مجله تازه های بیوتکنولوژی سلولی - مولکولی
دوره ششم، شماره بیست و دو - بهار ۱۳۹۵

Research Article
مقاله تحقیقی

سنتز نانو ذرات نقره در زمینه هیدروژل پلی وینیل پیرولیدون بوسیله پرتودهی با الکترون‌های پرانرژی

نیره فلاح نژادتفتی*، بهرام وخشور، اقدس مهدیزاده شاهی، فاطمه انوری، مهدی انتظام، رضا امرایی

مجتمع پژوهشی ایران مرکزی (یزد)، پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

سابقه و هدف: نانو ذرات نقره کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف دارند. در روش‌های معمول نانو ذرات با روش شیمیایی سنتز می‌شوند، در تحقیق حاضر، سنتز نانو ذرات نقره در شبکه هیدروژل پلی وینیل پیرولیدون (PVP) به وسیله پرتودهی با باریکه الکترون انجام می‌شود.

مواد و روش‌ها: برای تهیه هیدروژل، پلی وینیل پیرولیدون به میزان ۷ درصد به آب مقطر اضافه شد و تا دمای ۸۰°C همراه با هم زدن حرارت داده شد. پس از حل شدن، محلول نیترات نقره به مقادیر ppm ۲۰۰-۱۰۰-۷۰، به محلول PVP اضافه شد. سپس نمونه‌ها با دز kGy ۳۳ پرتودهی شدند. خصوصیات هیدروژل تهیه شده به وسیله اسپکتروسکوپی UV-vis، طیف سنجی مادون قرمز، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، کسر ژل، تورم و آزمون فعالیت ضد میکروبی بررسی شد.

یافته‌ها: طیف جذبی UV-vis نانوکامپوزیت Ag/PVP، تشکیل نانو ذرات را تأیید کرد و بررسی نمونه با میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) تشکیل نانو ذرات نقره در ابعاد ۵ تا ۱۰ نانومتر را نشان داد. بررسی طیف FTIR نشان داد که پیوند کئوردینانس بین نیتروژن حلقه پیرولیدون PVP و نانو ذرات نقره تشکیل می‌شود. میزان تورم و درصد ژل نانوکامپوزیت Ag/PVP با هیدروژل بدون نقره یکسان می باشد. نتایج آزمون ضدمیکروبی نشان داد که هیدروژل Ag/PVP دارای خاصیت ضدمیکروبی می باشد.

نتیجه گیری: در این مطالعه مشخص شد که پرتودهی با الکترون روشی مناسب برای تولید نانو ذرات نقره در درون ماتریس هیدروژل‌ها می باشد. توانایی تولید نانو ذرات نقره در ماتریس پلیمر هم زمان با فرایند استریلیزاسیون، تکنیک پرتودهی را برای کاربردهای پزشکی جذاب می‌سازد.

کلید واژه: پرتودهی، هیدروژل، نانو ذرات نقره، الکترون.

مقدمه

هیدروژل‌های حاوی نانو ذرات، شبکه‌های پلیمری آب دوست و سه بعدی هستند که نانو ذرات را در داخل شبکه خود تثبیت می‌کنند. این هیدروژل‌ها امروزه کاربردهای زیادی در زمینه پزشکی و دارویی به ویژه در حوزه پانسمان‌های پوشش دهنده زخم دارند. از میان تمام نانو ذرات فلزی موجود، نانو ذرات نقره *(AgNPs)* و طلا بیش ترین کاربرد را دارند. نقره به علت عمل کرد ضد میکروبی متمایز در برابر دامنه وسیعی از باکتری‌ها، مخمرها، قارچ‌ها و ویروس‌ها در میان سایر فلزات نانو، کاربرد پزشکی وسیع‌تری دارد (۱۳).

به‌علت شیوع بیماری‌های عفونی که به وسیله باکتری‌های بیماریزا ایجاد می‌شود و گسترش مقاومت آنتی‌بیوتیکی به دلیل مصرف روزافزون و بی‌رویه آنتی‌بیوتیک‌ها، شرکت‌های داروسازی و محققان به دنبال یافتن مواد ضدمیکروبی جدیدی هستند که باعث ایجاد مقاومت در باکتری‌ها نشده و ارزان قیمت باشد. در این میان نانو ذرات نقره به عنوان یک عامل ضدمیکروبی جدید، به دلیل زیاد بودن نسبت سطح به حجم آن و خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر بفرد مورد توجه قرار گرفته است. نانو ذرات نقره به علت سمیت کم برای سلول های انسانی، مقاومت گرمایی بالا و فراریت پایین آن در زمینه‌های مختلف به خصوص در پزشکی و داروسازی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. نانو ذرات نقره بر روی تعداد زیادی از گونه‌های باکتری‌ها اثرات ضدمیکروبی دارد. نقره به دیواره سلولی و غشاء پلاسمایی باکتری متصل شده و سبب اختلال در فرایند تنفس سلولی می‌شود. نقره با اتصال به پروتئین‌های حاوی سولفور در غشاء و هم چنین آنزیم‌ها در عمل کرد آن ها اختلال ایجاد می‌کند و با اتصال به DNA از همانندسازی آن جلوگیری می‌کند (۸،۱).

دراکثر موارد برای تولید نانو ذرات از روش‌های احیای شیمیایی شامل

نویسنده مسئول: مجتمع پژوهشی ایران مرکزی (یزد)، پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران

پست الکترونیکی: nfallah_t@yahoo.com

تاریخ دریافت :۱۳۹۴/۰۳/۰۹

تاریخ پذیرش :۱۳۹۴/۰۷/۰۸

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1395.6.22.14.9]

استفاده از هیدرات هیدرازین، اتیلن گلیکول و ... استفاده می‌شود که از لحاظ بیولوژیک سمی و خطرناک می باشد. تحقیق های اخیر در راستای تولید نانو ذرات فلزی در ماتریس هیدروژل بدون دخالت عوامل مضر و سمی می باشد. استفاده از پرتودهی یکی از این روش‌ها است. مزیت سنتز نانو ذرات توسط پرتو در هیدروژل شامل امکان تولید نانو ذرات هم زمان با فرایند استریلیزاسیون و شبکه‌ای شدن هیدروژل، کنترل بهتر اندازه ذرات، سهولت انجام کار و عدم استفاده از آغازگر و عوامل شبکه کننده، ایمن بودن و غیر سمی بودن فرآیند می باشد (۱۳،۹).

ذرات فلزی در حالت پراکنده پایداری کمی دارند، به ویژه ذرات کوچک بسیار ناپایدارند و تمایل به تجمع و کلوخه شدن دارند. یکی از روش‌های جلوگیری از تجمع ذرات، جذب آن ها توسط مولکول‌هایی مانند پلی مر ها در سطح ذرات است تا به شکل لایه‌ای محافظ، ذرات را احاطه کنند. برای تهیه AgNPs نیز اغلب از این روش استفاده می شود، پلی مر های زیادی برای پایدارسازی محلول کلوییدی نانونقره استفاده شده‌اند که از این میان می‌توان به پلی مر های وینیلی با گروه های قطبی مانند پلی وینیل پیرولیدون (PVP) و پلی وینیل الکل (PVA) اشاره کرد. پلی وینیل پیرولیدون از قدرت پایدارسازی بیش تری نسبت به پلی وینیل الکل برای پایدارسازی AgNPs برخوردار است (۲).

از میان پایدارکننده‌های پلیمری نانو ذرات، PVP یک یکنواخت ساز عالی است که به دلیل ساختار خاص خود خواص محافظتی خوبی برای نانو ذرات نشان می‌دهد. PVP یک هموپلیمر با اسکلت پلی وینیل است که واحدهای تکرارشونده آن شامل گروه آمید بسیار قطبی است که به آن خواص جذب کننده قطبی و آب دوستی می‌دهد و گروه متیلن که به پلیمر خواص آب گریزی می‌دهد. نیتروژن و اکسیژن در گروه های قطبی تمایل زیادی به یون‌ها و نانو ذرات نقره دارند (۵).

در این روش ، پرتودهی با الکترون سبب ایجاد واکنش‌های شیمیایی و فرایندهای شکست در محلول PVP و $AgNo_3$ می‌شود شامل:

$$n\cdot H2O \rightarrow e^-_{aq}, H^{\bullet}, OH^{\bullet}, H_2, H_3O^+, H_2O_2 \ldots\ldots etc.$$

$$AgNO_3 \rightarrow Ag^+ + NO_3^-.$$

الکترون‌های هیدراته احیاءکننده‌های قوی هستند. e^-_{aq} سبب احیای یون‌های نقره به اتم‌های نقره Ag^0 می‌شوند:

$$Ag^+ + e^-_{aq} \rightarrow Ag^0.$$

اتم‌های نقره می‌تواند با یون‌های Ag^+ برخورد کنند و Ag_2^+ تولید کند که به طور پیشرونده منجر به تشکیل نانوذرات در محلول، از طریق واکنش‌های زیر می‌شود:

$$Ag^0 + Ag^+ \rightarrow Ag_2^+$$

$$Ag_{n-1} + Ag^+ \rightarrow Ag_n^+.$$

به هرحال، واکنشی که منجر به احیای یون‌های Ag^+ می‌شود، می‌تواند با الکترون‌های هیدراته‌ی احیاء کننده قوی و همین طور به وسیله رادیکال‌های پلیمری PVP با واکنش‌های زیر پیشرفت کند:

$$PVP(H) + OH^{\bullet} \rightarrow PVP^{\bullet} + H_2O$$

$$Ag_n^+ + e^-_{aq} / PVP^{\bullet} \rightarrow (Ag)_n \text{ (Ag nanoparticle)}$$

و به این ترتیب در پرتودهی با الکترون ذرات نقره می‌توانند رشد کنند و نانو ذرات نقره را تشکیل دهند(۳،۵،۷).

مکانیسم حفاظتی PVP برای تشکیل نانو ذرات شامل سه مرحله است: در مرحله نخست PVP جفت الکترون اکسیژن و نیتروژن را با اربیتال sp یون‌های نقره به اشتراک می‌گذارد. در مرحله دوم، کمپلکس تشکیل شده سبب پیش برد هسته‌زایی و تجمع اتم‌های نقره می‌شود که این تجمع را به عنوان نانو ذرات اولیه در نظر می‌گیرند و در مرحله پایانی نانو ذرات اولیه با یکدیگر ادغام شده یا با PVP واکنش داده و تجمع‌های بزرگتری تحت عنوان نانو ذرات ثانویه تشکیل می‌دهند. به طور خلاصه PVP از یک طرف هسته‌زایی نانو ذرات نقره را پیش می‌برد و از طرف دیگر نانو ذرات نقره پراکنده را تثبیت می‌کند (۱۱).

کنترل میکروارگانیسم‌های موجود در محیط زخم می‌تواند باعث افزایش سرعت بهبودی زخم، کاهش مدت زمان بستری در بیمارستان، کاهش هزینه و کاهش ناراحتی بیمار شود. از زمان‌های قدیم آنتی‌بیوتیک‌های متفاوتی جهت درمان و پیش گیری از عفونت‌های زخم سوختگی مورد استفاده قرار گرفته است که هر کدام دارای مزایا، معایب و عوارض جانبی خاصی بوده‌اند. استفاده از پانسمان‌های حاوی مواد ضدمیکروبی، آنتی‌بیوتیک‌ها، ضدعفونی‌کننده‌ها یکی از روش‌های نوین در درمان زخم‌های عفونی می باشد. امروزه استفاده از پوشش‌های جدید زخم مانند هیدروژل‌های حاوی مواد ضدمیکروبی که علاوه بر فراهم آوردن محیط مرطوب برای زخم، عفونت را از بین برده و سبب تسریع بهبود زخم می‌شوند در حال رواج می باشد.

هدف از این تحقیق سنتز نانو ذرات نقره درهیدروژل PVP، به صورت درجا تشکیل‌شونده، به وسیله پرتودهی الکترون و بررسی رفتارهای تورم، اندازه‌گیری کسر ژل، اسپکتروسکوپی UV-vis، بررسی با میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، طیف سنجی مادون قرمز و بررسی فعالیت ضد میکروبی و مقایسه آن با هیدروژل خالص بدون نقره می باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

در این تحقیق از پلی‌وینیل پیرولیدون (PVP) تهیه شده از شرکت بسف[1] با جرم مولکولی MW= ۱۵۰۰۰۰۰ استفاده شد. محیط‌های

[1]BASF

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1395.6.22.14.9]

کشت نوترینت آگار[2]، مولر هینتون آگار[3] و نیترات نقره از شرکت مرک تهیه شد. میکروب‌های مورد بررسی شامل: استافیلوکوکوس اورئوس[4]، سودوموناس آئروژینوزا[5]، باسیلوس سوبتی‌لیس[6] و اشرشیاکلی[7] به صورت لیوفیلیزه از موسسه تحقیق ها واکسن و سرم سازی رازی خریداری شد. از آب مقطر برای سنتز هیدروژل استفاده شد.

روش‌ها

ساخت هیدروژل حاوی نقره: برای تهیه هیدروژل، پلی وینیل پیرولیدون به میزان ۷ درصد به آب مقطر با دمای ۸۰°C اضافه شد. سپس از محلول نیترات نقره به مقادیر ppm ۲۰۰-۱۰۰-۷۰، به صورت قطره قطره به محلول PVP اضافه شد و پس از مدت ۲ ساعت اختلاط، محلول به منظور حذف اکسیژن گاززدایی شد. حجم مشخصی از محلول اولیه هیدروژل در پتری دیش ریخته شد. نمونه‌ها در دز kGy ۳۳ پرتودهی شدند. از سیستم دزیمتری تری استات سلولز (CTA) به منظور اندازه‌گیری دز جذبی هیدروژل‌های پرتودهی شده استفاده گردیده است. این سیستم مشتمل بر فیلم دزیمترهای CTA و دستگاه اسپکتروفتومتر می‌باشد. دزیمتری در این سیستم بر پایه‌ی تغییرات خواص جذب اپتیکی فیلم CTA در نزدیکی ناحیه‌ی فرابنفش تعبیه شده است. پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها فیلم‌گذاری شده و در دزهای مورد نظر توسط پرتوهای الکترون ناشی از شتاب دهنده‌ی رودوترون[8] مدل TT200، پرتودهی شده‌اند.

اسپکتروسکوپی UV-vis : جهت بررسی وجود نانو ذرات نقره در شبکه هیدروژل، از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-vis مدل 25 لامبدا[9] ساخت شرکت پرکین المر[10] استفاده شد.

اندازه‌گیری کسر ژل: نمونه‌های هیدروژل به مدت ۲۴ ساعت در آون خلاء تحت دمای ۶۰°C تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد. سپس توزین گردید. پس از آن نمونه‌ها در دمای اتاق در آب مقطر تحت استخراج قرار گرفت. پس از گذشت ۸ ساعت، نمونه‌ها از آب مقطر خارج شد و تحت خلاء و حرارت خشک و توزین گردید. درصد ژل نمونه‌ها از رابطه (۱) محاسبه شد (۱۳).

$$\text{کسرژل} = \frac{wdwd}{wi\ wi} \times ۱۰۰ \quad (۱)$$

W_d: وزن هیدروژل خشک شده پس از شست و شو

W_i: وزن هیدروژل خشک شده پس از پرتودهی

آزمون تورم : نمونه‌های هیدروژل به مدت ۴۸ ساعت در دمای محیط درون آب مقطر قرار داده شد. پس از گذشت ۴۸ ساعت و ثابت شدن وزن نمونه‌ها، نمونه در حالت متورم توزین گردید. سپس نمونه‌ها تحت خلاء و حرارت خشک و توزین شد. میزان تورم از رابطه (۲) محاسبه گردید (۱).

$$\text{نسبت تورم} = \frac{ws-wd\,ws-wd}{wd\quad wd} \times ۱۰۰ \quad (۲)$$

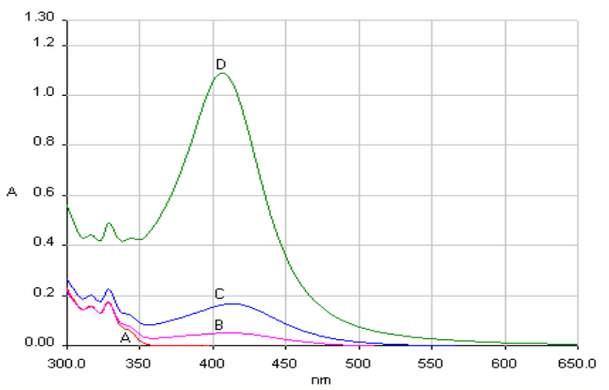
W_d: وزن هیدروژل خشک پس از شستشو

W_s: وزن هیدروژل متورم

آزمون طیف سنجی مادون قرمز: جهت تعیین ساختار شیمیایی و مقایسه گروه های عاملی هیدروژل از دستگاه طیف سنجی مادون قرمز FTIR 8300 ساخت کمپانی شیمادزو[11] استفاده شد.

بررسی با میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM): بررسی میکروسکوپی هیدروژل حاوی نانوذره نقره با میکروسکوپ نیروی اتمی[12] انجام شد.

بررسی فعالیت ضد میکروبی : سوسپانسیون حاوی $۱۰^{۸}$ cfu/ml× ۱/۵-۱ (۰/۵ مک فارلند) از کشت تازه باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس، سودوموناس آئروژینوزا، باسیلوس سوبتی‌لیس و اشرشیاکلی در فسفات بافر تهیه شد. از این سوسپانسیون بر روی محیط کشت مولر هینتون آگار با روش کشت سطحی، کشت داده شد. از هیدروژل‌های تهیه شده حاوی نقره و شاهد (بدون نقره) تحت شرایط استریل دیسک‌هایی با قطر ۱ cm بریده شد و بر روی سطح محیط کشت‌های تلقیح شده قرار گرفت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ °C گرماگذاری شد. سپس محیط‌ها از نظر وجود یا عدم وجود منطقه بازدارنده رشد (هاله) و قطر هاله بررسی شدند (۱۴).



شکل ۱– طیف جذبی UV-vis: A– هیدروژل خالص بدون نقره B– هیدروژل Ag/PVP با غلظت نقره ۷۰ppm C– هیدروژل Ag/PVP با غلظت نقره ۱۰۰ ppm D– هیدروژل Ag/PVP با غلظت نقره ۲۰۰ ppm

نتایج آزمون منطقه بازدارنده رشد در جدول ۱ آمده است. در تمام نمونه‌ها هاله‌های بازدارنده رشد با قطر کم تر از ۱۲ میلی متر دیده شد. تصاویر مربوط به منطقه بازدارنده رشد در چهار

2 Nutrient agar
3 Muller Hinton agar
4 Staphylococcus aureus
5 Pseudomonas aeruginosa
6 Bacillus subtilis
7 Escherichia coli
8 Rhodotron
9 Lambda
10 Perkin Elmer
11 [11]Shimadzo
12 [12]EasyScan 2 controller version 2.0.1

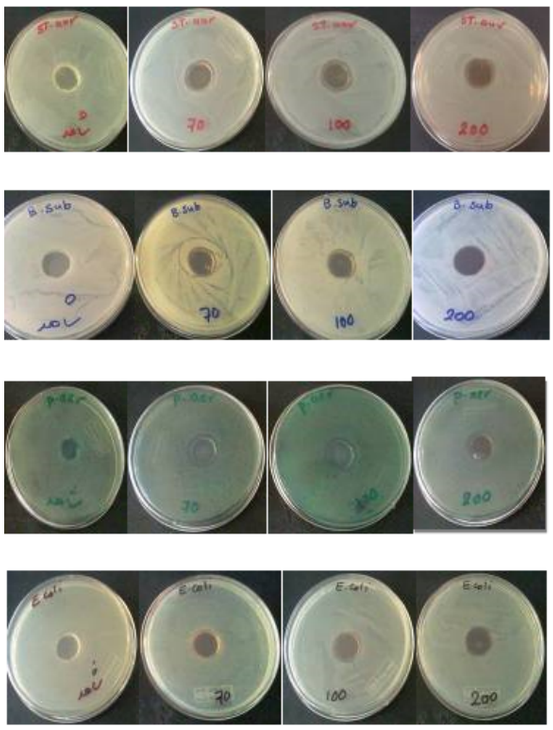
[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22285458.1395.6.22.14.9]

باکتری استافیلوکوکوس اورئوس، سودوموناس آئروژینوزا، باسیلوس سوبتی‌لیس و اشرشیاکلی در شکل ۲ آمده است.

غلظت نیترات نقره / باکتری	۷۰ ppm	۱۰۰ ppm	۲۰۰ ppm	۰ ppm
سودوموناس آئروژینوزا	+++	+++	+++	–
باسیلوس سوبتیلیس	+	+	+	–
استافیلوکوکوس اورئوس	++	++	++	–
اشرشیا کلی	+	+	+	–

+ هاله کوچک ، ++ هاله متوسط ، +++ هاله بزرگ

جدول۱ - اثر هیدروژل PVP/gA بر روی میکروب ها در غلظت های مختلف نقره .



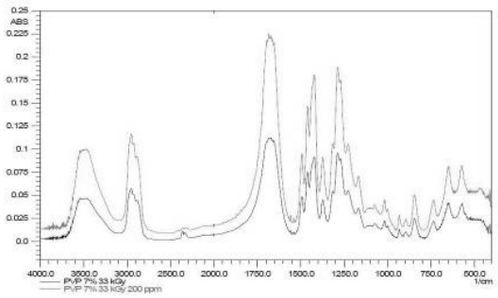
شکل۲- هاله بازدارنده رشد در اطراف هیدروژل Ag/PVP با غلظت نقره ۷۰ ppm و ۱۰۰ و ۲۰۰ و هیدروژل خالص (شاهد) در کشت‌های باکتری‌های استافیلوکوکوس اورئوس(ردیف اول)، باسیلوس سوبتی‌لیس (ردیف دوم)، سودوموناس آئروژینوزا (ردیف سوم)، و اشرشیاکلی (ردیف چهارم).

نانوکامپوزیت Ag/PVP با غلظت ppm ۱۰۰ با میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بررسی شد. تصویر AFM از AgNPs در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل۳- تصویر AFM از AgNPs درهیدروژل Ag/PVP با غلظت ppm ۱۰۰، وجود نانوذرات نقره را نشان می‌دهد.

جهت بررسی برهم‌کنش بین مولکول‌های PVP و AgNPs، اسپکتروسکوپی FTIR بر روی نمونه خشک شده در دمای اتاق PVP خالص و نانوکامپوزیت Ag/PVP انجام شد. طیف جذبی IR، PVP خالص و نانوکامپوزیت Ag/PVP با غلظت ppm ۲۰۰ نقره در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل٤- طیف FTIR در محدوده ۱/cm ٤۰۰۰-٤۰۰ هیدروژل Ag/ PVP با غلظت نقره ppm ۲۰۰ (A) و هیدروژل خالص(B).

نتایج آزمون تورم و درصد ژل هیدروژل Ag/PVP و هیدروژل بدون نقره در جدول ۲ آمده است.

مشخصات نمونه	درصد ژل	تورم (٪) نسبت به حالت خشک
PVP + Ag(0 ppm)	92	12.05
PVP + Ag (70ppm)	93	12.44
PVP + Ag (100ppm)	94	12.54
PVP + Ag (200ppm)	93	12.24

جدول ۲- نتایج تورم و درصد ژل هیدروژل Ag/PVP در غلظتهای مختلف نقره و هیدروژل بدون نقره.

بحث

تشکیل AgNPs در شبکه هیدروژل سبب ظهور رنگ زرد می‌شود. در اسپکتروسکوپی UV-vis حضور AgNPs در شبکه ماکرومولکولی ژل بوسیله طیف UV-vis و داشتن ماکزیمم جذب در طول موج ۴۰۵ نانومتر تأیید شد. در این طول موج طیف پیک تیزی را نشان می‌دهد. خواص نوری نانو ذرات فلزی به شدت تحت تأثیر نوسانات الکترونی نوار رسانش نانو ذرات قرار دارد.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1395.6.22.14.9]

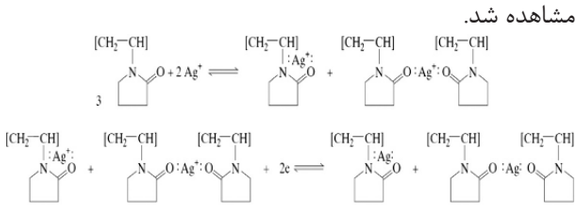
این نوسانات جمعی پلاسمون سطحی شناخته می‌شود. زمانی که نیروی الکترونی خارجی (مانند نور یا پرتو الکترونی) به نانو ذرات برخورد می‌کند، توزیع بار الکترونی مختل و از مدار خارج می‌شود و سپس به حالت طبیعی باز می‌گردد. عامل بازگشت این نوسان تمایل نیروی کولنی میان هسته و الکترون‌هاست. (۲) نتایج تحقیقات نشان می‌دهد پیک جذبی در طول موج ۴۰۵ نانومتر مربوط به رزونانس پلاسمون سطحی نانو ذرات نقره کروی است. تحقیقات انجام شده توسط Jovanovic و همکاران (۲۰۱۱)، Krkljes و همکاران (۲۰۰۷) بر این مطلب اشاره دارد. (۱۰)طیف جذبی UV-vis هیدروژل Ag/PVP وPVP خالص در شکل۱ آمده است. در هر سه غلظت ppm ۲۰۰ و۱۰۰ و ۷۰ نقره طیف‌ها در ناحیه ۴۰۵ نانومتر جذب ماکزیمم دارند و افزایش شدت پیک جذبی با افزایش غلظت دیده می‌شود که نشان دهنده افزایش تعداد نانو ذرات نقره است و باریک بودن پهنای منحنی جذب و وجود پیک تیز نشان دهنده پراکندگی کم اندازه ذرات است. (۱۲) بیشترین تعداد AgNPs در غلظت ppm۲۰۰ با توزیع پراکندگی بسیار کم دیده می‌شود. در غلظت‌های ppm۱۰۰ و ۷۰ پراکندگی اندازه ذرات بیشتر است ولی با توجه به محدوده جذب، ذرات در ابعاد نانو می‌باشند. این نتایج با نتایج کار انجام شده توسط Jovanovic و همکاران مطابق می‌باشد. (۱۰)

نتایج آزمون‌های ضدمیکروبی که در جدول شماره ۱ آمده، نشان می‌دهد تمام نمونه‌ها هاله‌های بازدارنده رشد با قطر کمتر از ۱۲ میلیمتر دارند که حاکی از تأثیر باکتریوساید AgNPs بر روی تمام باکتری‌های مورد آزمون می‌باشد. هیدروژل /Ag PVP بر سودوموناس آئروژینوزا و سپس استافیلوکوکوس اورئوس بیشترین بازدارندگی و بر باسیلوس سوبتی‌لیس و اشرشیاکلی کمترین بازدارندگی را دارد. کم بودن قطر هاله نشان می‌دهد میزان رهایش نقره ازهیدروژل Ag/PVP کم می‌باشد و نتایج آزمون رهایش نقره نیز این مطلب فوق را تأیید می‌کند. هیدروژل تنها اثر ضد میکروبی خود را در مرز بین محیط کشت و هیدروژل و در محدوده کمی از اطراف آن اعمال می‌کند. به عبارت دیگر عملکرد هیدروژل به صورت انفعالی است و می‌تواند با جذب مایع و باکتری از سطح محیط کشت در داخل ساختار خود و مواجهه با نقره تأثیرگذار باشد. (۶،۴) همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود تفاوت معنی‌داری بین بازدارندگی در سه غلظت نقره دیده نشد که می‌تواند مربوط به عدم رهایش نقره در هر سه غلظت باشد. بنابر تحقیقات انجام شده پانسمان‌های زخم که در ساختار خود نقره دارند و رهایش نقره به محیط اطراف خود ندارند در مقایسه با پانسمان‌های با رهایش AgNPs زیاد، شاید در محیط کشت فعالیت ضد میکروبی کمتری داشته باشند ولی در تماس با زخم در کنترل عفونت به همان اندازه موفق هستند. (۱۱)

طیف جذبی IR بدست آمده از اسپکتروسکوپی FTIR، ، PVP خالص و نانوکامپوزیت Ag/PVP با غلظت ppm ۲۰۰ نقره در شکل ۴ نشان داده شده است. موقعیت پیک‌ها در PVP خالص و نانوکامپوزیت Ag/PVP تفاوت کمی دارد. یکی از این تغییر مکان‌ها مربوط به تغییر مکان باند گروه کربونیل آمید از cm^{-1} ۱۶۶۰ در PVP خالص به cm^{-1}۱۶۷۰ در Ag/PVP است که این افزایش عدد موج جذب >N-C=O ، ممکن است بدلیل تضعیف پیوند، به علت دادن جفت الکترون نیتروژن یا اکسیژن PVP به اربیتال خالی AgNPs باشد. هم چنین در موقعیت پیک‌های cm^{-1} ۱۴۹۲مربوط به ارتعاش نیتروژن سوم، cm^{-1}۱۳۷۲ مربوط به ارتعاش گروه NO_3^-– و cm^{-1}۱۲۸۵ مربوط به ارتعاش گروه N-OH تغییر مکان دیده می‌شود که دلیل آن را می‌توان پیوند کئوردینانس بین اتم نیتروژن در PVP و AgNPs دانست. Jovanovic و همکاران، Wanga و همکاران در کاری تحقیقاتی بر روی تشکیل نانوذرات به نتایج مشابهی دست یافتند (۱۵،۱۰). تمام تفاوت‌های نشان داده شده بین دو طیف حاکی از تشکیل کئوردینانس بین اتم نیتروژن و اکسیژن PVP و AgNPs می‌باشد که واکنش‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است.

به دلیل ممانعت فضایی حلقه پیرولیدون، اندازه AgNPs، نوع کئوردینانس را تعیین می‌کند. از طرف دیگر، به دلیل این که الکترونگاتیویته نیتروژن نسبت به اکسیژن کمتر است و میل به الکترون دهندگی در نیتروژن بیشتر از اکسیژن است ذرات با ابعاد کمتر از ۵۰ نانومتر، بدون توجه به ممانعت فضایی، با نیتروژن پیوند برقرار می‌کنند ولی در ذرات با ابعاد بزرگتر، اثر فضایی حلقه تأثیرگذارتر است و پیوند بین AgNPs و اکسیژن رخ می‌دهد. با توجه به اینکه ابعاد نانو ذرات نقره که در این تحقیق سنتز شده به طور تقریبی nm ۵ می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که مکان اصلی کئوردینانس، بین AgNPs و نیتروژن حلقه پیرولیدون است. (۱۵،۱۰)

بررسی میکروسکوپی نانوکامپوزیتAg/PVP : نانوکامپوزیت Ag/PVP با غلظت ppm ۱۰۰ با میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بررسی شد و ذراتی با ابعاد ۵ نانومتر و به صورت مجزا مشاهده شد.



شکل۵ : پیوند کئوردینانس امکان پذیر بین PVP و AgNPs.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1395.6.22.14.9]

تورم و درصد ژل PVP خالص و نانوکامپوزیت Ag/PVP تفاوت چشم گیری نداشت و افزایش کمی را نشان داد. به احتمال زیاد حضور ذرات نقره تأثیر چندانی در ساختار هیدروژل نداشته است. هر چند که در مطالعه‌ای که Jovanovic و همکاران انجام دادند افزایش در میزان تورم مشاهده شده بود و دلیل آن را مربوط به مقادیر مختلف بارهای سطحی نانو ذرات نقره در طی احیاء یون‌های نقره به نانو ذرات در فرآیند تشکیل نانو ذرات و تأثیر این تغییرات بار بر میزان باز شدن شبکه هیدروژل دانسته‌اند. (۹)

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از اسپکتروسکوپی UV-vis و AFM تولید نانو ذرات نقره با ابعاد تقریبی ۵ نانومتر و با توزیع اندازه کم را در ماتریس پلیمر Ag/PVP نشان داد و نتایج FTIR تعیین کرد که مکان اصلی کئوردینانس، بین AgNPs و نیتروژن حلقه پیرولیدون می‌باشد. خصوصیات تورم و درصد ژل هیدروژل PVP خالص و نانوکامپوزیت Ag/PVP تفاوتی نشان نداد. آزمون‌های میکروبی خاصیت ضدمیکروبی هیدروژل را در سطح تماس و در منطقه کمی از اطراف هیدروژل نشان داد. در مجموع در این تحقیق به این نتیجه دست یافتیم که پرتودهی با الکترون روشی مناسب برای تولید نانو ذرات نقره در درون ماتریس هیدروژل PVP می‌باشد و توانایی تولید نانو ذرات نقره در ماتریس پلیمر هم زمان با فرایند استریلیزاسیون، تکنیک پرتودهی را برای کاربردهای پزشکی جذاب می‌سازد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از زحمات آقای محمد رضا پارساییان مسئول آزمایشگاه طیف سنجی مادون قرمز تقدیر و تشکر می‌نمایند.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1395.6.22.14.9]

منابع

۱- طالقانی ف، یارایی ر،صادقی ر،حقگو ر، رضوانی م. بررسی سمیت سلولی نانوسیلور بر رده سلولهای اپی تلیال در شرایط آزمایشگاهی. مجله دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، ۱۳۹۲؛ دوره ۳۱، شماره ۴: ۲۲۶-۲۲۰.

۲- علی‌محمدی ف، منتظر م، شمعی ع، رحیمی م‌ک. سنتز نانو ذرات نقره روی پارچه پنبه‌ای با استفاده از پلی وینیل پیرولیدون به عنوان عامل کاهنده و پایدارکننده. مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،۱۳۹۱؛ شماره چهارم : ۲۷۵-۲۶۵.

3-Abd El-Mohdy,Ghanem S.Biodegradability, antimicrobial activity and properties of PVA/PVP hydrogels prepared by γ-irradiation. J Polym Res, 2009; 16: 1-10.

4-Basterzi Y, Ersoz G, Sarac G, Sari A, Demirkan F. In-vitro comparison of antimicrobial efficacy of various wound dressing materials. Wounds, 2010; 22 (7): 165-170.

5-Bogle KA, Dhole SD, Bhoraskar VN. Silver nanoparticles: synthesis and size control by electron irradiation. Nanotech, 2006;17: 3204-3208.

6-Bradshaw CE. An in vitro comparison of the antimicrobial activity of honey, iodine and silver wound dressings. BioHorizons oxfo j, 2011; 4(1): 61-70.

7-Chen P, Song L, Liu Y, Fang Y. Synthesis of silver nanoparticles by γ-ray irradiation in acetic water solution containing chitosan. Radiat Phys Chem, 2007; 76: 1165-1168.

8- Gunasekaran T, Nigusse T,Dhanaraju M D. Silver nanoparticles as real topical bullets for wound healing.J Am Coll Clin Wound Spec, 2012,3,82-96.

9-Jovanovic Z, Krkljes A, Stojkovska J, Tomic S, Obradovic B, Miskovic-Stankovic V, Kacarevic-Popovic Z. Synthesis and characterization of silver/poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) hydrogel nanocomposite obtained by in situ radiolytic method. Radiat Phys Chem, 2011; 80: 1208–1215.

10-Jovanovic Z, Radosavljevic A, Siljegovic M, Bibic N, Miskovic-Stankovic V, ZoricaKac arevic Z. Structural and optical characteristics of silver/poly(N-vinyl-2-pyrrolidone) Nano systems synthesized by γ-irradiation. Radiat Phys Chem, 2012; 81: 1720–1728.

11-Leaper DJ. Silver dressings: their role in wound management. Int Wound J, 2006; 3(4): 282–294.

12-Malina D, Kupiec AS, Wzorek Z, Kowalski Z. Silver nanoparticles synthesis with different concentrations of Polyvinyl Pyrrolidone. Dig J Nanomater Bios, 2012; 7(4): 1527-1534.

13-Singh R, Singh D. Radiation synthesis of PVP/alginate hydrogel containing nanosilver as wound dressing. J Mater Sci, 2012; 23: 2649–2658.

14-Tkachenko O, Andreas Karas J. Standardizing an in vitro procedure for the evaluation of the antimicrobial activity of wound dressings and the assessment of three wound dressings. J Antimicrob Chemother, 2012; 67:1697–1700.

15-Wanga H, Qiaoa X, Chena J, Wanga X, Ding S. Mechanisms of PVP in the preparation of silver nanoparticles. Mater Chem, 2005; 94: 449–453.

[Downloaded from ncmbjpiau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.22285458.1395.6.22.14.9]