

# نانونقره؛ موارد استفاده در جهان و ایران

تهیه کننده: شرکت توسعه بازار سام  
خلاصه نویسی: محسن معصومی

شرکت توسعه بازار سام به سفارش موسسه خدمات فناوری تا بازار ایرانیان، مطالعه جامعی در زمینه بازار نانونقره در ایران انجام داده است که بخش عمومی آن به طور خلاصه در این مقاله ارائه می‌شود.

## ۱ مقدمه

نانوذرات نقره، یکی از پرکاربردترین ذرات در حوزه فناوری نانو پس از نانولوله‌های کربن است، که هر روزه بر کاربرد آن افزوده می‌شود. نانوذرات نقره به دلیل داشتن خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای که دارند، در عرصه‌های گوناگون پزشکی، صنعت، کشاورزی، دامپروری و بسته‌بندی، لوازم خانگی، آرایشی، بهداشتی و نظامی کاربردهای فراوانی پیدا کرده‌اند. این فناوری با کنترل فعالیت عوامل بیماری‌زا در خدمت انسان‌ها قرار گرفته است. از این رو، به لحاظ بازدهی بالا، عملی بودن، و افزایش ظرفیت‌ها و صرفه اقتصادی و سازگاری با محیط‌زیست و ماندگاری بسیار زیاد، در مقایسه با دیگر روش‌های بهبود فرآوری و تولید، ارجحیت دارد. استفاده از فناوری نانو برای تولید نانوذرات نقره هر چند در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته و رونق بسیاری پیدا کرده، اما داستان خاصیت ضد میکروبی نقره داستانی جدیدی نیست بلکه این خاصیت از دیرباز شناخته شده و به کار رفته است؛ بدون

ابعاد بزرگ‌تر، فلزی با خاصیت واکنش‌دهی کم است، ولی زمانی که به ابعاد کوچک در حد نانومتر تبدیل می‌شود، خاصیت میکروب‌کشی آن بیش از ۹۹ درصد افزایش می‌یابد، به حدی که می‌توان از آن برای بهبود جراحات و عفونت‌ها استفاده کرد. نقره در ابعاد نانو بر متابولیسم، تنفس و تولید مثل میکروارگانیسم اثر می‌گذارد. این ماده تاکنون بیش از ۶۵۰ نوع باکتری شناخته شده را از بین برده است. دانشمندان سازو کارهای متفاوتی را برای تبیین اثرگذاری نقره بر میکروب‌ها یافته‌اند. به دلیل همین تعدد سازوکارها است که میکروب‌ها نمی‌توانند نسبت به نقره سازگار شوند و یا مقاومت پیدا کنند. از سازوکارهای متعددی که برای عملکرد نانوذرات نقره شناسایی شده‌اند، دو سازوکار بارزتر عبارتند از:

۱ سازوکار کاتالیزتی: این سازوکار بیشتر در مورد کامپوزیت‌های نانو نقره‌ای صدق می‌کند که روی پایه‌های نیمه‌هادی مانند  $TiO_2$  (دی‌اکسید تیتانیوم) یا  $SiO_2$  (دی‌اکسید

آنکه دلیل تأثیر آن دقیقاً شناخته شده. برای مثال در بسیاری از جنگ‌ها برای کنترل عفونت زخم سربازان از سکه‌های نقره استفاده می‌شده است و برای ترمیم زخم‌های سربازان، روی زخم سکه‌ای از جنس نقره قرار می‌دادند و سپس محل زخم را می‌بستند و یا برای نگهداری مواد غذایی از ظروف نقره‌ای استفاده می‌شده است. همچنین علت شیوع نیافتن بیماری‌های مسری در مناطق اعیان نشین را به ظروف نقره نسبت می‌دهند. طبیب بزرگ ایرانی بوعلی سینا برای بعضی از بیماران خود، قند آبی که در آن انگشتر نقره قرار داده و هم زده باشند را تجویز می‌کرده است.

یکی از دلایل کاربرد گسترده این ذرات، داشتن خاصیت ضد میکروب آن‌هاست. نانوذرات نقره برای عوامل بیماری‌زا یک سم تلقی می‌شوند و برای بدن انسان، غذاها و بافت‌ها بی‌ضررند. این خاصیت ذرات نانو در مقایسه با ذرات غیر نانو نقره به دلیل اثر افزایش سطح در نتیجه افزایش واکنش‌پذیری ماده و پیروی ماده از فیزیک و شیمی کوانتم در حالت نانو است. نقره در

آن در الکترونیک، رساناها، صفحات نمایش لمسی و غیره استفاده می‌شود. در حال حاضر ۸۰ درصد از نانونقره به عنوان یک عامل ضد میکروب استفاده می‌شود. فعالان حوزه‌های تولید دارو، بسته‌بندی غذایی، منسوجات، شوینده‌ها، سلول‌های خورشیدی، لوازم برقی، حسگرها و غیره می‌توانند از استفاده از نانوذرات نقره، فرصت‌های کسب و کار جدیدی را پیشنهاد کنند.

#### ۱.۴ کاربردهای جهانی نانونقره

افزودنی: منظور از افزودنی، در کاربردهایی مانند ضد عفونی کننده‌ها یا شوینده‌ها است که نانونقره به صورت پودر یا کلوئید به مواد اولیه اضافه می‌شود.

پوشش: در برخی کاربردها نانونقره به صورت پوشش سطحی جهت ضد میکروب نمودن محصول استفاده می‌شود نظیر پوشش لوازم پر کاربرد و یا پوشش ابزار و تجهیزات پزشکی.

مستریج: نوع دیگر استفاده از نانونقره در محصولات به صورت مستریج است که برای تولید محصولات پلیمری و پلاستیکی ضد میکروب کاربرد دارد.

فهرست انواع کاربردهای نانونقره در جدول (۱) ارائه شده است.

■ خاصیت ضد میکروب  
 ■ خاصیت ضد قارچ  
 ■ خاصیت ضد ویروس  
 ■ خاصیت ضد التهاب  
 ■ خاصیت ضد لایه گلیکوپروتئین - خاصیت ضد زیست لایه  
 ■ خاصیت رزونانس پلاسمون سطحی - گرمایش پلاسمونیک

#### ۳ استانداردهای موجود

هنوز استاندارد مشخصی در دنیا در مورد نانوذرات نقره رایج نشده است. البته صرف نظر از نانویی بودن محلول‌های ضد باکتری، استاندارد ملی برای فعالیت باکتری کشی محصولات موجود در بازار وجود دارد. این استاندارد با عنوان «استاندارد ضد عفونی کننده‌ها و گندزدهای شیمیایی - ارزیابی فعالیت باکتری کشی - روش آزمون» به شماره ۲۸۴۲ در سال ۱۳۸۳ تدوین شده است.

#### ۴ کاربردهای نانونقره

نانونقره با داشتن خواص ضد میکروب کاربردهای فراوانی در صنایع مراقبت‌های بهداشتی، پلاستیک‌ها، بسته‌بندی غذایی پیدا کرده است. در حالی که از خاصیت رسانایی

سیلیسیوم) قرار گرفته می‌شود. در این وضعیت ذره مانند یک پیل الکتروشیمیایی عمل می‌کند و با اکسید کردن اتم اکسیژن، یون اکسیژن و با هیدرولیز کردن آب، یون OH- را تولید می‌کند که هر دو از بنیان‌های فعال و از قوی‌ترین عوامل ضد میکربی نیز هستند.

۲ سازوکار یونی: دگرگون ساختن میکرو-ارگانیزم به وسیله تبدیل پیوندهای SH- به SAG-. در این سازوکار ذرات نانونقره فلزی به مرور زمان یون‌های نقره از خود ساطع می‌کنند. این یون‌ها طی واکنش جانشینی، باندهای SH- را در جداره میکروارگانیزم به باندهای SAG- تبدیل می‌کنند، که نتیجه‌ی این واکنش‌ها از بین رفتن میکروارگانیزم است.

#### ۲ خواص نانونقره

نانونقره دارای ویژگی‌های شیمیایی و زیستی است که برای محصولات مصرفی، فناوری مواد غذایی، منسوجات و صنایع پزشکی جذاب است. نانونقره همچنین ویژگی‌های نوری و فیزیکی منحصربه‌فردی دارد که در توده‌ی نقره وجود ندارند و ظرفیت عمده‌ای برای کاربردهای پزشکی دارد. برخی از ویژگی‌های مهم نانونقره عبارتند از:

جدول ۱. فهرست انواع کاربردهای نانونقره در صنایع مختلف

نوع استفاده	محصولات	گروه صنعت	حوزه کاربرد
افزودنی	لباس زیر	انواع پوشاک	صنایع نساجی و پوشاک
افزودنی	جوراب		
افزودنی	پوشاک ورزشی		
افزودنی	سایر پوشاک		
افزودنی	کفش	کفش و پاپوش	
افزودنی	ملزومات کفش و پاپوش		
مستریج	نخ و الیاف	الیاف و پارچه	
افزودنی	پارچه		
افزودنی	لوازم خواب (پتو، ملحفه و غیره)	سایر منسوجات	
افزودنی	حوله		
افزودنی	فرش		
افزودنی	موکت و زیر انداز	تجهیزات آرایشی	صنایع آرایشی
پوشش	موچین، قیچی و غیره		
پوشش	وسایل برقی حرارتی آرایش مو		
افزودنی	کرم‌ها	مواد آرایشی	
افزودنی	لوسیون‌ها		
افزودنی	دئودورانت		

ادامه جدول ۱. فهرست انواع کاربردهای نانوقره در صنایع مختلف

نوع استفاده	محصولات	گروه صنعت	حوزه کاربرد
افزودنی	سایر مواد آرایشی	مواد آرایشی	صنایع آرایشی
افزودنی	صابون	محصولات پاک کننده و شوینده	صنایع بهداشتی
افزودنی	شامپو		
افزودنی	خمیردندان		
افزودنی	دستمال مرطوب		
افزودنی	شوینده‌های لباس		
افزودنی	شوینده‌های ظروف		
افزودنی	اسپری‌های پاک کننده		
افزودنی	میوه و سبزیجات		
افزودنی	دام و طیور		
افزودنی	اماکن عمومی		
افزودنی	خانگی		
افزودنی	حیوانات خانگی		
افزودنی	آب		
افزودنی	دست و بدن انسان		
افزودنی	انواع ماسک تنفسی	لوازم شخصی	سلامت و مراقبت فردی
افزودنی	مسواک		
پوشش	برس و شانه سر		
افزودنی	محصولات بهداشتی سلولزی		
مستریج	انواع شیشه شیر و قطعات	لوازم نوزادان	
مستریج	محصولات لاستیکی بهداشتی (پستانک و غیره)		
افزودنی	پوشک بچه		
مستریج	انواع وسایل بازی و اسباب بازی		
افزودنی	ماشین لباسشویی	لوازم خانگی	تجهیزات و محصولات صنعتی
افزودنی	یخچال		
افزودنی	جاروبرقی		
افزودنی	ظرفشویی		
افزودنی	کولر		
افزودنی	دستگاه تصفیه آب خانگی		
افزودنی	هود و هواکش		
افزودنی	دستگاه بخور		
پوشش	انواع ظروف فلزی آشپزخانه		
مستریج	ظروف پلاستیکی خانگی		
پوشش	لوازم فلزی و آلات برنده آشپزخانه		
افزودنی	خشک کن دست		

ادامه جدول ۱. فهرست انواع کاربردهای نانونقره در صنایع مختلف

نوع استفاده	محصولات	گروه صنعت	حوزه کاربرد
پوشش	اتو	لوازم خانگی	تجهیزات و محصولات صنعتی
افزودنی	سشوار		
افزودنی	سایر لوازم خانگی		
افزودنی	پانل‌های خورشیدی	الکترونیکی	
پوشش	رایانه و قطعات		
پوشش	موبایل		
افزودنی	کیت و مدارهای الکترونیکی		
افزودنی	جوهر رسانا		
افزودنی	صفحه نمایش‌ها	پتروشیمی و پلاستیک	
افزودنی	خازن		
افزودنی	مستربچ‌ها و آمیزه‌ها		
مستربچ	کاتالیزورها	پتروشیمی و پلاستیک	
افزودنی	خمیر یا چسب نقره		
افزودنی	شیشه‌ها	ساختمانی	
پوشش	رنگ		
افزودنی	کاشی و سرامیک		
افزودنی/پوشش	شیرآلات ساختمانی		
پوشش	دستگیره‌های ساختمانی		
پوشش	انواع کفپوش پلاستیکی		
مستربچ	سنگ ساختمانی		
پوشش	سرویس بهداشتی		
پوشش	لوله و اتصالات		
مستربچ	تصفیه و تهویه هوا		فیلترها و تصفیه
افزودنی	دستگاه تصفیه آب و فاضلاب		
افزودنی	انواع هواساز		
افزودنی	فیلتر صنعتی هوا		
افزودنی	ماسک صنعتی		
افزودنی	مواد تصفیه‌کننده آب		
افزودنی	کاغذ آنتی‌باکتریال	چوب و کاغذ	
پوشش	تجهیزات اماکن عمومی (دستگیره‌های اتوبوس، صفحه کلید خودپردازها، آسانسور و غیره)	سایر محصولات صنعتی	
افزودنی	روغن‌های صنعتی	مواد غذایی	صنایع غذایی و کشاورزی
افزودنی	خوراک حیوانات		
افزودنی	آب‌های تقویت شده		
افزودنی	نگهدارنده‌های غذایی		
افزودنی	انواع کود		

ادامه جدول ۱. فهرست انواع کاربردهای نانونقره در صنایع مختلف

نوع استفاده	محصولات	گروه صنعت	حوزه کاربرد
افزودنی	محرك‌های رشد	کود و آفت‌کش‌ها	صنایع غذایی و کشاورزی
افزودنی	سموم و آفت‌کش‌ها		
مستریج	انواع فیلم‌های بسته‌بندی	بسته‌بندی	
مستریج	بطری‌ها و تیوپ‌های نگهداری		
مستریج	ظروف بسته‌بندی مواد غذایی		
افزودنی	پوشش کنسروهای فلزی		
مستریج	مخازن پلاستیکی	تجهیزات پزشکی	
پوشش	دندان پزشکی		
پوشش	جراحی و بیمارستانی		
پوشش	عمومی		
مستریج	انواع لوله، سرنگ و ست انتقال دارو	لوازم پزشکی مصرفی	پزشکی و دارویی
مستریج	وسایل یکبار مصرف بیمارستانی		
پوشش	وسایل فیزیوتراپی و ارتوپدی		
پوشش	اعضای مصنوعی		
افزودنی	ابزارهای یکبار مصرف دندانپزشکی		
پوشش	سایر لوازم مصرفی پزشکی		
افزودنی	ماسک‌های پزشکی	منسوجات پزشکی	
افزودنی	البسه بیمارستانی		
افزودنی	ملحفه بیمارستانی		
افزودنی	دستکش‌های پزشکی		
افزودنی	نانوحسگرها و تراشه‌های زیستی	تجهیزات تشخیص	
افزودنی	ضد عفونی کننده‌ها (ژل، محلول و اسپری)	ملزومات مراقبت از زخم	
افزودنی	باند پانسمان		
افزودنی	ترمیم کننده (پماد سوختگی)		
افزودنی	بند آورنده خون		
افزودنی	چشم، گوش، دستگاه تناسلی و غیره	داروهای ضد عفونی کننده	
افزودنی	ملزومات پیش گیری از بارداری		
افزودنی	مواد دندان پزشکی	ملزومات دهان و دندان	
افزودنی	ضد عفونی کننده‌های دهان و دندان		
افزودنی	مسکن‌های درد		
افزودنی	نانو کلونید تقویت سیستم ایمنی	داروهای خوراکی	
افزودنی	سوسپانسیون خوراکی معده		
افزودنی	اسپری ضد سرماخوردگی	داروهای استنشاقی	

**۱.۵ صنایع نساجی و پوشاک**

با به کارگیری نانوذرات نقره در ساختار و بافت الیاف، می‌توان پارچه‌ها و لباس‌هایی با خاصیت

**۵ مصرف نانونقره در ایران**

وضعیت مصرف نانونقره در ایران را می‌توان به بخش‌های نساجی و پوشاک، آرایشی و شوینده،

پزشکی و سلامت، آفت‌کش‌ها، تصفیه آب، ساختمان و کاربردهای پژوهشی و آزمایشگاهی تقسیم کرد.

ضدمیکروبی تولید کرد. با این روش، علاوه بر بهبود کارایی، منسوجات با هزینه‌ای کمتر نسبت به سایر روش‌ها، ضدمیکروب می‌شوند. از نانوذرات می‌توان به راحتی در اغلب فرایندهای نساجی استفاده کرد، بدون آنکه نیازی به ماشین آلات و فرایندهای جانبی خاصی باشد. با بهره‌گیری از نانوذرات، منسوجاتی با خواص ضد باکتری، قارچ و ویروس، بدون بوهای نامطبوع و آنتی‌استاتیک تولید می‌شوند. این خواص، حتی با ۱۰ بار شستشو از بین نمی‌روند. الیاف طبیعی را می‌توان قبل و یا بعد از تبدیل شدن به پارچه ضدمیکروب کرد.

از آنجایی که استفاده از نانونقره در اغلب فرایندهای متداول در صنعت نساجی، بدون نیاز به ماشین‌آلات و فرایندهای جانبی خاص، به سهولت امکان‌پذیر است (البته در ایران) لذا از آن می‌توان در بسیاری از کاربردهای خاص منسوجات مانند پوشاک مورد استفاده در صنایع بهداشتی و پزشکی، ورزشی، نظامی و غیره استفاده نمود.

علاوه بر این، به دلیل قابلیت از بین بردن میکروارگانیسم‌ها و ماندگاری طولانی مدت خاصیت ضدمیکروب، بسیاری از شرکت‌ها با افزودن نانونقره به محصولات مورد استفاده روزمره مردم، بیشتر نیازهای آن‌ها را با کمترین وقت و هزینه تأمین می‌کند.

کاربردهای نانونقره در صنایع نساجی و پوشاک را می‌توان در چهار بخش بررسی کرد.

### ۱.۱.۵ الیاف و پارچه ضدمیکروب

در حال حاضر نانونقره در نخ‌های مصنوعی به کار می‌رود. در این صنعت، مستریج نانونقره به مواد اولیه نخ اضافه شده و نخ با روش‌های متعارف تولید نخ به دست می‌آید.

### ۲.۱.۵ پوشاک ضدمیکروب

با مقاومت فزاینده باکتری‌ها در برابر باکتری‌کش‌ها متخصصین حوزه بیومواد پژوهش‌های خود را بر ذرات نانومتری مانند نقره، مس و اکسید تیتانیوم متمرکز کرده‌اند. نانوذرات نقره در حجم کامل الیاف قرار می‌گیرد و برای مدت زیادی به صورت فعال باقی می‌مانند. یون‌های نقره آزاد شده از نانوذرات برای باکتری‌ها سمی هستند و حتی می‌توانند در گرما و رطوبت عمل کنند. بنابراین باکتری‌ها در پوشاک از بین رفته و تمیزتر باقی می‌مانند.

یکی از روش‌های تولید لباس‌های ضدمیکروب، بافت این لباس‌ها با استفاده از الیاف ضدمیکروب است اما در حال حاضر عمدتاً مرحله ضدمیکروب کردن این دسته پس از تولید انجام می‌شود. به این معنی که در بیشتر موارد این محصولات از الیاف ضدمیکروب تولید نمی‌شوند بلکه پس از

تولید پارچه یا لباس، عملیات غرقاب کردن در حوضچه نانونقره انجام می‌شود.

چالش موجود در میان تولیدکنندگان این محصولات مربوط به رنگ محصولات است، چراکه رنگ مرسوم در لباس‌های زیر سفید و رنگ‌های روشن است و استفاده از نانونقره موجود جهت ضدمیکروب کردن این محصولات رنگ آنان را تغییر می‌دهد.

### ۳.۱.۵ کفش و پایپوش ضدمیکروب

تاکنون شرکتی اقدام به تولید کفش و پایپوش ضدمیکروب نکرده است و استفاده از نانونقره در این بخش بیشتر به شکل اسپری‌های بوگیر و ضدعفونی‌کننده‌ها است.

### ۲.۵ صنایع آرایشی و شوینده

در حال حاضر با توجه به حساسیت‌ها و محدودیت‌های موجود برای استفاده از نانونقره در محصولات آرایشی، هیچ‌گونه تولیدی مربوط به این حوزه در داخل از کشور وجود ندارد. البته در مجموع تولید انواع محصولات آرایشی در کشور ناچیز بوده و بخش عمده‌ی این محصولات وارداتی است. محصولات مربوط به کاربردهای بهداشتی نانونقره نیز محدود به شوینده‌ها و پاک‌کننده‌ها است.

یکی از شاخص‌ترین کاربردهای نانونقره استفاده از آن به عنوان ضدعفونی‌کننده است که از غلظت‌های پایین این ماده می‌توان به عنوان ضدعفونی‌کننده سطوح استفاده کرد. موارد مصرف این محصول می‌تواند در مکان‌های زیادی مانند ضدعفونی کلیه سطوح و تجهیزات بیمارستانی و پزشکی و دندانپزشکی و آزمایشگاهی و صنایع مختلف اعم از صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی و یا سطوح منازل و اماکن عمومی، هتل‌ها، رستوران‌ها، مدارس، ادارات و غیره باشد.

**مزیت‌هایی که ضدعفونی‌کننده نانونقره در مقابل ضدعفونی‌کننده‌های دیگر دارد شامل موارد زیر است.**

- موثر بر طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها
- بی‌بو
- عدم ایجاد حساسیت و عوارض بر روی پوست
- سازگار با محیط‌زیست
- بدون نیاز به آب‌کشی بعد از مصرف
- دارای اثر ضدمیکروبی سریع و پایدار
- ماندگاری اثر بر روی سطوح
- عدم ایجاد خوردگی بر روی سطوح

### ۳.۵ آفت‌کش‌ها

کاربرد نانونقره در آفت‌کش‌ها شامل دو گروه اصلی ۱) مواد ضدعفونی و آفت‌کش‌های واحدهای پرورش دام و طیور و کشتارگاه‌ها، ۲) مواد آفت‌کش و کودهای کشاورزی، است.

### ۱.۳.۵ دام و طیور

صنعت دام و طیور از خاصیت ضدمیکروبی کلونید نانونقره به عنوان ضدعفونی‌کننده بهره می‌برد. کلونید نانونقره به عنوان یک ماده افزودنی ضدمیکروب قوی به شوینده‌هایی که برای شستشوی سطوح مرغداری‌ها و دامداری‌ها مصرف می‌شود، کاربرد دارد. مصرف این ماده در حال حاضر به دو صورت ۱) ضدعفونی‌کننده سطوح، سالن‌ها، تجهیزات و غیره و ۲) به عنوان مکمل آب یا خوراک دام و طیور است. البته در حال حاضر مجوزی برای استفاده از نانونقره در محلول‌های شستشو در مرغ‌داری‌ها و یا استفاده از آن به عنوان خوراک مرغ وجود ندارد.

### ۲.۳.۵ کشاورزی

این حوزه شامل سه گروه، مواد غذایی، کود و آفت‌کش‌ها و بسته‌بندی است. از نانونقره به صورت خوراکی برای تقویت سیستم ایمنی حیوانات استفاده می‌شود البته با توجه به مباحثی که در باره سمیت نانونقره وجود دارد این محصولات مورد تأیید مراجع بهداشتی نیستند. اگر چه شرکت‌هایی از نانونقره در مکمل‌های غذایی آب تقویت شده استفاده کرده‌اند.

کاربردهای نانونقره در صنعت کشاورزی بسیار گسترده است. این کاربردها می‌تواند در دو مرحله قبل از کشت و پس از برداشت برای آفت‌کشی، کنترل بیماری‌های گیاهان و بذرها، ضدعفونی بستر کاشت و به تعویق انداختن خرابی محصولات و غیره است. حوزه کشاورزی تا حدودی نسبت به حوزه پرورش دام و طیور ناشناخته‌تر و نوپا است.

### ۴.۵ پزشکی و سلامت

فناوری نانو در حال حاضر با پیشرفت در حوزه مراقبت‌های پزشکی پیش‌گیرنده، وارد حوزه سلامت شده است. استفاده از فناوری نانو می‌تواند حتی قبل از این که بیماری شروع شود، آن را تشخیص داده و پیشروی آن را متوقف کند. در طول دهه آینده، این حوزه یکی از بخش‌های فناوری نانو با بالاترین رشد خواهد شد. نانوپزشکی در حال حاضر بازار تثبیت شده‌ای است. بر خلاف برخی از کاربردهای بالقوه دیگر از فناوری نانو، که هنوز هم تا حد زیادی در حال تحقیقات است، نانوپزشکی در حال حاضر چندین محصول قابل توجه تولید نموده که در آن ابعاد نانو تأثیر بخصوصی در اثربخشی محصول داشته است. کاربردهای حوزه پزشکی و دارویی فناوری نانو می‌تواند به چهار دسته تقسیم‌بندی شود؛ فرمولاسیون و رسانش دارو، ایمپلنت‌ها و پوشش‌های زیست‌سازگارپذیر، دارو و مراقبت زخم پیشرفته و تشخیص. در حال حاضر بازار شاهد تلاش‌های گسترده

تحقیق و توسعه با تمرکز بر دارورسانی است. تصویربرداری با وضوح بالا، دارای بیشترین پتانسیل برای کاربردهای تشخیصی فناوری نانو است. دیگر کاربردها مانند پوشش‌ها/ایمپلنت‌ها و دارو/مراقبت زخم پیشرفته، همچنان نیاز به انجام پژوهش‌هایی برای تسهیل فرآیند تجاری‌سازی در مقیاس بالا دارند.

در حال حاضر در ایران به دلیل حساسیت‌ها و محدودیت‌های موجود در حوزه پزشکی و سلامت و زمان‌بر بودن مراحل دریافت مجوزها و تاییدیه‌ها برای محصولات این حوزه، شرکت‌های کمی توانسته‌اند دست به تولید محصولات، تجهیزات و یا لوازم مربوط به حوزه پزشکی و سلامت بزنند. با این حال تعدادی از شرکت‌ها در زمینه‌های ملزومات مراقبت از زخم، داروهای ضد عفونی‌کننده، ملزومات دهان و دندان و منسوجات پزشکی فعال شده‌اند.

#### ۱.۴.۵ منسوجات پزشکی

استفاده از نانوقره بر روی منسوجات بیمارستانی علاوه بر خاصیت ضد میکروبی که در گان جراحی ایجاد می‌کند باعث عدم جذب مایعات مختلف بویژه خون شده و باعث حفظ توازن بیولوژیکی و طراوت بهداشتی پوست در طول مدت عمل جراحی می‌شود.

استفاده از مواد ضد میکروبی در منسوجاتی که به سلامتی انسان مربوط می‌شوند، به عنوان جزئی از برنامه پاکیزه‌تر نگه داشتن کارکنان و تجهیزات بهداشتی مورد توجه کارکنان مراکز درمانی قرار گرفته است. فناوری استفاده از نانوقره به علت طیف گسترده کاربرد، سهولت بکارگیری، زیست‌سازگاری و پذیرش وسیع آن تبدیل به یکی از فناوری‌های مطرح ضد میکروبی برای منسوجات بهداشتی شده است.

#### ۵.۵ صنعت ساختمان

کاربردهای نانوقره در صنعت ساختمان در ایران را می‌توان به چهار بخش تقسیم کرد.

#### ۱.۵.۵ رنگ

افزودن نانوقره به دلیل قابلیت امتزاج‌پذیری بسیار خوب به صورت ماده افزودنی، ویژگی‌های زیادی را به محصولات رنگ و رزین می‌بخشد. رنگ‌های ضد میکروب، ضد قارچ و ضد کپک و ضد ویروس هستند. به علاوه خاصیت پوشش‌دهی، براقیت و چسبندگی رنگ افزایش می‌یابد. رنگ ضد میکروب می‌تواند مصارف زیادی در مکان‌های بهداشتی، بیمارستان‌ها، داروخانه‌ها و غیره داشته باشد.

#### ۲.۵.۵ شیشه‌ها، کاشی و سرامیک، شیرالات ساختمانی، دستگیره‌های ساختمانی، سنگ ساختمانی و غیره

نانوقره به عنوان ماده ضد عفونی‌کننده علاوه بر

کاربردی که برای ضد عفونی سطوح داخلی ساختمان و تجهیزات دارد، می‌تواند برای تمیز و ضد عفونی کردن نمای ساختمان‌ها هم استفاده شود. نانوقره همچنین باعث افزایش درخشندگی سطوح کاشی و سرامیک و شیشه شده و این امر باعث گسترده شدن هر چه بیشتر کاربرد و موارد استفاده آن‌ها در صنایع ساختمان می‌گردد.

#### ۳.۵.۵ انواع کفیوش پلیمری

در محیط‌های ورزشی و صنعتی از انواع کفیوش‌های لاستیکی، استفاده می‌شود. این کف‌پوش‌ها هم به صورت گرانول شده (بازیافتی) و هم به صورت تزریق‌شده تولید می‌شوند. نانوقره به شکل مستریج در این صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد و محصول نهایی همان کفیوش ضد میکروب است. کاربرد کفیوش‌های ضد میکروب در سطوح خط تولید دارو، داروخانه‌ها، آزمایشگاه‌ها و بیمارستان‌ها است.

#### ۴.۵.۵ لوله و اتصالات

با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از لوله‌های مورد مصرف در صنعت ساختمان پلیمری هستند، استفاده از نانوقره در آن‌ها نیازمند تولید مستریج‌های نانوقره است. بدین منظور ترکیبی از نانوقره و دی اکسید تیتانیوم در مستریج‌های پلیمری به نسبت ۱۰ الی ۲۰ درصد مورد استفاده قرار گرفته و در نهایت خود مستریج‌ها نیز به نسبت ۱/۵ تا ۳ درصد بنا به نوع کالا مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مستریج‌ها را می‌توان در ساخت لوله و اتصالات پلیمری ضد میکروب استفاده کرد.

#### ۶.۵ تجهیزات و محصولات صنعتی

یکی از مهم‌ترین کاربردهای نانوقره در تجهیزات و محصولات صنعتی است. این حوزه به زیر گروه‌های زیر تقسیم می‌شود:

#### ۱.۶.۵ لوازم خانگی

یکی از بخش‌های پر کاربرد نانوذرات نقره بخش لوازم خانگی همان یخچال، جارو برقی، ماشین‌های لباسشویی و ظرف‌شویی، سیستم تهویه، تصفیه هوا، رطوبت‌زا است. یخچال‌های مجهز به فناوری نانوقره موجب ماندگاری بیشتر و حفظ تازگی غذاها و همچنین حذف بوی نامطبوع غذا و از بین بردن باکتری‌ها می‌شود. هوای خروجی از جاروبرقی‌ها، همانند دستگاه‌های تهویه و تصفیه هوا، هیچگاه کاملاً پاک نیست مگر آنکه به وسیله‌ی یک سیستم فیلتراسیون پاک، فیلتر شده باشد. فیلتراسیون نانوقره جاروبرقی‌ها با جلوگیری از رشد باکتری‌ها در فیلتر، آن‌ها را پاک نگه می‌دارد و همزمان بو را نیز از فیلتر دفع می‌کند و بدین

ترتیب هوای خروجی از جاروبرقی، هوایی پاک و خالص خواهد بود. استفاده از نانوذرات نقره در دستگاه‌های تهویه مطبوع که با استفاده از فناوری یون میکروپلاسما، موجب حذف عوامل بیماری‌زایی همچون ویروس سارس و آنفلوآنزا می‌شوند. نانوقره در ماشین‌های لباس‌شویی، می‌تواند تا ۱۰ سال برای ضد عفونی کردن و از بین بردن بوهای نامطبوع لباس‌ها مورد استفاده قرار گیرد. از نانوقره همچنین برای پوشش در ظروف آشپزخانه و غیره استفاده می‌شود.

#### ۲.۶.۵ الکترونیک

نانوقره با داشتن قابلیت زیاد هدایت گرما و الکتروسیستی به همراه ویژگی‌های نوری پیشرفته، کاربردهای مختلفی در الکترونیک پیدا کرده است. نانوسیم‌های نقره به عنوان رابط‌های نانو و الکترودهای نانو برای طراحی و ساخت وسایل نانو به کار گرفته شده‌اند. دیگر کاربردها عبارتند از: آماده‌سازی موج‌برهای فعال در وسیله‌های نوری، جوهر چاپ مدارهای چاپی، اپتوالکترونیک، نانوالکترونیک، اپتیک زیر طول موج، تجهیزات ذخیره داده، اپتیک غیرخطی، ابزارهای ضبط با شدت بالا، مواد بین لایه‌ای برای باتری‌ها، ساخت میکرو اتصال‌ها در مدارهای مجتمع (IC) و خازن‌های کامل.

#### ۳.۶.۵ پتروشیمی و پلاستیک

نانوذرات نقره می‌توانند واکنش‌پذیری‌های سطحی، نظیر جذب سطحی و کاتالیست را افزایش دهند. از این رو از مواد نانوقره و نانوکامپوزیت برای کاتالیز بسیاری از واکنش‌ها در فرایندهای صنعتی استفاده می‌شود. یکی دیگر از کاربردهای نانوقره در جوهرهای رسانا است. در حال حاضر تقاضای زیادی برای جوهرهای رسانا وجود دارد. نانوذرات نقره، ماده مناسبی برای این کاربرد به شمار می‌رود. جوهرهای مبتنی بر این نانوذرات در محل‌هایی به کار می‌روند که جوهرهای مرسوم این توانایی را ندارند.

#### ۴.۶.۵ سایر محصولات صنعتی

در این گروه محصولاتی نظیر روغن‌های صنعتی قرار دارد که از نانوقره جهت افزایش کارایی روغن‌های خنک‌کننده استفاده شده است. همچنین می‌توان از نانوقره به صورت پوشش در سطوح تجهیزات عمومی مانند دستگیره‌های اتوبوس، صفحه کلید دستگاه‌های خودپرداز، آسانسور و غیره جهت ضد میکروب نمودن آن‌ها استفاده کرد.

#### ۷.۵ فیلترها و تصفیه

یکی از کاربردهای مهم نانوقره در صنعت فیلترسازی و تصفیه است. فیلترهای نانوقره را می‌توان برای تصفیه هوا و استریل‌سازی

اماکن عمومی و رفع آلاینده‌ها و بیماری‌هایی که منشأ باکتریایی دارند به کار گرفت. یون‌های نقره در دستگاه‌های تصفیه و تهویه هوا، سطح فیلتر را پوشانده و از طریق استریلیزاسیون از رشد سلولی میکروارگانیسم‌ها جلوگیری نموده و در صورت برخورد با میکروارگانیسم‌ها آن‌ها را از بین می‌برد. حتی به کمک این تکنولوژی ویروس‌های خطرناک آنفلوآنزا نیز از بین می‌روند و عمل میکروبی‌زدایی صورت می‌گیرد. محصولاتی نظیر فیلترهای کربن اکتیو حاوی نانو نقره، دستگاه تصفیه و تهویه مطبوع هوا، دستگاه تصفیه آب خانگی، فیلتر تصفیه آب، دستگاه هوا ساز و غیره از جمله محصولاتی است که در این گروه قرار دارند.

#### ۸.۵ مراکز علمی و آزمایشگاهی

مراکز پژوهشی یکی از بخش‌هایی است که از نانونقره در فعالیت‌های علمی خود استفاده می‌کنند. در باره نحوه مصرف این بخش باید به نکات مهمی توجه کرد.

**۱ بودر نانونقره خارجی:** ماده مصرفی عمده در این بخش بر خلاف سایر کاربردها، بودر نانونقره است. با توجه به حساسیت و اهمیت کیفیت ذرات نانونقره در پژوهش‌ها، بیشتر پژوهشگران ترجیح به استفاده از منابع معتبر خارجی دارند. بنابراین این بخش اصلی‌ترین مصرف‌کننده پیودر نانونقره وارداتی است.

**۲ پژوهش‌ها و تجاری‌سازی:** بررسی‌ها نشان می‌دهند که در مراکز علمی و پژوهشی کشور، فعالیت‌های زیادی در زمینه توسعه کاربردهای نانونقره در حال انجام است، اما تعداد کمی از این موارد به محصولات تجاری شده تبدیل می‌شوند.

**۳ نانونقره به عنوان ماده تشخیصی و آزمایشگاهی:**

این کاربردها در بخش داروسازی و تشخیص مواد، بیشتر مشاهده می‌شود.

#### ۶ کاربردهای در حال ظهور نانو نقره

کاربردهای در حال ظهور نانو نقره، ظرفیت رشد فوق‌العاده‌ای را در پزشکی و به عنوان رسانا، در سلول‌های خورشیدی و بسته‌بندی مواد غذایی و غیره نشان می‌دهد.

#### ۱۰.۶ کاربردهای در حال ظهور نانونقره در حوزه پزشکی

نانونقره دارای کاربردهای متعددی در حوزه پزشکی است از جمله: تشخیص، درمان، دارورسانی، پوشش ابزار و تجهیزات پزشکی. نانونقره برای پوشش ابزار پزشکی و مواد مورد استفاده در نواحی جراحی، بییهوشی، بخش قلب و اروولوژی به کار می‌رود. این ماده همچنین در پانسمان‌های زخم، جوراب‌های دیابتی، آتل‌ها، مواد استریلیزه کردن در بیمارستان‌ها،

منسوجات پزشکی، سوندهای پزشکی و وسایل جلوگیری از بارداری استفاده می‌شود. به علاوه نانونقره در بخش ارتوپدی در زمینه‌هایی نظیر افزودنی‌ها در سیمان استخوانی، پوشش ایمپلنت‌ها برای تعویض مفاصل و پرتزهای استخوانی استفاده می‌شود. نانونقره در دندانپزشکی و برای ساخت دندان‌های مصنوعی و نیز در مراقبت‌های چشمی جهت لنزها کاربرد دارد. فناوری پیشرفته نانونقره، برای ارتقای عملکرد باتری در نسل آینده وسایل پزشکی ایمپلنت فعال به کار می‌رود. نانونقره برای تصویربرداری از سلول‌های سرطانی نیز استفاده می‌شود. این ماده همچنین برای درمان آماس پوستی، کولیت زخمی و آکنه مورد مصرف قرار می‌گیرد. استفاده از پانسمان‌های زخم حاوی نانونقره مانع رشد باکتری‌ها شده و منجر به بهبودی سریع‌تر زخم‌ها می‌شود.

با استفاده از فناوری نانو و فراهم شدن امکان ساخت الکترودهایی در مقیاس بسیار کوچک، امکان طراحی و ساخت حسگرهایی در ابعاد نانومتر نیز فراهم شده است. از فناوری نانوحسگرهای زیستی در ردیابی میکروارگانیسم‌ها و آسیب‌های بافتی مثل سرطان استفاده می‌شود. با استفاده از لیزرترایی، تبدیل انرژی نور به گرما در محدوده پیکواتانیه انجام می‌شود از این ویژگی که فوتوترمال کنسرتراپی نامیده می‌شود، برای از بین بردن سلول‌های سرطانی استفاده می‌شود.

#### ۲.۶ کاربردهای در حال ظهور نانونقره در حوزه رساناها و دیگر کاربردها

کاربرد نانونقره در ترکیب با اکسید وانادیوم در باتری سلولی، نمونه‌ای از فناوری پیشرفته‌ی نانونقره به شمار می‌رود که به همگن‌سازی مواد کاتدی ارتقا یافته منجر شده است. قطعات الکترونیکی چاپی با بکارگیری جوهرهای رسانای نانونقره کار می‌کنند. یکی از نمونه‌های قطعات الکترونیکی چاپی، الکتروود بکار گرفته شده در یک ابرخازن است که می‌تواند متناوباً و به سرعت شارژ و دشارژ گردد. ترمزهای بازآیسی، یک نوآوری در صنعت اتومبیل است که اجازه می‌دهد تا انرژی جنبشی یک وسیله نقلیه در حال توقف برای مصرف مجدد در ابرخازن‌ها، ذخیره گردد. برچسب‌های سامانه بازشناسی با امواج رادیویی (RFID) یکی دیگر از کاربردهای پر قدرت قطعات الکترونیکی چاپ شده را عرضه می‌دارند. این برچسب‌ها برای ردیابی کردن کالاهای موجود در انبار بهتر از بارکدها هستند. به این خاطر که آن‌ها می‌توانند علاوه بر ذخیره‌سازی اطلاعات بیشتر، از فاصله‌ای دور تر حتی بدون دید مستقیم خوانده شوند.

#### ۷ جمع‌بندی و تحلیل فضای کسب و کار

**مروری بر بازار جهانی نانو نقره**  
مصرف جهانی نانونقره در سال ۲۰۱۱، حدود

۸۰۰ تن تخمین زده شده است. بزرگ‌ترین مصرف‌کننده نانو نقره، آمریکای شمالی و پس از آن اروپا است. با این حال، ۶۰ درصد از ظرفیت مصرف جهان در آسیا و به ویژه در چین و کره قرار دارد. کره جنوبی، چین و ایالات متحده آمریکا اصلی‌ترین بازیگران در حوزه نانونقره و محصولات مصرفی و تجاری مبتنی بر نانونقره هستند. کاربردهای نوظهور نانونقره نشان می‌دهد که این ماده ظرفیت رشد فوق‌العاده‌ای در زمینه پزشکی و به عنوان رسانا در سلول‌های خورشیدی و بسته‌بندی غذا دارد.

#### ■ الگوی مصرف نانونقره در جهان

به احتمال زیاد سریع‌ترین رشد در بین سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۰ از نظر حجم مصرف، مربوط به آسیا و اقیانوسیه با نرخ رشد سالانه بیش از ۱۳ درصد خواهد بود؛ که پیش‌بینی شده انتقال واحدهای تولیدی محصولات الکترونیکی به آسیا محرک بازار نانونقره در این منطقه باشد. بیشترین تقاضا برای نانونقره در اروپا برای کاربردهای نظیر تصفیه آب، مراقبت‌های شخصی و شویندها است. بازار نانونقره در اروپا رشد متوسطی در این دوره خواهد داشت.

#### ■ تحلیل تحولات بازار جهانی نانو نقره

انتظار می‌رود، افزایش تعداد محصولات الکترونیکی مبتنی بر نانونقره مانند دستگاه‌های تصفیه‌کننده هوا و آب، ماشین‌های لباسشویی، یخچال فریزرها و غیره، کاربرد نانونقره در صنعت برق و الکترونیک را افزایش دهد. علاوه بر این جایگزینی نانونقره با نقره متعارف، اکسید قلع ایندیدیوم (ITO)، نانولوله‌های کربنی، گرافن و غیره در گوشی‌های هوشمند، OLEDها و LCDها و همچنین تمایل به سمت محصولات الکترونیکی کوچک موجب تقویت بازار نانونقره شود.

انتظار می‌رود در سال‌های آتی، افزایش تقاضا برای محصولات مصرفی مبتنی بر نانو نقره، به ویژه در کشورهای توسعه یافته و همچنین افزایش کاربردهای ضد میکروبی نانونقره در صنایع پزشکی و داروسازی، محرک بازار جهانی نانونقره باشد. در همین زمینه می‌توان به استفاده از نانونقره در کاربردهای ضد میکروبی مانند پوشش ابزار و تجهیزات پزشکی، پانسمان‌های زخم، روپوش و ملافه‌های بیمارستانی، دستگیره‌های در و نرده‌های بیمارستانی اشاره کرد. علاوه بر این بخش بهداشت و درمان کمتر به قیمت حساس است و این مسئله بیشتر بازار نانونقره را تقویت می‌کند. پیش‌بینی می‌شود سایر صنایع مصرفی نهایی نظیر مراقبت‌های شخصی، شویندها، دستگاه‌های خودپرداز و ساختمان در این دوره نرخ رشد قابل توجهی داشته باشند.