پوهنتون پولی‌تخنیک کابل
مجله علم و تکنالوژی
جلد ٥٤ – شماره ٢
سنبله- سال ١٤٠٥ – هـ.ش.
تاریخ دریافت اثر: ١٤٠٤/٦/٢٠
تاریخ قبـولی اثر: ١٤٠٥/٣/١٨
KPU-JST
P-ISSN: 2305 - 896X

مروری بر تولید، ساختار، خواص و کاربردهای نانو ذرات نقره

نامزد پوهنیارسید میسح الله محمدی[1*]، پوهنوال لطف الله احمدی

[1*] استاد دیپارتمنت انجنیری صنایع مواد غیرعضوی، پوهنتون پولی‌تخنیک کابل، کابل، افغانستان ایمیل آدرس Masihullah.mohammadi@kpu.edu.af

[2] استاد دیپارتمنت انجنیری صنایع مواد غیرعضوی، پوهنتون پولی‌تخنیک کابل، کابل، افغانستان ایمیل L.ahmadi@kpu.edu.af

خلاصه

نانوذرات نقره به دلیل ویژگی‌های ذاتی برجسته از جمله نسبت بالای سطح به حجم، ابعاد بسیار کوچک و خواص استثنایی فزیکوکیمیاوی، جایگاه ویژه‌ای در پیشرفت‌های نانوتکنالوژی یافته‌اند. این مقاله مروری، پس از اشاره‌ای گذرا به رویکردهای تولید بیولوژیکی و فزیکی، به‌طور متمرکز و جامع به تحلیل طرق تولید کیمیاوی و زیرشاخه‌های آن پرداخته و نقاط قوت و ضعف هر تکنیک را ارزیابی می‌کند. در این راستا، چگونگی تأثیر پروسه تولید بر ویژگی‌های ساختاری نظیر مورفولوژی و اشکال هندسی ذرات، در کنار بررسی خواص منحصربه‌فرد نوری، برقی، کتلستی و ضدمایکروبی آن‌ها مورد بحث قرار گرفته است. برآیند این ویژگی‌های ساختاری و فزیکوکیمیاوی سبب شده است تا نانوذرات نقره کاربردهای گسترده و مؤثری در زمینه‌های متنوعی چون طبابت، حفاظت از محیط‌زیست، صنعت برق و بخش غذا پیدا کنند. با این حال، استفاده از این نانومواد همچنان با چالش‌های اساسی مانند سمیت بالا و نگرانی‌های مرتبط با عدم سازگاری کامل با محیط‌زیست روبه‌رو است. این تحقیق در نهایت نتیجه‌گیری می‌کند که برای بهره‌گیری ایمن و پایدار، تمرکز تحقیقات آینده باید به سمت توسعه و جایگزینی تکنالوژی‌های تولید سبز، مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط‌زیست هدایت شود.

کلمات کلیدی: نانوذرات نقره؛ تولید کیمیاوی؛ مورفولوژی؛ نانوتکنالوژی؛ کتلست؛ زیست‌سازگاری.

١*مولف مسوول

۱. مقدمه

تکنالوژی نانو به مطالعه و بررسی مواد در مقیاسی بین یک تا صد نانومتر می‌پردازد، مقیاسی که در آن رفتار مواد با ویژگی‌های ماکروسکوپی آن‌ها تفاوت چشمگیری دارد. جهان نانو نسبت به دنیای قابل مشاهده روزمره تفاوت‌های بنیادینی داشته و تمرکز اصلی آن بر ویژگی‌های خاص مواد در ابعاد نانو است. با کاهش ابعاد، خواص جدیدی از جمله پدیده‌های کوانتومی پدیدار می‌شود که منجر به تغییر در رفتار فزیکی و کیمیاوی مواد می‌گردد. در این میان، نانوذرات فلزی به دلیل ساختار فشرده و ویژگی‌های برجسته، جایگاه ویژه‌ای در نانوتکنالوژی یافته‌اند [۱].

نانوذرات از نظر خواص کیمیاوی، اندازه، چارچ سطحی، شکل و مساحت سطح فعال بسیار متنوع اند. در ابعاد نانومتری، رفتار آن‌ها به‌طور قابل توجهی با رفتار مواد در حالت انبوه متفاوت است. ترکیب اندازه و ساختار سطحی نانوذرات به دلیل افزایش نسبت سطح بر حجم باعث بروز ویژگی‌هایی می‌شود که در مواد حجیم قابل مشاهده نیست [۲].

در میان نانوذرات فلزی، نانوذرات نقره به دلیل خواص فزیکی، کیمیاوی و بیولوژیکی متمایز، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته‌اند. این نانوذرات در حوزه‌های مختلفی از جمله زیست‌شناسی، نور، کتلست و تکنالوژی عناصر حساس کاربرد گسترده‌ای دارند. به‌ویژه، عملکرد عالی آن‌ها در تعاملات کتلستی، نقره را به گزینه‌ای مناسب برای استفاده به‌عنوان کتلست در پروسه‌های مختلف تبدیل کرده است [۳].

طرق مختلفی برای تولید نانوذرات نقره وجود دارد که شامل طریقه‌های کیمیاوی، فزیکی و بیولوژیکی می‌باشد. این نانوذرات کاربردهای گسترده‌ای در علم و تکنالوژی دارند، از جمله پاک سازی محیط زیست و کتلست همچنان خواص نوری آن‌ها مزایای زیادی در عناصر حساس و فعالیت‌های ضد باکتریایی که دارند برای ضدعفونی و تصفیه آب در فلترها نیز استفاده می‌شوند [۴،۵].

با وجود این، یکی از چالش‌های اصلی در نانوتکنالوژی مدرن، کمبود دانش و نیاز به ایجاد طرقی است که جایگزین مواد پر خطر کیمیاوی شود در پهلوی آن تولید نانوذرات فلزی با کنترول ابعاد و ساختار نیز چالش بزرگی محسوب می‌شود. سمیت نانوذرات برای محیط زیست نیز نیازمند مطالعه بیشتر است تا تأثیرات آن بر زندگی بررسی گردد که مطالعه بیشتر روی تکنالوژی‌های تولید سبز می‌توانند راه حلی برای کاهش اثرات محیط زیستی را ارائه دهند.

۲. طروق تولید نانوذرات نقره

در سال‌های اخیر، تلاش‌های گسترده‌ای برای تولید نانوذرات نقره در مقیاس وسیع، با بازدهی بالا و قابلیت کنترول بر اشکال و اندازه‌های متنوع صورت گرفته است. با این حال، همچنین تولید و دستیابی به نانوذراتی با اندازه‌ها و اشکال یکنواخت و پایدار بزرگترین چالش در سطح جهانی محسوب می‌شود [۶]. خواص منحصر به‌فرد نانومواد به عواملی چون اندازه ذرات، نوع و میزان تعامل آن‌ها با عوامل پایدارکننده، شکل هندسی و تکنالوژی‌های ساخت بستگی دارد. در نتیجه، به‌منظور دستیابی به خصوصیات عملکردی مطلوب، لازم است از طرق تولید دقیق و کنترول‌شده استفاده شود. ابعاد، شکل و ترکیب کیمیاوی نانوذرات، مستقیماً بر خواص نوری، مقناطیسی، برقی و کتلستی آن‌ها تأثیر می‌گذارند. [۷]. از زمان ظهور

تکنالوژی نانو، طرق مختلف برای تولید نانوذرات نقره وجود داشته است. مجموعه‌ای از تکنالوژی‌های موجود را می‌توان به رویکرد سمی (فزیکی و کیمیاوی) و غیرسمی (بیولوژیکی) دسته‌بندی کرد.

در رویکرد سمی طرق متفاوت فزیکی و کیمیاوی موجود میباشند که اساس همه آن‌ها جمع‌آوری اجزای مالیکولی به صورت تجمعات پیچیده از طریق رشد و هسته‌زدایی می‌باشد. نانوذرات تولید شده به صورت فزیکی دارای خلوص بالا هستند و معمولاً توزیع یکنواخت از اندازه ذرات را نشان می‌دهند و شامل مواد کیمیاوی مضر یا مواد تثبیت‌کننده برای جلوگیری از تجمع ذرات نیستند، اما نیازمند تجهیزات پیچیده و انرژی زیاد می‌باشد. در مقابل نانوذراتی که در طرق کیمیاوی تولید می‌شوند، معمولاً با سرعت بالا و در حجم بیشتر قابل تولید هستند و قابلیت کاربرد در حوزه‌های مختلف را دارند. با این حال، استفاده از این نوع نانوذرات، به‌ویژه در زمینه‌های حساس مانند علوم طبی، به دلیل مخاطرات احتمالی ناشی از استفاده مواد کیمیاوی سمی در پروسه تولید، با محدودیت‌هایی روبرو است [۸]. در مقابل، طرق بیولوژیکی به‌عنوان جایگزینی ایمن‌تر و سازگار با محیط زیست در دهه‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. این روش‌ها از مرکبات کیمیاوی طبیعی مشتق از مایکروارگانیزم‌ها نظیر فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، کوینین‌ها، ترپنوئیدها، مرکبات فینولی، همچنین حجرهوز، انزایم‌ها و اگزوپولی‌سکرایدها برای تولید نانوذرات بهره می‌گیرند. [۹،۱۰].

۱،۲. روش های بیولوژیکی

طرق قدیمی تولید نانوذرات هزینه‌بر، خطرناک و از نظر محیط زیست ناسالم هستند. برای رفع این مسائل، محققان مسیرهای سبز منابع طبیعی و محصولات آن‌ها که می‌توانند برای تولید نانوذرات استفاده شوند را بررسی کرده‌اند. پروسه تولید نانوذرات نقره به روش بیولوژیکی را می‌توان به چند دسته کلی تقسیم کرد که شامل بهره‌گیری از مایکروارگانیزم‌هایی مانند قارچ‌ها، مخمرها، باکتریاها و اکتینومایست‌ها می‌باشد. یکی دیگر از رویکردهای رایج، استفاده از گیاهان و عصاره‌های گیاهی و همچنین الگوهای همچون ویروس‌ها، دیاتوم‌ها و غشاهای بیولوژیکی است. مواد زیستی فعال به‌طور طبیعی در پوست و ضایعات مواد غذایی وجود دارند و می‌توانند در تولید نانوذرات مورد استفاده قرار گیرند [۱۱].

در تولید نانوذرات نقره به شیوه سبز، ضایعات کشاورزی و پسماندهای صنایع غذایی به‌عنوان منابع ارزان و تجدیدپذیر، نقش عوامل ارجاع و تثبیت‌کننده را ایفا می‌کنند. به‌عنوان نمونه، پوست کیله، کچالو و کینو، که سرشار از مرکبات طبیعی مانند پلی‌فینول‌ها و فلاونوئیدها هستند، قابلیت تبدیل ایون‌های نقره به نانوذرات و تثبیت آن‌ها را دارند. این روش، وابستگی به مواد کیمیاوی سمی را کاهش داده و در عین حال، تولید پایدار و سازگار با محیط زیست را فراهم می‌سازد. همچنین، از طریق افزودن ارزش به ضایعات زیستی، به بهترسازی منابع و حفاظت از محیط زیست کمک می‌کند [۱۲].

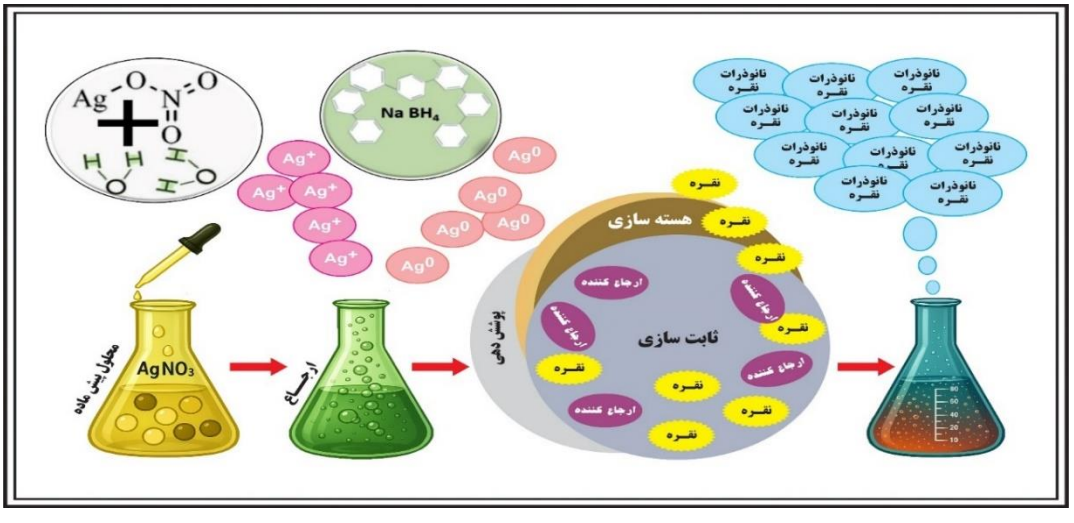
تولید بیولوژیکی نانوذرات نقره نیاز به یک عامل بیولوژیکی ارجاع کننده و یک محلول ایون فلز نقره (فلز نقره منحل در آب) به عنوان مواد اصلی دارد. معمولاً نیازی به اضافه کردن تثبیت کننده (پایدار کننده) خارجی نیست، زیرا اجزای موجود در حجرات به عنوان تثبیت کننده‌ها عمل می‌کنند [۱۳].

۲,۲. طرق فزیکی

طرق فزیکی از جمله طرق سمی تولید نانوذرات نقره است که از عوامل مختلف فزیکی مثل شعاع الکترومقناطیس، پلازما و حرارت در آن استفاده می‌شود. طرق فزیکی سریع‌ترین روش برای تشکیل نانوذرات نقره می‌باشد. در این طرق تکنالوژی‌های تولید شامل حذف لایزری، تبخیر و تراکم با استفاده از نل‌های گازی هستند. [۱۴]. طرق فزیکی مورد استفاده برای تولید مقیاس های بزرگ معمولاً در قالب های ساخته شده از خاکستر با اندازه یکنواخت انجام می‌شود [۱۵].

۳,۲. طرق کیمیاوی

طرق کیمیاوی به‌عنوان رایج‌ترین طریقه در تولید نانوذرات نقره شناخته می‌شوند که دلیل اصلی آن، کارایی بالا، سهولت در اجرا و هزینه‌های نسبتاً پایین این پروسه می‌باشد. از طرق مختلف کیمیاوی میتوان از الکتروکیمیاوی، ارجاع کیمیاوی و مایکروایمولشن معکوس نام برد که روش ارجاع کیمیاوی بیشترین کاربرد را دارد و در مقیاس‌های لابراتواری و صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۶]. طرق کیمیاوی معمولاً به حضور سه جزء کلیدی نیاز دارد: عامل ارجاع، عامل پایدارکننده یا پوشش‌دهنده و پیش‌ماده (ماده اولیه). که در تولید نانو ذرات نقره بیشتر از نایتریت نقره بحیث پیش ماده استفاده می‌شود. معمولا از نایتریت. علاوه بر این، محلل نیز به‌عنوان جزء چهارم نقش مهمی در تعامل ایفا می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱. تولید کیمیاوی نانوذرات نقره.(Ag NPs) [۱۶]

اکثـرا از سـودیم بورهایدرایـد ($NaBH_4$) بـه عنـوان عامـل ارجـاع کننـده اسـتفاده می‌شـود کـه کنتـرول دقیـق در اسـتفاده از آن امکـان تولیـد نـانوذرات نقـره (Ag NPs) بـا انـدازه‌ها و اشـکال مختلـف ماننـد کـروی، مثلثـی و میله‌ای را فراهم می‌سازد [۱۷].

۱،۳،۲. تولید الکتروکیمیاوی

تولید نانوذرات نقره با استفاده از یک رویکرد الکتروکیمیاوی انجام می‌شود، که در آن پولی وینایل پیرولیدین (PVP) و سودیم لوریل سلفیت (Na-LS) به‌عنوان پایدارکننده استفاده میشوند [۱۸]. نانوذرات نقره پایدار از طریق روش الکتروکیمیاوی با تغییر چارچ جریان در محلول‌های پولی‌اکریلات سودیم (Na PA)، با استفاده از الکترولیز در الکترودهای نقره تولید می‌شوند [۱۹]. در تحقیق دیگر برگ‌های چای سبز و یک فیته نقره‌ای به‌عنوان مواد اولیه برای تولید نانوذرات کلوئیدی نقره از طریق یک روش الکتروکیمیاوی سبز استفاده شدند که نانوذرات نقره تولید شده از آن برای استفاده در عناصر حساس الکتروکیمیاوی مناسب می‌باشند. ولی برای تولید انبوه نمی‌شود از این روش تولید استفاده کرد [۲۰].

۲،۳،۲. روش مایکروایمولشن

شکل و اندازه نانوذرات نقره تولید شده به طور قابل توجهی تحت تأثیر نوع مواد ارجاع‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرند. طرق متعددی برای تولید نانوذرات نقره با بهره‌گیری از تکنیک مایکروامولیشن کیمیاوی گزارش شده است [۲۱]. در میان این روش‌ها، پولیمیرایزیشن مایکروایمولشن معکوس به عنوان یک روش سریع و کارآمد شناخته می‌شود که علاوه بر نانوذرات نقره، قابلیت استفاده برای تولید انواع دیگر نانوذرات فلزی را نیز داراست [۲۲].

تولید نانوذرات نقره با استفاده از ایمولشن آب در روغن (W/O) نیز از مقدار محصول و پایداری مناسبی برخوردار است. این پروسه معمولاً با حضور سورفکتانت‌های (مواد فعال سطحی) مانند تریتون X-۱۰۰ و (CTAB) (سیتایل‌ترای‌میتایل‌امونیم بروماید) انجام می‌شود. در این روش، $NaBH_4$ به عنوان عامل ارجاع و $AgNO_3$ به عنوان پیش‌ماده نقره به کار گرفته می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از تریتون X-۱۰۰ منجر به تولید نانوذرات نقره با پایداری بالاتری نسبت به (CTAB) می‌شود [۲۳].

۳،۳،۲. روش ارجاع کیمیاوی

میزان pH محلول نقش مهمی در تعیین اندازه، شکل و رنگ نانوذرات نقره تولید شده به روش ارجاع کیمیاوی ایفا می‌کند. در این پروسه، ترای‌سودیم سیترات به عنوان عامل ارجاع و تثبیت‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد که تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات نانوذرات نقره دارد. عوامل ارجاع کننده مختلفی می‌توانند در این روش به کار گرفته شوند تا نانوذرات با اندازه‌های مختلف تولید شوند، که هرکدام خواص ضدباکتریایی خاص خود را دارند [۲۴]. شکل نانوذرات از شبه‌کروی به چندوجهی تغییر می‌کند، اگر ایون‌های Ag^+ به‌طور مداوم شروع به تشکیل Ag^0 کنند و به سطح ذرات

نقره موجود در حضور یک عامل ارجاع کننده مناسب وصل شوند. در روش ارجاع کیمیاوی تولید نانوذرات نقره افزایش غلظت ترای‌سودیم سیتریت منجر به کاهش اندازه نانوذرات، در حالی که افزایش غلظت اسید اسکوربیک اثر معکوس داشته و منجر به تولید نانوذرات بزرگتر می‌شود. ساده‌ترین، سریع‌ترین و ارزان‌ترین روش برای تولید نانوذرات نقره روش ارجاع کیمیاوی میباشد [۲۵].

۴،۲. مزایا و معایب طرق مختلف تولید نانوذرات نقره(Ag NPs)

طرق مختلفی برای تولید نانوذرات نقره وجود دارد که شامل طرق بیولوژیکی، کیمیاوی و فزیکی می‌شوند [۴۱]. در میان این‌ها، روش بیولوژیکی به دلیل بهره‌گیری از عصاره‌های گیاهی، قارچ‌ها و باکتریاها به عنوان عوامل ارجاع، به‌عنوان یک تخنیک دوستدار محیط زیست شناخته شده است [۲۶]. استفاده از ضایعات زراعتی و مواد زائد صنایع غذایی به عنوان منابع تولید نانوذرات نقره، طریقه پایدار و مؤثر تلقی می‌شود که علاوه بر کاهش آلودگی، به بهترسازی استفاده از منابع طبیعی کمک می‌کند. این روش با جلوگیری از تولید ضایعات، نقش مهمی در حفاظت از محیط زیست ایفا می‌نماید [۱۲]. از آنجا که طرق بیولوژیکی بر اساس استفاده از منابع طبیعی استوار هستند، پس از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و نیازی به مواد کیمیاوی گران‌قیمت یا سمی ندارند [۲۷]. با این حال، عوامل مختلف در کارایی و پایداری نانوذرات تولید شده تأثیرگذارند؛ از جمله ساختار کتلست استفاده شده، ویژگی‌های زیستی ارگانیزم‌ها و صفات ژنتیکی مواد طبیعی استفاده شده. طرق بیولوژیکی قادرند نانوذراتی با اشکال و خواص متنوع تولید کنند و معمولاً نیاز به هزینه‌های اولیه پایین و پروسه جداسازی پیچیده ندارند. با این وجود، حضور ایون‌ها و ذرات نقره در سطح مالیکولی می‌تواند سمیت بالقوه‌ای ایجاد کند. همچنین تولید انبوه نانوذرات به این روش دشوار است و ممکن است محصولات نهایی شامل ناخالصی‌های باشند [۵،۸،۲۸].

طرق فزیکی شامل تکنالوژی‌های متعددی برای تولید نانوذرات نقره است که در مقیاس صنعتی از اثربخشی بالایی برخوردار بوده و برخلاف طرق کیمیاوی از مواد سمی استفاده نمی‌کنند. به همین دلیل، این روش‌ها به عنوان رویکردهای سازگار با محیط زیست شناخته می‌شوند. با این حال، به دلیل عدم استفاده از عوامل تثبیت‌کننده، تجمع ذرات نقره در این روش‌ها رایج است [۱۰]. علاوه بر این، ظرفیت تولید نانوذرات در این روش‌ها محدود بوده و تجهیزات تخصصی و گران‌قیمت نیاز دارند [۲۸،۲۹]. هرچند این روش‌ها امکان تولید سریع نانوذرات با توزیع اندازه یکنواخت را فراهم نماید، اما مشکلاتی چون تغییر در خصوصیات فزیکوکیمیاوی و کاهش پایداری حرارتی نانوذرات وجود دارد که محدودیت‌هایی برای کاربرد آن‌ها ایجاد می‌کند [۲،۳۴،۲۸،۲۹].

از سوی دیگر، طرق کیمیاوی به عنوان رایج‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها برای تولید نانوذرات نقره مطرح هستند [۲۷]. طرق ارجاع کیمیاوی، الکتروکیمیاوی و مایکروایمولشن[†] از جمله تکنالوژی‌های معمول این دسته‌اند [۱۷]. این روش‌ها امکان کنترول بالا بر روی اندازه و شکل نانوذرات را فراهم کرده و با استفاده از تثبیت‌کننده‌های مختلف، ثبات حرارتی

[†] ایمولشن شفاف و پایدار با قطر ذرات بسیار کوچک (معمولاً ۱۰–۱۰۰ نانومتر) است که از ترکیب دو مایع غیرقابل اختلاط (مثل آب و روغن) تشکیل می‌شود.

و پایداری نانوذرات را تضمین می‌کنند. روش ارجاع کیمیاوی مرطوب، به دلیل دقت بالا، سادگی، هزینه مقرون به صرفه و قابلیت تولید گسترده، مورد توجه ویژه قرار گرفته است [۲۸]. طرق دیگر کیمیاوی نیز برای تولید در مقیاس بزرگ مقرون به صرفه، مناسب و سریع هستند و به ابزارهای پیچیده نیاز ندارند [۲۷]. نانوذرات حاصل از این طرق معمولاً دارای پایداری طولانی‌مدت بوده و کاهش قابل توجهی در کیفیت آن‌ها در طول زمان مشاهده نمی‌شود. با این حال، این طرق عموماً به عنوان پروسه‌های پرمصرف انرژی و دارای آثار خورندگی شناخته می‌شوند. همچنین، استفاده از مواد کیمیاوی هنگام تولید ممکن است باعث ایجاد لکه و آلودگی شده و اثرات زیان‌بار محیطی داشته باشد [۲۹]. برای جلوگیری از تجمع ذرات، در این روش‌ها معمولاً از عوامل ارجاع و تثبیت‌کننده کیمیاوی مانند سودیم سیترات و دای‌میتایل‌فارماید استفاده می‌شود که ممکن است نیاز به پروسه‌های تصفیه اضافی داشته باشند. مزایا و معایب طرق کیمیاوی در جدول ۱ مورد بحث قرار گرفته‌اند.

جدول ۱. مزایا و معایب طرق کیمیاوی

روش	مزایا	معایب	مأخذ
ارجاع کیمیاوی	• تنوع در ساختار • استفاده از تجهیزات ساده • حمل ونقل و استفاده آسان • بدون خاصیت تجمع (پایدار) • ظرفیت تولیدی بالا • روش مقرون به صرفه	• فشرده سازی فلز پیش ماده در درجات حرارت خیلی بلند • اندازه های بزرگ نانوذرات تولید شده • استفاده از مرکبات سمی	[۵،۸،۳۰]
مایکروامولیشن	• کنترول بالا در اشکال • مورفولوژی یکسان نانوذرات نقره • تنوع در انتخاب مورفولوژی	• استفاده زیاد از مواد فعال کننده • روش پر هزینه	[۳۱]
الکتروکیمیاوی	• ظرفیت تولیدی بالا • کنترول بالا در انتخاب مورفولوژی • یکنواختی بالا در صورت تنظیم محلل‌ها در الکترولیت • نسبتا مقرون به صرفه	• تولید ناخالصی زیاد یکجا با نانوذرات • بی‌ثباتی در جریان عملیه • پروسه طولانی • مصرف زیاد انرژی • مناسب برای تولیدات کم	[۳۲،۱۹]

۳. ساختار و خواص نانوذرات نقره

نانوذرات نقره کاربردهای گسترده‌ای دارند، و خواص آن‌ها به شدت به شکل و اندازه نانوذرات وابسته است [۳۳]. عفونت‌های مایکرو ارگانیزم‌ها، از جمله مخمرها، ویروس‌ها و باکتریاها، در انسان‌ها شایع‌ترین مسبب بیماری‌ها هستند که منجر به کشف مواد ضد باکتری مختلف توسط محققان شده است. نانوذرات معدنی به‌دلیل داشتن تعداد زیادی

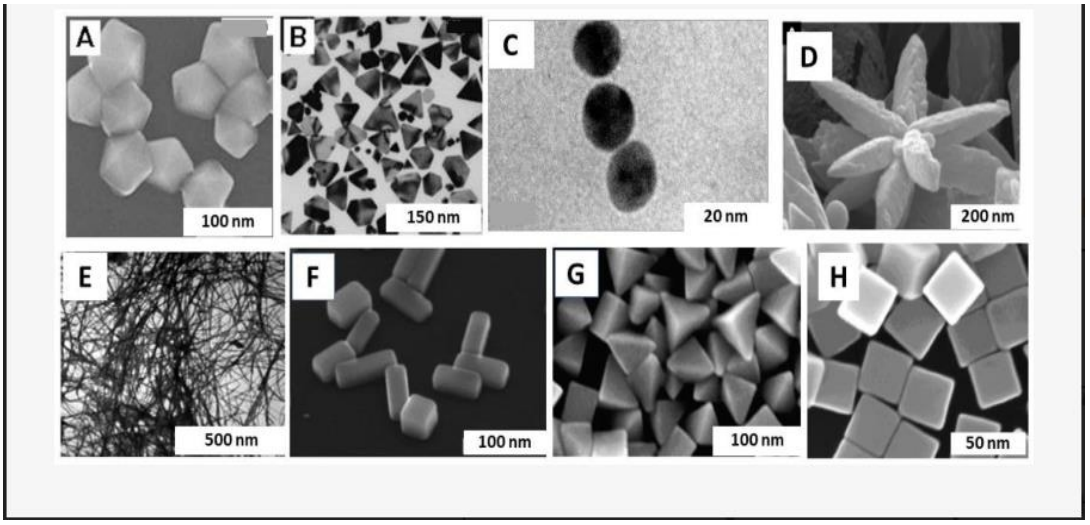
اتوم در سطح و مساحت سطح بالا، مورد توجه گسترده‌ای قرار گرفته‌اند. این ذرات ویژگی‌های برجسته‌ای از جمله خواص نوری، ضد میکروبی، مقناطیسی و برقی از خود نشان می‌دهند. در میان انواع نانوذرات معدنی، نانوذرات نقره به‌دلیل خواص ضدباکتریایی قابل‌توجه، اهمیت ویژه‌ای یافته‌اند. این نانوذرات سطح وسیعی برای تعامل با باکتریاها فراهم می‌کنند، به‌گونه‌ای که به غشا و داخل حجرات باکتریا متصل می‌شوند [۳۴]. اتصال نانوذرات نقره به غشاهای حجروی مایکروارگانیزم‌ها عمدتاً به واسطه قوه‌های جاذبه الکترواستاتیکی بین ایون‌های مثبت نقره و چارچ منفی غشاهای حجروی صورت می‌گیرد [۳۵].

در حوزه طبی، نانوذرات نقره با اشکال متنوعی مانند میله‌ای، مثلثی، گُل‌مانند و کروی کاربرد یافته‌اند [۳۶]. از مهم‌ترین خواص این ذرات می‌توان از شکل، مساحت سطح و چارچ سطحی نام برد. ذرات کوچکتر مساحت سطح بیشتری دارند و در نانوذرات نقره، انرژی سطحی به طور مستقیم با مساحت سطح مرتبط است که این امر باعث تقویت فعالیت‌های بیولوژیکی آن‌ها می‌شود [۳۷].

مطالعات نشان داده‌اند که کارایی ضدباکتریایی نانوذرات نقره به‌طور قابل‌توجهی به شکل و اندازه آن‌ها وابسته است. نانوذرات کروی کوچک، فعالیت بیشتری در مهار رشد باکتریاها نسبت به نمونه‌های کروی بزرگ‌تر از خود نشان می‌دهند. همچنین، نانوذرات مثلثی از نظر اثرگذاری زیستی عملکرد قوی‌تری در مقایسه با نانوذرات کروی بزرگ دارند. به‌طور کلی، ذرات با شکل‌های غیرکروی و کثافت سطحی بالاتر، به دلیل ایجاد سطوح تعاملی وسیع‌تر، بیشترین میزان تأثیرگذاری بر باکتریاها را فراهم می‌کنند [۲۸]. برای مثال، نانوصفحات مثلثی در برابر گونه‌های باکتریایی .P aeruginosa، E. coli و S. aureus کمتر از نانوذرات کروی موثر هستند زیرا نانوذرات کروی تماس سطحی بیشتری با باکتریاها برقرار می‌کنند[۳۸] . نانوذرات نقره کروی با اندازه‌های ۹ و ۲۱ نانومتر به طور کامل خاصیت ضدقارچی نشان داده‌اند [۳۹]. همچنین تولید نانوذرات نقره در محدوده ۵ تا ۲۰ نانومتر خاصیت ضدویروسی دارند. علاوه بر این، نانوذرات ۲۲ نانومتری توانایی قابل توجهی در تسریع روند بهبود زخم دارند. نانوذرات کروی با اندازه ۲۳ الی ۲۷ نانومتر که با استفاده از عصاره پوست کیله تولید می‌شوند، توانایی ضدباکتریایی قوی از خود نشان می‌دهند [۴۰].

از لحاظ صنعتی، نانوذرات نقره در عناصر حساس به دلیل خواص نوری برجسته‌شان کاربرد فراوانی پیدا کرده اند [۴۱]. این ذرات قابلیت جذب و انتشار نور و تغییر رنگ خیلی خوب وابسته به اندازه و شکل شان دارند. این خواص نوری تحت عنوان «رزونانس پلازمون سطحی» (SPR) شناخته می‌شود و ناشی از اهتزازات الکترون‌های آزاد روی سطح نانوذرات در حضور نور با طول موج خاص می‌باشد. برای مثال، نانوذرات کروی با اندازه ۷ نانومتر SPR در طول موج ۴۰۰ نانومتر، در حالی که نانوذرات ۲۹ و ۸۹ نانومتر در ۴۲۵ و ۴۹۰ نانومتر این خواص را نشان می‌دهند. این نتایج به طور واضح وابستگی قوی طول موج SPR به اندازه نانوذرات را تأیید می‌کنند [۳۴].

نانو ذرات نقره را نظر به کاربرد و خواص های مختلف شان به اشکال مختلف میتوان تولید کرد. اشکال مختلف نانوذرات نقره در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل۲. اشکال مختلف نانو ذرات نقره:(A) ده وجهی، (B) منشور، (C) کروی، (D) گل، (E) سیم، (F) میله، (G) هرم، (H) مکعب [۷].

خواص مخصوص نوری، فزیکی، کیمیاوی و کتلستی نانوذرات نقره به شدت تحت تأثیر شکل، اندازه و ویژگی‌های سطحی قرار دارند، که بسته به تکنالوژی‌های تولیدی و مواد کیمیاوی پوشش‌دهنده و پایدارکننده متفاوت هستند [۴۲،۴۳]، همانطور که در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲. ویژگی‌ها و ساختار نانوذرات نقره از طرق تولید بیولوژیکی و فزیکی.

روش تولیدی	اندازه به (nm)	شکل	خاصیت	مأخذ
تولید بیولوژیکی	۱۱–۲۶	کُروی	کتلست	[۴۴]
	۴–۳۲	کُروی	ضد زنگ/حشره کش	[۴۵]
	۹۰۱۷–	کُروی	ضد باکتریا و ضد سرطان	[۴۶]
	۱۰۰	مکعبی	ضد باکتریا	[۴۷]
	۲۶–۳۹	کُروی	ضد مایکروب/ضد زنگ/کتلست نوری	[۴۸]
	۱۰–۴۰	غیر منظم	ضد باکتریا	[۱۲]
تولید فزیکی	<۱۰	میله‌ئی	کتلست	[۴۹]
	۸۰۱-۰	کُروی	ضد باکتریا نوری /	[۴۹]

جدول ۳. ویژگی‌ها و ساختار نانوذرات نقره از روش تولید کیمیاوی.

روش تولیدی	روش فرعی	اندازه به (nm)	شکل	خاصیت	مأخذ
تولید کیمیاوی	ارجاع کیمیاوی	۵	کُروی	کتلست	[۹]
		۲۹	کُروی	حشره کش	[۴۸]
		۷۰–۱۹۲	کُروی	ضد باکتریا	[۲۸]
		۲۳–۴۸	کُروی	ضد باکتریا	[۲۸]
	مایکروامولیشن	۷	نیمه کُروی	ضد ویروس	[۲۱]
		۳–۱۰	کُروی	کتلست	[۲۱]

		۳۵–۸۰	نیمه کُروی	هدایت برقی	[۲۱]
		۱۰–۱۰۰	کُروی	نوری/کتلست/ضد مایکروب	[۹]
		۵۰–۲۰۰	هرمی	جاذب و تقویه کننده نور	[۷]
	الکتروکیمیاوی	۰۰۲۵۰–	شش وجهی	ضد مایکروب	[۱۸]
		۰–۴۳۰۳۰	کُروی	ضد باکتریا	[۱۹]

۴. کاربرد های نانوذرات نقره

نانوذرات نقره به دلیل خواص متنوعی همچون اندازه، شکل، مورفولوژی، مساحت سطح، و خواص مقناطیسی، برقی و نوری، در حوزه‌های متعددی کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند [۵۰]. کاربرد بیشتر نانوذرات نقره در بخش طبابت و نگهدارنده مواد غذایی (عایق‌بندی رگ‌ها در برابر عفونت‌ها توسط باکتریاها و قابلیت حفظ غذا و استفاده مجدد از آب و دیگر مایعات) میباشد [۵۱]. ولی کاربرد نانوذرات نقره تنها در موارد بالا خلاصه نمی‌شود و در شکل ۲ به طور مفصل نشان داده شده است.



شکل ۲. کاربردهای مختلف نانوذرات نقره [۵۰]

۱,۴. کاربردهای طبی نانوذرات نقره

۱,۱,۴. ضد عفونی کننده ها

نانوذرات نقره خصوصیات ضد باکتریایی زیادی دارند و همچنان در رمزگشایی دی‌اوکسی رایبونوکلئیک اسید(DNA) بسیار مفید هستند [۵۲]. خصوصیات ضد باکتریایی نانوذرات نقره به شدت وابسته به شکل و اندازه آن‌ها است [۴۰]. نانوذرات نقره در مقابله با ویروس هپاتیت، B HIV و HBV استثنائی هستند [۳۷]. بدین سبب که نانوذرات نقره به خارک‌های ویروس متصل می‌شوند و از اتصال ویروس‌ها به حجرات جلوگیری می‌کنند [۵۳]. گزارش شده است که

نانوذرات نقره تولید شده توسط گیاه Azadirachta indica در موش‌ها فعالیت قلبی عالی فراهم می‌کنند [۵۴]. نانوذرات نقره فعالیت ضد باکتریایی فوق العاده‌ئی علیه ایشرشیا کولی، سالمونلا تیفی، استافیلکوسوس اورئوس و کاندیدا آلبیکانس از خود نشان می‌دهند، وقتی که توسط .Cryphonectria sp تولید می‌شوند [۴۶].

۲،۱،۴. دوا و مرحم

نانوذرات نقره می‌توانند در لوازم آرایشی ضد آفتاب استفاده شوند و همچنین اثرات مفیدی در بهبود سوختگی‌ها و از بین بردن زردی دندان فراهم کنند. اندازه نانوذرات نقره برای دواها و انتقال دواها به محل مد نظر آن در داخل بدن حدود ۱۰—۱۰۰۰ نانومتر است و به دلیل اندازه کوچکتر و سطح بزرگ‌تر خود، فواید عالی فراهم می‌کنند [۵۵]. نانوبات‌ها نسبت به طرق متداول دوارسانی مزایای قابل توجهی ارائه می‌دهند، از جمله میتابولیزم سریع‌تر، افزایش عمر پلازمایی دوا و امکان دوارسانی هدفمند از طریق حجرات اندوتلیال به بافت‌های سرطانی [۵۶].

۳،۱،۴. عکس‌برداری و تشخیص

در دو دهه اخیر، نانوذرات به شکل قابل توجه برای توسعه میتودهای عکس‌برداری تولید شده‌اند [۵۷]. نانوذرات نقره در تشخیص حجرات سرطانی استفاده می‌شوند و آن‌ها را از طریق درمان فتوترمال نابود می‌کنند [۵۸]. از مطالعات موجود عملکرد نانوذرات نقره با پوشش سیتریت را به عنوان یک تشخیص‌کننده در حسگرها برای ارزیابی رنگ‌سنجی کراتین در ادرار انسان گزارش شده است. این تشخیص برای سلامت انسان بسیار مهم است زیرا پس از تشخیص عملکرد کلیه‌ها، امکان اعمال تشخیص طبابت قوی‌تر فراهم می‌شود [۵۹]. استفاده از عناصر حساس نوری برای اندازه‌گیری نوکلئوزیدها در ادرار انسان با استفاده از نانوذرات نقره نیز گزارش شده است [۶۰]. نانوذرات نقره خواص نوری بی‌نظیری فراهم می‌نماید، که به همین دلیل استفاده از آن‌ها در تکنالوژی‌های تشخیصی افزایش یافته است. در پرتودرمانی (رادیوتراپی)، نانوذرات نقره احتمال نابودی حجرات توموری را افزایش می‌دهند [۵۸].

۲،۴. کتلست و ساخت عنصر حساس

نانوذرات نقره به دلیل خواص نوری و کتلستی منحصر به فرد، به عنوان کتلست‌های کارآمد در بسیاری از تعاملات کیمیاوی شناخته شده‌اند. این ذرات به علت سطح مخصوص بالا، پایداری کیمیاوی مناسب و فعال بودن نقاط سطحی، سرعت تعاملات کتلستی را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهند و اغلب جایگزین مناسبی برای کتلست‌های فلزی گران‌قیمت‌تر مانند پلادیم و پلاتین محسوب می‌شوند [۶۱]. علاوه بر این، نانوذرات نقره به دلیل قابلیت اکسیدیشن و ارجاع آسان، در تعاملات مانند ارجاع رنگ‌های عضوی، سنتیز دواها و تخریب آلوده‌کننده‌های محیطی نقش کلیدی دارند [۶۲].

در حوزه ساخت عنصر حساس، نانوذرات نقره به دلیل خواص نوری برجسته و قابلیت برانگیختگی پلاسمون سطحی (Surface Plasmon Resonance - SPR) ، موجب افزایش حساسیت و دقت عناصر حساسی بیولوژیکی و کیمیاوی

شده‌اند. این ویژگی‌ها به عناصر حساسی مبتنی بر نانوذرات نقره امکان می‌دهد تا حضور مقادیر بسیار کم از فعالیت را با دقت بالا شناسایی کنند [۶۳]. همچنین، نانوذرات نقره به عنوان اجزای فعال در عناصر حساسی الکتروکیمیاوی، نوری و گازی کاربرد داشته و در تشخیص سریع بیماری‌ها، آلودگی‌های محیطی و مرکبات سمی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶۴].

از دیگر کاربردهای مهم نانوذرات نقره در کتلست و ساخت عنصر حساس، می‌توان به قابلیت اصلاح سطح آن‌ها با مواد عضوی و معدنی اشاره کرد که باعث بهبود پایداری، انتخاب‌پذیری و کارایی کتلستی و حساسیت عناصر حساس می‌شود [۶۵]. در مجموع، نانوذرات نقره به دلیل ترکیب منحصربه‌فرد خواص کتلستی و نوری، یکی از مهم‌ترین مواد در توسعه تکنالوژی نوین در زمینه کتلست و ساخت عنصر حساس به شمار می‌آیند.

۱،۲،۴. نساجی

نانوذرات نقره به دلیل خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی قوی، به طور گسترده‌ای در صنعت نساجی برای بهبود کیفیت و عملکرد منسوجات به کار می‌روند. این نانوذرات به تکه‌ها خواص ضد مایکروبی می‌دهند که مانع رشد باکتریاها و بوی نامطبوع می‌شود و عمر مفید محصولات نساجی را افزایش می‌دهد [۶۶]. علاوه بر این، نانوذرات نقره به دلیل اندازه کوچک و سطح فعال بالا، قابلیت اتصال یکنواخت به الیاف نساجی را داشته و با حفظ ویژگی‌های فزیکی تکه، کارایی مطلوبی ارائه می‌دهند [۶۷]. استفاده از نانوذرات نقره در منسوجات طبی و ورزشی به منظور کاهش عفونت‌های پوستی و راحتی آن نیز از کاربردهای مهم این محصولات محسوب می‌شود [۶۸].

۲،۲،۴. عناصر حساس کیمیاوی

تکنالوژی‌های رنگ‌سنجی ترکیب شده با نانوذرات نقره در تحقیقات محیطی بسیار دقیق و کارآمد ثابت شده‌اند، به‌ویژه زمانی که در تجزیه و تحلیل ایون‌های فلزی و بیومالیکول‌ها استفاده می‌شوند [۶۹]. نانوذرات نقره توسط برگ‌های Aconitum violaceum ساخته می‌شوند که برای تشکیل عناصر حساس رنگ‌سنجی برای Pb (II) استفاده می‌شوند. برای شناسایی آلودگی‌های آب، از نانوذرات نقره استفاده شده است. هایدروجن پراکساید (H_2O_2) به عنوان یک ترکیب کیمیاوی مضر در نظر گرفته می‌شود و نانوذرات نقره به عنوان عناصر حساس برای شناسایی حتی مقادیر کوچک H_2O_2 و همچنین شناسایی آلوده کننده‌های فلزی سنگین استفاده می‌شوند [۲۶].

۳،۲،۴. محیط زیست

نانوذرات نقره کاربردهای مختلفی در محیط زیست دارند، مانند تصفیه هوا، خاک و آب آشامیدنی و همچنین برای کاهش ضایعات زیستی. نانوذرات نقره و مواد ترکیب‌شده رنگ‌دانه را کاهش داده یا از بین می‌برند و این امر برای کاهش آلودگی‌های محیط زیست بسیار مفید است [۷۰]. نانوذرات نقره همچنین کاربردهای زیادی در زراعتی دارند زیرا بر باکتریاهای موجود در خاک تأثیر می‌گذارند [۷۱]. غشای نانوذرات نقره که از نانوکامپوزیت‌ها ساخته شده‌اند،

توانایی بالایی در سم‌زدایی نمک‌ها دارند. گزارش شده است که در پنجاه فیصد از کالاهای خرده‌فروشی زراعتی، بیست فیصد آن‌ها از نانو نقره ساخته شده است [۷۲].

۳,۴. برق

نانوذرات نقره به دلیل هدایت برقی بسیار بالا و خواص فزیکی منحصر به فرد، کاربرد گسترده‌ای در صنعت برق یافته‌اند. این ذرات در تولید جوهرهای هادی برای چاپ مدارهای برقی، اتصالات برقی با کیفیت بالا و بهبود عملکرد پرزه‌جات برقی مختلف مثل عناصر حساس، فیوزها، نمایشگر و ... استفاده می‌شوند [۷۳]. همچنین، نانوذرات نقره در بهبود افزایش مقاومت حرارتی مواد هادی نقش دارند که این امر منجر به افزایش دوام و کارایی پرزه‌جات برقی می‌شود [۷۴]. در عناصر حساسی الکتروکیمیاوی و پرزه‌جات نیمه‌هادی، نانوذرات نقره به عنوان کتلست و انتقال‌دهنده الکترون، موجب افزایش حساسیت و عملکرد بهتر می‌شوند [۷۵]. به طور کلی، استفاده از نانوذرات نقره در عرصه برق باعث کاهش وزن، افزایش انعطاف‌پذیری و بهبود خواص میخانیکی قطعات برقی شده است.[۷۶]

۵. نتیجه‌گیری

این مقاله به بررسی طرق متنوع تولید نانوذرات نقره پرداخته و به بیان مزایا، محدودیت‌ها و ساختار هر یک از آنها پرداخته است. نانوذرات نقره را می‌توان از طرق بیولوژیکی، کیمیاوی و فزیکی تولید کرد که هر کدام ویژگی‌ها و نقاط قوت خاص خود را در کنترل اندازه، شکل و کارایی ذرات ارائه می‌دهند. طرق بیولوژیکی، که از عصاره‌های گیاهی، باکتریاها و دیگر منابع زیستی بهره می‌برند، به لحاظ محیط زیست کم‌خطر محسوب می‌شوند؛ اما پایداری ذرات تولید شده تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های ارگانیزم‌ها و پروسه‌های تولیدی قرار دارد. در میان روش‌ها، تکنالوژی‌های کیمیاوی به دلیل توان بالا در تولید، پایداری حرارتی مطلوب و امکان تنظیم خواص تثبیت‌کننده، از اثربخشی بالاتری برخوردارند، اگرچه این روش‌ها ممکن است پرهزینه، انرژی‌بر و با اثرات مخرب برای محیط زیست همراه باشند. طرق فزیکی نیز امکان تولید نانوذرات خالص و اندازه‌های یکنواخت را بدون استفاده از مواد کیمیاوی مضر فراهم می‌کنند، ولی نیاز به تجهیزات گران‌قیمت و محدودیت ظرفیت تولید دارند. طرق کیمیاوی در حال حاضر پرکاربردترین روش مورد استفاده است. زیرا طرز کار آن آسان، امکان تولید انبوه، کنترول در تولید و کنترول در اندازه و شکل فراهم می‌آید. ولی به دلیل استفاده از مواد سمی کیمیاوی کاربردهای آن محدود می‌شود.

شناخت دقیق ساختارهای نانوذرات اهمیت زیادی دارد، چرا که خواص آنها به شکل و اندازه این ساختارها وابسته است. بسته به طرق تولید، اشکال مختلفی از نانوذرات نقره شامل کروی، مثلثی، مکعبی، گل‌مانند، و میله‌ای قابل تولید است که رایج‌ترین ساختار، شکل مکعبی است. یکی از نکات کلیدی این مرور، ارتباط مستقیم بین خواص نانوذرات و مورفولوژی آنهاست که در نهایت تأثیر قابل توجهی بر کاربردهای مختلف این ذرات دارد. به عنوان مثال، خاصیت جذب سطحی پلاسمونیک (SPR) نانوذرات وابسته به شکل هندسی آنها بوده و بر ویژگی‌های نوری تأثیرگذار است.

همچنین، توان ضدباکتریایی این نانوذرات با کاهش اندازه و افزایش نسبت سطح بر حجم به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

نانوذرات نقره به دلیل داشتن ویژگی‌های بیولوژیکی، کیمیاوی و فزیکی برجسته، در حوزه‌های متعددی کاربردی هستند. خواص نوری خاص، قابلیت هدایت برق و توان کتلستی آنها در صنایع گوناگون از جمله برق و محیط زیست، اهمیت آنها را دو چند کرده است. علاوه بر این، فعالیت ضدباکتریایی قوی این ذرات، آنها را برای استفاده در حوزه طبی به گزینه‌ای مطلوب تبدیل کرده است. با توجه به نسبت بالای سطح بر حجم، نانوذرات نقره خواص ضدسرطانی و توانایی‌های ویژه‌ای در ساخت دوا و مرحم نشان می‌دهند. در عرصه برق نیز، کاربردهایی مانند جوهرهای چاپ برقی (جوهرهای هادی) و عناصر حساس، نقش مهمی به نانوذرات نقره داده است. با این وجود، مسائلی همچون یکنواختی اندازه، کنترل دقیق مورفولوژی و مسائل محیط زیستی ناشی از سمیت، چالش‌های اصلی پیش روی این تکنالوژی هستند که نیازمند توجه ویژه‌اند. ضرورت است که نگرانی‌های مربوط به اثرات سمی محیط زیستی و همچنین هزینه‌های تولید، به‌طور جدی مورد بررسی قرار گیرند. استفاده از منابع زیستی مانند گیاهان، باکتریاها و ضایعات زراعتی و غذایی که استراتیژی‌های جامع و سبز برای تولید ارائه می‌کنند، یکی از رویکردهای امیدبخش در این زمینه است. بهره‌گیری از ضایعات زراعتی و غذایی نه تنها جایگزین سبز برای طرق تولیدی کیمیاوی سنتی است، بلکه به عنوان یک راهکار مؤثر در مدیریت چرخه‌ای پسمانده‌ها، نقش بسزایی در اقتصاد پایدار ایفا می‌کند. مواد موجود در ضایعات زراعتی و غذایی، شامل پولی‌فینول‌ها، قندها و پروتئین‌ها، به عنوان عوامل طبیعی ارجاع، گزینه‌ای ایده‌آل برای تولید نانوذرات نقره به شمار می‌آیند. این روش امکان تولید در مقیاس بزرگ با کمترین تأثیرات مخرب محیط زیست را فراهم ساخته و زمینه را برای پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه نانوتکنالوژی و توسعه پایدار فراهم می‌نماید.

۶. پیشنهادات

۱. تحقیقات آینده باید بر تقویت خواص نانوذرات از طریق کنترول دقیق‌تر مورفولوژی، توسعه طرق نوین تولید و کاربردهای آن در حوزه‌های مختلف متمرکز شود.
۲. در تحقیقات آینده باید روی روش‌های تولید سبز نانوذرات نقره بیشتر تمرکز شود
۳. تحقیقات تکمیلی برای درک بهتر تاثیر مواد زیستی بر ویژگی‌ها و ظرفیت تولید نانوذرات و همچنین بهترسازی پروسه‌های تولید زیستی انجام شود.

ماخذ

۱. Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Sajjadi, M., & Issaabadi, Z. (۲۰۱۹). An introduction to nanotechnology. In *Interface science and technology* (Vol. ۲۸, pp. ۱-۲۷). Elsevier.
۲. Nikam, A. P., Ratnaparkhiand, M. P., & Chaudhari, S. P. (۲۰۱٤). Nanoparticles–an overview. *International journal of research and development in pharmacy & life sciences*, *3*(٥), ۱۱۲۱-۱۱۲۷.

٣. Meng, Z., Qiu, Z., Shi, Y., Wang, S., Zhang, G., Pi, Y., & Pang, H. (٢٠٢٣). Micro/nano metal–organic frameworks meet energy chemistry: a review of materials synthesis and applications. *EScience*, *3*(٢), ١٠٠٠٩٢.

٤. Jamkhande, P. G., Ghule, N. W., Bamer, A. H., & Kalaskar, M. G. (٢٠١٩). Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. *Journal of drug delivery science and technology*, *53*, ١٠١١٧٤.

٥. Nguyen, N. P. U., Dang, N. T., Doan, L., & Nguyen, T. T. H. (٢٠٢٣). Synthesis of silver nanoparticles: from conventional to 'modern'methods—a review. *Processes*, *11*(٩), ٢٦١٧.

٦. Zhang, J., Wang, F., Yalamarty, S. S. K., Filipczak, N., Jin, Y., & Li, X. (٢٠٢٢). Nano silver-induced toxicity and associated mechanisms. *International journal of nanomedicine*, ١٨٥١-١٨٦٤.

٧. Janardhanan, R., Karuppaiah, M., Hebalkar, N., & Rao, T. N. (٢٠٠٩). Synthesis and surface chemistry of nano silver particles. *Polyhedron*, *28*(١٢), ٢٥٢٢-٢٥٣٠.

٨. Pathania, A. R., Doda, S., Sharma, S., & Kundu, A. (٢٠٢٣). An overview of synthesis and applications of silver nano-particles. *Materials Today: Proceedings*.

٩. Temizel-Sekeryan, S., & Hicks, A. L. (٢٠٢٠). Global environmental impacts of silver nanoparticle production methods supported by life cycle assessment. *Resources, conservation and recycling*, *156*, ١٠٤٦٧٦.

١٠. Hicks, A. (٢٠٢٥). Life cycle assessment and engineered nanomaterials: looking to the past to inform the future–considering nano silver as an example. *NanoImpact*, ١٠٠٥٦٩.

١١. Abbasi, E., Milani, M., Fekri Aval, S., Kouhi, M., Akbarzadeh, A., Tayefi Nasrabadi, H., ... & Samiei, M. (٢٠١٦). Silver nanoparticles: synthesis methods, bio-applications and properties. *Critical reviews in microbiology*, *42*(٢), ١٧٣-١٨٠.

١٢. Moradi, F., Sedaghat, S., Moradi, O., & Arab Salmanabadi, S. (٢٠٢١). Review on green nano-biosynthesis of silver nanoparticles and their biological activities: With an emphasis on medicinal plants. *Inorganic and nano-metal chemistry*, *51*(١), ١٣٣-١٤٢.

١٣. Xu, L., Wang, Y. Y., Huang, J., Chen, C. Y., Wang, Z. X., & Xie, H. (٢٠٢٠). Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety. *Theranostics*, *10*(٢٠), ٨٩٩٦.

١٤. Pathania, A. R., Doda, S., Sharma, S., & Kundu, A. (٢٠٢٣). An overview of synthesis and applications of silver nano-particles. *Materials Today: Proceedings*.

١٥. Rajeshkumar, S., Yadav, K., Sridharan, M., & Roopan, S. M. (٢٠٢٣). Nano silver: an overview of shape, size-controlled synthesis and their antibacterial property. *High Energy Chemistry*, *57*(٣), ٢٠٥-٢١٦.

١٦. Haider, A. J., Haider, M. J., & Mehde, M. S. (٢٠١٨, May). A review on preparation of silver nano-particles. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. ١٩٦٨, No. ١, p. ٠٣٠٠٨٦). AIP Publishing LLC.

١٧. Abu-Zied, B. M., Ali, T. T., & Adly, L. (٢٠٢٤). Combustion Synthesis of Ag Nanoparticles and Their Performance During NaBH٤ Hydrolysis. *Catalysis Letters*, *154*(٧), ٣٩٦٤-٣٩٧٥.

١٨. Jara, N., Milán, N. S., Rahman, A., Mouheb, L., Boffito, D. C., Jeffryes, C., & Dahoumane, S. A. (٢٠٢١). Photochemical synthesis of gold and silver nanoparticles—A review. *Molecules*, *26*(١٥), ٤٥٨٥.

١٩. Kuntyi, O. I., Kytsya, A. R., Mertsalo, I. P., Mazur, A. S., Zozula, G. I., Bazylyak, L. I., & Topchak, R. V. (٢٠١٩). Electrochemical synthesis of silver nanoparticles by reversible current in solutions of sodium polyacrylate. *Colloid and Polymer Science*, *297*(٥), ٦٨٩-٦٩٥.

٢٠. Singaravelan, R., & Bangaru Sudarsan Alwar, S. (٢٠١٥). Electrochemical synthesis, characterisation and phytogenic properties of silver nanoparticles. *Applied Nanoscience*, *5*(٨), ٩٨٣-٩٩١.

٢١. Althobaiti, F., Abu Ali, O. A., Kamal, I., Alfaifi, M. Y., Shati, A. A., Fayad, E., ... & El-Fattah, W. A. (٢٠٢٣). New ionic liquid microemulsion-mediated synthesis of silver nanoparticles for skin bacterial infection treatments. *Antibiotics*, *12*(٢), ٢٤٧.

٢٢. Han, Y., Jiang, J., Lee, S. S., & Ying, J. Y. (٢٠٠٨). Reverse microemulsion-mediated synthesis of silica-coated gold and silver nanoparticles. *Langmuir*, *24*(١١), ٥٨٤٢-٥٨٤٨.

٢٣. Rivera-Rangel, R. D., González-Muñoz, M. P., Avila-Rodriguez, M., Razo-Lazcano, T. A., & Solans, C. (٢٠١٨). Green synthesis of silver nanoparticles in oil-in-water microemulsion and nano-emulsion using geranium leaf aqueous extract as a reducing agent. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *536*, ٦٠-٦٧.

٢٤. Quintero-Quiroz, C., Acevedo, N., Zapata-Giraldo, J., Botero, L. E., Quintero, J., Zárate-Triviño, D., ... & Pérez, V. Z. (٢٠١٩). Optimization of silver nanoparticle synthesis by chemical reduction and evaluation of its antimicrobial and toxic activity. *Biomaterials research*, *23*(١), ٢٧.

٢٥. Szczyglewska, P., Feliczak-Guzik, A., & Nowak, I. (٢٠٢٣). Nanotechnology–general aspects: A chemical reduction approach to the synthesis of nanoparticles. *Molecules*, *28*(١٣), ٤٩٣٢.

٢٦. Nguyen, N. P. U., Dang, N. T., Doan, L., & Nguyen, T. T. H. (٢٠٢٣). Synthesis of silver nanoparticles: from conventional to ‘modern’methods—a review. *Processes*, *11*(٩), ٢٦١٧.

٢٧. Patel, R. R., Singh, S. K., & Singh, M. (٢٠٢٣). Green synthesis of silver nanoparticles: methods, biological applications, delivery and toxicity. *Materials Advances*, *4*(٨), ١٨٣١-١٨٤٩.

٢٨. Zulfiqar, Z., Khan, R. R. M., Summer, M., Saeed, Z., Pervaiz, M., Rasheed, S., ... & Ishaq, S. (٢٠٢٤). Plant-mediated green synthesis of silver nanoparticles: synthesis, characterization, biological applications, and toxicological considerations: a review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *57*, ١٠٣١٢١.

٢٩. Kaabipour, S., & Hemmati, S. (٢٠٢١). A review on the green and sustainable synthesis of silver nanoparticles and one-dimensional silver nanostructures. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, *12*(١), ١٠٢-١٣٦.
٣٠. Marinescu, L., Ficai, D., Ficai, A., Oprea, O., Nicoara, A. I., Vasile, B. S., ... & Holban, A. M. (٢٠٢٢). Comparative antimicrobial activity of silver nanoparticles obtained by wet chemical reduction and solvothermal methods. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(١١), ٥٩٨٢.
٣١. Sosa, A., Igartúa, D., Martínez, L., Alonso, S. D. V., Prieto, J., & Martinez, C. (٢٠٢٤). Multifunctional Microemulsion for Wound-Healing: A Development for Co-Administration of Essential Vitamins, Silver Nanoparticles, and Potent Active Ingredients. *Silver Nanoparticles, and Potent Active Ingredients*.
٣٢. Yan, K., Xu, F., Wei, W., Yang, C., Wang, D., & Shi, X. (٢٠٢١). Electrochemical synthesis of chitosan/silver nanoparticles multilayer hydrogel coating with pH-dependent controlled release capability and antibacterial property. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *202*, ١١١٧١١.
٣٣. Menichetti, A., Mavridi-Printezi, A., Mordini, D., & Montalti, M. (٢٠٢٣). Effect of size, shape and surface functionalization on the antibacterial activity of silver nanoparticles. *Journal of Functional Biomaterials*, *14*(٥), ٢٤٤.
٣٤. Yang, S. (٢٠٢١). Characterization of silver nanoparticles. In *Polymer Nanocomposites Based on Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Applications* (pp. ٨٣-١٠٧). Cham: Springer International Publishing.
٣٥. Arshad, H., Saleem, M., Pasha, U., & Sadaf, S. (٢٠٢٢). Synthesis of Aloe vera-conjugated silver nanoparticles for use against multidrug-resistant microorganisms. *Electronic Journal of Biotechnology*, *55*, ٥٥-٦٤.
٣٦. Kowalczyk, P., Szymczak, M., Maciejewska, M., Laskowski, Ł., Laskowska, M., Ostaszewski, R., ... & Franiak-Pietryga, I. (٢٠٢١). All that glitters is not silver—a new look at microbiological and medical applications of silver nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(٢), ٨٥٤.
٣٧. Patel, J., Kumar, G. S., Roy, H., Maddiboyina, B., Leporatti, S., & Bohara, R. A. (٢٠٢٤). From nature to nanomedicine: bioengineered metallic nanoparticles bridge the g
٣٨. Bruna, T., Maldonado-Bravo, F., Jara, P., & Caro, N. (٢٠٢١). Silver nanoparticles and their antibacterial applications. *International journal of molecular sciences*, *22*(١٣), ٧٢٠٢.
٣٩. Menichetti, A., Mavridi-Printezi, A., Mordini, D., & Montalti, M. (٢٠٢٣). Effect of size, shape and surface functionalization on the antibacterial activity of silver nanoparticles. *Journal of Functional Biomaterials*, *14*(٥), ٢٤٤.
٤٠. Ershov, V. A., & Ershov, B. G. (٢٠٢٤). Effect of silver nanoparticle size on antibacterial activity. *Toxics*, *12*(١١), ٨٠١.

٤١. Alberti, G., Zanoni, C., Magnaghi, L. R., & Biesuz, R. (٢٠٢١). Gold and silver nanoparticle-based colorimetric sensors: New trends and applications. *Chemosensors*, *9*(١١), ٣٠٥.
٤٢. Restrepo, C. V., & Villa, C. C. (٢٠٢١). Synthesis of silver nanoparticles, influence of capping agents, and dependence on size and shape: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *15*, ١٠٠٤٢٨.
٤٣. Tarrat, N., & Loffreda, D. (٢٠٢٣). Morphological sensitivity of silver nanoparticles to the environment. *Environmental Science: Nano*, *10*(٧), ١٧٥٤-١٧٦٧.
٤٤. Shirzadi-Ahodashti, M., Mizwari, Z. M., Hashemi, Z., Rajabalipour, S., Ghoreishi, S. M., Mortazavi-Derazkola, S., & Ebrahimzadeh, M. A. (٢٠٢١). Discovery of high antibacterial and catalytic activities of biosynthesized silver nanoparticles using C. fruticosus (CF-AgNPs) against multi-drug resistant clinical strains and hazardous pollutants. *Environmental Technology & Innovation*, *23*, ١٠١٦٠٧.
٤٥. Zavala-Zapata, V., Ramírez-Barrón, S. N., Sánchez-Borja, M., Aguirre-Uribe, L. A., Delgado-Ortiz, J. C., Sánchez-Peña, S. R., ... & Hernández-Juárez, A. (٢٠٢٤). Insecticide efficacy of green synthesis silver nanoparticles on Diaphorina citri Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). *Insects*, *15*(٧), ٤٦٩.
٤٦. Jangid, H., Singh, S., Kashyap, P., Singh, A., & Kumar, G. (٢٠٢٤). Advancing biomedical applications: an in-depth analysis of silver nanoparticles in antimicrobial, anticancer, and wound healing roles. *Frontiers in pharmacology*, *15*, ١٤٣٨٢٢٧.
٤٧. Shaaban, M. T., Mohamed, B. S., Zayed, M., & El-Sabbagh, S. M. (٢٠٢٤). Antibacterial, antibiofilm, and anticancer activity of silver-nanoparticles synthesized from the cell-filtrate of Streptomyces enissocaesilis. *BMC biotechnology*, *24*(١), ٨.
٤٨. Jain, N., Jain, P., Rajput, D., & Patil, U. K. (٢٠٢١). Green synthesized plant-based silver nanoparticles: Therapeutic prospective for anticancer and antiviral activity. *Micro and Nano Systems Letters*, *9*(١), ٥.
٤٩. Abbigeri, M. B., Thokchom, B., Bhavi, S. M., Singh, S. R., Joshi, P., & Yarajarla, R. B. (٢٠٢٤). Potential in vitro antibacterial and anticancer properties of biosynthesized multifunctional silver nanoparticles using Martynia annua L. leaf extract. *Nano-Structures & Nano-Objects*, *39*, ١٠١٣٢٠.
٥٠. Nie, P., Zhao, Y., & Xu, H. (٢٠٢٣). Synthesis, applications, toxicity and toxicity mechanisms of silver nanoparticles: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *253*, ١١٤٦٣٦.
٥١. Bruna, T., Maldonado-Bravo, F., Jara, P., & Caro, N. (٢٠٢١). Silver nanoparticles and their antibacterial applications. *International journal of molecular sciences*, *22*(١٣), ٧٢٠٢.
٥٢. Dymnikova, N. S., Erohina, E. V., Moryganov, A. P., & Kusnetsov, O. Y. (٢٠٢٣). Development of the Formulation of Antiseptics and Disinfectants based on Silver Nanoparticles. *Russian Journal of General Chemistry*, *93*(٦), ١٦٠٥-١٦١٠.
٥٣. Lal, H. M., Uthaman, A., & Thomas, S. (٢٠٢١). Silver nanoparticle as an effective antiviral agent. In *Polymer Nanocomposites Based on Silver Nanoparticles: Synthesis,*

Characterization and Applications (pp. ٢٤٧-٢٦٥). Cham: Springer International Publishing.

٥٤. Kumari, S. A., Patlolla, A. K., & Madhusudhanachary, P. (٢٠٢٢). Biosynthesis of silver nanoparticles using Azadirachta indica and their antioxidant and anticancer effects in cell lines. *Micromachines*, *13*(٩), ١٤١٦.

٥٥. Arshad, F., Naikoo, G. A., Hassan, I. U., Chava, S. R., El-Tanani, M., Aljabali, A. A., & Tambuwala, M. M. (٢٠٢٤). Bioinspired and green synthesis of silver nanoparticles for medical applications: a green perspective. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *196*(٦), ٣٦٣٦-٣٦٦٩.

٥٦. More, P. R., Pandit, S., Filippis, A. D., Franci, G., Mijakovic, I., & Galdiero, M. (٢٠٢٣). Silver nanoparticles: bactericidal and mechanistic approach against drug resistant pathogens. *Microorganisms*, *11*(٢), ٣٦٩.

٥٧. Tan, P., Li, H., Wang, J., & Gopinath, S. C. (٢٠٢١). Silver nanoparticle in biosensor and bioimaging: Clinical perspectives. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, *68*(٦), ١٢٣٦-١٢٤٢.

٥٨. Takáč, P., Michalková, R., Čižmáriková, M., Bedlovičová, Z., Balážová, Ľ., & Takáčová, G. (٢٠٢٣). The role of silver nanoparticles in the diagnosis and treatment of cancer: are there any perspectives for the future?. *Life*, *13*(٢), ٤٦٦.

٥٩. Huang, J., Sokolikova, M., Ruiz-Gonzalez, A., Kong, Y., Wang, Y., Liu, Y., ... & Li, B. (٢٠٢٤). Ultrasensitive colorimetric detection of creatinine via its dual binding affinity for silver nanoparticles and silver ions. *RSC advances*, *14*(١٣), ٩١١٤-٩١٢١.

٦٠. Wang, Y., Chen, Y., Bian, H., Sun, Y., Zhu, L., & Xia, D. (٢٠٢١). Highly selective and sensitive chiral recognition to deoxynucleosides by calixarene oligomers modified silver nanoparticles. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *341*, ١٣٠٠٤٤.

٦١. Zhang, X., Li, Y., & Chen, W. (٢٠٢١). Silver nanoparticles as efficient catalysts for organic transformations: A review. *Catalysis Today*, ٣٦٨, ٢٥-٣٨.

٦٢. Kumar, S., & Singh, R. (٢٠٢٠). Application of silver nanoparticles in environmental remediation: Catalytic reduction of organic dyes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, ٨(٥), ١٠٤٢١١.

٦٣. Li, J., Wang, H., & Liu, Y. (٢٠١٩). Silver nanoparticles-based plasmonic sensors for ultrasensitive detection: Principles and applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, ٢٨٣, ٤٤٠-٤٥٦.

٦٤. Patel, M., & Shah, P. (٢٠١٨). Electrochemical sensors based on silver nanoparticles for biomedical applications. *Biosensors and Bioelectronics*, ٩٩, ٢٩٣-٣٠٧.

٦٥. Singh, A., & Kumar, V. (٢٠٢٢). Surface modification of silver nanoparticles: Enhancing catalytic and sensing performances. *Materials Chemistry Frontiers*, ٦(٣), ٦٧٨-٦٩٣.

٦٦. Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (٢٠٠٩). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*, ٢٧(١), ٧٦-٨٣.

٦٧. Montazer, M., & Seifollahzadeh, S. (٢٠١١). Antibacterial finishing of textiles with silver nanoparticles: A review. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, ١١(٤), ٣٣٤٣-٣٣٥٥.
٦٨. Perelshtein, I., Applerot, G., Perkas, N., et al. (٢٠١٠). Sonochemical coating of textiles with silver nanoparticles for antibacterial properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, ٣٦٤(١-٣), ١٧٥-١٧٩.
٦٩. Montes-Garcia, V., Squillaci, M. A., Diez-Castellnou, M., Ong, Q. K., Stellacci, F., & Samori, P. (٢٠٢١). Chemical sensing with Au and Ag nanoparticles. *Chemical Society Reviews*, *50*(٢), ١٢٦٩-١٣٠٤.
٧٠. Heinemann, M. G., Rosa, C. H., Rosa, G. R., & Dias, D. (٢٠٢١). Biogenic synthesis of gold and silver nanoparticles used in environmental applications: A review. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, *30*, e٠٠١٢٩.
٧١. Khan, S., Zahoor, M., Khan, R. S., Ikram, M., & Islam, N. U. (٢٠٢٣). The impact of silver nanoparticles on the growth of plants: The agriculture applications. *Heliyon*, *9*(٦).
٧٢. Hasan, K. F., Xiaoyi, L., Shaoqin, Z., Horváth, P. G., Bak, M., Bejó, L., ... & Alpár, T. (٢٠٢٢). Functional silver nanoparticles synthesis from sustainable point of view: ٢٠٠٠ to ٢٠٢٣–A review on game changing materials. *Heliyon*, *8*(١٢).
٧٣. Lee, J., & Park, S. (٢٠١٧). Silver nanoparticles for printable electronics: A review. *Journal of Materials Chemistry C*, ٥(١٠), ٢٣٤١-٢٣٥١.
٧٤. Kumar, S., & Singh, R. (٢٠١٨). Enhancement of electrical conductivity and thermal stability of silver nanoparticle-based composites. *Materials Science and Engineering B*, ٢٢٨, ١-٩.
٧٥. Wang, X., Chen, Y., & Li, J. (٢٠١٩). Applications of silver nanoparticles in electrochemical sensors and biosensors. *Biosensors and Bioelectronics*, ١٢٣, ١١-٢٥.
٧٦. Patel, M., & Shah, P. (٢٠٢٠). Silver nanoparticles in flexible electronics: Properties and applications. *Advanced Functional Materials*, ٣٠(٣٥), ٢٠٠١٧٢٣.

بیوگرافی مولفین

۱.نامزد پوهنیارسید مسیح الله محمدی متولد سال ۱۳۷۷ شهر کابل و حال حاضر استاد دیپارتمنت انجنیری صنایع مواد غیرعضوی پوهنتون پولی تخنیک کابل میباشد او تحصیلات دوره لیسانس خود را در رشته انجنیری صنایع مواد غیرعضوی درپوهنتون پولی تخنیک کابل با موفقیت به پایان رسانیده وهم اکنون درحال گذراندن مقطع ماستری خود درهمین پوهنتون است تمرکز اصلی تحقیقات و مطالعات او بر روی تکنالوژی کیمیاوی مواد های غیرعضوی نوین و کتلست ها قراردارد ایشان در مسیرعلمی خود همواره به دنبال توسعه انرژی های پایدار و استفاده بهینه از منابع داخلی بوده است درکارنامه اکادمیک او تحقیقات نوآوران و کاربردی متعددی به چشم می خورد.

۲.پوهنوال لطف الله احمدی متولد سال ۱۳۳۹ شهر کابل از کادرهای علمی با تجربه کشور میباشد ایشان دوره های تعلیمات ابتدایه و ثانوی خویش را در مکتوب خواجه مسافر(ع) به پایان رسانده و تحصیلات عالی خود را در مقطع لیسانس در رشته تکنالوژی کیمیاوی درپوهنتون پولی تخنیک کابل با موفقیت سپری نمودنداستاد احمدی درطول فعالیت های علمی و مسلکی خویش سهم ارزنده ای درتولید علم داشته اند که نگارش و تالیف ۱۲ رساله کتبی نشان دهنده تعهد ایشان به تحقیق و توسعه دانش اکادمیک است ایشان در گذشته به عنوان استاد در پوهنتون البیرونی تدریس نموده و خدمات اجتماعی شایانی را ارائه کرده اند درحال حاضر پوهنوال لطف الله احمدی به عنوان استاد دیپارتمنت انجنیری صنایع مواد غیرعضوی پوهنتون پولی تخنیک کابل وظیفه می نمایند ایشان در دوران تحقیقات شایان درعرصه تکنالوژی مواد غیرعضوی و کیمیای غیرعضوی انجام داد است.