



## تابش گاما در سنتز Ag-NPs پیوند یافته به سطوح پلی پروپیلنی و اصلاح عملکرد سیستم آب بدون یون در الگودهی نیم رسانا

فرزانه غراب<sup>۱،۲\*</sup>، زرین اسحاقی<sup>۲</sup>، نسرين شيخ<sup>۲</sup>، اعظم اخوان<sup>۲</sup>

۱. پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی ۱۳-۱۴۳۹۹۵۱۱، تهران- ایران

۲. گروه شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه پیام‌نور، صندوق پستی ۹۱۸۹۸۹۶۳۱۱، مشهد- ایران

۳. پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی ۳۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران- ایران

\*Email: farzaneh1980@yahoo.com

### مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۹/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۰/۱۴

### چکیده

کاربرد تابش گاما به عنوان عامل سنتز پرتوی نانوذرات نقره و پیوند همزمان آن ذرات به سطوح پلی پروپیلنی در اصلاح عملکرد سیستم تهیه آب بدون یون، پروژه تجربی نوینی است. در این پروژه، استفاده از تأثیر پرتو گاما بر روی سطح نوع خاصی از فیلتر، موجب احیای یون‌های نقره و اصلاح سطح فیلتر به طور همزمان گردید. سپس، اثر فیلتر اصلاح شده بر عملکرد سیستم‌های تهیه آب بدون یون، که به طور مستقیم و غیر مستقیم با فن‌آوری‌های کوانتومی و علوم هسته‌ای ارتباط دارند، از طریق الگودهی سطح نیم‌رسانای ایندیم فسفاید بررسی شد. تعیین میزان دز تابش گاما و بررسی شرایط احیای نانوذرات نقره، پس از گذر از مرحله بهینه‌سازی، صورت گرفت. بر این اساس، از اطلاعات میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس، طیف‌سنجی جذبی فرابنفش-مرئی، طیف‌های بازتاب کل تضعیف شده و آزمون‌های شمارش باکتری‌ها در سطوح آغشته به آگار استفاده شد. سپس مشخص گردید که نتیجه مطلوب اصلاح سطح فیلتر، به دلیل ایجاد رزونانس پلاسمون سطحی در محلول کلوییدی نانو ذرات نقره می‌باشد که به هنگام سنتز با تابش گاما به وجود می‌آید.

**کلیدواژه‌ها:** تابش گاما، اصلاح سطح فیلتر، سنتز نانوذرات نقره، الگودهی سطح نیم‌رسانا

## Gamma Irradiation in Grafted Ag-NPs Synthesis to PP Surfaces and DI Water System Modification in Semiconductor Patterning

F. Ghorab<sup>\*1,2</sup>, Z. Eshaghi<sup>2</sup>, N. Sheikh<sup>3</sup>, A. Akhavan<sup>3</sup>

1. The Photonic and Quantum Technology Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.BOX: 14395-836, Tehran, Iran

2. Department of chemistry, Payame Noor University, P.O.BOX: 9189896311 Mashhad, Iran

3. Radiation Applications Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.BOX: 14395-836, Tehran, Iran

### Research Article

Received 12.12.2020, Accepted 3.1.2021

### Abstract

The application of gamma irradiation as a factor to graft the synthesized silver nanoparticles to the polypropylene surface and modify the de-ionized (DI) water supply system is a new experimental project. In this study, using the effect of gamma irradiation on the surface of a certain type of filter reduces silver ions and modifies the filter surface, simultaneously. Then, the effect of the modified filter on the performance of DI water supply systems, which are directly and indirectly related to quantum technologies and nuclear science, was investigated by modeling on the surface of indium phosphide (InP) semiconductors. The dose of gamma irradiation and the reduction conditions of silver nanoparticles were determined after passing the optimization stage. So, scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX), ultraviolet-visible absorption spectroscopy (UV-Vis), attenuated total reflection (ATR) and bacterial counting tests by plate count agar (PCA) were used. Then it was found that the desired result of filter surface modification is due to the formation of surface plasmon resonance in the colloidal solution of silver nanoparticles which is produced during gamma irradiation synthesis.

**Keywords:** Gamma irradiation, Filter surface modification, Silver nanoparticles synthesis, Semiconductor surface patterning



## ۱. مقدمه

منطقه‌ای از طول موج مری، بین ۳۸۰ تا ۴۵۰ نانومتر، جذب می‌کنند.

به‌علاوه، مشاهده شده که پهنای قله SPR با توزیع اندازه نانوذرات مرتبط است و غالباً پهنای این قله در طول موج‌های بلندتر، طیف جذب فرابنفش- مری پهن‌تری دارد. به‌علاوه نانو ذرات نقره، با شکل‌های متنوع و نامنظم، بسته به تقارن نانوذرات، می‌توانند دارای دو قله SPR و یا تعداد بیش‌تری قله باشند [۵، ۶].

امروزه نانوذرات نقره به‌عنوان ماده‌ای با خواص کاملاً ضد میکروبی، موارد استفاده فراوانی در عموم صنایع دارد. از طرفی طبق تحقیقات، نقش آن در عملیات تصفیه و فیلتر کردن آب نیز همواره بسیار پر رنگ و مؤثر بوده است [۷]. لذا کاربرد آن با فیلترهای پلی‌پروپیلنی که به روش‌های مختلف تهیه می‌شوند، قابل مطالعه است. پلی‌پروپیلن یکی از پرمصرف‌ترین پلاستیک‌ها بوده و ویژگی‌های فنی متمایز آن نظیر سبک وزنی، آب‌گریزی، قابلیت انعطاف، هدایت حرارتی کم، استحکام و غیره، رشد تقاضای بسیار زیاد آن در تهیه انواع لوازم متعدد، به‌ویژه غشاها [۸] و فیلترها و غشا‌های متخلخل را موجب شده است [۹]. امکان اصلاح پلی‌پروپیلن به‌صورت ترکیبی و کامپوزیتی نیز آن را به‌عنوان ماده‌ای با خواص منحصر به فرد مطرح ساخته و به‌گزینه‌ای ایده‌آل برای مطالعه تبدیل نموده است. به همین دلیل موارد اصلاح پلی‌پروپیلن به هنگام کاربرد آن به‌عنوان فیلتر، یا تحت عناوین دیگر، به‌صورت پروژه‌های تحقیقاتی مطرح می‌شود [۱۰-۲۱].

در این میان، فیلتر پروپیلنی دمش مذاب<sup>۲</sup> نوع خاصی از فیلتر است که برای خالص‌سازی آب استفاده می‌شود. البته دامنه‌سازی آب در کاربردهای صنعتی چون صنایع میکروالکترونیک و نیم‌رسانا که نسبت به حضور میکروارگانیزم‌ها حساس هستند، مطابق با آنچه در جداول استاندارد تعریف شده است، قابل تغییر است. به‌طوری‌که بسته به اندازه پهنای خطوط الگودهی شده در قطعات الکترونیکی، این صنایع می‌توانند به آب با خلوص و کیفیت بالاتر، در نقطه توزیع، نیاز داشته باشند. لذا، می‌توان فیلتر اصلاح شده با نانوذرات نقره‌ی سنتز شده به شیوه پرتودهی با تابش گاما را، بسته به میزان کارایی آن فیلتر، در باکتری‌زدایی آب خالص و کاربرد آن آب خالص در الگودهی سطح قطعه نیم‌رسانا، مورد بررسی قرار داد.

هنگلین و بلونی [۲، ۱] اولین کسانی بودند که سنتز نانوذرات فلزی را به روش پرتویی گزارش کردند. در سنتز پرتویی، الکترون‌های ماده با جذب انرژی از پرتوهای یون‌ساز به سطوح انرژی بالاتر برانگیخته شده و یا یونیزه می‌گردند و به این ترتیب، امکان پیشرفت فرایندهای شیمیایی بعدی و عملکرد سنتز را فراهم می‌کنند. از طرفی، مطالعات نشان می‌دهد که تابش‌دهی می‌تواند در احیا یون‌های نقره و تثبیت نانوذرات نقره بر روی سطوح پلیمری، مؤثر باشد [۳]. به‌علاوه، روش سنتز نانو ذرات نقره با تابش گاما می‌تواند به‌عنوان جایگزینی پاک برای روش‌های شیمیایی مطرح باشد. سازوکار احیای یون‌های فلز نقره با توجه به تأثیر پرتو گاما بر رادیولیز آب قابل بررسی است. به‌طوری‌که پرتوهای یونیزان گاما با یونیزه کردن، تجزیه و برانگیختگی مولکول‌های آب، یون‌های متفاوتی ایجاد کرده و موجب رادیولیز آب می‌گردند. به این ترتیب هنگام رادیولیز آب، رادیکال‌های احیاکننده ( $e_{aq}^-$ ,  $H^\cdot$ ) و اکسیدکننده ( $OH^\cdot$ ) متعددی ایجاد می‌شوند. در این بین، الکترون هیدراته عامل احیاکننده‌ای قوی است که می‌تواند عهده‌دار انتقال تک‌الکترون به یون‌های فلز نقره گردد.

در روش سنتز با پرتو گاما، همانند سایر سنتزهای شیمیایی نانوذرات، دو سازوکار هسته‌زایی و رشد اتم‌های فلزی، در حال رقابت هستند. هنگام پرتودهی در دزهای بالا، سرعت مرحله هسته‌زایی بیش‌تر از مرحله تجمع یا رشد است در حالی‌که در نرخ‌های دز پایین، سرعت مرحله رشد بیش‌تر است. در نتیجه اندازه نانوذرات تشکیل‌شده در دزهای مختلف، متفاوت خواهد بود. البته یکی دیگر از عواملی که در بیش‌تر واکنش‌های احیا شیمیایی، برای کنترل مرحله رشد نانوذرات مؤثر است، حضور مواد پایدارکننده است [۴]. این مواد از طریق ممانعت الکتروستاتیکی یا ممانعت فضایی، مانع رشد و تجمع نانوذرات می‌شوند. به‌طوری‌که یون‌های فلزی به درون حفرات این مواد نفوذ کرده و جذب سطح آن‌ها می‌شوند و سپس این یون‌ها طی فرایند پرتودهی، احیا شده و به اتم‌های فلزی تثبیت شده بر روی سطح تبدیل می‌شوند. لذا در صورت حضور بافت پلی‌پروپیلنی فیلتر، در چنین شرایطی، اصلاح سطح فیلتر امکان‌پذیر می‌گردد.

از طرفی، مطالعات متعددی که بر روی نانوذرات نقره انجام شده، نشان داده که این نانوذرات، اشعه الکترومغناطیسی را از طریق پدیده‌ای به نام تحریک رزونانس پلاسمون سطحی<sup>۱</sup> در

2. Melt-Blown Polypropylene (MB-PP)

1. Surface Plasmon Resonance (SPR)



## ۲. مواد و روش‌ها

نام و مشخصات مجموعه مواد مورد استفاده در این تحقیق، در جدول ۱ نمایش داده شده است. از طرفی، روش‌های دستگاهی و مشخصه‌یابی متفاوتی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است که به‌طور خلاصه به آن‌ها اشاره می‌شود:

### • سیستم پرتو دهی گاما

فرایند سنتز با تابش گاما در یک گاما سلول ۲۲۰، مدل کانادایی، دارای یک منبع  $^{60}\text{Co}$  با نرخ دز ۱/۷۷ گری بر ثانیه انجام شد که توسط دزیمترهای خاص کالیبره می‌شود.

### • طیف‌سنج بازتاب کل تضعیف‌شده

طیف‌نگاری به شیوه بازتاب کل در ناحیه مادون قرمز و دامنه موج  $\text{cm}^{-1}$  ۶۰۰ تا ۴۰۰۰ انجام گرفت. طیف بازتاب کل تضعیف شده، بررسی پیوند بین نانو ذرات نقره و سطوح فیلتر و غشا اصلاح شده را امکان‌پذیر ساخت.

### • میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف‌سنج پراکندگی

#### انرژی پرتو ایکس

میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل فیلیپس برای نشان دادن شکل، اندازه و پراکندگی نانوذرات نقره مورد استفاده قرار گرفت. سطح نمونه توسط میکروسکوپ مخصوص همین دستگاه، مشاهده و اطلاعات طیف‌سنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس آن نیز مورد بررسی قرار گرفت.

### • اسپکتروفوتومتر فرابنفش - مری

اسپکتروفوتومتر فرابنفش - مری برای تعیین طیف رزونانس پلاسما سطحی نانوذرات نقره مورد استفاده قرار گرفت.

### • دستگاه نیمه خودکار فتولیتوگرافی همراه با لایه نشان

#### چرخشی

دستگاه نیمه خودکار فتولیتوگرافی ساخت شرکت آژینه برای الگودهی سطح نمونه نیم‌رسانای ایندیم فسفاید مورد استفاده قرار گرفته و از لایه نشان چرخشی برای لایه نشانی فتورزیست استفاده شد.

### • نرم‌افزار دیزاین اکسپرت

نرم‌افزار دیزاین اکسپرت<sup>۱</sup> برای تحلیل داده‌ها و تعیین نقطه بهینه فاکتورهای اثرگذار در آزمایش‌ها از طریق طراحی خاصی با روش‌شناسی سطح پاسخ<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار گرفت.


## ۳. یافته‌ها و بحث

ارتباط بین فاکتورها و عوامل قابل کنترل و اثرگذار در آزمایش‌های مربوط به سنتز نانوذرات نقره و اصلاح همزمان سطوح

پلی پروپیلنی با تابش گاما از یک طرف و ارتباط آن‌ها با پاسخ‌های به‌دست آمده و یا پیش‌بینی شده از سوی دیگر، با استفاده از نرم افزار متداول DX و از طریق RSM، تحلیل شده و مورد بررسی قرار گرفت. در نتیجه، تعداد هفده اجرای تصادفی با سه عامل شامل غلظت نیترات نقره، دز پرتو دهی و درصد پایدارکننده ستیل‌تری‌متیل آمونیم بروماید و دو پاسخ مرتبط، شامل طول موج SPR و شمارش باکتری‌ها در سطوح آغشته به آگار<sup>۳</sup>، توسط نرم‌افزار ارایه شد. به‌طوری که با انتخاب RSM و استفاده از طرح باکس-بنکن<sup>۴</sup> و مدل درجه دو، پارامتر غلظت نیترات نقره در سه سطح ۰/۰۲۵، ۰/۰۶۲۵ و ۰/۱ مول بر لیتر و پارامتر دز پرتو دهی با سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ کیلوگری مشخص شده و پایدارکننده ستیل‌تری‌متیل آمونیم بروماید نیز با دو غلظت متفاوت ۰/۵ و ۱ درصد و یک عدم‌حضور، معادل صفر درصد، پیشنهاد شدند.

در این مرحله، تحلیل واریانس برای بررسی فاکتورهای مرتبط با پاسخ‌های SPR و PCA حاصل از رشد میکروبی و مطابقت آن‌ها با مدل درجه دو مورد استفاده قرار گرفت. به‌علاوه، بررسی معنی‌دار بودن موارد پیشگویی شده از طریق مدل و نیز میزان عدم‌تناسب آن‌ها سنجیده شد.

جدول ۱. نام و مشخصات مواد مورد استفاده در پروژه

کشور تامین‌کننده	مشخصه ماده	ماده (فرمول)
آلمان	خلوص ۹۸٪	نیترات نقره ( $\text{AgNO}_3$ )
آلمان	خلوص ۹۸٪	ستیل تری متیل آمونیم بروماید ( $\text{C}_{18}\text{H}_{41}\text{NO}$ )
ایران	هدایت ۰/۹ و ۰/۲ میکروزیمنس بر سانتی‌متر	آب خالص ( $\text{H}_2\text{O}$ )
ایران	حاوی آگار برای کشت باکتری	محیط کشت کربوهیدراتی
امریکا	اندازه متوسط منافذ ۰/۲ میکرومتر	فیلتر پلی پروپیلن دمش مذاب 
ایران	مربوط به سری شیلی ۱۸۰۰	فتورزیست مثبت
آلمان	خلوص ۹۸٪	هیدروکسید پتاسیم (KOH)

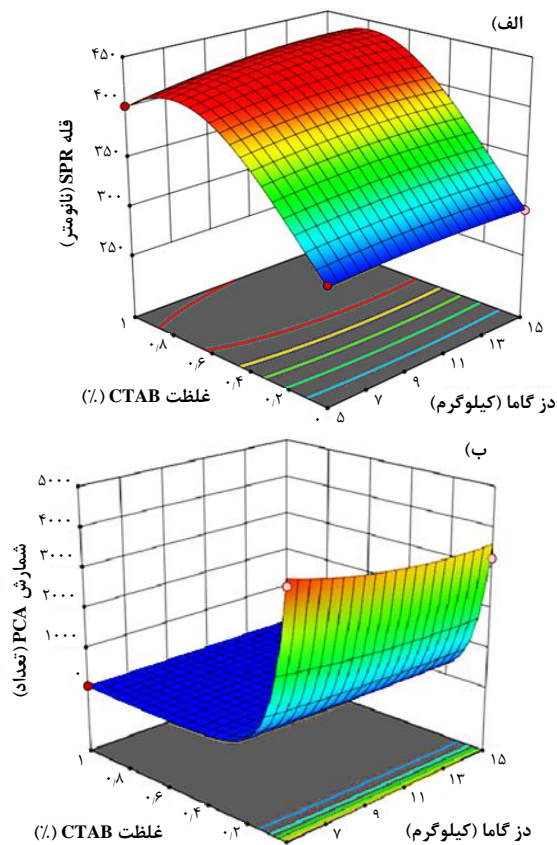
3. Plate Coun //t Agar (PCA)

4. Box-Behnken

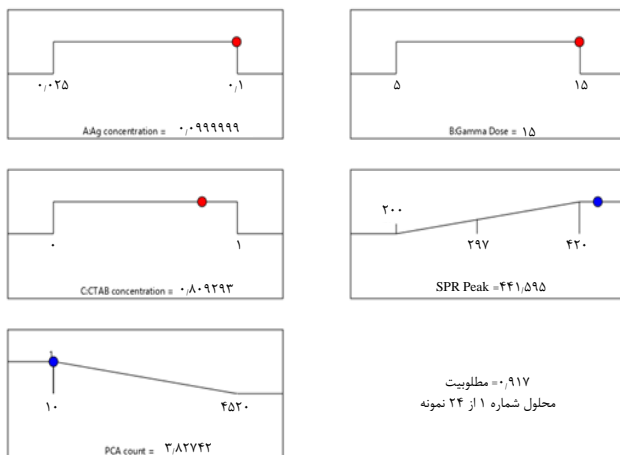
1. Design Expert (DX)

2. Response Surface Methodology (RSM)





شکل ۱. نمایش گرافیکی پیشگویی مدل با توجه به تحلیل واریانس مربوط به پاسخ‌های الف) SPR و ب) PCA حاصل از رشد میکروبی



شکل ۲. نمایش شرایط اولین حالت بهینه‌شده پیشنهادی، با نزدیک‌ترین مقدار  $R^2$  به مقدار واحد

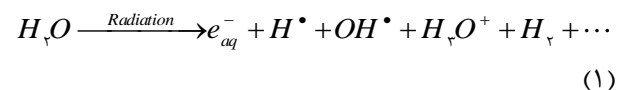
نتیجه حاصل از سنتز پرتوی نانوذرات نقره در محلول، با تابش گاما، توسط اسپکتروفوتومتر فرابنفش- مریی بررسی گردید. همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، مطالعات نشان داده که نانوذرات نقره، اشعه الکترومغناطیسی را از طریق پدیده‌ای به نام رزونانس پلاسمون سطح در منطقه‌ای از طول موج مریی، بین ۳۸۰ تا ۴۵۰ نانومتر، جذب می‌کنند. لذا، برای مشاهده این

نمایش‌های گرافیکی برخی از پیشگویی‌های مدل، با توجه به تحلیل واریانس مربوط به SPR (شکل ۱ الف) و پاسخ‌های PCA حاصل از رشد میکروبی (شکل ۱ ب)، به ترتیب در شکل ۱ نمایش داده شده است.

پیرو این تحلیل و با توجه به محدودیت مقادیر بالا و پایین تعریف‌شده از سطوح پاسخ، ۲۴ راه‌حل بهینه، متناسب با محاسبه مقدار  $R^2$  مطلوب، از ۰/۹۱۷ تا ۰/۸۹۲ توسط نرم‌افزار پیشنهاد شد.

به این ترتیب یکی از بهترین نتایج مطلوب (۰/۹۱۷  $R^2$ )، با نزدیک‌ترین مقدار به مقدار واحد، به‌عنوان نتیجه بهینه در نظر گرفته شد. یعنی بیشینه مقدار از هر فاکتور به‌عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته شده و در مشخصه‌یابی‌ها مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. نمایش رمپ ماندی از این شرایط در شکل ۲ نمایش داده شده است.

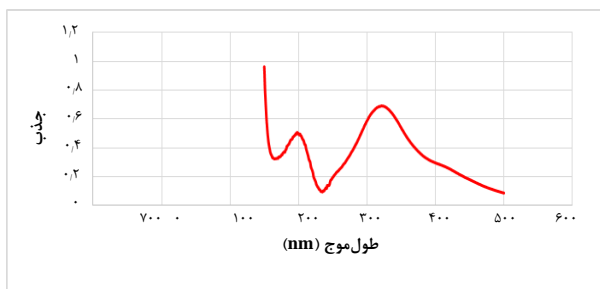
به این ترتیب، برای سنتزی بهینه، از غلظت‌های ۰/۱ مول بر لیتر نیترات نقره به همراه ۱ درصد پایدارکننده ستیل‌تری‌متیل آمونیم بروماید در بالاترین دز پرتودهی ۱۵ کیلوگری از تابش گاما استفاده شد. به‌طوری که نیترات نقره و پایدارکننده به همراه نمونه‌هایی از فیلتر MB-PP، درون ویال شیشه‌ای با حجم ۲۰ میلی‌لیتر وارد شده و پس از ماندگاری ۱۵ ساعته، به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه، تکان داده شده و به همان میزان زمان، ازتدهی شدند. سپس ویال مورد نظر آب بندی شده و آماده پرتودهی گردید. سازوکار احیای یون‌های فلزی نقره با مرحله تأثیر پرتو گاما بر رادیولیز آب شروع شده و مولکول‌های آب در برابر پرتو یون‌ساز گاما، یونیزه شده و یا به حالت‌های بالاتر الکترونی برانگیخته می‌شوند. برخی نیز خود به خود یونیزه و تجزیه شده و یا به حالت الکترونی پایه تبدیل می‌شوند. لذا، طی این واکنش، گونه‌های متفاوتی از رادیولیز آب حاصل می‌شوند:



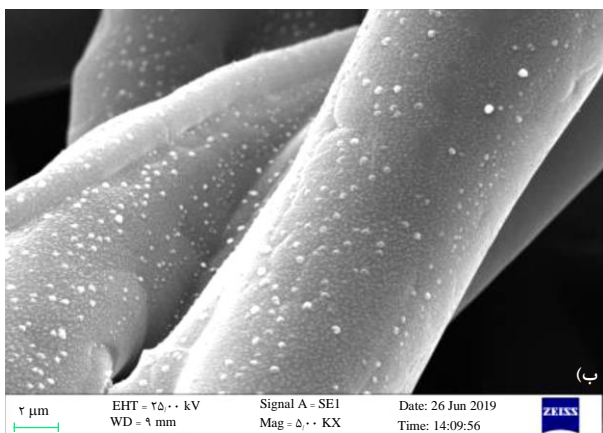
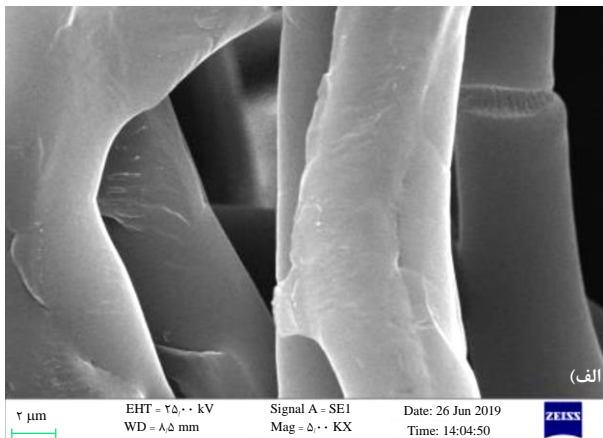
یکی از مهم‌ترین و اصلی‌ترین گونه‌ها، الکترون هیدراته ( $e_{aq}^-$ ) است. در رادیولیز آب، رادیکال‌های احیاکننده ( $e_{aq}^-$ ,  $H^\bullet$ ) و اکسیدکننده ( $OH^\bullet$ ) تقریباً به مقدار مساوی تولید می‌شوند. الکترون هیدراته یک عامل احیاکننده قوی است که واکنش انتقال تک الکترون آن را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:



مشاهده این تغییرات به همراه تغییر شکل دادن باندهای ارتعاشی و خمشی متیلن در اعداد موج کم تر از  $1455 \text{ cm}^{-1}$  و افزایش شدت پیکها در اعداد موج پایین تر، بین ۸۰۰ تا  $1400 \text{ cm}^{-1}$  می تواند تأییدی بر حضور برخی از فعل و انفعالات بین نانوذرات نقره و سطح نمونه فیلتر MB-PP و یا ایجاد احتمالی انواعی از پیوندهای فیزیکی و شیمیایی بین آنها باشد. همان گونه که عموماً به هر دلیلی، اثر عوامل اضافه شده به هر محیط عملیاتی می تواند موجب شیفت و تغییر شدت قله های ماده اولیه شود [۲۲].



شکل ۳. نمایش قله رزونانس پلاسمون سطحی مربوط به سنتز نانوذرات نقره در شرایط اولین حالت بهینه شده پیشنهادی



شکل ۴. سطح بافت نمونه فیلتر MB-PP (الف) قبل و (ب) بعد از اصلاح حاصل از سنتز نانوذرات نقره با پرتو گاما

پدیده، با استفاده از دستگاه فرابنفش- مری، طول موج های بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر اسکن شد. ظهور قله حاصل از پدیده SPR در شکل ۳ نشان داده شده است. پهن بودن قله SPR مربوط به سنتز نانوذرات نقره در طول موج ۴۲۰ نانومتر، نشان دهنده گستردگی توزیع اندازه نانوذرات در محلول است. از طرفی، افزایش شیفت قله های SPR به سمت نواحی با طول موج بلندتر می تواند نمایانگر بزرگ تر بودن اندازه نانوذرات باشد. قله ای هم که در ناحیه ۳۰۰ نانومتر دیده می شود، می تواند به دلیل وجود یون های نقره باقی مانده و یا سایر گونه های نقره در محلول باشد. حضور نانوذرات نقره و مشاهده اندازه و شکل آنها بر سطح نمونه فیلتر MB-PP اصلاح شده، از طریق میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۱</sup> با بزرگنمایی ۵ KX در شکل ۴ (ب) نمایش داده شده است.

ریخت شناسی نمونه فیلتر MB-PP، قبل از اصلاح با نانوذرات نقره به روش سنتز پرتوی نیز از طریق SEM و با همان بزرگنمایی (۵KX) در شکل ۴ الف قابل مشاهده است. تصاویری نیز از اندازه، شکل و حضور نانوذرات نقره بر سطح نمونه فیلتر MB-PP اصلاح شده، با بزرگنمایی ۳۰ KX به همراه نتایج طیفسنجی پراکندگی انرژی پرتو ایکس<sup>۲</sup> آن نمونه در شکل ۵ نمایش داده شده است. به علاوه، طبق محاسبه معادله شرر، اندازه متوسط نانوذرات در حدود ۴۵ نانومتر محاسبه شد.

از طرفی، مقایسه نتایج بازتاب کلی تضعیف شده<sup>۳</sup> در شکل ۶ نشان می دهد که در قله های اصلی مربوط به نمونه فیلتر MB-PP اصلاح شده (شکل ۶، خط آبی) تغییرات و جابه جایی هایی نسبت به نمونه فیلتر MB-PP اصلاح نشده (شکل ۶، نقطه چین قرمز)، دیده می شود.

به طوری که قله ها در نواحی  $3400 \text{ cm}^{-1}$  دچار تغییر شده و برخی از قله های اصلی پلی پروپیلن برای گروه های عاملی خاص با ارتعاشات کششی نامتقارن (گروه متیل -  $\text{CH}_3$ )؛ کششی متقارن ( $\text{CH}_2$ -)؛ کششی نامتقارن (گروه متیلن -  $\text{CH}_2$ -)؛ کششی متقارن ( $\text{CH}_2$ -) و خمشی نامتقارن در صفحه ( $\text{CH}_2$ -)، که تقریباً بین  $2970$  تا  $2840 \text{ cm}^{-1}$  ظاهر می شوند، ثابت مانده و قله های خمشی متقارن در صفحه ( $\text{CH}_2$ -) و خمشی نامتقارن در صفحه ( $\text{CH}_2$ -) که بین  $1465$  تا  $1388 \text{ cm}^{-1}$  ظاهر می شوند نیز کمی تغییر کردند.

1. Scanning Electron Microscopy (SEM)
2. Energy-Dispersive X-ray (EDX)
3. Attenuated Total Reflection (ATR)





آمریکایی آزمایش و مواد ملزم به رعایت برخی از پارامترهای مطرح شده در این جدول استاندارد خواهیم بود. بخشی از این پارامترها در جدول ۲ مشخص شده است.

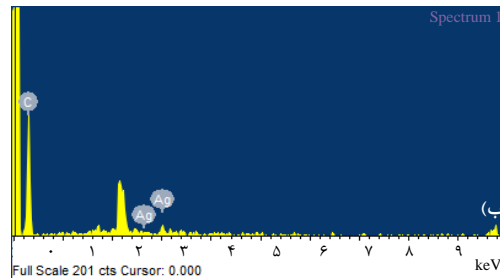
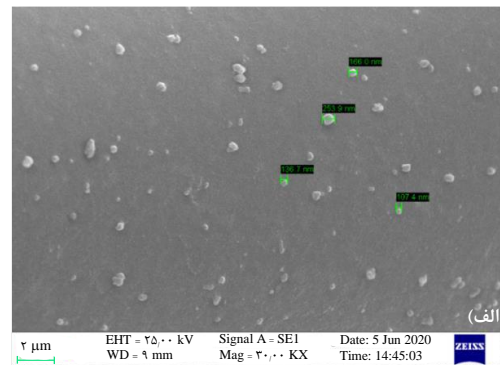
طبق جدول، باکتری زدایی از آب خالص مصرفی در صنایعی همانند صنایع ساخت قطعات میکروالکترونیک و نیم‌رسانا که نسبت به وجود میکروارگانیسم‌ها در آب حساس هستند، بسیار اهمیت دارد. میزان آلودگی‌های باکتریایی غالباً به صورت تعداد واحد کلونی‌های رشد یافته از باکتری‌ها بر واحد میلی‌لیتر و نیز در ۱۰۰ یا ۱۰۰۰ میلی‌لیتر به روش‌هایی نظیر PCA گزارش می‌شوند. مقدار مجاز باکتری‌های شمارش شده در آب، متناسب با عرض خطوط الگودهی شده در سطح نیم‌رسانا تغییر می‌کند. در یک آزمایشگاه تمیز و مناسب، ناخالصی‌های آب به مسیر جریان تولید آن مربوط می‌شود. لذا طراحی‌های متعددی، با توجه به مسیر تهیه آب خالص، در سیستم امکان پذیر خواهد بود. در شکل ۷، به طرحی از یک سیستم تهیه آب خالص اشاره می‌شود که توسط نویسنده مسئول این مقاله، متناسب با عرض خطوط الگوهای بیش از یک میکرون بر سطح رسانا، طراحی و اجرا شده و در پژوهشکده فتونیک و فناوری-های کوانتومی مراحل آزمایشی خود را طی می‌کند.

در این طرح برای باکتری زدایی از آب بدون یون، از سیستم ضدعفونی کننده فرابنفش و فیلترهای میکرونی استفاده شده است. به علاوه، برای بررسی کارکرد فیلترهای میکرونی اصلاح شده و دیگر مجموعه‌های ضدعفونی کننده، امکاناتی در سیستم فراهم شده تا نمونه‌گیری از آب، به منظور انجام آزمایشات کشت میکروبی، امکان پذیر باشد. به این ترتیب، پس از تعیین میزان آلودگی‌های باکتریایی در آب خالص، می‌توان برای حذف آن‌ها اقدام نمود.

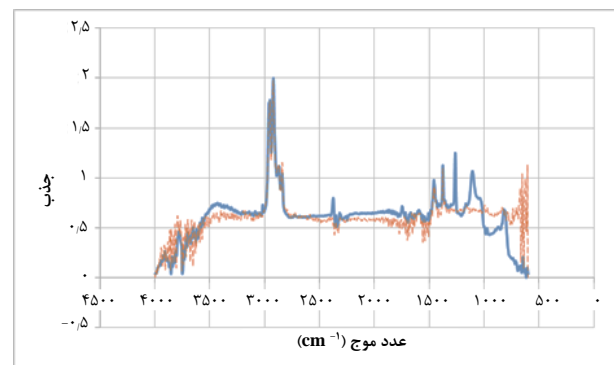
**جدول ۲.** برخی از پارامترهای خلوص آب مصرفی در صنایع الکترونیک و نیم‌رسانا، از نظر استاندارد

پارامتر	نوع E-۱	نوع E-۲	نوع E-۳
پهنای خط (میکرون)	۱٫۰-۰٫۵	۵٫۱-۰٫۱	>۵٫۰
مقاومت (مگا اهم در سانتی‌متر، در ۲۵ درجه سانتی‌گراد)	۱۸٫۱	۱۶۵	۱۲
TOC (میکروگرم بر لیتر)	۵	۵۰	۳۰۰ keV
اکسیژن محلول (میکروگرم بر لیتر)	۲۵	—	—
باکتری‌ها بر حسب (حجم / CFU)	—	—	—
۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه	۵	۱۰	۵۰

1. American Society for Testing and Materials (ASTM)



**شکل ۵.** نمایش اندازه، شکل و حضور نانوذرات نقره بر سطح نمونه فیلتر MB-PP بعد از اصلاح با نانوذرات نقره به روش سنتز پرتوی با گاما، با تصاویر الف) SEM و ب) EDX



**شکل ۶.** مقایسه نتایج ATR نمونه‌های فیلتر MB-PP اصلاح نشده (نقطه چین قرمز) و اصلاح شده (خط آبی) توسط نانوذرات نقره سنتز شده با پرتو گاما

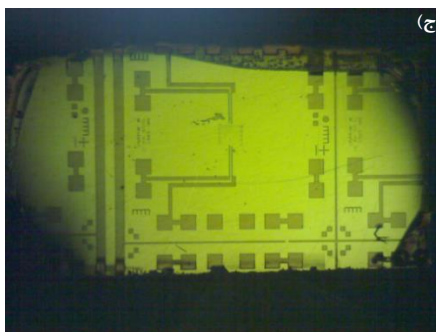
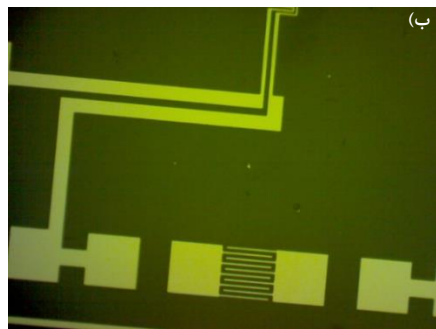
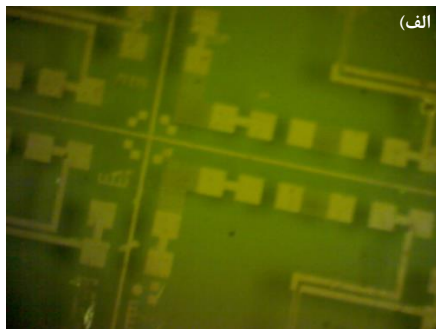
در هر صورت، پیوند نانوذرات نقره بر سطح پلی‌پروپیلنی فیلتر MB-PP موجب می‌شود تا سطح فعال وسیع و مناسبی برای افزایش بازدهی فیلتر اصلاح شده فراهم گردد.

به این ترتیب عملکرد سیستم‌های تهیه آب بدون یون نیز، که همواره در آزمایشگاه‌های مرتبط با فن‌آوری‌های کوانتومی و علوم هسته‌ای کاربرد دارند، اصلاح می‌گردد.

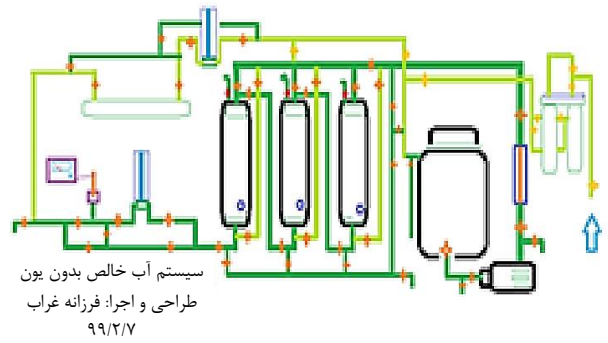
این سیستم‌ها، براساس جداول استاندارد طراحی شده و آب را با خلوصی متناسب نیاز آزمایشگاه‌های مرتبط تهیه می‌کنند. به‌طور مثال، برای اجرای روش‌های بسیار حساس، نظیر الگودهی سطح نیم‌رساناها، طبق جدول استاندارد انجمن



ماسک بر روی سطح نیم رسانا می شود، صورت گرفت. پس از ظهور، وضوح خطوط طرح، که با دقتی در ناحیه میکرون ایجاد شده بود، از طریق میکروسکوپ و صفحه نمایش دستگاه بررسی شده و مشاهده شد که تصویر ماسک، همان گونه که در شکل ۸ نشان داده شده، به طور مناسب بر روی سطح قطعه نیم رسانا ایندیم فسفاید ظاهر شده است. این امر گویای انتقال خوب الگو با خطوطی بی نقص بر روی زیر لایه است. به این ترتیب، آب خالص باکتری زدایی شده، شرایطی را که برای شستشو قطعه نیم رسانا و آماده سازی محلول ظهور طی مراحل فتولیتوگرافی لازم است، فراهم می سازد. به طوری که طرح مثبت ایجاد شده طی عملیات فتولیتوگرافی، فاقد نقص هایی است که معمولاً در اثر حضور میکروارگانیسم ها بر روی عرض خطوط الگوها ایجاد می شود.



شکل ۸. نمایش مراحل اجرای عملیات فتولیتوگرافی بر روی سطح قطعه نیم رسانای ایندیم فسفاید شامل الف) ماسک گذاری، ب) تنظیم ماسک و نوردهی و ج) ظهور ماسک بر روی سطح قطعه نیم رسانا



شکل ۷. نمایش طرحی از مسیر جریان تهیه و تولید آب خالص که ویژه آزمایشگاه های پژوهشکده فوتونیک و فناوری های کوانتومی طراحی شده

در همین رابطه، آب خالص ذخیره شده در تانک سیستم تخلیص آب، با ماندگاری چند ماهه، مورد بررسی قرار گرفته و اثر باکتری زدایی نمونه فیلتر MB-PP اصلاح شده با نانوذرات نقره، بر روی آن آزمایش شد. سپس آن آب برای الگودهی سطح نیم رسانای ایندیم فسفاید مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، یک میلی لیتر از نمونه آب خالص، قبل و بعد از باکتری زدایی توسط فیلتر اصلاح شده، به روش شمارش باکتری با PCA، بر سطوح آغشته به آگار کشت داده شد. عملیات کشت هر نمونه، پنج بار تکرار شده و کشت پس از مدت پنج روز مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج کشت، کاهش شدیدی در میزان میانگین شمارش باکتری ها، قبل و بعد از باکتری زدایی توسط فیلتر اصلاح شده MB-PP، مشاهده شد و مقدار ۳۷۳۲ باکتری در صد میلی لیتر نمونه آب خالص ذخیره شده در تانک، به ۲۰ باکتری تقلیل یافت. لذا از آب خالص باکتری زدایی شده برای شستشو و تهیه محلول ظهور در الگودهی سطح نیم رسانای ایندیم فسفاید استفاده شد. برای رسیدن به این مقصود، ابتدا سطح نیم رسانای مورد نظر با حلال های آلی و آب خالص باکتری زدایی شده، شستشو داده شد. سپس به وسیله لایه نشان چرخشی، سطح آن با لایه ای از فتورزیست مثبت پوشانده شده و متعاقب آن، الگودهی با اجرای مراحل فتولیتوگرافی عملیاتی گردید. مراحل اجرای عملیات فتولیتوگرافی با استفاده از دستگاه نیمه خودکار فتولیتوگرافی در شکل ۸ خلاصه شده است.

مجموعه عملیات شامل قرار دادن ماسک مثبت (شکل ۸ الف)، تنظیم ماسک و نوردهی با لامپ ماورابنفش (شکل ۸ ب) و ظهور ماسک بر روی سطح قطعه نیم رسانای ایندیم فسفاید (شکل ۸ ج) بود. قرارگیری ماسک بر روی سطح نیم رسانا به وسیله قاب خاصی که با ایجاد خلأ و مکش موجب تثبیت



## ۴. نتیجه گیری

1. J. Belloni, M. Mostafavi, *Radiation chemistry of nanocolloids and clusters*, *Studies in Physical and Theoretical Chemistry*, vol. **87**, pp. 411-452, 12/31, 2001.
2. A. Henglein, *Colloid Surface Chemistry*, Boston, MA: Springer US, 2005.
3. S.U.Khan, T. Saleh, and et.al., *Review, Nanosilver: new ageless and versatile biomedical therapeutic scaffold*, *International Journal of Nanomedicine* vol. **13**, pp. 733-762, 2018.
4. D. Van Phu, L. A. Quoc, et. al, *Study on antibacterial activity of silver nanoparticles synthesized by gamma irradiation method using different stabilizers*, *Nanoscale Research Letters*, vol. **9**, pp. 162, 2014.
5. A. Syafuddin, Salmiati, et. al., *A Review of Silver Nanoparticles: Research Trends, Global Consumption, Synthesis, Properties, and Future Challenges*, *JOURNAL OF THE CHINESE CHEMICAL SOCIETY*, 2017.
6. M. Sastry, A. Gole, S. R. Sainkar, *Formation of Patterned, Heterocolloidal Nanoparticle Thin Films*, *Langmuir*, vol. **16**, no. 7, pp. 3553-3556, 2000.
7. M. Rai, A. Yadav, A. Gade, *Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials*, *Review, Biotechnology Advances* vol. **27**, 76-83, 2009.
8. M. Ulbricht, *Advanced Functional Polymer Membranes*, *Polymer*, vol. **47**, pp. 2217-2262, 2006.
9. Z. Xu, et. al, *Microporous polypropylene hollow fiber membrane Part I. Surface modification by the graft polymerization of acrylic acid*, *Journal of Membrane Science*, vol. **196**, no. 2, pp. 221-229, 2002.
10. H. Amid, et. al., *Hybrid adsorbent nonwoven structures: a review of current technologies*, *J Mater Sci*, vol. **51**, pp. 4173-4200, 21 January 2016, 2016.
11. B.O. Lee, J. A. Ko, and S. W. Han, "Characteristics of PP/PET Bicomponent Melt Blown Nonwovens as Sound Absorbing Material," *Advanced Materials Research*, vol. **123-125**, pp. 935-938, 2010-08-11, 2010.
12. S. A. Miller, and J. E. Bercaw, "Mechanism of Isotactic Polypropylene Formation with C1-Symmetric Metallocene Catalysts," *Organometallics*, vol. 25, no. 15, pp. 3576-3592, 2006/07/01, 2006.
13. T. Sehgal, and S. Rattan, "Synthesis, Characterization and Swelling Characteristics of Graft Copolymerized Isotactic Polypropylene Film," *International Journal of Polymer Science*, vol. **2010**, pp. 1-9, 2010.

استفاده از سنتز پرتوی نانوذرات نقره با تابش گاما، امکان اجرای عملیات اصلاح سطح فیلتر MB-PP را از طریق پیوند همزمان نانوذرات به سطح پلی پروپیلن در محیطی آبی فراهم ساخت. در سنتز نانوذرات نقره و اصلاح همزمان سطح فیلتر MB-PP، فاکتورهای مؤثری چون غلظت نیترات نقره، دز پرتو دهی و درصد پایدارکننده ستیل تری متیل آمونیم بروماید، توسط طرح باکس- بنکن و طبق روش RSM بهینه شدند. پهنای قله SPR مربوط به مشخصه سنتز نانوذرات نقره در طول موج ۴۲۰ نانومتر، نشان دهنده گستردگی توزیع اندازه نانوذرات سنتز شده در محلول بود. نمونه فیلتر MB-PP اصلاح شده با نانوذرات نقره، برای باکتری زدایی آب خالص مخزن ذخیره، مورد استفاده قرار گرفت. سپس قابلیت عملکرد آب خالصی که توسط نمونه فیلتر MB-PP اصلاح شده، باکتری زدایی شده بود، از طریق الگودهی سطح نیم رسانای ایندیم فسفاید و طی عملیات فتولیتوگرافی ارزیابی شد. به این ترتیب، آب خالص باکتری زدایی شده، در عملیات شستشوی نیم رسانا و آماده سازی محلول ظهور مورد استفاده قرار گرفت و توانایی و کارایی آن، طی مراحل فتولیتوگرافی حساس به میکروارگانیزم، با ایجاد الگویی بی نقص از خطوط میکرونی بر روی سطح نمونه نیم رسانای ایندیم فسفاید، مورد تأیید قرار گرفت.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان از مسئولین محترم مجله علوم و فنون هسته‌ای و همکاری عزیزانی که در پژوهش‌های فتونیک و فن‌آوری‌های کوانتومی، کاربرد پرتوها، سوخت و مواد، شرکت آژین، مرکز ملی لیزر کرج و دانشگاه پیام نور مشهد در به ثمر رساندن این تحقیق یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## مراجع





14. M. Ulbricht, "Advanced functional polymer membranes," *Polymer*, vol. **47**, no. 7, pp. 2217-2262, 2006.
15. M. A. Chan, and S. K. Obendorf, "Surface Modification of Microporous Polypropylene Membrane by UV-initiated Grafting with Poly(Ethylene Glycol) Diacrylate," *Fibers and Polymers* vol. **15**, No.10., pp. 2032-2039, 2014.
16. F. Ghorab, et al., "Gamma Irradiation Surface Modified Polypropylene-Based Hollow Fiber with Silver Nanoparticles and Its Impact on the Properties of Treated Membrane," *Plasmonics*, Springer US, 14 January 2019 2019.
17. O. Hernández-Aguirre, and A. Núñez-Pineda, "Surface Modification of Polypropylene Membrane Using Biopolymers with Potential Applications for Metal Ion Removal," *Journal of Chemistry* pp. 11, 2016.
18. R.-Q. Kou, et al., "Surface Modification of Microporous Polypropylene Membranes by Plasma-Induced Graft Polymerization of *r*-Allyl Glucoside," *Langmuir* vol. **19**, pp. 2003.
19. C. L. Miao, and H. Wang, "Research in Surface Modification and Anti-Fouling of Polypropylene Porous Membrane," *Advanced Materials Research*, vol. **634-638**, pp. 353-356, 2013.
20. K. A. Montoya-Villegas, A. Ramirez-Jimenez, and e. al., "Surface Modification of Polyester-Fabric with Hydrogels and Silver Nanoparticles: Photochemical Versus Gamma Irradiation Methods," *Materials (Basel)*, vol. **12**, no. 20, Oct 10, 2019.
21. A. Nouri, *Introduction to surface coating and modification for metallic biomaterials*, 2015.
22. F. Faghihzadeh, N. M. Anaya, and et al., "Fourier transform infrared spectroscopy to assess molecular-level changes in microorganisms exposed to nanoparticles," *Nanotechnology for Environmental Engineering*, vol. **1**, no. 1, pp. 1, 2016/04/07, 2016.

**COPYRIGHTS**

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

**استناد به این مقاله**

فرزانه غراب، زرین اسحاقی، نسرین شیخ، اعظم اخوان (۱۴۰۰)، تابش گاما در سنتز Ag-NPs پیوندیافته به سطوح پلی‌پروپیلنی و اصلاح عملکرد سیستم آب بدون یون در الگودهی نیم‌رسانا، ۹۵، ۵۶-۴۸

DOI: [10.24200/nst.2020.1115](https://doi.org/10.24200/nst.2020.1115)

Url: [https://jonsat.nstri.ir/article\\_1115.html](https://jonsat.nstri.ir/article_1115.html)

