاز واکنش تا ۷۲ ساعت پس از آن مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). رنگ عصاره در آغاز واکنش زرد پررنگ بوده و به تدریج به رنگ قرمز ارغوانی کم رنگ و در ۷۲ ساعت به رنگ قرمز ارغوانی تیره تغییر رنگ داد.



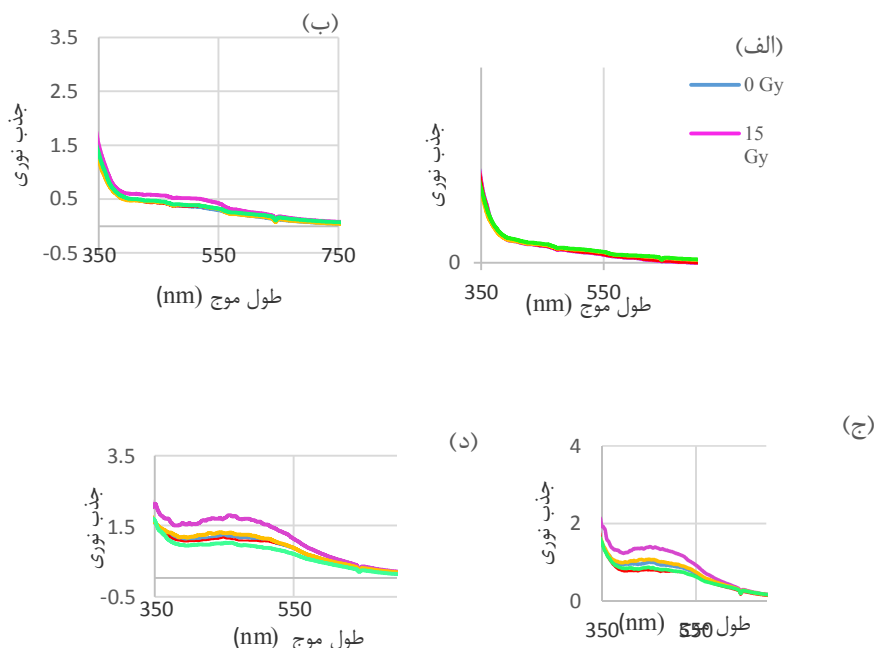
شکل ۱- تغییر رنگ حاصل از بیوستتزی نانو ذرات نقره پس از مخلوط سازی نیترات نقره ۱ میلی مولار و عصاره برگ مرزه تحت تاثیر دوزهای مختلف؛ (الف) آغاز آزمایش، (ب) ۲۴ ساعت، (ج) ۴۸ ساعت و (د) ۷۲ ساعت پس از آغاز واکنش؛ (۱) شاهد، (۲) ۱۵، (۳) ۳۰، (۴) ۶۰ و (۵) ۹۰ گرمی دوز از پرتو گاما

پس از آغاز آزمایش (شکل ۲)، بیوستتزی کمپلکس نانو ذرات نقره/کلرید نقره در محلول‌ها را تایید کرد (۱۶، ۶۶). منحنیها در مرحله آغاز واکنش دارای انحنای کمی بوده و با گذشت زمان این پیک افزایش یافته و در ۷۲ ساعت پس از آغاز واکنش به حداکثر خود رسید. نتایج نشان داد از ۲۴ ساعت پس از آغاز واکنش، میزان جذب نوری در عصاره حاصل از دوز ۱۵ گرمی از اشعه گاما نسبت به سایر دوزها از جمله نمونه شاهد (بدون تیمار با اشعه گاما)، افزایش یافته و در ۷۲ ساعت پس از آغاز واکنش به حداکثر پیک خود رسید. در پایان واکنش (۷۲ ساعت پس از آغاز)، شدت پیک مرتبط با دوز ۹۰ گرمی از سایر دوزها کمتر بوده و شدت پیک‌های جذبی در سه دوز شاهد، ۳۰ و ۶۰ گرمی تقریباً در یک محدوده قرار داشتند.

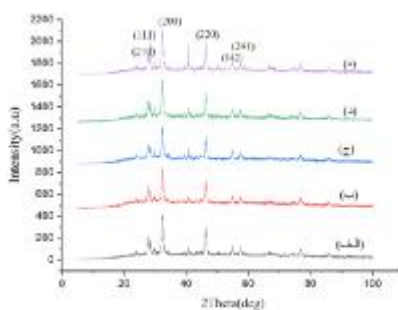
تغییر رنگ محلول‌ها از آغاز واکنش و افزایش شدت آن پس از گذشت زمان به پلاسمن سطحی نانو ذرات نقره بیوستتزی شده مرتبط بوده و این فرآیند را تایید کرد (۴، ۲۳، ۶۲). خواص نوری نانو ذرات فلزی با شکل و اندازه آن‌ها تغییر می‌کند. نتایج آزمایش کاووسی و یعقوبی^۱ (۲۰۱۷) بر روی گیاه مزنجوش اروپایی (۳۵)، جگادیس واران^۲ و همکاران (۲۰۱۲) بر روی گیاه *padina tetrastromatico* (۳۳) و همچنین پیر طریقت و همکاران بر روی گیاه ریحان (۶۲) نشان داد که تغییر رنگ محلول گیاه، تائیدی بر تشکیل نانو ذرات نقره می‌باشد.

۳-۲- اسپکتروفتومتری با استفاده از UV

منحنی‌های جذب نور در اسپکتروفتومتری به شکل زنگوله ای با پیکی در محدوده ۴۵۰nm در تمام دوزها و زمان‌های مختلف



شکل ۲- نمودارهای جذب نوری نانو ذرات نقره بیوستزی؛ (الف) آغاز واکنش، (ب) ۲۴، (ج) ۴۸ و (د) ۷۲ ساعت پس از آغاز



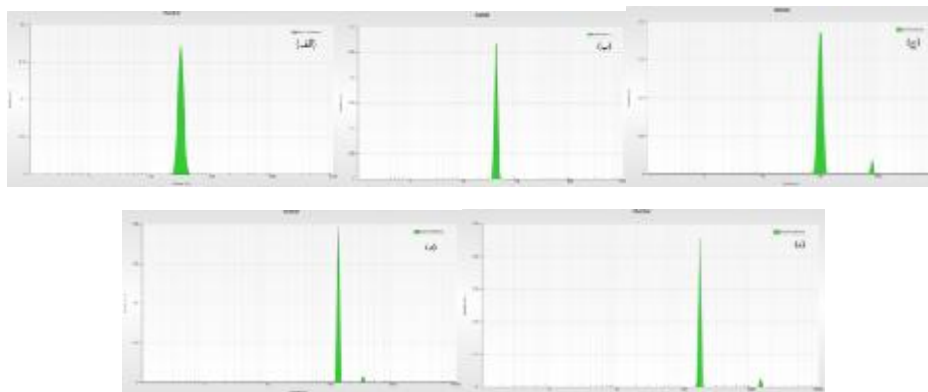
شکل ۳- الگوی XRD حاصل از نانوذرات نقره/کلرید نقره بیوستزی تحت تاثیر دوزهای مختلف پرتو گاما؛ (الف) شاهد، (ب) ۱۵ گری، (ج) ۳۰ گری، (د) ۶۰ گری و (ه) ۹۰ گری

۳-۴- میانگین اندازه نانوذرات

پراکنندگی اندازه نانوذرات نقره بیوستزی بررسی شده توسط دستگاه پراکنندگی دینامیکی نور (DLS) در شکل ۴ نشان داده شده است. میانگین اندازه نانو ذرات در دوزهای شاهد (۰گری)، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰گری از پرتوگاما به ترتیب ۳۱/۷۵، ۴۰/۰۲، ۱۰۰/۳، ۱۳۱/۵ و ۱۷۰/۶۲ نانومتر بود. این نتایج مشخص کرد که با افزایش شدت پرتوتابی با گاما بر بذره‌های گیاه، اندازه نانوذرات بیوستز شده توسط عصاره آنها به

تدریج افزایش یافته و نانو ذرات بیوستز شده توسط دوز ۱۵گری از پرتو گاما کوچکترین اندازه را داشتند. اگرچه در این رابطه تا کنون تحقیقی انجام نشده ولی تحقیقات قبلی ما تاثیر تیمار شوری بر گیاهان و تغییر ویژگی های نانوذرات بیوستز شده توسط عصاره آنها از جمله میانگین اندازه آنها را تایید نموده است. در این رابطه نتایج رسایی^۱ و همکاران در سالهای ۲۰۱۸ و ۲۰۲۰ در مورد بیوستز نانو ذرات نقره با

استفاده از گیاهان مرزه و زوفا نشان داد که تیمار شوری بر گیاهان، ویژگی‌های نانو ذرات بیوستتز شده توسط عصاره برگ آن‌ها از جمله میانگین اندازه نانو ذرات را متاثر می‌کند (۶۴، ۶۵).



شکل ۴- نتایج اندازه گیری میانگین اندازه نانو ذرات بیوستتزی (DLS) بر اساس اکثریت تعداد با استفاده از عصاره برگ مرزه تحت تیمار پرتو گاما؛ (الف) شاهد، (ب) ۱۵ گری، (ج) ۳۰ گری، (د) ۶۰ گری و (ه) ۹۰ گری شدت پرتو تابشی از گاما

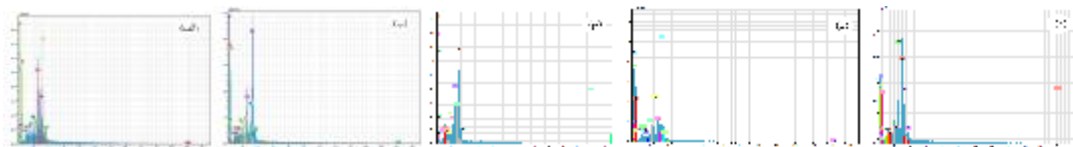
در حد نانومتر (زیر ۱۰۰ نانومتر) داشته و به شکل تقریباً یکنواختی پراکنده بوده و به ندرت پیوستگی، حالت خوشه‌ای و اجتماع در بین آن‌ها دیده شد.

۳-۵- نتایج FESEM و EDAX

نتایج بررسی تصاویر گرفته شده توسط میکروسکوپ الکترونی FESEM (شکل ۵) مشخص کرد که اکثر نانو ذرات بیوستتزی تقریباً هم‌شکل و کروی (و تا حدی بیضی شکل) بوده، اندازه ای



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نانو ذرات نقره بیوستتزی؛ (الف) شاهد، (ب) ۱۵ گری، (ج) ۳۰ گری، (د) ۶۰ گری و (ه) ۹۰ گری شدت پرتو تابشی از گاما؛ فلش‌ها نشان‌دهنده ترکیبات آلی احتمالی موثر در فرآیند احیا و ثبات نانو ذرات



شکل ۶- طیف سنجی EDAX از نانو ذرات نقره بیوستتزی و عناصر موجود در ترکیبات آلی عصاره گیاهان؛ (الف) شاهد، (ب) ۱۵ گری، (ج) ۳۰ گری، (د) ۶۰ گری و (ه) ۹۰ گری شدت پرتو تابشی از گاما

بیوسنتز نانوذرات نقره با استفاده از عصاره گیاهان مرزه تحت تاثیر پرتو گاما را مشخص نمود.

۳-۶- طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)

این آنالیز جهت مشخص نمودن گروه‌های عاملی ترکیبات آلی موثر در فرایند بیوسنتزی برای عصاره خالص و بیوسنتزی به شکل جداگانه جهت مقایسه انجام شد (شکل ۷). نتایج این بخش در عصاره خالص گیاهان تیمار شده با پرتو گاما پیک‌های قوی در محدوده‌های (۳۳۹۴-۳۴۲۷)، (۲۹۳۲-۲۹۲۶)، (۲۳۵۴-۲۳۲۴)، (۱۶۳۰-۱۶۱۸)، (۱۴۰۳-۱۳۹۰)، (۱۱۱۲-۱۰۶۲) و (۶۰۶-۶۲۲) بر سانتی متر (cm^{-1}) را نشان داد. در عصاره بیوسنتزی گیاهان، پیک‌های قوی در محدود های (۳۴۳۴-۳۴۰۹)، (۲۹۲۷-۲۹۲۴)، (۲۳۳۸-۲۳۱۴)، (۱۶۳۲-۱۶۱۱)، (۱۳۹۶-۱۳۹۴)، (۱۱۰۶-۱۰۶۴) و (۶۲۲-۶۱۶) بر سانتی متر، مشاهده شدند. در محدوده (cm^{-1} ۲۳۵۴-۲۳۲۴)، در عصاره خالص (قبل از بیوسنتز) دوز ۳۰ گری، پیک مشاهده نشد. همچنین در تیمارهای بیوسنتزی دوز شاهد و ۱۵ گری در محدوده (cm^{-1} ۲۳۳۸-۲۳۱۴) و دوز ۶۰ گری بیوسنتزی نیز در محدوده (cm^{-1} ۶۱۶-۶۲۲) پیک تشکیل نشد.

اکثر نانو ذرات دارای هاله‌ای سفید رنگ در اطراف خود بوده که نشانه ترکیبات آلی موثر در فرآیند بیوسنتزی و ثبات نانو ذرات نقره است (فلش‌ها در شکل ۵). این نتایج در تطابق با نتایج تحقیقات پیر طریقت^۱ و همکاران در سالهای ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ (۶۱، ۶۲) در بیوسنتز نانو ذرات نقره توسط گیاهان مریم گلی و ریحان بوده است. نتایج این محققان تأیید نمود که هاله سفید رنگ اطراف نانو ذرات در واقع باقیمانده ترکیبات آلی گیاهی موثر در فرایندهای احیای یون نقره و تثبیت نانوذرات نقره بیوسنتز شده است. آنالیز عنصری نمونه‌ها با EDAX در همه دوزها پیک در ۳ keV که تائیدی بر حضور نقره است را نشان داد (شکل ۶). همچنین سایر پیک‌های مشخص شده، عناصر موجود در ترکیبات آلی از عصاره گیاه مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم، کربن و ... که نقش احتمالی در فرایند بیوسنتزی نانو ذرات نقره داشته اند را مشخص کرد (۲۱). نتایج حاصل از بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی این مطالعه مشابه با نتایج العبودی (۲۰۱۷) بود که نشان داد نانوذرات نقره کوچک به سطح بزرگتر نانوذرات کلرید نقره پیوسته بوده و حالت دندردیتی ایجاد کرده بودند (۳). این نتیجه موفقیت آمیز بودن فرایند

استرها و اترها را نشان دهد. همچنین وجود پیک‌های موجود در محدوده ($606-622 \text{ cm}^{-1}$) نشان دهنده گروه $\text{CH}=\text{CH}$ در مونوترپن‌های دو حلقه‌ای معطر می‌باشد (۵۹). با مقایسه پیک‌های FTIR در عصاره‌های خالص گیاهی از دوزهای مختلف، تغییراتی در جایگاه پیک‌های محدوده‌های مشابه مشاهده شد که نشان‌دهنده تاثیر متفاوت دوزهای مختلف گاما بر ترکیبات زیستی عصاره گیاه مرزه بوده که توسط بسیاری از تحقیقات تائید شده است (۷، ۸۲). در نتیجه این تغییرات، ویژگی‌های نانو ذرات نقره/کلرید نقره هم که توسط عصاره این گیاهان بیوستتزی شده، متاثر شده که این نتایج با برخی نتایج قبلی ما مطابقت نشان می‌دهد (۶۴، ۶۵). مقایسه عصاره خالص هر دوز با عصاره بیوستتزی آن نیز تغییراتی را در جایگاه‌های پیک‌های عمده نشان می‌دهد که نشانه شرکت گروه‌های عاملی موجود در ترکیبات تغییر یافته عصاره گیاه در فرایند بیوستتزی نانو ذرات نقره/کلرید نقره است. عدم وجود پیک در محدوده (2354 cm^{-1}) در عصاره خالص دوز ۳۰ گری نشان‌دهنده عدم تشکیل ترکیبات سیانیدی و نیتریلی در این دوز است. اما عدم تشکیل پیک در همین محدوده در دوزهای بیوستتزی صفر و ۱۵ گری نشان می‌دهد همین ترکیبات تشکیل شده در این دوزها تحت تاثیر پرتوگاما، در فرایند بیوستتزی نانو ذرات شرکت کرده و پیک آن‌ها حذف شده است. از جهت دیگر عدم تشکیل پیک در محدوده ($606-622 \text{ cm}^{-1}$) در دوز بیوستتزی ۶۰ گری، نشان‌دهنده شرکت مونوترپن‌های دو حلقه‌ای معطر تشکیل شده در این دوز در فرایند بیوستتزی نانو ذرات است. در این رابطه تحقیقات پیر طریقت و همکاران در سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۹ نشان داده که حذف پیک در محلول بیوستتزی می‌تواند نشان‌دهنده شرکت آن ترکیب شیمیایی در واکنش احیای یون نقره و ثبات نانو ذرات نقره بیوستتزی بوده و از جهت دیگر ظهور پیک جدید نشانه‌ای از تاثیر تیمار بر گیاه و در نتیجه تولید ترکیبات بیوشیمیایی جدید در آن باشد (۶۱، ۶۲). اگرچه مکانیسم دقیق بیوستتزی نانو ذرات توسط ترکیبات آلی هنوز نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد (۲، ۴۵، ۶۲)، اما گروه‌های عاملی ترکیبات بیوشیمیایی گیاهی به ویژه انواع دارای بار منفی مانند

مقایسه نتایج این بخش تاثیر دوزها بر برخی گروه‌های عاملی بیومولکول‌های عصاره برگ مرزه و همچنین بیوستتزی نانو ذرات نقره/کلرید نقره توسط عصاره آن‌ها را تائید کرد. این نتایج از مقایسه طیف عصاره خالص گیاه در هر دوز با عصاره بیوستتزی همان دوز به دست آمد. احیای یون‌های نقره و ثبات نانو ذرات نقره/کلرید نقره بیوستتزی به علت ترکیبات فعال زیستی موجود در عصاره گیاهان تحت تاثیر دوزهای مختلف است که در تائید نتایج رسایی و همکاران در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۲۰ در مورد گیاهان تحت تیمار مرزه و زوفا انجام شده است (۶۴، ۶۵). طیف سنجی مادون قرمز (FTIR) روشی با حساسیت و سرعت زیاد بوده و در تشخیص ترکیبات آلی با مشخص کردن گروه‌های عاملی آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (۷۹). از این روش در بسیاری از پژوهش‌ها در تشخیص متابولیت‌های گیاهی و تغییرات آن‌ها تحت تاثیر تیمارهای مختلف استفاده می‌شود (۲۹). وجود پیک‌های قوی در محدوده (3434 cm^{-1}) نشان دهنده گروه عاملی هیدروکسیل (OH) در ترکیباتی مانند الکل‌ها و فنل‌ها است. وجود پیک‌های قوی در محدوده ($2932-2924 \text{ cm}^{-1}$)، وجود گروه‌های عاملی $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ در ترکیبات آلکانی مانند لیپیدها و اسیدهای چرب در غشای سلولی را مشخص می‌کند. پیک‌های موجود در محدوده ($2354-2314 \text{ cm}^{-1}$) می‌تواند نشان‌دهنده گروه‌های عاملی $\text{C}\equiv\text{C}$ و $\text{C}\equiv\text{N}$ موجود در ترکیبات سیانیدی و نیتریلی باشد. پیک‌های موجود در محدوده ($1403-1390 \text{ cm}^{-1}$)، نشان‌دهنده گروه‌های عاملی CH_3 آلکان‌های موجود در کربوهیدرات‌ها است. پیک‌هایی در محدوده (1632 cm^{-1})، می‌تواند از وجود گروه عاملی $\text{C}=\text{C}$ موجود در حلقه‌های آروماتیک بنزن در ترکیبات معطر و مونوترپن‌ها باشد (۵۹). همچنین این پیک‌ها می‌توانند وجود ترکیبات آمیدی را نیز مشخص کنند که مطابق با نتایج کومار^۱ و همکاران (۲۰۱۳) می‌باشد (۴۴). پیک‌هایی که در محدوده ($1112-1062 \text{ cm}^{-1}$) مشاهده می‌شوند می‌توانند گروه C-O در ترکیباتی مانند آلکان‌ها، الکل‌ها، کربوکسیلیک‌اسید،

توسط عصاره گیاه مرزه تحت تاثیر دوزهای مختلف پرتو گاما (۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گری)، با نیترات نقره ۱ میلی مولار و آب مقطر استریل به عنوان استاندارد مقایسه شده و نتایج در جدول ۱ و شکل ۸ نشان داده شده است. در این رابطه اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱٪ در تاثیر خاصیت ضد میکروبی نانوذرات نقره بیوستتزی بر قطر هاله عدم رشد هر دو باکتری مشاهده شد.

هیدروکسیل، کربوکسیل و موارد مشابه، در این فرایند نقش مهمی دارند که تائید کننده نتایج سره^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در رابطه با بیوستتزی نانو ذرات نقره توسط عصاره ریشه گیاه *Erythrina indica* و خاصیت ضدباکتریایی آن انجام شده است (۷۸).

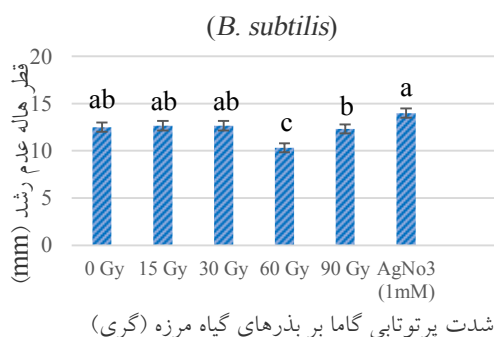
۳-۲- نتایج ضد میکروبی نانوذرات نقره بیوستتزی
سطح مهاررشد باکتریایی حاصل از نانو ذرات نقره بیوستتزی

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تاثیر نانو ذرات نقره بیوستتزی توسط دوزهای مختلف گاما بر هاله عدم رشد باکتری های *E. coli* و *B. subtilis*

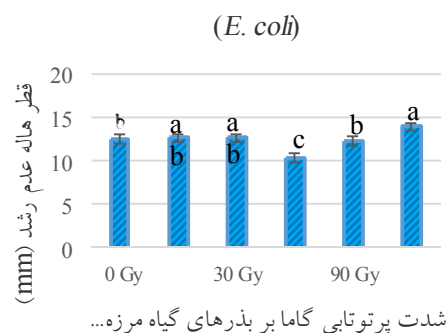
میانگین مربعات صفت			
قطر هاله عدم رشد باکتری (mm)			
<i>B. subtilis</i>	<i>E. coli</i>	درجه آزادی	منابع تغییرات
۴/۱۹۲**	۴/۲۶۷**	۵	تیمار
۰/۷۲۲	۰/۵۵۶	۱۲	خطا
۶/۸۴	۶/۲۱		درصد ضریب تغییرات (CV)%

** نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال خطای ۱ درصد است.

Subtilis در دوزهای ۱۵ و ۳۰ گری (هر دو ۱۲/۶۶ میلی متر) و همچنین شاهد (۱۲/۵ میلی متر) مشاهده شد که اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند. در مرحله بعدی دوز ۹۰ گری با قطر هاله عدم رشد مساوی با ۱۲/۳۳ میلی متر قرار داشت. کمترین قطر هاله عدم رشد در دوز ۶۰ گری (۱۰/۳۳ میلی متر) مشاهده شد که مشابه با نتیجه باکتری *E. coli* بود. بیشترین قطر هاله عدم رشد مربوط به نیترات نقره (۱۴ میلی متر) بود که با سه دوز اول اختلاف معنی داری نشان نمی داد.



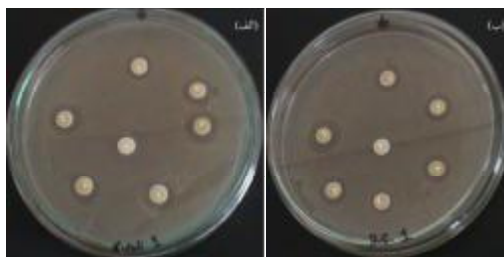
بیشترین سطح هاله مهار رشد بر ضد باکتری *E. coli* در دوزهای ۱۵ و ۳۰ گری (به ترتیب ۱۳ و ۱۲/۳۳ میلی متر) و در مرحله بعد ۹۰ گری شاهد (هر دو ۱۱/۶۶ میلی متر) مشاهده شد. کمترین قطر هاله مهار رشد در دوز ۶۰ گری (۱۰ میلی متر) قابل مشاهده بود. قطر هاله عدم رشد حاصل از ماده نیترات نقره یک میلی مولار به عنوان استاندارد از همه بیشتر بوده (۱۳/۳۳ میلی متر) ولی با دوزهای ۱۵ و ۳۰ گری اختلاف معنی داری نشان نداد. بیشترین قطر هاله مهار رشد بر ضد باکتری *B.*



شکل ۸- مقایسه میانگین قطر هاله عدم رشد باکترهای *E. coli* و *B. Subtilis* تحت تاثیر نانو ذرات نقره بیوستتزی

بر ضد باکتری *B. Subtilis* نسبت به *E. coli* نشان داد. در اطراف دیسک حاوی آب مقطر هیچ هاله عدم رشدی از باکتری‌ها قابل مشاهده نبود.

نانو ذرات نقره بیوستتزی توسط عصاره گیاه مرزه تحت تاثیر دوزهای ۱۵ و ۳۰ گری نسبت به ۶۰ و ۹۰ گری و نیز شاهد، خاصیت ضد میکروبی قوی‌تری نشان دادند (شکل ۸). همچنین نیترات نقره ۱ میلی مولار هم خاصیت ضد میکروبی بیشتری



شکل ۹- ویژگی ضد میکروبی نانو ذرات نقره بیوستتزی؛ (الف) باکتری *E. coli* و (ب) باکتری *B. Subtilis*؛ (۱) دوز شاهد، (۲) دوز ۱۵ گری، (۳) دوز ۳۰ گری، (۴) دوز ۶۰ گری، (۵) دوز ۹۰ گری، (۶) نیترات نقره ۱ میلی مولار و (۷) آب مقطر

بیشتری بر ضد باکتری گرم مثبت *B. Subtilis* و به ویژه گرم منفی *E. coli* نشان دادند. این نتیجه با سایر نتایج این تحقیق مانند UV مبنی بر حداکثر جذب نوری در دوز ۱۵ گری، نتایج DLS مبنی بر اندازه کوچک نانو ذرات بیوستتزی

تمام نانو ذرات نقره/کلرید نقره بیوستتزی شده تحت تاثیر دوزهای مختلف (۰، ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ گری) دارای ویژگی ضد میکروبی بودند که انواع بیوستتزی شده توسط دوزهای ۱۵ و ۳۰ گری (به ویژه ۱۵ گری) خاصیت ضد باکتریایی

شده در دوز ۱۵ گری تطابق نشان داد. عدم وجود پیک در محدوده ($2338-2314 \text{ cm}^{-1}$) در دوز شاهد و ۱۵ گری در FTIR نشان دهنده اثر مثبت ترکیبات سیانیدی و نیتریلی شرکت کننده بیوسنتز شده در این دوز در فرایند بیوسنتزی نانو ذرات و افزایش خاصیت ضد باکتریایی آنهاست. از جهت دیگر حذف پیک در محدوده ($622-616 \text{ cm}^{-1}$) در دوز ۶۰ گری نشان می‌دهد که مونوترپن های دو حلقه ای معطر تولید شده در عصاره گیاه مرزه تحت تاثیر این شدت از پرتو گاما که در فرایند موثر بوده اند، بر خاصیت ضدباکتریایی آنها تاثیر منفی داشته اگر چه اندازه این نانو ذرات هم بزرگتر بوده است. افزایش خاصیت ضدباکتریایی نانو ذرات بیوسنتزی در دوز ۱۵ گری نسبت به شاهد نشان می‌دهد که فقط اندازه و شکل نانو ذرات در این ویژگی تاثیر نداشته و ترکیبات آلی شرکت کننده در این نوع فرایندهای بیوسنتزی که بر روی سطوح نانو ذرات رسوب کرده اند نیز در این ویژگی نقش مهمی دارند. خاصیت ضد- میکروبی بیشتر نانو ذرات بر ضد باکتری گرم منفی *E. coli* نسبت به گرم مثبت *B. Subtilis* در این تحقیق با نتایج قبلی ما در رابطه با تیمار شوری برگیاه زوفا (۶۵) تطابق و با کشت ریحان در شرایط کنترل شده (۶۱) عدم تطابق نشان داد. از دلایل اختلاف این نتایج می‌توان به تفاوت در انواع مولکول های زیستی در گیاهان مختلف و نوع تیمار به کار رفته برای گیاهان اشاره نمود (۳۷، ۶۵). وجود ویژگی ضدباکتریایی نانو ذرات نقره بیوسنتزی با استفاده از گیاهان توسط بسیاری از تحقیقات (۴۹، ۷۴) تایید شده و تعداد اندکی پژوهش در رابطه با این ویژگی نانو ذرات کلرید نقره موجود است. اگر چه مکانیسم دقیق این فرایند به خوبی شناخته شده نیست (۲، ۴۵)، یکی از مکانیسم های مطرح شده در این رابطه احیای یون های نقره توسط گروه های عاملی دارای بار منفی موجود در ترکیبات گیاهی مانند هیدروکسیل، کربوکسیل و مواد مشابه است که سبب احیای یون های نقره شده و با ایجاد پوششی از ترکیبات آلی بر سطح آنها سبب ثبات و عدم تجمع آنها می‌گردند

(۱۸، ۶۲، ۷۸). ویژگی ضد باکتریایی نانوذرات نقره بر ضد انواع گرم مثبت و گرم منفی آنها تایید شده و مکانیسم های احتمالی متفاوتی برای آن ذکر شده است. احتمال اول اتصال نانوذره به سطح باکتری و سپس ورود به آن با آسیب به غشای باکتری و خروج ترکیبات آن و نهایتا از بین رفتن باکتری است که با نتایج خالاندی^۱ و همکاران (۲۰۱۷) و سنونگ و لی^۲ (۲۰۱۷) مطابقت نشان می‌دهد (۳۸، ۷۳). نتایج تحقیقات ویژگی ضدباکتریایی قویتر نانو ذرات نقره بر ضد باکتری های گرم منفی نسبت به گرم مثبت را نشان داده که می‌تواند به دلیل ضخامت بیشتر پوشش پتیدو گلیکانی باکتری های گرم مثبت (۳۰ nm) نسبت به گرم منفی (nm) ۳-۴ باشد که با نتایج این تحقیق مطابقت نشان داد (۱۵). طبق نتایج تحقیقات واندروال^۳ و همکاران (۱۹۹۷)، وجود ترکیباتی مانند کربوکسیل، فسفات و گروه های آمینی در غشای باکتری سبب ایجاد بار منفی بر سطح آنها شده (۸۱) و اتصال نانوذرات نقره به آنها را تسهیل می‌کند (۱). ذرات کوچکتر با سهولت بیشتری وارد باکتری شده (۳۸) و با مولکول های زیستی مانند پروتئین ها، چربی ها و DNA واکنش داده و یا با اختلال در کار اندامک هایمانند ریبوزوم ها، مانع پروتئین سازی می‌شود. اتصال نانوذرات نقره به گروه هایمانند کربوکسیل و گوگرداز بتا گالاکتوزیداز از عملکرد زیستی آنها ممانعت نموده و منتهی به از بین رفتن باکتری ها می‌شود (۸۶). مطابق نتایج تحقیقاتی گو ما^۴ (۲۰۱۷)، سیریتونگسوک^۵ و همکاران (۲۰۱۶) و زائو^۶ و همکاران (۲۰۱۷)، تولید اکسیژن های فعال (ROS) و رادیکال های آزاد نیز از ویژگی های دیگر خاصیت ضدباکتریایی نانو ذرات نقره است (۲۴، ۷۷، ۸۸). احتمال دوم در خاصیت ضد باکتریایی نانو ذرات نقره آزاد سازی یون های نقره توسط آنها است (۳۴، ۴۰، ۴۶، ۸۹). یون های نقره می‌توانند با گروه های سولفیدریل پروتئین های آنزیمی واکنش داده و سبب عدم تولید ATP در سطح غشا شده و نهایتا سیستم انتقال عرضی از غشا را مختل ساخته (۴۲) و بر

1- Khalandi
2- Seong and Lee
3- Van Der Wal
4- Gomaa
5- Siritongsuk
6- Zhao

charge at the surface of silver nanoparticles on antimicrobial activity against gram-positive and gram-negative bacteria: a preliminary study. *Journal of Nanomaterials*, 16(1): 1-8.

2. Ajitha, B., Reddy, Y. A. K. and Reddy, P. S. 2014. Biogenic nano-scale silver particles by *Tephrosia purpurea* leaf extract and their inborn antimicrobial activity. *Spectrochimica Acta, Part A*, 121(5): 164-172.

3. Al Aboody, M. S. 2019. Silver/silver chloride (Ag/AgCl) nanoparticles synthesized from *Azadirachta indica* Lalex and its antibiofilm activity against *Fuconazole resistant candida tropicalis*. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 47(1): 2107-2113.

4. Amendola, V., Bakr, O. M. and Stellacci, F. 2010. A study of the surface plasmon resonance of silver nanoparticles by the discrete dipole approximation method: effect of shape, size, structure, and assembly. *Plasmonics*, 5: 85-97.

5. Arya, V. 2010. Living systems: eco-friendly nanofactories. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 5(1): 9-21.

6. AshaRani, P., Hande, M. P. and Valiyaveetil, S. 2009. Anti-proliferative activity of silver nanoparticles. *BMC cell biology*, 10(65): 1-14.

7. Ashrafi Parchin, R., Nasrollah Nezhad Ghomi, A. A., Naghdi Badi, H., Eskandari, A., Navabpour, S. and Mehrafarin, A. 2019. Effect of gamma irradiation on growth and trigonelline content in hairy root of Iranian fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) (in Persian). *Journal of Medicinal Plants*, 4 (27): 160-170.

8. Azlin-Hasim, S., Cruz-Romero, M. C., Morris, M. A., Cummins, E. and Kerry, J. P. 2015. Effects of a combination of antimicrobial silver low density polyethylene nanocomposite films and modified atmosphere packaging on the shelf life of chicken breast fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, 4: 26-35.

9. Berni, E. A. No., Ribeiro, C. and Zucolotto, V. 2008. Síntese de nanopartículas de prata para aplicação na sanitização de embalagens. *Comunicado Técnico*, 99: 1-4.

10. Bhuiyan, F. R., Howlader, S., Raihan, T. and Hasan, M. 2020. Plants metabolites: possibility of natural therapeutics against the COVID-19 pandemic. *Frontiers in Medicine*, 7(444): 1-26.

تنفس سلولی تاثیر منفی گذارد (۳۰، ۷۲). نتایج تحقیقاتی مانند هاتچت و وایت^۱ (۱۹۹۶) و همچنین مونتریو^۲ و همکاران (۲۰۱۲) نشان داده که یونهای نقره می‌توانند با تاثیر بر نوکلئیدهای DNA باکتری از همانندسازی و تقسیم آنها ممانعت کنند (۲۸، ۵۳).

۴- نتیجه گیری

نانو ذرات نقره کروی شکل بیوستتر شده با عصاره گیاهان مرزه تحت تاثیر دوز ۱۵ گری از اشعه گاما، بیشترین خاصیت ضد باکتریایی بر ضد *B. Subtilis* و به ویژه *E. coli* را نشان دادند. این نانو ذرات بیشترین جذب نوری در اسپکتروفوتومی را نشان داده و آزمایش DLS نیز اندازه کوچکتر آنها نسبت به سایر دوزهای گاما را تایید کرد. با توجه به تاثیر شدت های کم گاما بر برخی ژنهای بذرها و به دنبال آن متابولیت های تولید شده در گیاهان و از جهت دیگر تاثیر گروه های عاملی ترکیبات بیوشیمیایی تغییر یافته عصاره گیاهان تحت تاثیر تیمارها بر فرایند بیوستتر نانو ذرات، می توان با کنترل شرایط و شدت پرتو تابشی، به حذف بهینه ای از آن جهت بیوستتر نانو ذرات نقره / کلرید نقره با ویژگی های مطلوب جهت مصارف ضد باکتریایی در زمینه های مختلف مانند پزشکی، داروسازی، صنایع بسته بندی مواد غذایی و موارد مشابه دست یافت.

۵- سپاسگزاری

این پژوهش در ضمن انجام فرصت مطالعاتی در صنعت و جامعه نویسنده مقاله انجام شده است. به این وسیله از معاونت آموزشی متوسطه اداره کل آموزش و پرورش استان قزوین، مسئولین پژوهش سرای جابربن حیان، مسئولین پژوهشکده کشاورزی هسته ای پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای ایران (کرج) و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بین المللی امام خمینی، تشکر و قدردانی می گردد.

۶- منابع

1. Abbaszadegan, A., Ghahramani, Y., Gholami, A., Hemmateenejad, B., Dorostkar, S. and Nabavizadeh, M. 2015. The effect of

1-Hatchett and White

2-Monteiro

- associated with silver chloride nanoparticles (Ag@AgCl) produced by laccase from *Trametes versicolor*. *SpringerPlus*, 3 (645): 1-7.
21. Elangovan, K., Elumalai, D., Anupriya, S., Shenbhagaraman, R., Kaleena, P. K., Murugesan, K. 2015. Phytomediated biogenic synthesis of silver nanoparticles using leaf extract of *Andrographis echinoides* and its bioefficacy on anticancer and antibacterial activities. *Journal of Photochemistry and Photobiology B*, 151: 118-124.
22. Gade, A., Bonde, P., Ingle, A., Marcato, P., Duran, N. and Rai, M. 2008. Exploitation of *Aspergillus niger* for synthesis of silver nanoparticles. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2(3): 243-247.
23. Gan, L., Zhang, S., Zhang, Y., He, S. and Tian, Y. 2018. Biosynthesis, characterization and antimicrobial activity of silver nanoparticles by a halotolerant *Bacillus endophyticus* SCU-L. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 48(7): 582-588.
24. Gomaa, E. Z. 2017. Silver nanoparticles as an antimicrobial agent: a case study on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* as models for gram-positive and gram-negative bacteria. *Journal of General Applied Microbiology*, 63(1): 36-43.
25. Govindaraju, K., Tamilselvan, S., Kiruthiga, V. and Singaravelu, G. 2010. Biogenic silver nanoparticles by *Solanum torvum* and their promising antimicrobial activity. *Journal of Biopesticides*, 3(1): 394-399.
26. Hanafy, R. S. and Akladios, S. A. 2018. Physiological and molecular studies on the effect of gamma radiation in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) Plants. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16: 683-692.
27. Hardy, A., Benford, D., Halldorsson, T. and Jeger, M. J. 2018. Guidance on the risk assessment of the application of nanoscience and nanotechnology in the food and feed chain. *European Food Safety Authority*, 16 (7): 1-95.
28. Hatchett, D. W. and White, H. S. 1996. Electrochemistry of sulfur adlayers on the low-index faces of silver. *Journal of Physical Chemistry*, 100(23): 9854-9859.
29. Hoang, T. M., Moghaddam, L., Williams, B., Khanna, H., Dale, J. and Mundree, S. G. 2015. Development of salinity tolerance in rice by constitutive overexpression of genes
11. Borm, P., Klaessig, F. C., Landry, T. D., Moudgil, B., Pauluhn, J., Thomas, K., Trottier, R. and Wood, S. 2006. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, part V: role of dissolution in biological fate and effects of nanoscale particles. *Toxicological Sciences*, 90 (1): 23-32.
12. Bumbudsanpharoke, N. and Ko, S. 2015. Nano-food packaging: an overview of market, migration research and safety regulations. *Journal of Food Science*, 80: 910-923.
13. Carbone, M., Donia, D. T., Sabbatella, G. and Antiochia, R. 2016. Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging. *Journal of King Saud University – Science*, 28: 273-279.
14. Carbone, M., Sabbatella, G., Antonaroli, S., Remita, H., Orlando, V., Biagioni, S. and Nucara, A. 2015. Exogenous control over intracellular acidification: enhancement via proton caged compounds coupled to gold nanoparticles. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, 1850: 2304-2307.
15. Chatterjee, T., Chatterjee, B. K., Majumdar, D. and Chakrabarti, P. 2015. Antibacterial effect of silver nanoparticles and the modeling of bacterial growth kinetics using a modified gompertz model. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1850(2): 299-306.
16. Das, M. and Smita, S. S. 2018. Biosynthesis of silver nanoparticles using bark extracts of *Butea monosperma* (Lam.) Taub. and study of their antimicrobial activity. *Applied Nanoscience*, 8: 1059-1067.
17. Derksen, A., Kühn, J., Hafezi, W., Sendker, J., Ehrhardt, C. and Ludwig, S. 2016. Antiviral activity of hydroalcoholic extract from *Eupatorium perfoliatum* L. against the attachment of influenza A Virus. *Journal of Ethnopharmacology*, 188: 144-152.
18. Du, Y., Huang, Z., Wu, S., Xiong, K., Zhang, X., Zheng, B., Nadimicherla, R., Fu, R. and Wu, D. 2018. Preparation of versatile yolk-shell nanoparticles with a precious metal yolk and a microporous polymer shell for high-performance catalysts and antibacterial agents. *Polymer*, 137: 195-200.
19. Duncan, T.V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363: 1-24.
20. Durán, N., Cuevas, R., Cordi, L., Rubilar, O. and Diez, M. C. 2014. Biogenic silver nanoparticles

- silver nanoparticles and possible mechanisms of their actions on bacteria. *Drug research (Stuttgart)*, 67(2): 70-76.
39. Khan, M. M., Din, R., Qasim, M., Jehan, S. and Iqbal, M. M. 2003. Induced mutability studies for yield and yield related characters in three wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2 (17): 1183-1187.
40. Kim, T., Braun, G. B., She, Z. G., Hussain, S., Rouslahti, E. and Sailor, M.J. 2016. Composite porous silicon-silver nanoparticles as theranostic antibacterial agents. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(44): 30449-30457.
41. Kizil, S., Turk, M., Özguven, M., Khawar, K. M. 2009. Full blooming stage is suitable for herbage yield and essential oil content of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 12 (5): 620-629.
42. Klueh, U., Wagner, V., Kelly, S., Johnson, A., Bryers, J. D. 2000. Efficacy of silver coated fabric to prevent bacterial colonization and subsequent devicebased biofilm formation. *Journal of Biomedical Materials Research*, 53 (6): 621-631.
43. Krishnaraj, C., Muthukumar, P., Ramachandran, R., Balakumaran, M. and Kalaichelvan, P. 2014. *Acalypha indica* Linn: biogenic synthesis of silver and gold nanoparticles and their cytotoxic effects against MDA-MB-231, human breast cancer cells. *Biotechnology Reports*, 4: 42-49.
44. Kumar, P., Selvi, S. S. and Govindaraju, M. 2013. Seaweed-mediated biosynthesis of silver nanoparticles using *Gracilaria corticata* for its antifungal activity against candida spp. *Applied Nanoscience*, 3 (6): 495-500.
45. Kumar, V. and Yadav S. K. 2009. Plant-mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 84(2):151-157.
46. Lombardo, P. C., Poli, A. L., Castro, L. F., Perussi, J. R. and Schmitt, C. C. 2016. Photochemical deposition of silver nanoparticles on clays and exploring their antibacterial activity. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(33): 21640-21647.
47. Malhotra, B., Keshwani, A. and Kharkwal, H. 2015. Antimicrobial food packaging: potential and pitfalls. *Frontiers in Microbiology*, 6: 1-9.
- involved in the regulation of programmed cell death. *Frontiers in Plant Science*, 6 (175): 1-14.
30. Holt, K. B. and Bard, A. J. 2005. Interaction of silver (I) ions with the respiratory chain of *Escherichia coli*: an electrochemical and scanning electrochemical microscopy study of the antimicrobial mechanism of micromolar Ag⁺. *Biochemistry*, 44 (39): 13214-13223.
31. Hoseinzadeh, E., Samargandi, M. R., Alikhani, M. Y., Roshanaei, G. H. and Asgari, G. H. 2012. Antimicrobial efficacy of zinc oxide nanoparticles suspension against gram negative and gram positive bacteria (in Persian). *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*, 5(3): 463-474.
32. Jan, S., Parween, T., Siddiqi, T. O. and Uzzafar, M. 2012. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant Products. *Environmental Reviews*, 20:17-39.
- 33- Jegadeeswaran, P., Shivaraj, R. and Venckatesh, R. 2012. Green synthesis of silver nanoparticles from extracts of *Padina tetrastromatica* leaf. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 7(3):991-998
34. Jin, J. C., Wu, X. J., Xu, J., Wang, B. B., Jiang, F. L. and Liu, Y. 2017. Ultrasmall silver nanoclusters: highly efficient antibacterial activity and their mechanisms. *Biomaterials Science*, 5(2): 247-257
- 35- Kavoosi, S. and Yaghoubi, H. 2017. Synthesis of Silver Nanoparticles Using Green Method of Plant Extract European Marjoram (*Origanum majorana*) and Their Antibacterial Effects. *Journal of Cellular and Molecular Research*, 30(2): 161-173
36. Kaya, E. E., Kaya, O., Alkan, G., Gürmen, S., Stopic, S. and Friedrich, B. 2020. New proposal for size and size-distribution evaluation of nanoparticles synthesized via ultrasonic spray pyrolysis using search algorithm based on image-processing technique. *Materials*, 13(38): 1-10.
37. Kazazi, H., Rezaei, K., Ghotb-Sharif, S. J., Emam-Jomeh, Z. and Yamini, Y. 2007. Supercritical fluid extraction of flavors and fragrances from *Hyssopus officinalis* L. cultivated in Iran. *Food Chemistry*, 105(2): 805-811.
38. Khalandi, B., Asadi, N., Milani, M., Davaran, S., Jafari Najaf Abadiet, A. and Abasi, E. 2017. A review on potential role of

- Green synthesis of silver nanoparticles via plant extracts: beginning a new era in cancer theranostics. *Nanomedicine (London)*, 12(23): 3157-3177.
59. Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S. and Vyvyan, J. A. 2013. *Introduction to Spectroscopy*. Cengage Learning, Washington, pp. 1-752.
60. Picoli, S. U., Durán, M., Andrade, P. F. and Duran, N. 2016. Silver nanoparticles/silver chloride (Ag/AgCl) synthesized from *Fusarium oxysporum* acting against *Klebsiella pneumoniae* carbapenemase (KPC) and extended spectrum beta-lactamase (ESBL). *Frontiers in Nanoscience and Nanotechnology*, 2 (2): 107-110.
61. Pirtarighat, S., Ghannadnia, M. and Baghshahi, S. 2017. Antimicrobial effects of green synthesized silver nanoparticles using *Melissa officinalis* grown under *in vitro* condition. *Nanomedicine Journal*, 4(3): 184-190.
62. Pirtarighat, S., Ghannadnia, M. and Baghshahi S. 2019. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Ocimum basilicum* cultured under controlled conditions for bactericidal application. *Materials Science and Engineering: C*. 98: 250-255.
63. Rai, M., Yadav, A. and Gade, A. 2009. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*, 27: 76-83.
64. Rasae, I., Ghannadnia, M. and Baghshahi S. 2018. Biosynthesis of silver nanoparticles using leaf extract of *Satureja hortensis* treated with NaCl and its antibacterial properties. *Microporous and Mesoporous Materials*. 264: 240-247.
65. Rasae, I., Ghannadnia, M. and Baghshahi, S. 2020. Assesment of antibacterial properties of silver nanoparticles biosynthesized using leaf extract of *Hyssopus officinalis* L. grown under salinity stress (in Persian). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 36 (4): 691-708.
66. Raut, R., Lakkakula, J., Kolekar, N., Mendhulkar, V. D. and Sahebrao, K. 2009. Phytosynthesis of silver nanoparticle using *Gliricidia sepium* (Jacq.). *Current Nanoscience* 5 (1): 112-117.
67. Rauwe, P., Küünal, S., Ferdov, S. and Rauwel, E. 2014. A review on the green synthesis of silver nanoparticles and their morphologies studied via TEM. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015: 1-9.
48. Martinez-Abad, A., Lagaron, J. M. and Ocio, M. J. 2012. Development and characterization of silver-based antimicrobial ethylene-vinyl alcohol copolymer (EVOH) films for food-packaging applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60:5350-5359.
49. Mathew, S., Victorio, C. P., Jasmine Sidhi, M. S., Baby Thanzeela, B. H. 2020. Biosynthesis of silver nanoparticle using flowers of *Calotropis gigantea* (L.) W.T. Aiton and activity against pathogenic bacteria. *Arabian Journal of Chemistry*, 13: 9139-9144.
50. Meng, Y. 2015. A sustainable approach to fabricating Ag nanoparticles/PVA hybrid nanofiber and its catalytic activity. *Nanomateriales*, 5: 1124-1135.
51. Modi, M., Nutan, N., Pancholi, B., Kulshrestha, S., Rawat, A. K. S., Malhotra, S. and Gupta, S. K. 2013. Anti-HIV-1 activity, protease inhibition and safety profile of extracts prepared from *Rhus parviflora*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13 (158): 1-9.
52. Mohajer, S., Taha, R. M., Lay, M. M., Khorasani Esmaeili, A. and Khalili, M. 2014. Estimulatory effects of gamma irradiation on phytochemical properties, mitotic behaviour, and nutritional composition of sainfon (*Onobrychis viciifolia* Scop.). *Scientific World Journal*, 2014: 3-11.
53. Monteiro, D. R., Gorup, L. F., Takamiya, A. S., de Camargo, E. R., Filho, A. C. and Barbosa, D. B. 2012. Silver distribution and release from an antimicrobial denture base resin containing silver colloidal nanoparticles. *Journal of Prosthodontic*, 21 (1): 7-15.
54. Morris, J. K. 2011. How safe is our food? *Emerging Infectious Diseases*, 17: 126-128.
55. Moussa, J. P. 2006. Role of gamma irradiation in regulation of NO₃ level in rocket (*Eruca vescaria* subsp. sativa) plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, 53: 193-197.
56. Nasr, N. F. 2015. Applications of nanotechnology in food microbiology. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4:846-853.
57. Ouda, S. M. 2014. Antifungal activity of silver and copper nanoparticles on two plant pathogens, *Alternaria alternata* and *Botrytis cinerea*. *Research Journal of Microbiology*, 9 (1): 34-42.
58. Ovais, M., Khalil, A. T., Raza, A., Adeeb Khan, M., Ahmad, I. and Islam, N. U. 2016.

- Antibacterial and cytotoxic effect of biologically synthesized silver nanoparticles using aqueous root extract of *Erythrina indica* Lam. *Spectrochimica Acta, Part A*, 135: 1137-1144.
79. Stehfest, K., Toepel, J. and Wilhelm, C. 2005. The application of micro-FTIR spectroscopy to analyze Nutrient stress-related changes in biomass composition of phytoplankton algae. *Plant Physiology and Biochemistry*, 43 (7): 717-726.
80. Tavakoli, H., Rastegar, H., Taherian, M., Samadi, M. and Rostami, H. 2017. The effect of nano silver packaging in increasing the shelf life of nuts: an *in vitro* model. *Italian Journal of Food Safety*, 6 (4): 156-161.
81. Van Der Wal, A., Norde, W., Zehnder, A. J. B. and Lyklema, J. 1997. Determination of the total charge in the cell walls of gram-positive bacteria. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 9 (1-2): 81-100.
82. Vardhan, P. V. and Shukla, L. I. 2017. Gamma irradiation of medicinally important plants and the enhancement of secondary metabolite production. *International Journal of Radiation Biology*, 93(9): 1-8.
83. Vermeiren, L., Devlieghere, F. and Debevere, J. 2002. Effectiveness of some recent antimicrobial packaging concepts. *Food Additives and Contaminants*, 19: 163-171.
84. Wei, X., Luo, M., Li, W., Yang, L., Liang, X., Xu, L., Kong, P. and Liu, H. 2012. Synthesis of silver nanoparticles by solar irradiation of cell-free *Bacillus amyloliquefaciens* extracts and AgNO₃. *Bioresource Technology*, 103 (1): 273-278.
85. Yeo, S. Y., Lee, H. J. and Jeong, S. H. 2003. Preparation of nanocomposite fibers for permanent antibacterial effect. *Journal of Materials Science*, 38: 2143-2147.
86. You, C., Han, C., Wang, X., Zheng, Y., Li, Q. and Hu, X. 2012. The progress of silver nanoparticles in the antibacterial mechanism, clinical application and cytotoxicity. *Molecular Biology Reports*, 39 (9): 9193-9201.
87. Zhang, G. S., Zhang, Y., He, S. and Tian, Y. 2018. Biosynthesis, characterization and antimicrobial activity of silver nanoparticles by a halotolerant *Bacillus endophyticus* SCU-L. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 48 (7): 582-588.
88. Zhao, R., Lv, M., Li, Y., Sun, M., Kong, W., Wang, L. 2017. Stable nanocomposite based on PEGylated and silver nanoparticles loaded graphene oxide for long-term
68. Ryu, Y. B., Jeong, H. J., Kim, J. H., Kim, Y. M., Park, J. Y. and Kim, D. 2010. Biflavonoids from *Torreya nucifera* displaying SARS-CoV 3CLPro inhibition. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 18 (22): 7940-7947.
69. Oberdorster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J. and Ausman, K. 2005. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Particle and Fibre Toxicology*, 2: 38-43.
70. Sathishkumar, M., Sneha, K., Won, S., Cho, C. W., Kim, S. and Yun, Y. S. 2009. Cinnamon *Zeylanicum* bark extract and powder mediated green synthesis of nanocrystalline silver particles and its bactericidal activity. *Colloids and Surfaces B*, 73: 332-338.
71. Saufi, A. 2007. Lignans in *Phaleria macrocarpa* and in *Linum flavum* Var. compactum L. Doctoral Thesis. Heinrich-Heine-Dusseldorf University, Germany, 300-316.
72. Schreurs, W. J. and Rosenberg, H. 1982. Effect of silver ions on transport and retention of phosphate by *Escherichia coli*. *Journal of Bacteriology*, 152 (1): 7-13.
73. Seong, M. and Lee, D. G. 2017. Silver nanoparticles against *Salmonella enterica* serotype typhimurium: role of inner membrane serotype dysfunction. *Current Microbiology*, 74(6): 661-670.
74. Sharifi-Rad, M., Pohl, P., Epifano, F. and Álvarez-Suarez, J. M. 2020. Green synthesis of silver nanoparticles using *Astragalus tribuloides* Delile. Root extract: characterization, antioxidant, antibacterial, and anti-inflammatory activities. *Nanomaterials*, 10 (2383): 1-17.
75. Sharma, D. and Dhanjal, D. S. 2016. Bio-nanotechnology for active food packaging. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 6 (9): 220-226.
76. Singh, P. and Raja, R. B. 2011. Biological synthesis and characterization of silver nanoparticles using the fungus *Trichoderma harzianum*. *Asian Journal of Experimental Biological Sciences*, 2 (4): 600-605.
77. Siritongsuk, P., Hongsing, N., Thammawithan, S., Daduang, S., Klaynongsruang, S. and Tuanyok, A. 2016. Two-phase bactericidal mechanism of silver nanoparticles against *Burkholderia pseudomallei*. *Plos One*, 11 (12): 1-22.
78. Sre, P. R., Reka, M., Poovazhagi, R., Kumar, M. A. and Murugesan, K. A. 2015.

establish a silver nanoparticle-loaded chitosan/hyaluronic acid antibacterial multilayer via layer-by-layer self-assembly. *Plos One*, 11 (1): 1-17.

antibacterial activity. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9 (18): 15328-15341.
89. Zhong, X., Song, Y., Yang, P., Wang, Y., Jiang, S. and Zang, X. 2016. Titanium surface priming with phase-transited lysozyme to

(Original Research Paper)
**Antibacterial Properties of Biosynthesized Ag@AgCl
Nanoparticles Using *Satureja hortensis* Leaf Extract under the
Influence of Gamma Ray**

Maryam Ghannad Nia^{1*}

1-Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

Received:19/08/2021

Accepted:16/01/2022

Abstract

One of the most important health problems worldwide is the increase in pathogenic microorganisms resistant to a variety of antimicrobial materials. In this study, the antibacterial properties of biosynthesized Ag/AgCl Nanoparticles (Ag NPs) by *Satureja hortensis* leaf extract under different gamma ray doses were compared. Biosynthesis of Ag NPs was performed by leaf extract of *S. hortensis* grown from seeds exposed to different gamma ray doses (0, 15, 30, 60 and 90 gray). Formation of Ag NPs confirmed by UV-Visible spectroscopy and X-ray diffraction (XRD) methods. The biosynthesized nanoparticles were characterized using Dynamic Light Scattering (DLS), Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) and Energy Dispersive X-ray analysis (EDAX). The functional groups of the biomolecules involved in the process were identified using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and antibacterial properties of the biosynthesized Ag NPs were performed by disc diffusion method. The highest antibacterial property of the biosynthesized Ag NPs was related to 15 gray dose of gamma radiation with mean diameter of the nanoparticles about 40.02 nm in size and zone of inhibition about 13 mm in diameter against *Escherichia coli* and the lowest was observed in treatment 90 gray with mean diameter about 170.62 nm in size and zone of inhibition about 10 mm in diameter against the same bacteria. Biosynthesized Ag NPs using *S. hortensis* extract under 15 gray dose of gamma irradiation revealed the highest antibacterial properties against *Bacillus subtilis* and especially *Escherichia coli*. The high biocompatibility of these biogenic nanoparticles makes them a suitable alternative to similar materials synthesized by non-biological methods.

Keywords: Antibacterial Activity, *Satureja hortensis* Extract, Gamma Ray, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*.

*Corresponding Author: ghannadnia@eng.ikiu.ac.ir