



کاربردهای فناوری نانو در

صنایع آرایشی و بهداشتی

WWW.ICANANO.IR



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فهرست مطالب

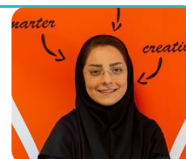
۴	مقدمه
۶	نانوسامانه‌های مورد استفاده در محصولات آرایشی و بهداشتی
۷	○ نانوذرات
۱۰	○ نانوحامل‌ها
۱۶	محصولات آرایشی و بهداشتی مبتنی بر نانومواد
۱۸	ملاحظات ایمنی
۲۱	مقررات
۲۴	کاربرد نانوفناوری در محصولات تجاری شده آرایشی و بهداشتی
۲۶	چشم‌انداز
۲۷	پی‌نوشت‌ها و منابع

گردآورانگان

آزاده بشری - دکتری شیمی نساجی و علوم الیاف، مدیر توسعه محصول
مرکز صنعتی‌سازی نانوفناوری کاربردی (ICAN)
ایمیل: bashari@aut.ac.ir
لینکدین: www.linkedin.com/in/azadeh-bashari

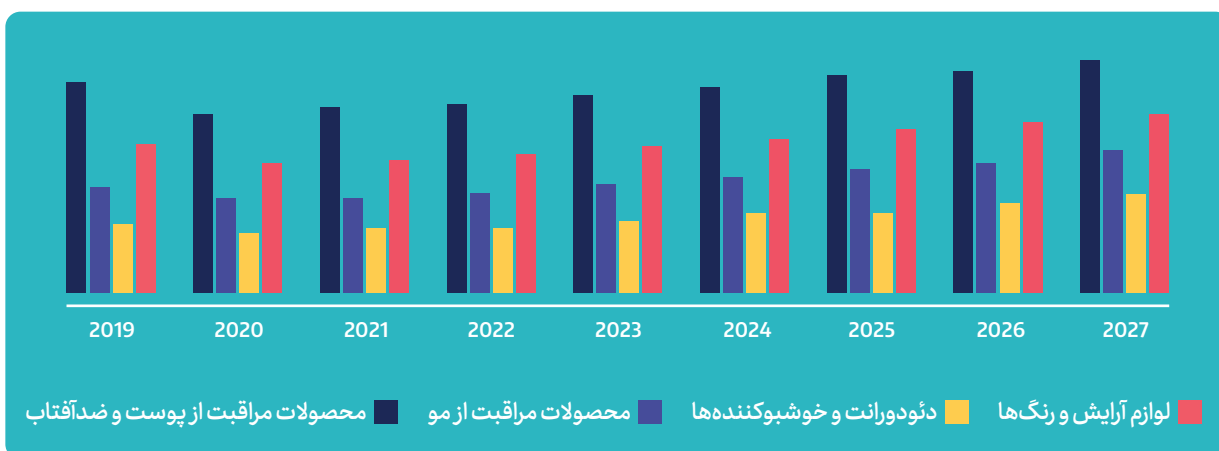


آرزو عبدالرحمانی - کارشناسی ارشد مهندسی نانومواد، کارشناس پلتفرم
نانومواد مرکز صنعتی‌سازی نانوفناوری کاربردی (ICAN)
ایمیل: a.abdolrahmany96@gmail.com
لینکدین: www.linkedin.com/in/arezoo-abdolrahmany-793b9ab1



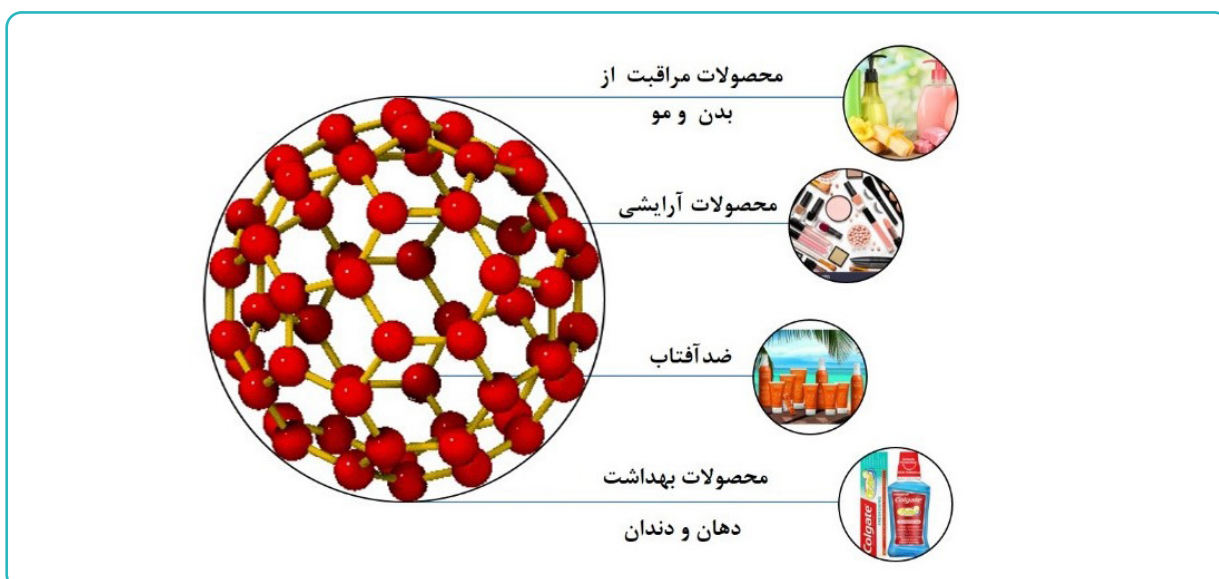
۱- مقدمه

از قرن‌ها پیش زنان و مردان از لوازم‌آرایشی برای زیبایی پوست خود استفاده می‌کردند. تنها با گذشت زمان سبک‌های آرایشی تغییر یافته است. به عنوان مثال در گذشته مردم به جای کرم‌های آماده از مواد طبیعی مانند عسل، روغن زیتون، پاپایا، میوه‌های له شده، تخم مرغ، خمیر برگ‌های مختلف گیاهان، آبلیمو، سبزیجات و... برای پوست خود استفاده می‌کردند. با صنعتی شدن و افزایش تقاضا به دلیل افزایش جمعیت، گیاهان برای اهداف مختلفی مانند الوار، محل سکونت و... قطع شدند و با کاهش مواد طبیعی، نیاز به ایجاد تحولی در صنعت آرایشی و بهداشتی به وجود آمد. صنعت لوازم‌آرایشی و بهداشتی در سال‌های اخیر به عنوان بازاری با قابلیت رشد بالا بسیار رونق یافته است. به طوری که از ۱۰۰۰ محصول ثبت شده در بازار جهانی، بیشتر از ۱۳٪ محصولات مرتبط با حوزه لوازم‌آرایشی و بهداشتی هستند. در سال ۲۰۱۷ بازار جهانی برای محصولات آرایشی و بهداشتی، ۵۳۲٫۴۳ میلیارد دلار بوده است و انتظار می‌رود با نرخ رشد ترکیبی سالانه ۷٫۱۴٪ از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ ارزش بازار به ۸۰۵٫۶۱ میلیارد دلار برسد.



شکل ۱- رشد بخش‌های مختلف در صنعت لوازم‌آرایش و بهداشتی تا سال ۲۰۲۷

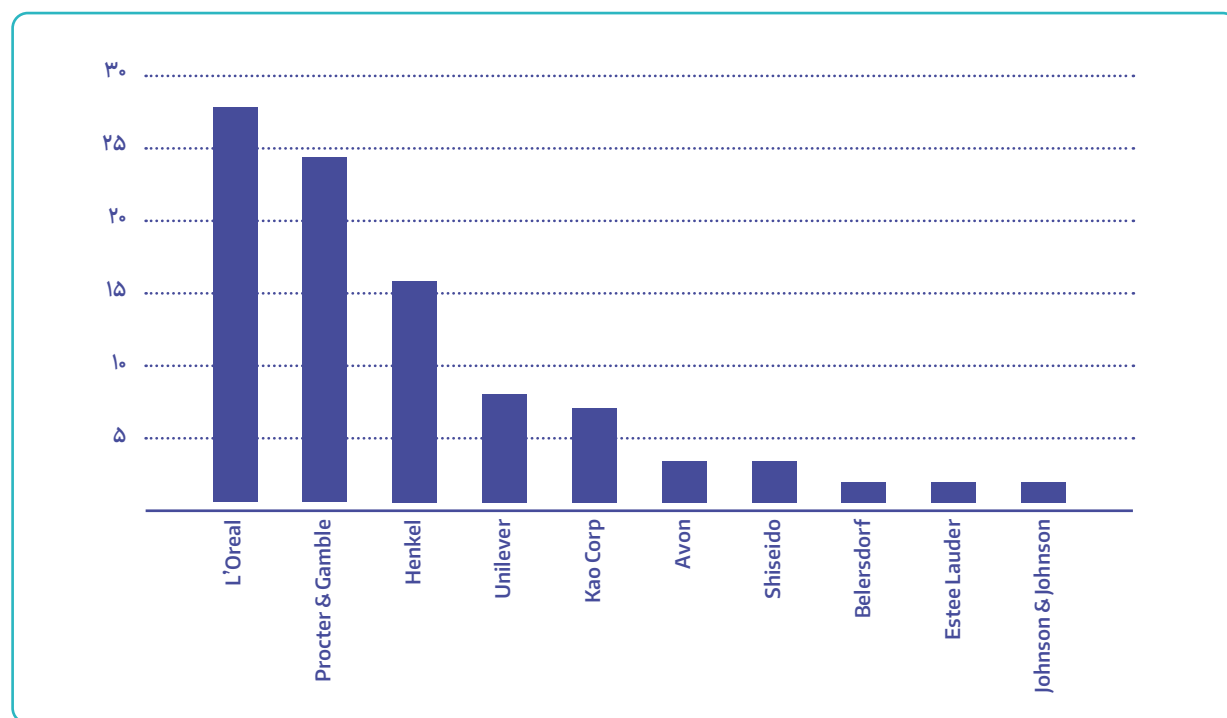
به علت اندازه کوچک و نسبت سطح به حجم بزرگ مواد نانومقیاس، استفاده از این مواد در صنعت لوازم‌آرایشی و بهداشتی افزایش یافته به طوری که میزان رشد صنعت لوازم‌آرایشی و بهداشتی ۱۵٪ و در زمینه محصولات مبتنی بر فناوری نانو ۱۶٫۶٪ است.



شکل ۲- کاربرد نانومواد در انواع محصولات آرایشی و بهداشتی

بیش از ۳۰ سال است که از مواد اولیه با بنیان نانومتری در صنعت آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود. در اتحادیه اروپا تعریف رسمی که برای نانومواد در صنایع آرایشی استفاده می‌شود عبارت است از: ماده‌ای نامحلول و زیست‌سازگار که به صورت مهندسی در یک یا چند بعد خارجی یا در یکی از ابعاد ساختار داخلی دارای اندازه‌ای بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. مواد نانومتری آرایشی در مقایسه با مواد در ابعاد میکرونی از مزایای منحصربه‌فردی برخوردار هستند. در صنعت آرایشی و بهداشتی از نانومواد با هدف تأثیرات طولانی‌مدت و پایداری بیشتر استفاده می‌شود. سطح جانبی زیاد در نانومواد منجر به انتقال مؤثرتر مواد اولیه موجود در لوازم آرایشی به پوست می‌شود. از اهداف اصلی استفاده از نانومواد در صنعت آرایشی و بهداشتی می‌توان به نفوذ مؤثر در پوست ناشی از انتقال بهینه مواد اولیه، رنگ‌ها (در محصولات نظیر رژ لب و لاک ناخن)، شفافیت (در محصولات نظیر کرم‌های ضدآفتاب) و اثرات بلندمدت (برای مثال در لوازم آرایش) اشاره کرد. هدف نهایی از استفاده از نانومواد در صنعت آرایشی رساندن مقدار کافی مواد مؤثر به بخش مشخصی از بدن و دستیابی به ثبات خواص در بلندمدت است. در حال حاضر از نانومواد بیشتر در محصولات محافظت از پوست به ویژه کرم‌های ضدآفتاب و به عنوان فیلتر پرتو فرابنفش استفاده می‌شود.

در سال ۱۹۸۶، Christian Dior کرم ضدپیری با نام تجاری Capture™ را بر مبنای فناوری لیپوزوم به بازار عرضه کرد. در حال حاضر، برندهای معتبر مختلف در صدها محصول آرایشی خود از نانومواد استفاده می‌کنند. L'Oreal S.A بخشی قابل توجهی از درآمدش را برای توسعه فناوری نانو سرمایه‌گذاری می‌کند و از نظر تعداد اختراعات ثبت شده در حوزه فناوری نانو در ایالات متحده رتبه ششم را به خود اختصاص داده است و در فرمولاسیون محصولات این شرکت از بیش از چهار ماده مؤثر نانومتری (نظیر TiO_2 ، Carbon black، Silica، ZnO) استفاده می‌شود.



شکل ۳- ده شرکت مطرح در زمینه لوازم آرایشی و تعداد پتنت‌های مرتبط با فناوری نانو این شرکت‌ها

یک محصول آرایشی نانومتری حاوی گوی‌های لیپید با اندازه ذرات ۱۰۰-۱۰ nm در سال ۱۹۹۱ در شرکت Shiseido ژاپن تولید شده و سپس توسط شرکت Lancôme در سال ۱۹۹۹ به‌روزرسانی شده است. هرچند برند Shiseido از نانوذرات TiO_2 و ZnO در فرمولاسیون‌های مرطوب (نظیر امولسیون‌ها) استفاده می‌کند، اما به دلیل خطر ورود نانوذرات به بدن از طریق تنفس، از این مواد در هواش‌ها استفاده نمی‌شود. به‌طور کلی صنایع آرایشی با شهرت جهانی به تدریج در حال اضافه کردن نانومواد به ترکیب محصولات خود هستند.



۲- نانوسامانه‌های مورد استفاده در محصولات آرایشی و بهداشتی

امروزه با کمک فناوری نانو این صنعت تکامل یافته و با محیط‌زیست نیز سازگار شده است. روش‌های مختلفی مانند اصلاح نانوحامل‌ها، پیشرفت در نانوپزشکی، استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها و برخی دیگر از روش‌های آماده‌سازی جدید در صنایع آرایشی و بهداشتی با آسیب کمتر به محیط‌زیست استفاده می‌شوند. در جدول ۱ مزایا و معایب روش‌های متداول تولید نانومواد ذکر شده است.

ردیف	روش	داروها	مزایا	معایب
۱	همگن‌سازی فشار بالا	Olanzapine	مقیاس پذیر، اقتصادی	فرایند پرانرژی که باعث ایجاد آسیب به مولکول‌های زیستی می‌شود
۲	همگن‌سازی داغ	Diazepam	قابل استفاده برای داروهای چربی دوست و نامحلول در دمای بالا و زمان کوتاه	بازده دام‌اندازی پایین برای داروهای آب دوست
۳	همگن‌سازی سرد	Vinorelbine-bi-tartrate	قابل کاربرد برای داروهای آب دوست و حساس به دما	اجتناب ناپذیری قرارگیری در برابر حرارت
۴	میکرومولسیون	Paclitaxel	ورودی انرژی مکانیکی پایین	حساس به تغییر و غلظت پایین نانوذرات
۵	اولتراسونیک	Insulin	مؤثر در مقیاس آزمایشگاهی برای کاهش تنش برشی	فرایند پرانرژی و پتانسیل بالا برای آلودگی فیزی

به برخی از مزایا و معایب استفاده از نانومواد در محصولات آرایشی و بهداشتی در ادامه اشاره شده است:

- قابلیت خشک کردن انجمادی (Lyophilized)
- قابلیت خشک کردن انجمادی برای تهیه پودر
- قابلیت استریلیزه با پرتو گاما و اتوکلاو
- بهبود حفاظت از پوست با یک ترکیب آلی

مزایا

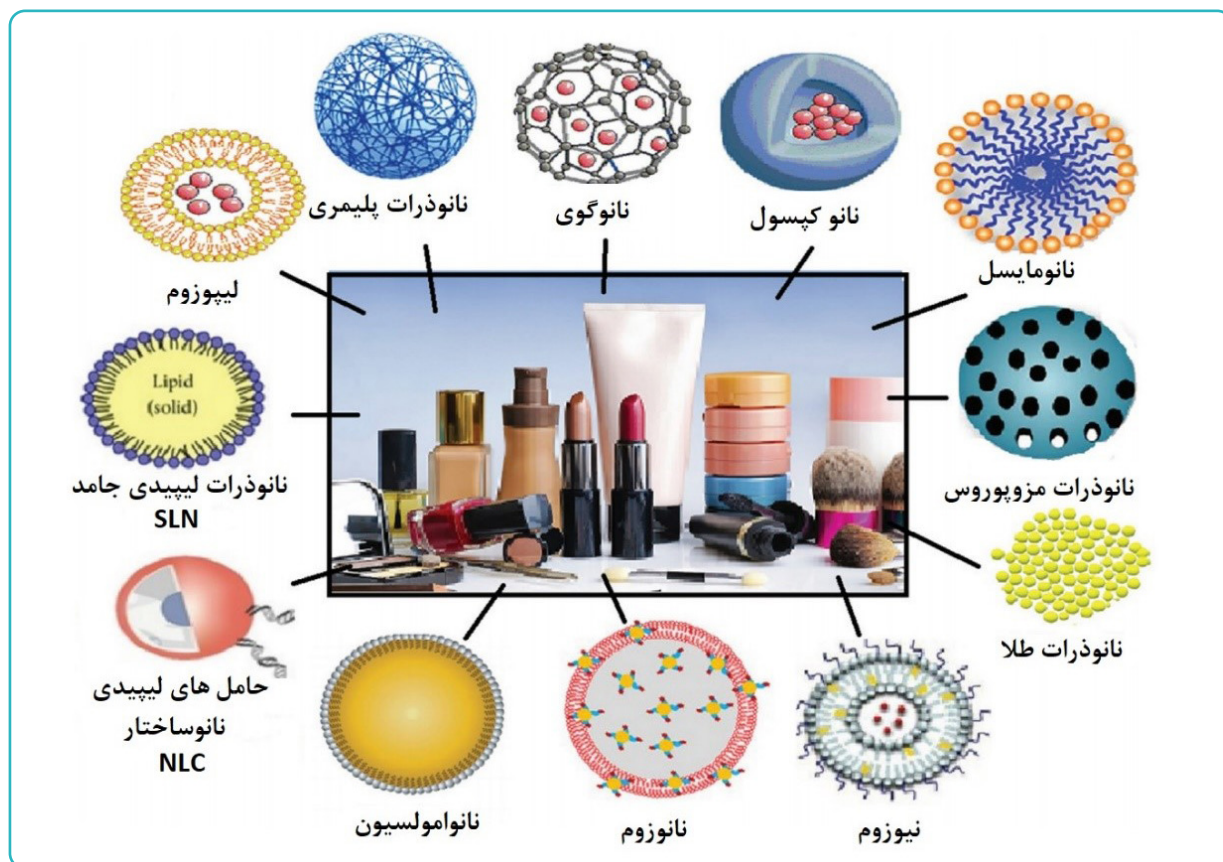


- ظرفیت پایین بارگذاری دارو
- محتوای زیاد آب در دیسپرسیون
- ظرفیت پایین بارگذاری داروهای آب دوست

معایب



در شکل زیر نانو سامانه‌های متداول در تولید محصولات آرایشی و بهداشتی نشان داده شده است.



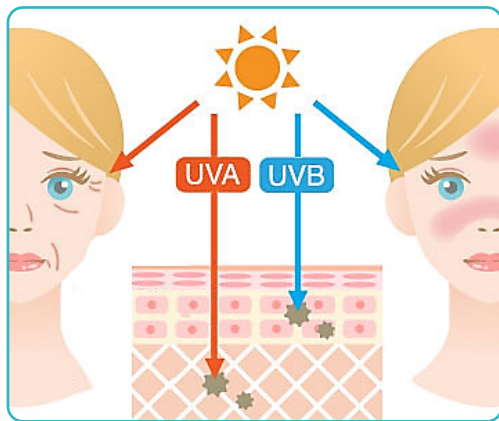
شکل ۴- مواد نانوساختار و نانوحامل‌های مورد استفاده در محصولات آرایشی و بهداشتی

نانوذرات

۱-۲

۱-۱-۲ نانوذرات معدنی

این گروه از ذرات، موادی غیرسمی، آب‌دوست، زیست سازگار بوده و در مقایسه با نانوذرات آلی از پایداری بالایی برخوردار هستند. وجه تمایز این مواد نسبت به سایر مواد این است که نانوذرات معدنی از عناصر معدنی نظیر نقره، طلا، تیتانیوم و... سنتز می‌شوند در حالی که مواد آلی از پلیمرها تهیه می‌شوند. دی‌اکسید تیتانیوم یکی از پرمصرف‌ترین نانومواد استفاده شده در ساخت کرم‌های ضدآفتاب به شمار می‌رود که در مقایسه با رنگدانه‌های TiO_2 از فاکتور محافظت در برابر خورشید (SPF) و همچنین شفافیت بیشتری برخوردار است. در بیشتر اوقات، زمانی که شرکت‌ها از TiO_2 یا ZnO در مقیاس نانومتری در محصولاتشان استفاده می‌کنند، کلمات نامرئی یا Sheer را برای بیان این خاصیت به کار می‌برند. از میکرو اکسیدروی یا میکرو دی‌اکسید تیتانیوم به دلیل قابلیت جذب پرتوهای UVA و UVB به عنوان مواد اولیه در تولید کرم‌های ضدآفتاب استفاده می‌شود. نانوذرات ZnO و TiO_2 با ابعاد حدود ۲۰ نانومتر به دلیل قابلیت دیسپرس شدن بهتر و در نتیجه ایجاد ظاهر مناسب در آرایش، در تولید فیلترهای پرتو فرابنفش در کرم‌های ضدآفتاب به کار برده می‌شوند.



شکل ۵- تأثیر پرتو UVA و UVB بر پوست انسان

برخلاف جاذب‌های UV، انواع مختلفی از نانوذرات مبتنی بر اکسیدهای معدنی مانند نانوذرات CeO_2 و ZnO ، TiO_2 ، ZrO_2 به علت قابلیت پراکندگی و انعکاس پرتوهای UV به عنوان فیلتر فیزیکی در آماده‌سازی کرم‌های ضدآفتاب استفاده می‌شوند. این مواد نانوساختار توانایی میرایی پرتوهای UV و در نتیجه افزایش توانایی مقاومت در برابر این پرتوها را دارند. نانوذرات CeO_2 می‌توانند مانند نانوذرات TiO_2 رفتار انسداد UV را داشته باشند؛ اما نمی‌توانند در حضور پرتوهای UV، مانند TiO_2 رادیکال‌های آزاد واکنشی تولید نمایند. در یک مطالعه CeO_2 دپ شده با کلسیم، غربالگری بهتری از پرتوهای کوتاه‌تر UV-A را نشان داده است. همچنین سریم فسفات و سریم-تیتانیوم پیروفسفات نیز به عنوان جایگزین‌های مؤثر برای نانوذرات ZnO و TiO_2 در فرمول ضدآفتاب هستند. با وجود گزارش مشکلات ایمنی ناشی از تنفس مقادیر زیاد نانوذرات ZnO ، استفاده از این نانوذرات به شکل‌های دیگر نظیر استفاده در محصولات پوستی همچون کرم‌های ضدآفتاب ایمن در نظر گرفته می‌شود، زیرا شواهدی مبنی بر نفوذ این ذرات از طریق لایه فوقانی پوست^۲ ایجاد خطر سمیت گزارش نشده است.

سیلیکا (SiO_2)

نانوذرات سیلیکا به دلیل دارا بودن خاصیت آب‌دوستی سطحی و همچنین هزینه تولید اندک مورد توجه صنایع آرایشی قرار گرفته‌اند. از این ذرات برای افزایش اثربخشی، بافت و همچنین ماندگاری محصولات آرایشی استفاده می‌شود و این ذرات میزان جذب را افزایش داده و به عنوان یک عامل ضدچسبندگی عمل می‌کنند. نانوذرات سیلیکا به بهبود ظاهری و توزیع رنگدانه در رژ لب کمک کرده و مانع مهاجرت رنگدانه‌ها به سمت خطوط ظریف لب می‌شود. این نانوذرات، نانودیسپرسیون‌های پایدار شده‌ای با ابعاد ۵ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که از قابلیت حمل مواد چربی‌دوست و آب‌دوست از طریق کپسوله کردن برخوردار هستند. نانوذرات سیلیکا در محصولات آرایشی و بهداشتی بدون نیاز به آب‌کشی^۳ و یا نیازمند آب‌کشی^۴ مورد استفاده برای مو، پوست، لب، صورت و ناخن به کار برده می‌شوند و پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش میزان استفاده از این نانوذرات در این محصولات است.

نانوذراتی مانند رس و سیلیس در فرمولاسیون آرایشی به عنوان غلظت‌دهنده افزوده می‌شوند. گزارش‌ها در خصوص ایمنی نانوذرات مبتنی بر سیلیس بحث برانگیز است و عواملی همچون اندازه و اصلاحات سطحی باید در هنگام ارزیابی سمیت این ذرات در نظر گرفته شوند؛ بنابراین، اعلام نظر قطعی در خصوص استفاده از نانوذرات سیلیکا در لوازم آرایشی هنوز امکان‌پذیر نبوده و آزمون‌های طولانی‌مدت برای بررسی اثرات استفاده از و مواجهه با این نانوذرات مورد نیاز است.

نانو کربن بلک

کربن بلک یا رنگینه CI 77266، یک ماده آرایشی شناخته شده است که معمولاً به عنوان رنگینه در محصولات آرایشی چشم و پوست همچون ریمل استفاده می‌شود. در حال حاضر استفاده از شکل نانومتری این رنگ در اتحادیه اروپا مجاز بوده و به عنوان یک ماده رنگ‌زا با حداکثر غلظت ۱۰٪ مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحقیقات انجام شده بر روی این ماده رنگ‌زا گویای آن است که در مقایسه با ذرات میکرومتری، نانوذرات تمایل بیشتری به ایجاد سمیت سلولی، التهاب داشته و واکنش بیگانه‌خواری^۵ در گویچه‌های سفید دستگاه ایمنی^۶ انسانی را تغییر می‌دهند. هنگامی که احتمال استنشاق وجود نداشته باشد، استفاده از آن در محصولات آرایشی در اتحادیه اروپا ایمن تلقی می‌شود.

۲-۱-۲ نانومواد آلی

Tris-Biphenyl Triazine یک فیلتر مؤثر و بسیار مقاوم در برابر نور است که این ماده را به عنوان گزینه منحصربه‌فردی برای تهیه کرم‌های ضدآفتاب تبدیل کرده است. ساختار نانویی این ماده به عنوان یک فیلتر فرابنفش با طیف گسترده عمل می‌کند و برای کرم‌های ضدآفتاب و محصولات مراقبت و جلوگیری از پیری پوست مناسب است. این ماده از پایداری نوری قابل توجهی برخوردار بوده و یک فیلتر UV مورد تأیید در اروپا به شمار می‌رود. BASF SE از این ماده با نام تجاری TINOSORB® A2B استفاده می‌کند.

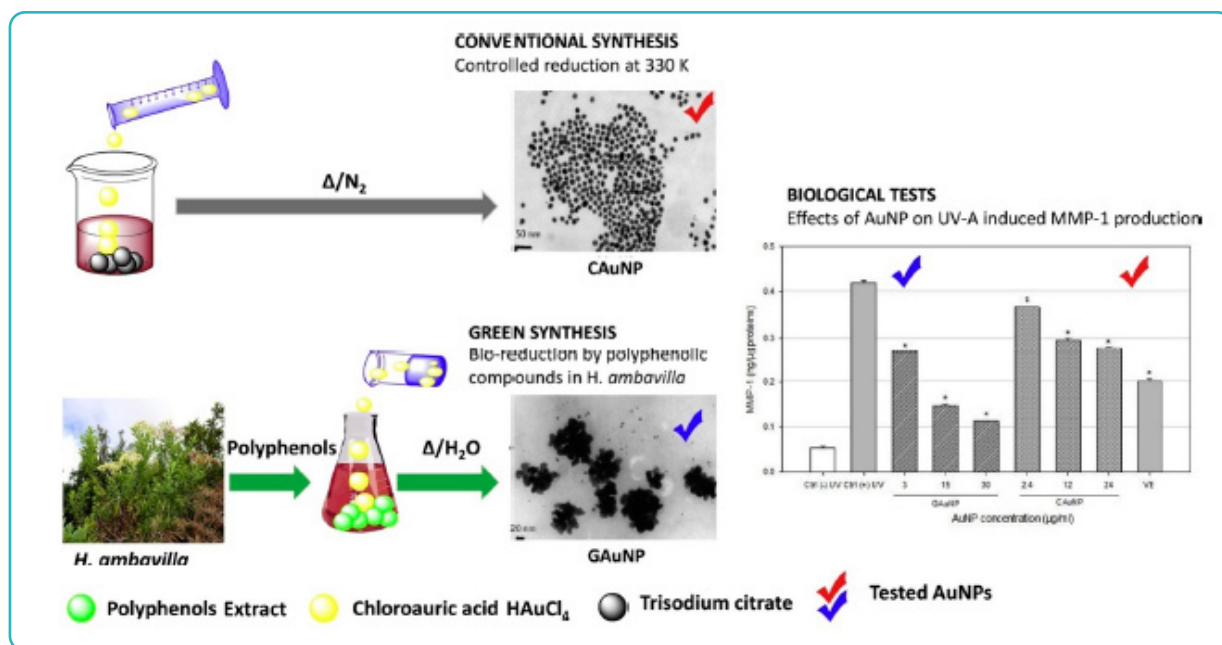
نانوماده Methylen bis-benzotriazolyl tetramethylbutylphenol یا به اختصار (MBBT) نیز یک فیلتر UV مجاز در بازار اتحادیه اروپاست و می‌توان از این ماده با حداکثر غلظت ۱۰٪ برای محصولات آرایشی و بهداشتی استفاده کرد. بر اساس نظر SCCS، MBBT در صورت استفاده روی پوست سالم، خطری برای انسان ایجاد نمی‌کند. با این حال SCCS نگرانی خود را در مورد اثرات احتمالی تحریک و ایجاد تجمعات زیستی احتمالی در بافت‌های خاص ابراز نموده است.

۰ نانوهیدروکسی آپاتیت

از نانوهیدروکسی آپاتیت در محصولات مراقبت از دهان و دندان به منظور درمان حساسیت دندانی و جایگزینی مواد معدنی از دست رفته لایه زیرسطحی مینا^۷ و همچنین در محصولات آرایشی استفاده می شود و به عنوان یک گزینه امیدوارکننده و ایمن برای محصولات مراقبت از دهان در نظر گرفته می شود. از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت در محصولات نظیر دهانشویه ها و خمیردندان و پودرهای پاک کننده دندان به دلیل خواص ذکر شده می توان به عنوان جایگزین فلوراید استفاده نمود.

۳-۱-۲- نانوذرات طلا و نقره

نانوذرات طلا و نقره علاوه بر کاربردهای متعددی که دارند، از خاصیت ضدباکتری و ضدقارچ نیز برخوردار هستند. از این نوع از نانوذرات در محصولات آرایشی همچون دئودورانت ها و کرم ها ضدپیری استفاده می شود. نانوذرات طلا دارای ابعاد ۴۰۰-۵۰ nm هستند و اشکال مختلفی مانند نانوپوسته، نانوکره، نانوستاره، نانومکعب، نانومیله، نانوخوشه، شاخه ای و نانومثلث دارند. فرکانس تشدید نانوذرات طلا به شدت تحت تأثیر اندازه، شکل، خصوصیات دی الکتریک و سایر شرایط محیطی قرار دارد. رنگ نانوگلد از قرمز تا بنفش، آبی و تقریباً سیاه به دلیل تجمع ذرات، متفاوت است. اخیراً حداد و همکارانش سنتز سبز نانوذرات طلا را گزارش کرده و فعالیت های آنتی اکسیدانی و محافظت پوستی آن ها را به عنوان یک ماده آرایشی ایمن ارزیابی کرده اند. در شکل زیر نحوه سنتز سبز نانوذرات نشان داده شده است.

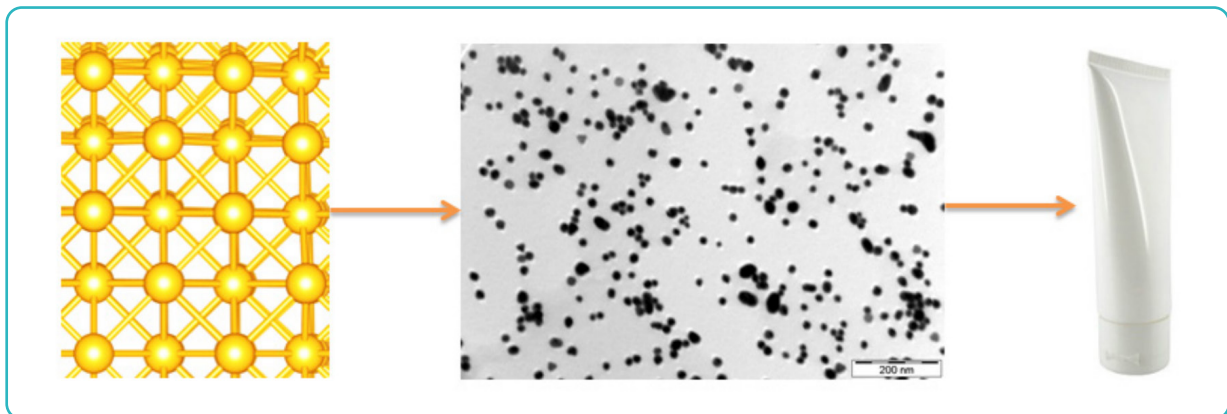


شکل ۶- سنتز سبز نانوذرات طلا و فعالیت های آنتی اکسیدانی و محافظت پوستی آن ها به عنوان یک ماده آرایشی ایمن.

بی اثر بودن، عدم سمیت سلولی، سازگاری زیستی و پایداری بالا از ویژگی های اصلی نانوذرات طلاست. همچنین دارای خواص ضدباکتریایی، ضدقارچی قوی، ضدالتهاب، تسریع دهنده جریان خون، کندسازی روند پیری، بهبود خاصیت ارتجاعی و استحکام پوست و انرژی بخشی به متابولیسم پوست هستند. این نانوذرات کاربردهای گسترده ای در محصولات آرایشی دارند که از جمله آن ها می توان به کرم های ضدپیری، پک های صورت، کرم، لوسیون و دئودورانت اشاره کرد.

در اروپا کمیته علمی ایمنی مصرف کننده، به دلیل فقدان اطلاعات کافی، هنوز برآورد قطعی از ایمنی نانوکلوئیدهای نقره هنگام استفاده در محصولات مراقبت از پوست و دهان و دندان ارائه نکرده است. در آمریکا، محصولات آرایشی نمی توانند ادعای خواص ضدباکتری داشته باشند، زیرا این ادعا بر اساس عملکرد فیزیولوژیکی است و بنابراین از این ادعا فقط می توان در محصولات دارویی استفاده کرد و در محصولات آرایشی امکان استفاده از ادعای داشتن ویژگی ضدباکتری مجاز نیست.

هرچند در منابع مختلف گزارش‌هایی مبنی بر خاصیت مهارکننده رشد میکروارگانیسم‌های متعدد توسط نانوذرات نقره وجود دارد و از نقره و ترکیباتش در کنترل رشد باکتری‌ها در موارد متعدد استفاده شده است، با این وجود استفاده از نقره در محصولات آرایشی به دلیل امکان رسوب تدریجی ترکیبات نقره در محلول‌ها و امولسیون‌ها هنوز تأیید نشده است. کوکورا و همکارانش استفاده از نانوذرات نقره را در لوازم آرایشی به عنوان نگه‌دارنده مورد بررسی قرار دادند و گزارش وی حاکی از آن است که نانوذرات نقره به مدت بیش از یک سال بدون ایجاد رسوب ثابت باقی می‌مانند. همچنین این نانوذرات از کارایی قابل قبولی در برابر باکتری‌ها و قارچ‌ها برخوردار بوده و به پوست انسان نفوذ نمی‌کنند. پولیت پروسیاک و همکارانش نیز کاربرد نانوذرات طلا و نقره را در فرمولاسیون لوازم آرایش مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که امتزاج نانوذرات طلا و نقره در ساختار یک کرم متفاوت است. نانوذرات نقره پس از اختلاط با ترکیب کرم به صورت توده درمی‌آیند، در صورتی که نانوذرات طلا توده نمی‌شوند. وی این پدیده را به میزان بیشتر پتانسیل الکتروکینتیکی موجود بر سطح نانوذرات طلا نسبت داد. بر اساس مدل مطالعه غشای پوستی، آن‌ها نگران نفوذ نانوذرات به داخل پوست در نمونه‌هایی با غلظت ۱۰۰-۲۰۰ میلی‌گرم از نانوذرات در هر کیلوگرم از محصول بودند. با توجه به ترکیب پیچیده کرم‌های آرایشی، مشخصه‌یابی نانوذرات طلا در محل، کار آسانی نیست. کائو و همکارانش یک دستورالعمل کاربردی شامل جداسازی، تعیین مقدار و مشخصه‌یابی نانوذرات طلا در کرم‌های آرایشی تجاری موجود در بازار ارائه کردند.



شکل ۲ - نانوذرات طلا در محصولات آرایشی

نانوحامل‌ها

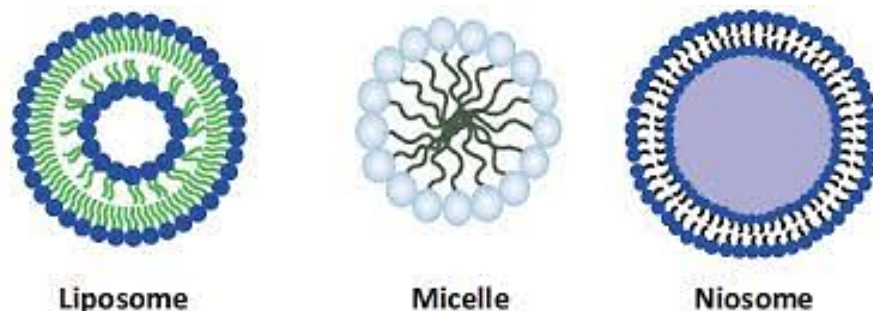
۲-۲

نانولیپوزوم‌ها

نانولیپوزوم‌ها ریزکیسه‌هایی^۸ دولایه و متحدالمرکزی هستند که در آن‌ها حجمی از آب توسط یک دولایه چربی فسفولیپیدی احاطه شده است. نانولیپوزوم‌ها زیست‌سازگار و زیست‌تخریب‌پذیر بوده و از این رو از جمله مواد بسیار جذاب برای استفاده در لوازم آرایشی به شمار می‌روند. از سامانه‌های لیپوزومی می‌توان به عنوان یک حامل و محافظت‌کننده از مواد مؤثری همچون ویتامین‌ها به منظور افزایش قابلیت نفوذپذیری در پوست با هدف رطوبت‌رسانی بهره گرفت. از نانولیپوزوم‌ها همچنین برای حمل مواد معطر در محصولات ضد تعریق، اسپری‌های خوشبوکننده بدن و رژ لب استفاده کرد. علی‌رغم ویژگی‌های جذاب، قابلیت اندک بارگذاری دارو، تکرارپذیری کم در تولید و ناپایداری فیزیکوشیمیایی از جمله محدودیت‌های این ساختارها در محصولات آرایشی تجاری بوده است. محصول پایه کرم از آن توسط شرکت Dior در سال ۱۹۸۶ تولید شده است. لیپوزوم‌ها ناپایدار هستند و باعث افزودن آنتی‌اکسیدان به محصول می‌شوند. لیپوزوم‌ها اولین کلاس نانوحامل‌ها هستند که در سال ۱۹۷۰ برای سیستم انتقال دارو توسعه یافتند.

نیوزوم

نیوزوم‌ها مشابه لیپوزوم هستند با این تفاوت که دارای هر دو سر آب‌دوست و آب‌گریز بوده و پایدار هستند. اولین محصول شرکت Lancôme حاوی نیوزوم‌ها توسط شرکت زیرمجموعه L'Oreal در سال ۱۹۸۷ تولید شده است.

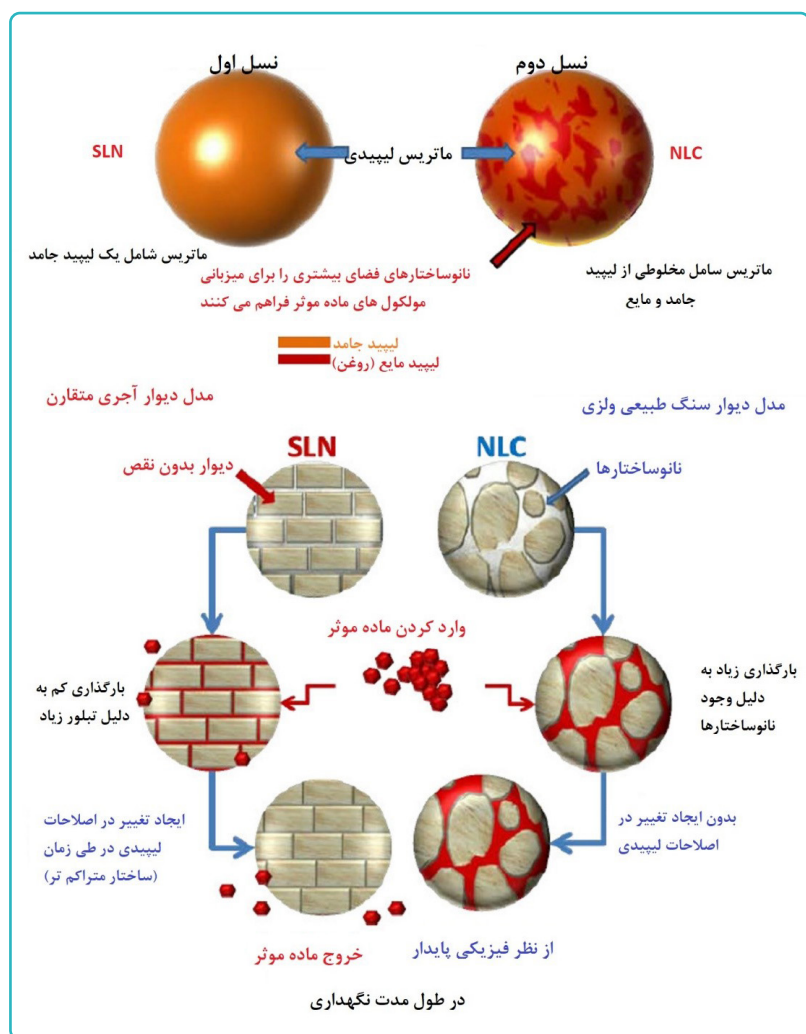


شکل ۸- تفاوت مایسل، لیپوزوم و نیوزوم

نانوذرات لیپیدی جامد (SLN) و نانوحامل‌های لیپیدی (NLC)

SLN‌ها به دلیل ترکیب ماتریس ذرات جامد با NLC‌ها متفاوت بوده و به عنوان یک سامانه حمل‌کننده جایگزینی برای لیپوزوم‌ها و امولسیون‌ها به شمار می‌روند. از SLN‌ها به دلیل مزایای متعدد نسبت به فرمولاسیون‌های رایج موجود، می‌توان به عنوان حاملی برای مواد مؤثر آب‌رسان پوست استفاده کرد. SLN‌ها از یک پوسته تک لایه و یک هسته روغنی

یا لیپیدی تشکیل می‌شوند. ابعاد کوچک SLN‌ها، تماس نزدیک با لایه شاخی پوست را تضمین می‌کند که این امر سبب نفوذ بیشتر مواد مؤثر به پوست می‌شود. این ساختارها به افزایش میزان آب در پوست کمک کرده و به عنوان یک مسدودکننده بالقوه پرتو فرابنفش^۹ عمل می‌کنند. نانوحامل‌های لیپیدی از قابلیت حمل بیشتر مواد مؤثر برخوردار هستند، در حالی که SLN‌ها پایداری شیمیایی را بهبود می‌دهند. قابلیت افزایش مقیاس در تولید NLC‌ها وجود دارد و به دلیل قابلیت نفوذپذیری در پوست، زیست‌سازگاری و پایداری قابل توجه، به عنوان حامل مواد مؤثر به کار برده می‌شوند. SLN و NLC دارای ویژگی‌های سودمند بسیاری از جمله دارورسانی هدفمند، رهایش کنترل شده مواد فعال، انسداد، افزایش‌دهنده نفوذ دارو و افزایش اثر آب‌رسانی به پوست برای کاربردهای گرمسیری لوازم آرایشی و دارویی هستند. علاوه بر این، نانوذرات لیپیدی می‌توانند پایداری شیمیایی ترکیباتی را که به نور، اکسیداسیون و هیدرولیز حساس هستند، افزایش دهند. از SLN‌ها و NLC‌ها در کرم‌های مرطوب‌کننده و ضدآفتاب استفاده می‌شود.



شکل ۹- تفاوت ساختاری و عملکردی SLN و NLC

○ نانوکپسول‌ها

نانوکپسول‌ها از هسته جامد/مایع تشکیل شده‌اند که در آن ماده فعال در حفره‌ای قرار می‌گیرد که توسط غشای پلیمری ساخته شده از پلیمرهای طبیعی یا مصنوعی محصور شده است. از این نانوساختارها در لوازم آرایشی به منظور محافظت از مواد مؤثر، کاهش بوی مواد شیمیایی و رفع مشکل ناسازگاری میان اجزای یک فرمولاسیون استفاده می‌شود. سوسپانسیون نانوکپسول‌های پلیمری را می‌توان به صورت مستقیم به عنوان یک محصول نهایی روی پوست استفاده کرد و یا آن‌ها را به عنوان یک جزء در فرمولاسیون‌های نیمه جامد مورد استفاده قرار داد. میزان نفوذ یک ماده مؤثر در پوست را بر اساس میزان پلیمر یا سطح فعال به کارگرفته شده در ساخت نانومولسیون، می‌توان تنظیم کرد. نانوکپسول‌های پلی‌لاکتیک اسید تثبیت شده با قطر تقریبی ۱۱۵ نانومتر حاوی مولکول‌های عطر که از طریق رسوب‌نشانی تهیه شده است را می‌توان برای حمل و رهایش پایدار مواد معطر استفاده کرد. این نوع محصورشدن مولکول‌ها در نانوکپسول‌های زیست‌سازگار می‌توانند نقش مهمی در محصولات خوشبوکننده آینده ایفا نمایند.

○ نانوگویی‌ها

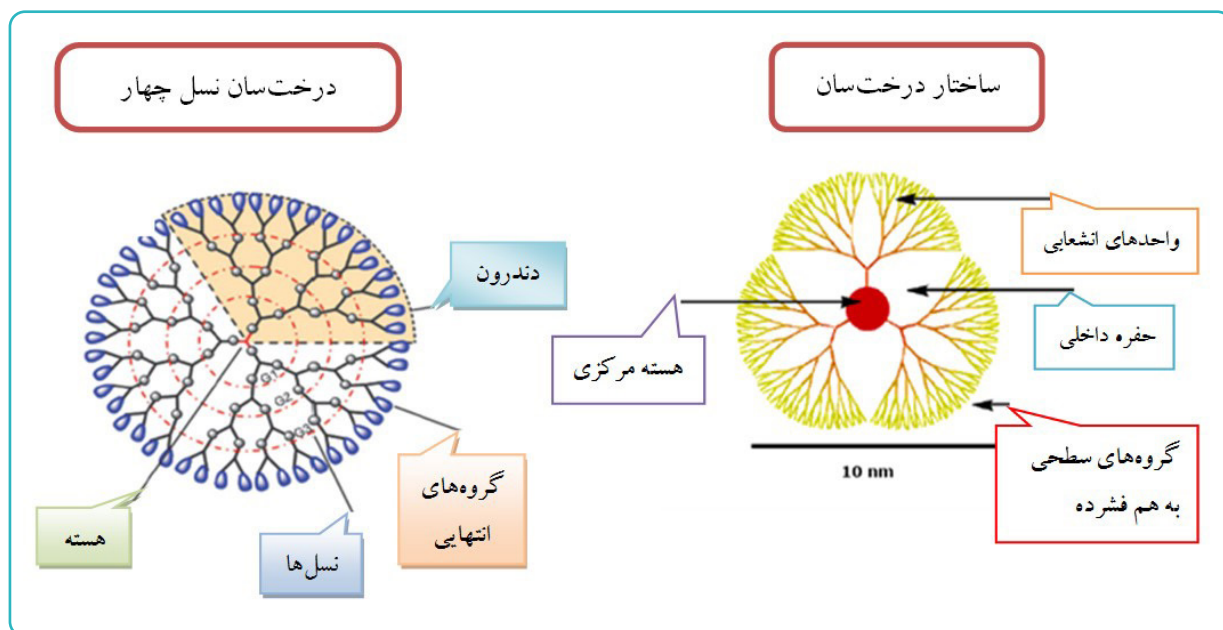
نانوگویی‌ها ذرات کروی از ماتریس‌های پلیمری با قطر $(10-200)$ nm هستند. این نانوحامل‌های کریستالی و یا بدون شکل به دو دسته زیست‌تخریب‌پذیر و زیست‌تخریب ناپذیر تقسیم می‌شوند. نانوگویی‌های زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه albumin, pristine، بر پایه نشاسته اصلاح شده و یا بر پایه ژلاتین هستند؛ درحالی که (poly(lactide-co-glycolic acid) (PLGA) در دسته نانوگویی‌های زیست‌تخریب ناپذیر قرار دارد. کاربرد نانوگویی‌ها در محصولات آرایشی مانند محصولات مراقبت از صورت و بدن به دلیل انتقال اجزای فعال به لایه عمقی پوست است که این موضوع به نوبه خود اثرات درمانی مطلوبی را به طور مؤثرتر و دقیق‌تر در ناحیه آسیب‌دیده پوست ایجاد می‌نماید. در محصولات مانند کرم‌های ضد چروک، ضد آکنه و مرطوب‌کننده از نانوگویی‌ها استفاده می‌شود. ایتو و همکارانش نانوگویی‌های (poly(lactide-co-glycolic acid) (PLGA) دارای ubiquinone (UQ) را طراحی نموده‌اند که دارای مزایایی مانند پایداری بالا، بازده بارگذاری بالا و رهایش آهسته دارو هستند.

○ نانوکریستال‌ها

ذراتی هستند که اندازه آن‌ها حداقل در یک بعد کمتر از 100 nm است و از اتم‌هایی با آرایش تک یا چند کریستالی تشکیل شده است که دارای فلاونوئید rutin^۱ به عنوان ماده فعال هستند. نانوکریستال‌ها دارای خواصی مانند افزایش‌دهنده نفوذ غشایی، افزایش چسبندگی و افزایش امکان ورود از دیواره دستگاه گوارش هستند و از آن‌ها برای کاربردهای موضعی استفاده می‌شود. برای مثال استفاده از نانوهایدروکسی آپاتیت در خمیردندان باعث جلوگیری از ایجاد آسیب به مینای دندان می‌شود.

○ دندریمرها (درخت‌سان‌ها)

دندریمرها ساختارهای کروی متشکل از یک هسته هستند که واحدهای متقارنی از آن ساخته شده‌اند و همین ساختار دلیل اصلی تنوع درخت‌سان‌ها به شمار می‌رود. درخت‌سان‌ها پلیمرهایی هستند که به دلیل پایداری‌شان به انتقال مواد از طریق پوست کمک می‌کنند. طیف گسترده‌ای از دندریمرها وجود دارند و خواص بیولوژیکی آن‌ها مانند چند ظرفیتی بودن، تک پراکندگی، حلالیت، سمیت سلولی پایین، پایداری شیمیایی، خود مونتاژی و برهم‌کنش الکترواستاتیک باعث شده که گزینه امیدوارکننده‌ای جهت استفاده به عنوان حامل دارو با انتخاب و دقت بالا باشند. از این ساختارهای پرشاخه در ساخت شامپوها و دئودورانت‌ها استفاده می‌شود. فعالیت سطحی شاخه‌های متقارن دندریمرها ناشی از خواص آب‌گریزی قسمت لبه آن‌هاست که با ویژگی آب‌دوستی هسته دندریمرها متفاوت است، خواصی از جمله قابلیت پراکندگی یکنواخت، چند ظرفیتی بودن و پایداری، آن‌ها را به گزینه‌ای مناسب برای انتقال دارو تبدیل کرده است. ساختارهای درخت‌سان به افزایش بارگذاری و نفوذ کلی رزوراترول^۲ کمک می‌کند که به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدپیری شهرت دارند و همین خواص منجر به افزایش مقیاس و تجاری‌سازی محصولات مبتنی بر دندریمرها شده است. به دلیل اندازه و چند دیواره بودن از آن‌ها در محصولات آرایشی مختلف مانند ریمل و لاک ناخن استفاده می‌شود. به دلیل خاصیت تشکیل فیلم جدید از آن، در سولاریوم و مراقبت از پوست و ناخن استفاده می‌شود. همچنین به عنوان عامل ضد آکنه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱۰- ساختار دندریمر (درخت سان)

این نانوساختارها در طیف وسیعی از محصولات آرایشی مانند ضدآفتاب‌ها، شامپوها، کرم‌های ضدآکنه و ژل‌های حالت‌دهنده مو استفاده می‌شوند. همچنین پتانسیل انتقال مؤثر مواد از طریق سد پوستی را نیز دارند. دندریمرهای پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر مانند poly alkyl cyanoacrylates و poly α - esters, polysaccharides, poly amidoamine می‌توانند به عنوان عامل کپسوله‌سازی برای محصولات مراقبت فردی و آرایشی استفاده شوند. ویسکوزیته ذاتی یکی از ویژگی‌های مهم دندریمرهاست که آن‌ها را جهت استفاده در فرمولاسیون مواد آرایشی مفید می‌نماید. بسیاری از شرکت‌های لوازم آرایشی مانند L'Oréal، cosmetic، Dow chemical و formulations پتنت‌های زیادی در زمینه استفاده از دندریمرها در فرمولاسیون مواد آرایشی و مراقبتی پوست، مو و ناخن دارند. به عنوان مثال شرکت L'Oreal از دندریمرهای پلی‌استر با گروه‌های عاملی هیدروکسیل همراه با پلیمرهای تشکیل‌دهنده فیلم در فرمولاسیون محصولات پوستی استفاده می‌نماید.

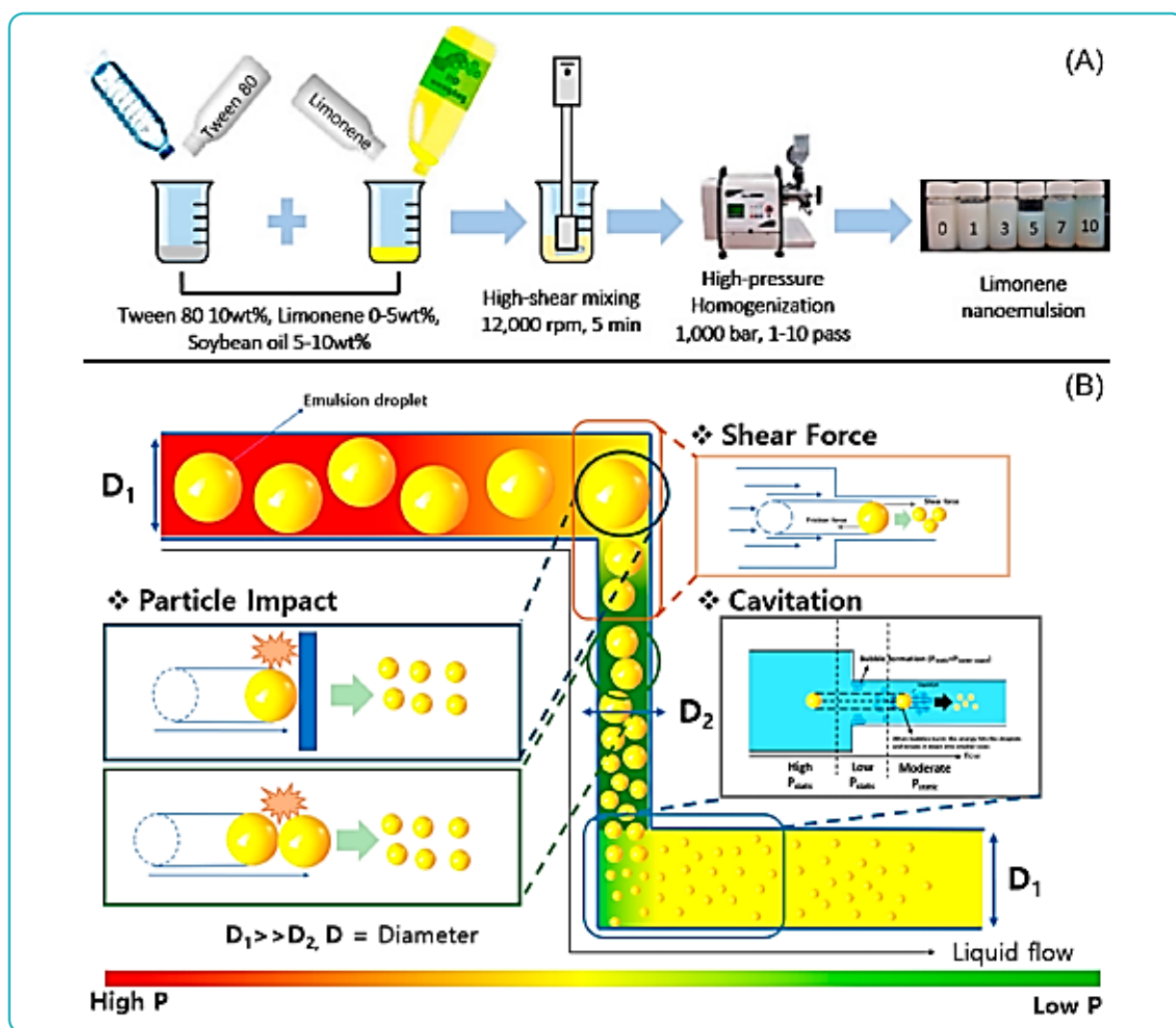
نانوامولسیون‌ها



شکل ۱۱- گیاه کاکتوس Opuntia ficus-indica (L.) Mill

نانوامولسیون‌ها معمولاً دیسپرسیون‌های کلوئیدی روغن در آب یا آب در روغن شامل قطراتی با قطر چند نانومتری تا ۲۰۰ نانومتری هستند. افزایش فعالیت‌های مبتنی بر حفاظت از ثبت اختراع در حوزه نانوامولسیون‌ها، نشان‌دهنده علاقه فزاینده صنعتی به این مقوله است. ابعاد کوچک قطرات می‌تواند سبب ایجاد خواص مطلوب نوری، پایداری، رئولوژیکی و انتقال مواد مؤثر شود و از این نظر نسبت به امولسیون‌های معمولی برتری دارند. یک نانوامولسیون روغن در آب حاوی عصاره هیدروکلیکولیک کاکتوس - Opuntia ficus-indica (L.) Mill از ویژگی پایداری حرارتی و مرطوب‌کنندگی برخوردار است.

نتایج حاکی از آن است که نانومولسیون آب در روغن حاوی ۱٪ از عصاره این گیاه تا ۲ ماه پایدار است. علاوه بر آن این فرمولاسیون قادر به افزایش محتوی آب در لایه شاخی پوست شده و از این رو دارای خاصیت مرطوب‌کنندگی است. موسازی و همکارانش نشان دادند که نانومولسیون‌ها می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر پروفایل نفوذپذیری مولکول‌ها ایفا کنند که تابعی از خواص فیزیکی-شیمیایی آن‌ها به شمار می‌رود و به‌ویژه نانومولسیون‌های روغن در آب در مقایسه با امولسیون‌های معمولی به طرز چشم‌گیری پروفایل نفوذ مواد مؤثر غیرقطبی را بهبود می‌بخشند. نمایی از نحوه آماده‌سازی نانومولسیون‌ها و پدیده‌های محفظه همگن‌سازی در شکل زیر نشان داده شده است. فازهای پراکنده در نانومولسیون‌ها از قطرات/ذرات با کشش سطحی آب/روغن پایین تشکیل شده‌اند. نانومولسیون‌ها دارای خواص مطلوبی از جمله ویسکوزیته پایین، پایداری کینتیکی و پتانسیل انحلال بالا هستند. از این خصوصیات جهت انتقال هدفمند و تسریع در جذب پوستی عناصر فعال در برخی محصولات آرایشی و بهداشتی مانند ضدآفتاب، دئودورانت، لوسیون، نرم‌کننده، شامپو و سرم‌های مو استفاده می‌شود. مهم‌ترین مزایای استفاده از نانومولسیون‌ها در محصولات آرایشی و بهداشتی کوچک بودن اندازه قطرات آن‌ها و همچنین جذب سریع عناصر فعال از طریق پوست، قابلیت انسداد قوی جهت حفظ رطوبت پوست، میزان سیالیت بالا بدون استفاده از کرم، ظاهر بصری (شفاف تا نیمه کدر) و پوشش براق روی پوست است. شرکت sinerga مخلوطی از امولسیون‌کننده‌ها به اصطلاح Nanocream را تولید کرده است که امکان تهیه نانومولسیون‌های روغن در آب را فراهم می‌کند. این محصولات در دستمال مرطوب، امولسیون‌های سوپر سیال (بیش از حد مایع) و امولسیون‌های قابل اسپری مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱۲- تصویری ساده از آماده‌سازی نانومولسیون (A) و پدیده‌ها در محفظه همگن‌سازی (B)

• نانولوله‌ها

نانومواد کربنی به خصوص نانومواد پایه گرافن پتانسیل بالایی جهت استفاده در رنگ مو دارند. ادغام بیوپلیمرهای مختلف (مانند کیتوسان و گرافن) رنگ نانوفرمولاسیونی را ایجاد می‌کنند که در برابر شامپوهای مختلف مقاومت بالایی دارند.

نانولوله‌های کربنی از گرافن‌های لول شده استوانه‌ای با هیبریداسیون SP^2 تشکیل شده‌اند. بسیار سبک بوده و دارای ابعاد کوچکی هستند و به سه دسته نانولوله کربنی تک جداره، دوجداره و چندجداره تقسیم می‌شوند. علاوه بر نانولوله‌های کربنی تعدادی از سایر نانولوله‌ها مانند نانولوله‌های سیلیکا، هالوسیت رسی، نیکل و انادات و نیتريد بور به دلیل داشتن فرایند آبی غیرسمی برای استفاده در فرمولاسیون‌های مراقبت از مو مناسب هستند.

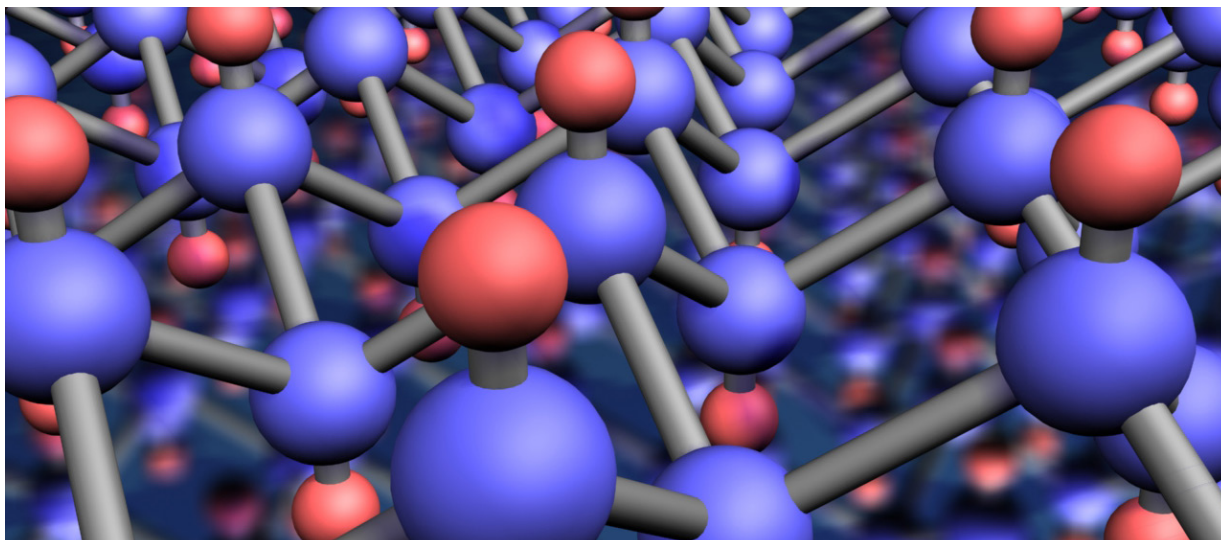
• سایر مواد

نانوذرات مورد استفاده در صنایع آرایشی را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد:

- نانوذرات زیست تخریب پذیر همچون لیپوزوم‌ها و کیتوسان
- نانوذرات زیست تخریب ناپذیر همچون پلی استایرن، اکسیدروی و نانوذرات پایه سیلیس

کیتین و مشتقات داستیله شده کیتین همچون کیتوسان به دلیل ویژگی‌های فنی و بیولوژیکی منحصر به فرد مورد توجه صنایع آرایشی و بهداشتی قرار دارند.

نانوفیبریل کیتین نمونه‌ای از نانوکریستالی است که از اسکلت خارجی سخت پوستان به دست می‌آید و با وجودی که بخش‌های پروتئینی و کربنات این ماده حذف شده است، کماکان به استفاده از آن بی خطر است. نانوفیبریل کیتین موجود در امولسیون‌ها می‌تواند سبب ایجاد یک فیلم مولکولی مرطوب شود که تبخیر آب از پوست را کند کرده و منجر به آبرسانی به پوست می‌شود.



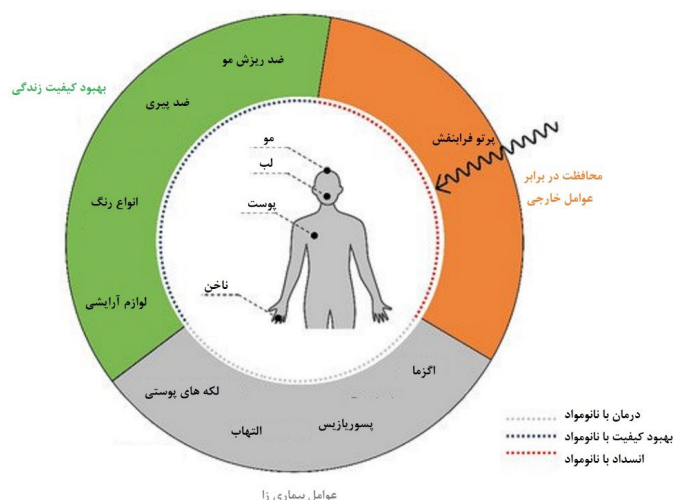
۳- محصولات آرایشی و بهداشتی مبتنی بر نانومواد

○ نانوپاک‌کننده‌ها

پوست با لایه نازکی از هیدرولپید پوشیده شده است که حاوی بقایای سلولی غدد اکرین، چربی و آپوکرین است. اگر این مواد پاک نشوند، احتمال رشد باکتری و ایجاد آکنه وجود دارد. با این حال، در بازار پاک‌کننده‌های پوست، از مقیاس ماکرو تا نانومتر در دسترس هستند. در این میان پاک‌کننده‌های نانو بسیار مؤثر هستند. به تازگی، پاک‌کننده‌هایی با لوریک اسید لیپوزومی نانومقیاس (۱۱۳ نانومتر) تولید شده است که برای پوست بسیار مناسب است و با استفاده مداوم از آن پوست تازه و بدون آکنه می‌شود.

○ محصولات مراقبت از ناخن نانو

مراقبت از ناخن نانو، از محصولات جدید آرایشی و بهداشتی است که در بازار عرضه می‌شود. این محصولات بسیار بهتر از محصولات معمول و مرسوم ناخن هستند که نه تنها زیبایی و ظرافت را به ارمغان می‌آورند بلکه ناخن‌ها را نیز تقویت می‌کنند. نانوذرات موجود در این محصولات به آن‌ها رنگ می‌دهد، هیچ‌گونه عارضه جانبی ندارد و باعث می‌شود ناخن‌ها به خوبی رشد کنند. این ترکیبات فعال زیستی از گیاهانی غنی از رنگ، مانند کاروتن (نارنجی)، کلروفیل (سبز)، کورکومین (زرد)، لیکوپن e (نارنجی مایل به قرمز)، آنتوسیانین (قرمز / بنفش) و آناتو (زرد / نارنجی) تولید می‌شوند.



شکل ۱۳- انواع محصولات آرایشی و بهداشتی مبتنی بر نانومواد



محصولات مراقبت از لب نانو

لب نیز همانند سایر ارگان‌های بدن، دارای دو بخش بیرونی و درونی است؛ اما برعکس سایر قسمت‌های پوست، بخش درونی یا میانی آن هیچ‌گونه غده عرق ندارد؛ به عبارت دیگر، این بخش به‌طور مستقیم تحت تأثیر شرایط محیطی دچار آسیب‌دیدگی می‌شود. لب‌ها به دلیل نداشتن غدد چربی، خیلی زود خشک شده و ترک می‌خورند؛ به همین دلیل باید مرتب آن‌ها را مرطوب و چرب کرد. با این حال، برخی از محصولات مراقبت لب نانو وجود دارد که حفاظت از لب‌ها را افزایش می‌دهد. اغلب ترکیبات فعال زیستی مورد استفاده در محصولات آرایشی و بهداشتی مراقبت از لب، در سطح ماکرو و میکرو، مانند روغن نارگیل، کورکومین و... است؛ اما اخیراً از گیاه بتالاین (betalain) و گونه درخت آناتو (Bixa orellana) برای تولید ترکیبات فعال زیستی نانومقیاس که باعث ایجاد رنگ در محصولات مراقبت از لب می‌شود، استفاده شده است.

محصولات مراقبت از مو نانو

ریزش مو در مردان روندی بسیار رایج است. محصولاتی برای جلوگیری از این روند ساخته شده‌اند. ریزش مو بر اعتماد به نفس و شخصیت افراد تأثیر می‌گذارد. محصولات زیست‌فعال که به‌صورت مواد مغذی برای مو عمل می‌کنند باعث کاهش یا توقف ریزش مو می‌شوند. به‌تازگی از مواد فیتوشیمیایی موجود در برنج و کنگر فرنگی (artichokes) برای افزایش رشد مو استفاده می‌شود. در صورت استفاده از روش دارورسانی لیپیدی که در آن (نانوذرات) ماینوکسیدیل نیز ترکیب شود، آسیب رسیدن به فولیکول‌های مو متوقف شده و مو از اشعه فرابنفش در امان می‌ماند و می‌تواند از ریزش مو جلوگیری کند.

چای سبز نانو

چای سبز حاوی آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند کاتچین، اپی‌گالوکتشین و اپی‌کاتچین و... است که برای سلامتی و پوست انسان نیز بسیار مفید هستند. با این حال، محیط خارجی این آنتی‌اکسیدان‌ها را محدود کرده و باعث می‌شود نتایج شگفت‌آور خود را نشان ندهند. لیپوزوم‌های کاتچین چای سبز با نانوذراتی از ۱۳۰ تا ۲۶۸ نانومتر تشکیل شده است که بسیار مفید هستند زیرا اثر آن‌ها طولانی‌مدت و ماندگار است.

نانو رسوراترول

رسوراترول (Resveratrol) یک ترکیب پلی‌فنولیک است که مزایای بسیاری دارد، نقش اصلی رسوراترول دفع رادیکال‌های آزاد و حفاظت از پوست است. رسوراترول بسیار مفید است اما محدودیت آن این است که به راحتی تحت شرایط سخت محیطی تجزیه می‌شود. این محدودیت می‌تواند با استفاده از نانوامولسیون‌ها و ترانسفرزوم‌ها برطرف شود. این امر پایداری رسوراترول را افزایش داده و سیب می‌شود عملکرد خود را بسیار خوب انجام دهد.

نانو کوئرستین

کوئرستین (Quercetin) ترکیب فلاونوئید (flavonoid) گیاهی فعال است که برای پوست بسیار مفید است و در بسیاری از گیاهان، میوه‌ها و سبزیجات یافت می‌شود. این ترکیب به دلیل وجود گروه‌های فراوان OH، نسبت به سایر ترکیبات فلاونوئید مزیت دارد. با این حال، نقطه ضعف اصلی کوئرستین ناتوانی آن در نفوذ است که با اتصال ذرات آن به نانوذرات جامد چربی برطرف می‌شود؛ بنابراین کوئرستین می‌تواند به راحتی نفوذ کند و عملکرد خود را به نمایش بگذارد.



۴- ملاحظات ایمنی

فرمولاسیون مبتنی بر فناوری نانو می‌تواند مزایای زیادی برای محصولات آرایشی و بهداشتی داشته باشد؛ اما در طول روند توسعه ممکن است چالش‌هایی ایجاد شود. برای ایجاد یک محصول قابل اعتماد، مؤثر و تجدیدپذیر، بهتر است تجزیه و تحلیل پارامترهای چندگانه صورت گیرد. به منظور ارزیابی احتمال خطر نانوذرات مورد استفاده در محصولات نانو، باید به موارد زیر توجه کرد؛

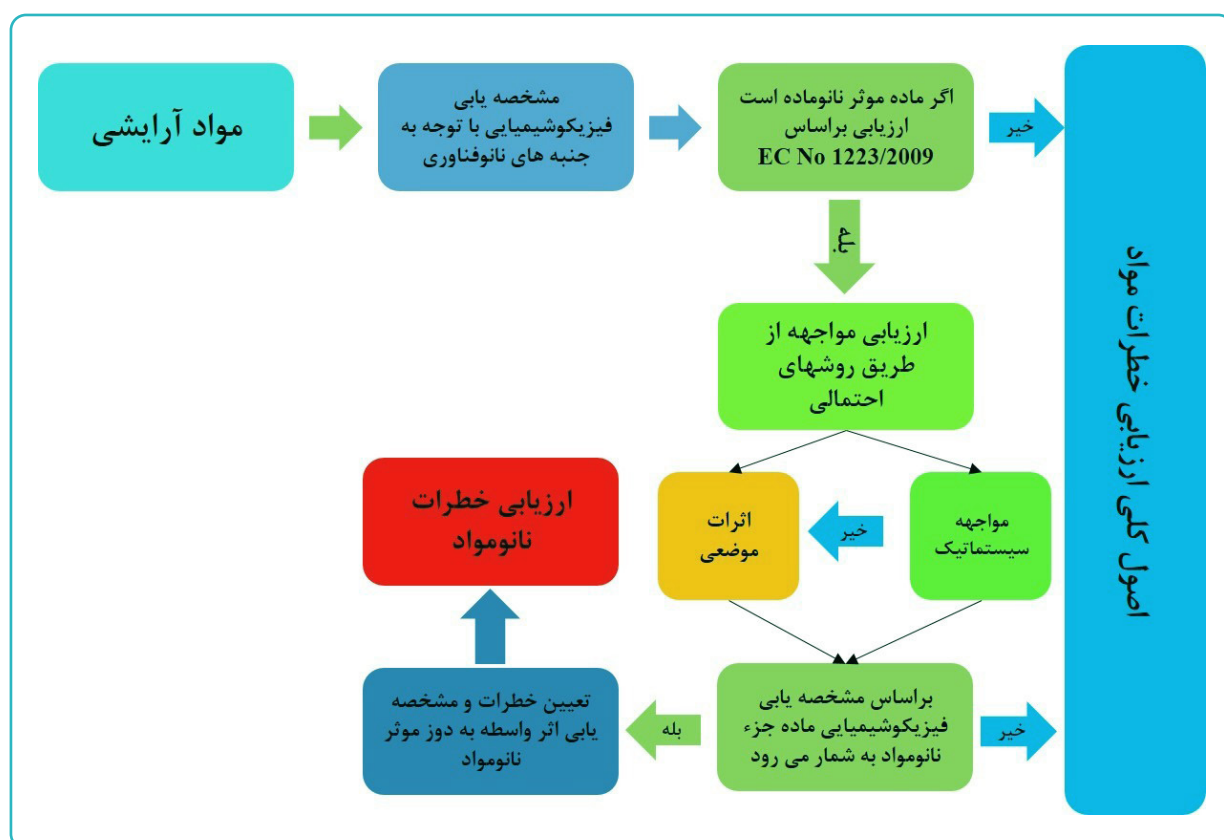
- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نانوذرات برای بررسی رفتار آن در چرخه حیات تعیین شود.
- واکنش دوز و اثرات آن بر روی بدن انسان به دقت بررسی و شناسایی شود.
- مطالعات آزمایشگاهی برای انتخاب انواع سلول‌های مرتبط و مدل‌های سلولی که نشان‌دهنده مسیر قرار گرفتن در معرض انسان است، مهم هستند.
- ارزیابی دوره زمانی نیز برای نشان دادن مواجهه حاد و مزمن از اهمیت بسیاری برخوردار است.
- برای بهبود تفسیر نتایج سم‌شناسی از کنترل‌های معیار مناسب استفاده شود.

سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان‌های غیردولتی، سازمان‌ها و نهادهای سیاسی توجه زیادی نسبت به ایمنی نانومواد و استفاده از آن‌ها در محصولات مصرفی از خود نشان می‌دهند. در حال حاضر کمیسیون اروپایی (EC)، راهنمای ارزیابی ایمنی نانومواد در لوازم آرایشی را به‌روز کرده و سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) نیز راهنمای خود را برای کاربرد فناوری نانو در محصولات صنعتی ایجاد کرده است. در اروپا داده‌های سم‌شناسی آتی برای شناسایی خطرات نانومواد، به دلیل ممنوعیت از سوی EC نباید شامل تست حیوانی باشد. مقررات آرایشی شماره 1223/2009 و روش‌های جایگزین همچون مطالعات برون‌تنی^{۱۳} برای ارزیابی ایمنی باید مورد استفاده قرار گیرد.

در اوایل سال ۲۰۲۰، مؤسسه پایش نانومواد در اتحادیه اروپا (EUON) اعلام کرد که همه شرکت‌هایی که مواد در شکل نانو استفاده، تولید یا وارد می‌کنند، باید از استاندارد ثبت REACH برخوردار باشند. (استاندارد REACH مقررات اتحادیه اروپا و مخفف واژگان ثبت نام، ارزیابی، مجوز و محدودیت مواد شیمیایی^{۱۴} است). هدف از این مقررات این است که شرکت‌ها به مشتریان محصولاتشان اطلاعات کافی در خصوص ایمنی محصولات ارائه نمایند. این قانون برای همه شکل‌های مختلف از نانومواد در محدوده REACH صدق می‌کند. نانومواد که در محدوده REACH قرار بگیرند و ثبت نشده باشند، غیرقانونی تلقی می‌شوند. بر اساس کاتالوگ اخیر نانومواد، کمیسیون اروپا از کمیته علمی ایمنی مصرف‌کننده (SCCS)^{۱۴} درخواست کرده است که فهرست اولویت نانومواد مورد استفاده در لوازم آرایشی را به منظور ارزیابی خطرات ارائه نمایند. نانومواد در لوازم آرایشی و بهداشتی می‌توانند عملکردهای مختلفی نظیر فیلترهای UVA و UVB در کرم‌های ضدآفتاب و یا نانوکپدارنده داشته باشند. ویژگی‌های منحصربه‌فرد هریک از نانومواد ممکن است منجر به خاصیت/عملکرد مطلوبی در محصول شود و در عین حال برای مصرف‌کننده خطری ایجاد نماید. با در نظر گرفتن این موضوع، ارزیابی استاندارد ایمنی تمام نانومواد شامل آزمون‌های که به شاخصه‌های نانومتری آن‌ها مربوط می‌شود (همچون نفوذ به لایه‌های

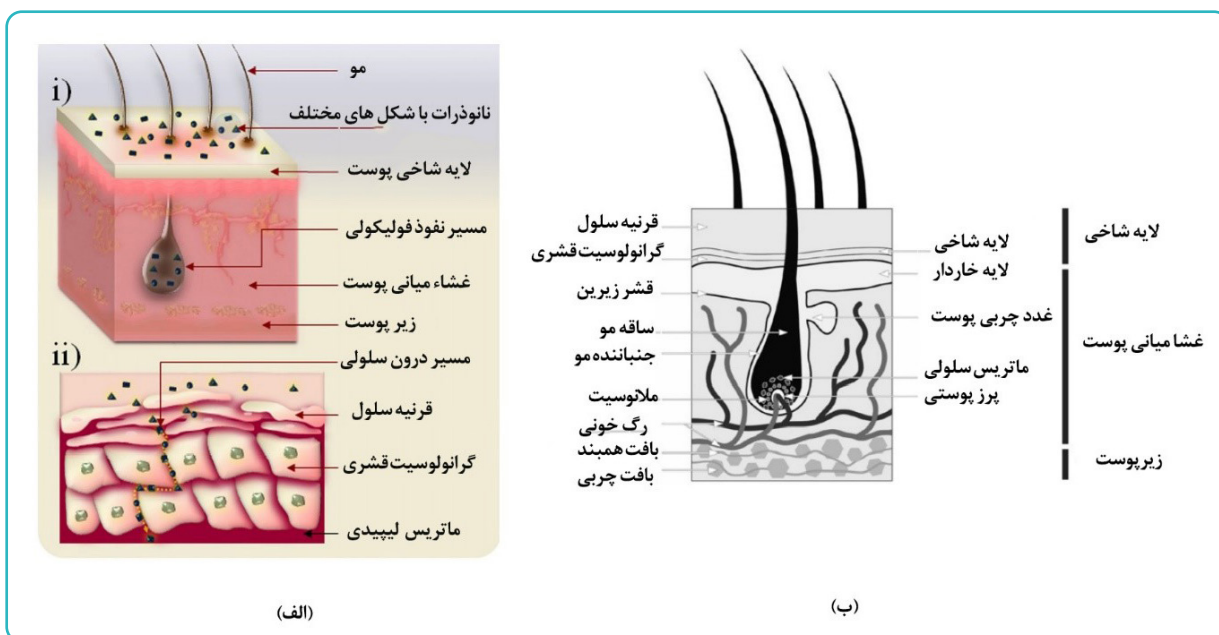
مختلف پوست ناشی از ابعاد ریز و همچنین آزمایش‌های استنشاقی در مورد محصولات پودری و افشانه‌ای ضروری است. از نظر FDA، برخی از نکات کلیدی همچون ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، تجمع‌پذیری و توزیع اندازه نانوذرات، مورفولوژی، انحلال‌پذیری، چگالی، تخلخل، پایداری و وجود ناخالصی باید در ارزیابی ایمنی لحاظ شوند. همچنین مسیرهای احتمالی قرار گرفتن در معرض نانومواد و داده‌های سمیت حاصل از آزمون‌های برون‌تنی و درون‌تنی از جمله میزان نفوذ در پوست و استنشاق احتمالی، سمیت ژنتیکی و ایجاد تحریکات احتمالی بر پوست یا چشم باید بررسی شوند.

ارزیابی اثرات روبه‌رویی با نانومواد با روشی مشابه با مواد غیرنانویی، اما با تمرکز ویژه بر جنبه‌های نانو انجام می‌شود، در شکل زیر طرح کلی ارزیابی ایمنی محصولات آرایشی دارای نانومواد نشان داده شده است. در اروپا، نانومواد وجود دارند که کمیته ارزیابی سلامت مصرف‌کنندگان در مورد آن‌ها نظرات قطعی اعلام کرده است. نانوساختارهایی همچون نانوکلوئید نقره، نانوکوپلیمر استایرن/اکریلات و نانوکوپلیمر سدیم استایرن/اکریلات و سیلیکا، سیلیکای هیدراته، نانوسیلیکای اصلاح سطحی شده با الکیل سیلیلات‌ها. به همین دلیل کمیته اروپا درخواست کرد که کمیته علمی ایمنی مصرف‌کننده باید خطرات احتمالی را ارزیابی و شناسایی نماید. عدم نتیجه‌گیری ناشی از فقدان اطلاعات کافی از جانب مصرف‌کنندگان است.



شکل ۱۴- طرح‌واره ارزیابی ایمنی نانومواد مورد استفاده در لوازم آرایشی بر اساس دستورالعمل SCCS/1611/19 - اکتبر ۲۰۱۹

یکی از مهم‌ترین جنبه‌هایی که باید موردتوجه قرار گیرد، روش‌های رویارویی با نانومواد است. تماس پوستی و لایه شاخی پوست راه اصلی قرار گرفتن در معرض نانومواد به شمار می‌رود. هنوز برخی عدم قطعیت‌ها در خصوص احتمال نفوذ نانومواد از طریق لایه شاخی پوست به لایه‌های دیگر پوست که خطر سمیت در آن‌ها حائز اهمیت است وجود دارد. در شکل ۱۵ طرح‌واره‌ای از ساختار پوست انسان نشان داده شده است. هرچند نانومواد بسیار کوچک هستند ولی هنوز در مقایسه با مولکول‌های شناخته شده که در پوست نفوذ می‌کنند، از وزن مولکولی بسیار بیشتری برخوردار هستند.



شکل ۱۵- راه های نفوذ به پوست. (الف) نانومواد (ii) از طریق فولیکول مو و از طریق (iii) منافذ میان قرنیه های سلولی وارد پوست می شوند. (ب) طرحواره ساختار پوست انسان.

آزمون های بیشتر برای هر نانوماده که در مواد آرایشی استفاده می شود باید انجام شود. به دلیل احتمال نفوذ از راه تنفس، توجه بیشتری در خصوص ارزیابی ایمنی افشانه ها و هواشل هایی که حاوی نانومواد هستند باید به کار گرفته شود. راهنمای SCCS/18/1602 کمیته علمی ایمنی مصرف کننده، شامل فهرست کاملی از پارامترهای مورد نیاز برای چگونگی مواجهه با مواد مختلف است. در خصوص نانومواد علاوه بر غلظت وزنی نانومواد، غلظت باید از نظر تعداد نانونذرات و مساحت سطحی نیز بررسی شود. همچنین تغییرات در میزان تجمع و یا تجزیه / انحلال نانومواد در هنگام رویارویی با انسان نیز باید در نظر گرفته شود. به جز تماس پوستی، تماس از طریق دهان، در خصوص نانومواد مورد استفاده در خمیر دندان ها یا دهان شویه ها و رژ لب نیز باید بررسی شود.



۵- مقررات

در اتحادیه اروپا، ضوابط نظارتی برای محصولات آرایشی در آیین نامه با شماره 1223/2009 مشخص شده است. بر اساس این چارچوب، فهرستی از تمام نانومواد که در لوازم آرایشی استفاده می شود باید در اختیار مصرف کنندگان قرار گیرد. آخرین نسخه به روز شده شامل ۲۹ نانوماده است. این کاتالوگ برای اطلاع مصرف کنندگان است و لزوماً به این معنا نیست که محصولات ذکر شده در آن دارای مجوز بوده و مورد تأیید هستند. در اکتبر ۲۰۱۹، اتحادیه اروپا دستورالعمل موجود برای نانومواد در لوازم آرایشی را بر اساس دستورالعمل کمیته فنی SCCS مبنی بر ارزیابی ایمنی نانومواد در لوازم آرایشی (SCCS/1611/19) به روزرسانی کرده است. SCCS راهنمایی را از سوی صنایع برای مقامات دولتی ارائه می دهد تا از اجرای آیین نامه EC No 1223/2009 در خصوص ارزیابی ایمنی نانومواد استفاده شده به عنوان مواد سازنده لوازم آرایشی اطمینان حاصل نماید. لازم به ذکر است که بر اساس دستورالعمل SCCS/1484/12 از سال ۲۰۱۲، ممنوعیت آزمایش های کامل حیوانی از مارس ۲۰۱۳ اعمال شده است و روش های جایگزین برای ارزیابی ایمنی مواد آرایشی باید مورد استفاده قرار گیرد.

در اروپا، ارزیابی ایمنی برای همه اجزای سازنده محصولات آرایشی و بهداشتی اجباری است. همین قانون در خصوص نانومواد مورد استفاده در این محصولات نیز صدق می کند. در اتحادیه اروپا، همه محصولات آرایشی پیش از ورود به بازار باید به صورت الکترونیکی از طریق پرتال اطلاع رسانی محصولات آرایشی (CPNP)^{۱۵} توسط شخص مسئول (به عنوان مثال، فرد حقیقی یا حقوقی شرکت) با هدف نظارت بر بازار و درمان سریع و مناسب پزشکی معرفی شود. تا پایان سال ۲۰۱۸، کمتر از ۱/۵٪ از محصولات آرایشی / بهداشتی معرفی شده در پرتال CPNP حاوی نانومواد بودند. طبق مقررات اتحادیه اروپا با شماره 1223/2009 No اظهار کردن وجود نانومواد در این محصولات اجباری است. حتی اگر نانومواد استفاده شده در محصول در این مقررات ذکر نشده باشد (نظیر اکثر رنگ های مبتنی بر نانومواد، فیلترهای UV و مواد نگه دارنده)، باید از روش های خاصی ایمنی مواد اثبات شود. EC باید نانومواد اولیه را پیش از استفاده در لوازم آرایشی نیز تأیید کند. در هنگام بسته بندی تمام نانومواد باید در برچسب لوازم آرایشی و بهداشتی با نام ماده شیمیایی و سپس کلمه (نانو) در پرانتز ذکر شوند. تاکنون استفاده از نانومواد زیر از سوی EC مجاز در نظر گرفته شده است: فیلترهای UV حاوی نانوذرات MBBT، ZnO، TiO₂ و tris-biphenyl triazine و نانوکربن بلک به عنوان رنگ مشکی در محصولات آرایشی.

فهرستی از نانومواد استفاده شده در محصولات آرایشی و بهداشتی در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۷ از سوی EC منتشر شده است که آخرین بار در اکتبر ۲۰۱۹ به روزرسانی شده است (جدول ۲). لازم به ذکر است که بسیاری از مواد ذکر شده در این جدول تحت مقررات REACH ثبت شده است.

راهنمای نانومواد^{۱۶} (NG) بر مشخصه های فیزیکوشیمیایی مواد اولیه و ارزیابی مواجهه با مواد و ارزیابی خطرات بر سلامتی انسان متمرکز است. ارزیابی ایمنی نانومواد با تمرکز بر جنبه های سمیت، نانومواد کپسوله شده و نانوحامل ها به روزرسانی شده است. علاوه بر این، روش های جدید ارزیابی سمیت نانومواد ارائه شده است.

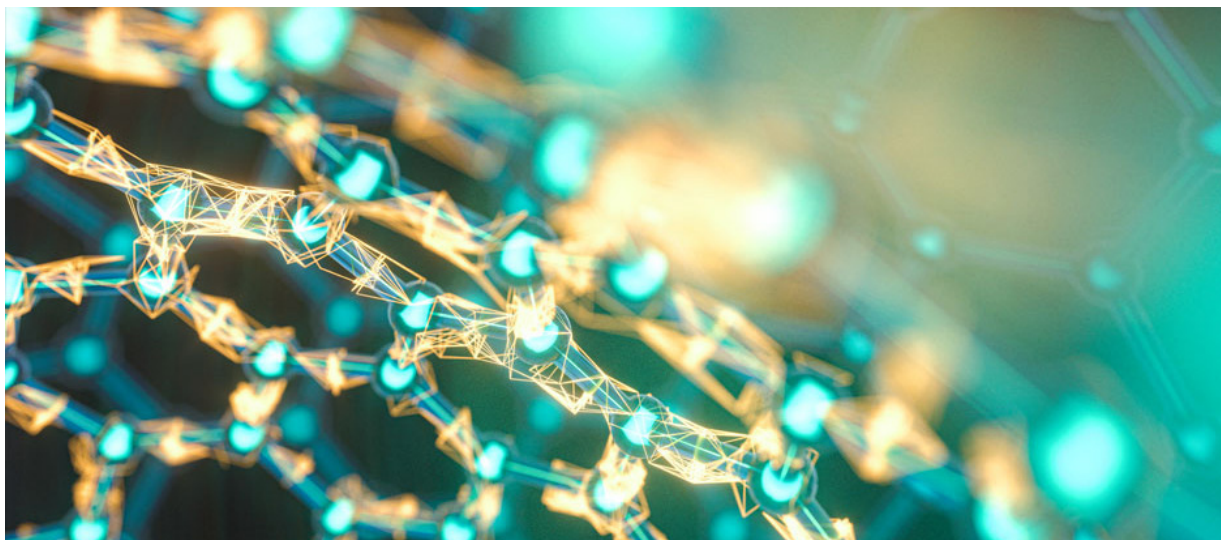
در آمریکا، FDA استفاده از نانومواد در محصولات آرایشی، بهداشتی را پایش می‌کند. در گزارش کارگروه فناوری نانو FDA در سال ۲۰۰۷، ارزیابی ملاحظات علمی و نظارتی مربوط به ایمنی و اثربخشی محصولات حاوی نانومواد ارائه کرده است. این کارگروه دستورالعمل ویژه‌ای برای ایمنی محصولات آرایشی و بهداشتی ارائه کرده است. بر اساس این دستورالعمل، تولیدکنندگان باید از بی‌خطر بودن محصولات ساخته شده با نانومواد، اطمینان حاصل کنند. در سال ۲۰۱۴، FDA راهنمایی برای صنایع با عنوان «راهنمای نهایی برای صنعت-ایمنی نانومواد در محصولات آرایشی و بهداشتی» منتشر کرد که در آن مسائل ایمنی تجزیه و تحلیل شده و دستورالعمل‌هایی برای صنایع آرایشی ارائه شده است.

جدول ۲- کاتالوگ مواد اولیه آرایشی ثبت شده در اتحادیه اروپا

نام	نوع	CAS	EC	نام در فهرست EC
Carbon Black	رنگ	1333-86-4	215-609-9	Carbon Black
CI 77891/ TiO ₂	رنگ / فیلتر فرابنفش	13463-67-7	236-675-5	TiO ₂
CI 77947/ZnO	رنگ / فیلتر فرابنفش	1314-13-2	215-222-5	ZnO
Methylene bis-benzotriazolyl tetramethylbutylphenol	فیلتر فرابنفش	103597-45-1	403-800-1	2,2'-methylenebis(6-(2H-benzotriazol-2-yl)-4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenol)
Tris-biphenyl triazine	فیلتر فرابنفش	31274-51-8	479-950-7	1,3,5-Triazine, 2,4,6-tris([1,1'-biphenyl]-4-yl)
آلومینا	سایر کاربردها	1344-28-1	215-691-6	Al ₂ O ₃
کولوئید مس	سایر کاربردها	7440-50-8	231-159-6	Cu
کولوئید طلا	سایر کاربردها	7440-57-5	231-165-9	Au
کولوئید پلاتین	سایر کاربردها	7440-06-4	231-116-1	Pt
کولوئید نقره	سایر کاربردها	7440-22-4	231-131-3	Ag
مس	سایر کاربردها	7440-50-8	231-159-6	Cu
فولرن‌ها	سایر کاربردها	99685-96-8	99685-96-8	(C60-Ih)[5,6]fullerene
فولرن‌ها	سایر کاربردها	115383-22-7	634-223-5	Fullerene C70
فولرن‌ها	سایر کاربردها	N/A	923-072-3	Fullerene, multiwall
فولرن‌ها	سایر کاربردها	131159-39-2	682-073-4	Fullerenes C60/C70
فولرن‌ها	سایر کاربردها	131159-39-2	943-307-3	Fullerenes C60/C70
طلا	سایر کاربردها	7440-57-5	231-165-9	Au
سیلیکا آبدار	سایر کاربردها	7631-86-9	231-545-4	silicon dioxide; synthetic amorphous silicon dioxide (nano)
هیدروکسی آپاتیت	سایر کاربردها	1306-06-5	215-145-7	Hydroxylapatite (Ca ₅ (OH)(PO ₄) ₃)
هیدروکسی آپاتیت	سایر کاربردها	12167-74-7	235-330-6	Pentacalcium hydroxide tris (orthophosphate)

نام	نوع	CAS	EC	نام در فهرست EC
سدیم منیزیم لیتیم سیلیکات	سایر کاربردها	53320-86-8	258-476-2	Silicic acid, lithium magnesium sodium salt
پلاتینیوم	سایر کاربردها	7440-06-4	231-116-1	Platinum
سیلیکا	سایر کاربردها	7631-86-9	231-545-4	silicon dioxide; synthetic amorphous silicon dioxide (nano)
سیلیکا دی متیکون سیلات	سایر کاربردها	67762-90-7	614-122-2	Amorphous silica
سیلیکا دی متیل سیلات	سایر کاربردها	68611-44-9	271-893-4	Silane, dichlorodimethyl-, reaction products with silica
سیلیکا سیلات	سایر کاربردها	68909-20-6	272-697-1	Silanamine, 1,1,1-trimethyl-N-(trimethylsilyl), hydrolysis products with silica
نقره	سایر کاربردها	7440-22-4	231-131-3	Ag
سدیم منیزیم فلئوروسیلیکات	سایر کاربردها	85085-18-3	285-349-9	Silicate(2-), hexafluoro-, disodium, reaction products with lithium magnesium sodium silicate
سدیم منیزیم سیلیکات	سایر کاربردها	N/A	N/A	No entry in European Chemicals Agency chemicals database
سدیم پروپوکسی هیدروکسی پروپیل تیوسولفات سیلیکا	سایر کاربردها	N/A	N/A	No entry in ECHA's chemicals database
کوپلیمر استایرن / اکریلات	سایر کاربردها	9010-92-8	618-461-7	2-Propenoic acid, 2-methyl-, polymer with ethenylbenzene

در نهایت، گروه همکاری بین‌المللی در حوزه مقررات آرایشی (ICCR) در سال ۲۰۰۷ تأسیس شد که متشکل از مقامات نظارت‌کننده از کشورهای برزیل، کانادا، اتحادیه اروپا، ژاپن و آمریکا هستند و به صورت سالانه برای رسیدگی به مسائل رایج در حوزه ایمنی و مقررات محصولات آرایشی و بهداشتی از جمله استفاده از نانومواد در این محصولات، با یکدیگر دیدار می‌کنند. ICCR با تلاش برای نظارت‌های همگرا، یک چارچوب چندجانبه برای حفاظت از مصرف‌کنندگان جهانی ایجاد کرده است.



۶- کاربرد فناوری نانو در محصولات تجاری شده آرایشی و بهداشتی

در ادامه به مثال‌هایی از کاربرد نانومواد در برخی محصولات آرایشی و بهداشتی موجود در بازار جهانی پرداخته می‌شود. بدیهی است تعداد این محصولات بیش از موارد ذکر شده در جدول بوده و این موارد تنها برای آشنایی مخاطب با برخی از کاربردهای نانومواد در صنایع آرایشی و بهداشتی ذکر شده است.

جدول ۲- کاتالوگ مواد اولیه آرایشی ثبت شده در اتحادیه اروپا

نوع محصول	نام تجاری	شرکت سازنده	توضیحات
مرطوب‌کننده‌های پوست	مرطوب‌کننده برنزه کننده روزانه Hydra Flash صورت	Lancôme	با خاصیت آنتی‌اکسیدانی E نانوکپسول‌های ویتامین
	Hydra Zen کرم	Lancôme	حاوی نانوکپسول‌های تری‌سرامید
	سرم مرطوب‌کننده دست، پا و ناخن Nano-In	Nano-Infinity Nanotech	ZnO کریستال‌های ریزی از نانوذرات
	Nano مرطوب‌کننده مولتی پپتیدی Emulsion	Hanacure	حاوی غلظت قابل توجهی از پپتیدهای عصاره قارچ "Ruby Of The Forest" منحصربه‌فرد
محصولات ضدچروک و ضدپیری	Lancôme Renergie میکرولیفت	Lancôme	حاوی نانوذرات کلونیدی سیلیکا و پروتئین سویا
	کرم ضدچروک صورت و گردن Revitalift	L'Oreal	عامل Pro-Retinal A حاوی نیوزوم‌های دارای ضدچروک با قابلیت نفوذ در عمق لایه شاخی پوست
	کرم دور چشم	Kara Vita	حاوی نانوغوی‌های دارای ۱۳ ماده فعال زیستی شامل پپتیدها برای تحریک فیبروبلاست، ساخت کلاژن، روشن شدن و کاهش التهابات پوست
	کرم سفت‌کننده نانوطلا	Chantecaille	حاوی نانوذرات ریز طلا متصل شده به میکروالیاپ ابریشم برای محکم‌کردن و رنگی‌کردن پوست، دارای خاصیت ضدالتهاب، ترمیم‌کننده و ضدپیری

نوع محصول	نام تجاری	شرکت سازنده	توضیحات
محصولات مراقبت از مو	Batana oil شامپو آب رسان	FacinatusCosme'ticos	نانوکپسول های حاوی روغن باتانا
	Nanover	Nanogist	حاوی نانوذرات نقره
	نانوکلاژن	Braziliss	نانوکلاژن فراوری شده از طریق فعال سازی حرارتی، کاهش منافذ مو و تعادل سطح آب پوشی مو
	شامپو ترمیم کننده و حالت دهنده Nutraliss	Nutraliss	پایین، بدون نمک و غنی شده با نانوذرات pH سرپسین، عصاره های آلی و ترکیبی از ۱۲ روغن
محصولات ضد آفتاب و مراقبت از لب	DiorSnow کرم ضد آفتاب	Dior	حاوی نانوفیلترهای پرتو فرابنفش برای محافظت UVB و UVA بیشتر پوست در برابر
	کرم ضد آفتاب و اسپری خنک کننده Soleil فوری	Lanco^me	حاوی نانوکپسول های ویتامین، اسپری خنک کننده ۱۵ حس تازگی ایجاد می کند و محافظت SPF فوری با بهینه در برابر نور خورشید ایجاد می کند
	Primordiale مراقبت کننده لب	Lanco^me	حاوی نانوکپسول های ویتامین E، کاهش خونریزی لب و پرکردن خطوط چین و چروک ریز در لب
	لب Tender مراقبت کننده	Kara Vita	حاوی ۱۰ ماده فعال زیستی سبب آب رسانی بلندمدت به لب و ترمیم لب می شود
محصولات مراقبت از پوست صورت	Cosil ماسک سفید کننده	Natural Korea	حاوی نانوکلوئید نقره برای پاکسازی پوست از میکروب ها، فشرده سازی منافذ پوست، درخشان کننده و نرم کننده پوست
	Nanorama ماسک نانوپلا	LexonNanoTech	حاوی نانوذرات طلا، تسهیل کننده نفوذ به پوست و ضد عفونی کننده پوست، جلوگیری و درمان آکنه
	LifePak Nano	Pharmanex	تغذیه و محافظت از سلول ها با هدف محافظت در برابر پیری از طریق نانوکپسوله کردن کوآنزیم ها
	ماسک صورت ترمیم کننده کلاژن و نانوپلا	Knesko	کاهش خشکی، قرمزی و پف و محو خطوط ریز پوست از طریق کلوئید طلا
لوسیون های بدن	لوسیون بدن Fresh As A Daisy	Kara Vita	حاوی نانوگویی ها با قابلیت نفوذ سریع رطوبت و مواد مغذی به انواع پوست
	Nano Cyclic پاک کننده نقره	Nano Cyclic	حاوی نانونقره و مواد طبیعی. از بین برنده باکتری و قارچ و درمان آکنه، لایه برداری از پوست، کاهش لکه های ناشی از افزایش سن، خوشبو کننده پوست و مبارزه با چین و چروک
	Cosil Nano Beauty صابون	Natural Korea	حاوی نانوذرات نقره با قابلیت ضد عفونی و محافظت از پوست
محصولات مراقبت از دهان و دندان	خمیر دندان نانونقره	Hanil	جلوگیری از بیماری های لثه و ایجاد بوی بد دهان و سفید شدن دندان ها با استفاده از نانوذرات کربنات کلسیم و نقره
	خمیر دندان نانونقره	Coral White	حاوی نانوذرات نقره برای نفوذ کلسیم به سطح دندان به منظور ترمیم مجدد مینای دندان و جلوگیری از التهاب و خونریزی لثه
	خمیر دندان سفید کننده	Whitewash	حاوی کریستال های هیدروکسی آپاتیت برای ترمیم و سخت کردن مینای نرم شده دندان
	APAGARD M plus	Sangi	حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت برای محافظت از دندان در برابر پوسیدگی



۷- چشم انداز

نانومواد را می‌توان در صنایع آرایشی به اشکال و انواع مختلف مورد استفاده قرار داد. این یک واقعیت است که به دلیل پیشرفت روند تحقیق و توسعه در صنایع آرایشی، تعداد زیادی از نانو ساختارها در لوازم آرایشی به صورت آزمایشی استفاده می‌شوند. هدف آینده روشن است: یافتن ایمن‌ترین و مناسب‌ترین نانومواد برای استفاده در انواع مختلف لوازم آرایشی با کمترین هزینه.

همچنین ذکر این نکته الزامی است که اتحادیه اروپا باید توسعه و اعتبار روش‌های جایگزینی را ترویج دهد که از اصل ۳RS پیروی کرده و سطح ایمنی معادل آنچه از آزمایش حیوانات به دست می‌آید را با استفاده از حیوانات کمتر و ایجاد رنج کمتر در آن‌ها و یا اجتناب از هرگونه استفاده از حیوانات فراهم نماید. با توجه به ممنوعیت استفاده از حیوانات، نیاز به اجرای روش‌های جایگزین غیرحیوانی به‌ویژه برای ارزیابی ایمنی مواد و محصولات آرایشی بسیار مهم است. آینده نشان خواهد داد که گرایش‌ها و نیازهای آتی در محصولات آرایشی نانو چه خواهد بود [۸۵]. کرم‌های ضدآفتاب با قابلیت رهایش کنترل شده و پایدار، با افزایش قابلیت مرطوب‌کنندگی همراه با خواص ضدپیری از ظرفیت بالقوه پذیرش در بازار برخوردار هستند. برخی از سامانه‌های انتقال مواد با مجموعه‌ای از کاربردهای عملی در حال بررسی هستند. در حالی که برخی از این محصولات ممکن است راه خود را به خارج از آزمایشگاه‌ها پیدا نکنند، سایر محصولات می‌توانند پیشرفت‌های بزرگی را در دنیای لوازم آرایشی ایجاد کنند.

نانومواد کربنی با ترکیب رایج‌ترین آلوتروپ‌های کربن شامل نانولوله‌های کربنی و فولرن‌ها از جمله نانومواد فوق‌العاده منحصربه‌فرد به شمار می‌روند. نانولوله‌های کربنی با پیوند کووالانسی به جوانه‌های شبیه فولرن متصل می‌شوند. این نانو ساختار از خاصیت گسیل میدانی خوب برخوردار است. از این ویژگی می‌توان در ساخت رژ لب و ریمل چشم استفاده کرد. علاوه بر دی‌اکسید تیتانیوم و اکسیدروی که به‌طور گسترده شناخته شده‌اند، نانورنگدانه‌های جدید فلزی به صورت مداوم شناخته و در لوازم آرایشی به کار گرفته خواهند شد.

علاوه بر این، نانوذراتی که به شکل خاصی ساخته شده‌اند تا سطوح ناهموار را به‌ویژه پس از جراحی پلاستیک پر کنند، ممکن است افق‌های جدیدی را در محصولات آرایشی بگشایند. یکی دیگر از حوزه‌های امیدوارکننده می‌تواند استفاده از نانومواد باشد که با تغییرات اسیدیته پوست میزان رهایش متفاوتی از خود نشان دهند. آنزیم‌های ترکیب شده با نانوحامل‌ها نیز به دلیل ظرفیت استثنایی حمل آب بر لایه شاخی پوست مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. شمار اختراعات ثبت شده در پنج سال گذشته نشان می‌دهد که ممکن است استفاده از پروتئین‌های ترکیبی در سال‌های آینده افزایش یابد. با وجود مزایای زیاد محصولات آرایشی نانو، ممکن است نتوان خطرات احتمالی مرتبط با نانومواد را انکار کرد. به همین علت، برآورد خطرات نانومواد باید به صورت موردی در هر محصول با استفاده از اطلاعات مربوطه انجام شود.

کرم‌های ضدآفتاب حاوی نانوذرات الماس که سبب کاهش تابش پرتو فرابنفش شده و به صورت هم‌زمان رادیکال‌های آزاد به وجود آمده در اثر تابش پرتو فرابنفش را از بین می‌برند و رنگ موهای ماندگار حاوی نانولوله‌های کربنی که باعث

نرمی، حجیم شدن مو شده و به مو آسیب نمی زنند و همچنین محصولات بهداشتی دهان حاوی نانوذرات فلوراید که حساسیت عاج دندان را با جلوگیری از انتقال سیگنال های درد به مغز کاهش می دهند و نانوذرات هیدروکسی آپاتیت و الومینا که منجر به پولیش دندان و به صورت هم زمان منجر به جایگزینی مواد معدنی از دست رفته لایه زیرسطحی مینا می شود و یا کرم های ضدپیری با مواد فعال تعبیه شده در نانوذرات پلیمرهای مصنوعی که به عنوان تقویت کننده نفوذپذیری پوست عمل می کنند، همگی از جمله محصولاتی خواهند بود که احتمالاً در آینده نزدیک در فروشگاه ها دیده خواهند شد.

پی نوشت ها

- | | |
|--|---|
| سبز یافت می شود. | ۱. CAGR |
| ۱۱. Resveratrol | ۲. Epidermis |
| یک ترکیب آنتی اکسیدانی است که با از بین بردن | ۳. Leave-on products |
| رادیكال های آزاد، از بدن در برابر بیماری های مزمن محافظت | ۴. Rinse-off products |
| می نماید. رزوراترول در انگور قرمز، بلوبری، کشمش، مویز، | ۵. Phagocytosis |
| توت سفید و پوست قرمز رنگ بادام زمینی یافت می شود. | (عمل ریزه خواری یاخته ها؛ بلعیده شدن ذرات خارجی یا |
| ۱۲. Ex vivo or in vitro | یاخته های زبان آور برای بدن توسط بیگانه خواران) |
| ۱۳. Registration, Evaluation, Authorization | ۶. Monocytes |
| and Restriction of Chemicals REACH | ۷. Remineralization |
| ۱۴. Committee on Consumer Safety | ۸. Vesicles |
| ۱۵. Cosmetic Products Notification Portal | ۹. UV blockers |
| ۱۶. Nanomaterials guidance | ۱۰. روتین که به نام ویتامین P و Rutoside نیز شناخته |
| ۱۷. Reducing waste, reusing and recycling resources | می شود، یک بیوفلانوئید است که در برخی غذاها از جمله |
| "and products is often called the "3Rs | سیب، انجیر، بیشتر میوه های مرکبات، گندم سیاه و چای |

منابع و مآخذ

1. Hameed, Awais, Gull Rida Fatima, Kainat Malik, Ayesha Muqadas, and M. Fazal-ur-Rehman. "Scope of nano-technology in cosmetics: dermatology and skin care products." Journal of Medicinal and Chemical Sciences 2, no. 1 (2019): 9-16.
2. Bilal, Muhammad, and Hafiz Iqbal. "New insights on unique features and role of nanostructured materials in cosmetics." Cosmetics 7, no. 2 (2020): 24.
3. Fytianos, Georgios, Abbas Rahdar, and George Z. Kyzas. "Nanomaterials in cosmetics: Recent updates." Nano-materials 10, no. 5 (2020): 979.
4. Nanda, Arun, Sanju Nanda, Tuan Anh Nguyen, Yassine Slimani, and Susai Rajendran, eds. Nanocosmetics: Fundamentals, Applications and Toxicity. Micro and Nano Technologies, 2020.
5. <https://www.technologytimes.pk/2019/07/15/nanotechnology-cosmetics/>
6. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3425166/figure/F2/>
7. <https://encyclopedia.pub/3302>
8. file:///C:/Users/gun/Downloads/Nanotechnology_in_cosmetics_Opportunities_and_chal.pdf
9. <https://www.researchdive.com/8336/cosmetics-market>

