

مروری بر نانوتکنولوژی در صنعت آرایشی

امروزه صنعت آرایشی به سرعت در حال رشد است و شمار زیادی از محصولات آرایشی موضعی از قبیل فرآورده‌های ضدآفتاب، ضدلک، ضدچروک و محصولات مراقبت از مو، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. نانوتکنولوژی در صنعت آرایشی نقش مهمی دارد. استفاده از تکنیک‌های نوین در سطح اتم و مولکول، منجر به توسعه آینده صنعت آرایشی می‌شود. استفاده از نانوتکنولوژی منجر به افزایش تنوع محصولات، افزایش فراهمی زیستی مواد مؤثره و بهبود ظاهر محصولات آرایشی با اثربخشی طولانی‌مدت‌تر می‌شود. از طرف دیگر افزایش استفاده از محصولات مبتنی بر نانو، نگرانی‌ها را در رابطه با عبور احتمالی نانوذرات از پوست و احتمال ایجاد خطراتی برای سلامت انسان افزایش داده است. در این مقاله مروری نانوذرات مختلف مورد استفاده در محصولات متنوع آرایشی و خطرات احتمالی در مواجهه با نانوذرات بررسی شده است.

کلیدواژه‌ها: نانوتکنولوژی، صنعت آرایشی، حامل‌های نانو، سمیت

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۵/۲۸ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰

پوست و زیبایی؛ پاییز ۱۴۰۱، دوره ۱۳ (۳): ۱۹۱-۲۰۲

سیدسجاد آل‌نبی^۱

عاطفه نعیمی‌فر^۲

سارا بحرینیان^۳

سامان احمدنصراللهی^{۴*}

۱. دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم

پزشکی مازندران، مازندران، ایران

۲. گروه فارماسیوتیکس، دانشکده

داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی تهران،

تهران، ایران

۳. گروه فارماسیوتیکس، دانشکده

داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی

جندی‌شاپور، اهواز، ایران

۴. مرکز آموزش و پژوهش بیماری‌های

پوست و جدام، دانشگاه علوم پزشکی

تهران، تهران، ایران

نویسنده مسئول:

سامان احمدنصراللهی

تهران، خیابان طالقانی، شماره ۴۱۵

پست الکترونیک:

Snasrollahi@tums.ac.ir

تعارض منافع: اعلام نشده است.

مقدمه

مهم‌ترین چالش در دارورسانی پوستی، عبور دارو از لایه شاخی در لایه اپیدرم می‌باشد که خارجی‌ترین لایه و سد محافظتی پوست است که از نفوذ دارو به لایه‌های زیرین پوست ممانعت به‌عمل می‌آورد. امروزه از نانوتکنولوژی به‌عنوان راه‌حل غلبه بر سد دفاعی لایه شاخی و افزایش جذب داروهای پوستی استفاده می‌گردد. این تکنولوژی شامل سیستم‌هایی از قبیل نانوذرات، نانومولسیون‌ها، لیپوزوم‌ها، اتوزوم‌ها و نانوپارسیکل‌های لیپیدی و دندریمرها است. اندازه این ذرات در دارورسانی پوستی بین ۱۰۰۰-۱ نانومتر است^۱.

نانوتکنولوژی به دلیل کاربردهای گسترده در زمینه پزشکی و تجارت، مورد توجه جهانی قرار گرفته است. در نانوپزشکی از سیستم‌های دارورسانی نانوذرات به دلیل توانایی آن‌ها در عبور از سدهای بیولوژیکی، تجمع دارو در محل مورد نظر و افزایش حلالیت دارو استفاده می‌شود. یکی از موارد کاربرد نانوتکنولوژی در زمینه پوستی و صنعت آرایشی است^۱.

بازار جهانی محصولات آرایشی در سال ۲۰۱۷، ارزشی معادل ۵۳۲ میلیارد دلار آمریکا داشت و انتظار می‌رود با رشد سالیانه ۷ درصد در سال ۲۰۲۳ به ۸۰۶ میلیارد دلار برسد^۱.

جدول ۱: لیستی از موارد انتقال فعال و غیرفعال در دارورسانی پوستی^۵.

انتقال غیرفعال	انتقال فعال
سامانه‌های لیپیدی حامل‌های وزیکولی (لیپوزوم و اتوزوم) حامل‌های لیپیدی ذره‌ای (نانوذرات جامد لیپیدی و نانوحامل‌های لیپیدی)	روش‌های الکتریکی، یونوفورزیس، الکتروپوریشن
سامانه‌های سورفکتانتی وزیکولی (نتوزوم‌ها و میسل‌ها) امولسیون (نانوامولسیون‌ها)	روش‌های مکانیکی / میکرونیدل، سایش، تزریق و ساکشن
سامانه‌های پلیمری نانوذرات زیست‌تخریب‌پذیر نانوذرات زیست‌تخریب‌ناپذیر دندریمرها	متفرقه، اولتراسوند مگنتوفورزیس (Magnetophoresis) فرکانس رادیویی (Radio frequency) لیزر و امواج نوری و حرارت

حامل‌های وزیکولی لیپیدی و نانوذرات لیپیدی تقسیم می‌گردند. این‌گونه حامل‌ها توانایی ترمیم لایه فسفولیپیدی پوست را نیز دارند و می‌توانند میزان توزیع دارو در لایه اپیدرم را افزایش دهند.^۷

حامل‌های وزیکولی لیپیدی

ساختار دولایه دارند که فاز آبی در داخل ساختار کروی قرار گرفته است. در ساختارشان از لیپیدهای زیست‌سازگار همانند فسفولیپیدها استفاده می‌شود. نفوذ و جذب دارو از طریق ضمام پوستی و نفوذ از طریق اتصال به فسفولیپیدهای سطح پوست و آزاد کردن محتوای خود در زیر لایه پوست می‌باشد. هم‌چنین اتصال به غشای لیپیدی پوست، به‌اندازه و استحکام وزیکول‌های لیپیدی وابسته است و می‌تواند در میزان نفوذ دارو مؤثر باشد^{۸،۹}.

لیپوزوم

لیپوزوم‌ها، وزیکول‌های کروی و محصورشده با ابعاد کلوئیدی و دولایه هستند که درون دو لایه فسفولیپیدی، مواد محلول در چربی و خارج از آن مواد محلول در آب قرار می‌گیرد. اندازه لیپوزوم‌ها به‌طور معمول بین ۲۰ نانومتر و چندصد میکرومتر متفاوت

در عرصه صنعت آرایشی اعتقاد بر این است که ذرات کوچکتر به‌راحتی در پوست جذب شده و آسیب‌ها را راحت‌تر و کارآمدتر ترمیم می‌کنند. برخی از نوآوری‌های مبتنی بر نانو تکنولوژی عبارتند از نانوامولسیون، نانو کپسول‌ها، نانوپایگمان‌ها، فرمولاسیون لیپوزومی، فیتوزوم، نتوزوم، نانو کریستال‌ها، نانوذرات لیپیدی جامد، حامل‌های با ساختار نانو، نانولوله‌های کربن، فولرن‌ها و دندریمرها^۳.

مزایای اصلی استفاده از نانوذرات در محصولات آرایشی و بهداشتی، بهبود پایداری مواد جانبی آرایشی (مانند ویتامین‌ها، اسیدهای چرب اشباع‌نشده و آنتی‌اکسیدان‌ها) از طریق کپسوله کردن در درون نانوذرات، محافظت مؤثر از پوست در برابر اشعه خطرناک ماوراءبنفش، ایجاد ظاهر مناسب، دارورسانی هدفمند به محل هدف و رهش آهسته مواد مؤثره جهت ایجاد اثرات طولانی‌مدت از دیگر مزایای نانو تکنولوژی می‌باشد^{۲،۵}.

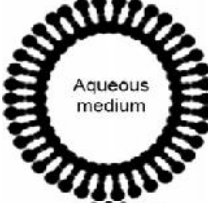
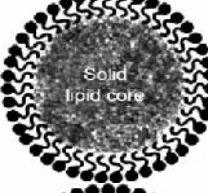

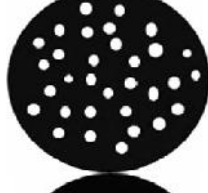
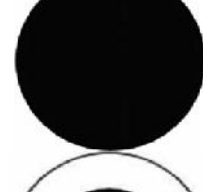
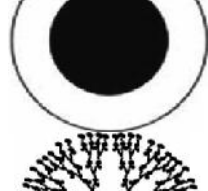

راه‌های افزایش نفوذ و ذخیره دارو در لایه‌های درم و اپیدرم

مشکل داروهایی با نفوذپذیری پایین را می‌توان با استفاده از نیروهای خارجی یا افزایش نفوذپذیری پوست (روش غیرفعال) حل کرد. در افزایش دارورسانی غیرفعال، تنها داروهای با وزن مولکولی کمتر از ۵۰۰ دالتون، توانایی نفوذ پوستی را دارند بنابراین، جهت دارورسانی مولکول‌های با وزن مولکولی بالاتر، نیاز به روش فعال است که در این روش از نیروهای خارجی برای افزایش نفوذ و جذب دارو استفاده می‌شود. لیستی از موارد انتقال فعال و انتقال غیرفعال در جدول ۱ ذکر شده است. سیستم‌های نانو از طریق انتقال غیرفعال عمل می‌کنند^۷. جدول ۲ نیز نام، اندازه ذره‌ای و شکل حامل‌های نانو را نمایش می‌دهد.

استفاده از سیستم‌های لیپیدی

حامل‌ها در این سیستم به دو دسته بسیار وسیع

جدول ۲: ارائه شماتیک نانوسیستم‌ها در دارورسانی پوستی.^۵

شکل میکروسکوپی	اندازه ذره‌ای (نانومتر)	حامل
	۲۵-۱۰۰۰	لیپوزوم
	۱۰۰-۳۰۰	نانوذرات جامد لیپیدی
	۱۰۰-۳۰۰	نانوحامل لیپیدی
	بزرگتر از ۱۰۰	نانوامولسیون
	۴۰-۵۰۰	نانوذرات
	۴۰-۵۰۰	نانوکپسول
	۱-۱۰	دندریمر

می‌باشد. لیپوزوم‌های با اندازه ذره‌ای بالاتر از ۶۰۰ نانومتر نمی‌توانند به لایه‌های عمیق‌تر پوست نفوذ کنند و در لایه شاخی به دام می‌افتند، در حالی که لیپوزوم‌های کمتر از ۳۰۰ نانومتر به لایه‌های عمیق‌تر

پوست و درم نفوذ می‌کنند.^۹ لیپوزوم‌ها به دلیل خصوصیات از قبیل زیست‌سازگاری، زیست‌تخریب‌پذیری، غیرسمی و انعطاف‌پذیری در انواع فرآورده‌های آرایشی و بهداشتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. لیپوزوم‌ها توانایی محافظت از داروی محصورشده در برابر محیط خارجی را دارند و در دارورسانی - هم ترکیبات آبدوست و هم آبگریز - مناسب هستند. یکی از ترکیبات اصلی لیپوزوم، فسفاتیدیل کولین می‌باشد که به دلیل خاصیت نرم و مرطوب‌کنندگی در محصولات مراقبت از پوست، در محصولات مراقبت از مو نیز استفاده می‌شود. چندین ماده مؤثر و آنتی‌اکسیدان‌ها جهت افزایش پایداری فیزیکی و شیمیایی آن‌ها حین فرمولاسیون در پایه آبی درون لیپوزوم‌ها بارگذاری می‌گردند.^{۱۰-۱۵}

فیتوزوم

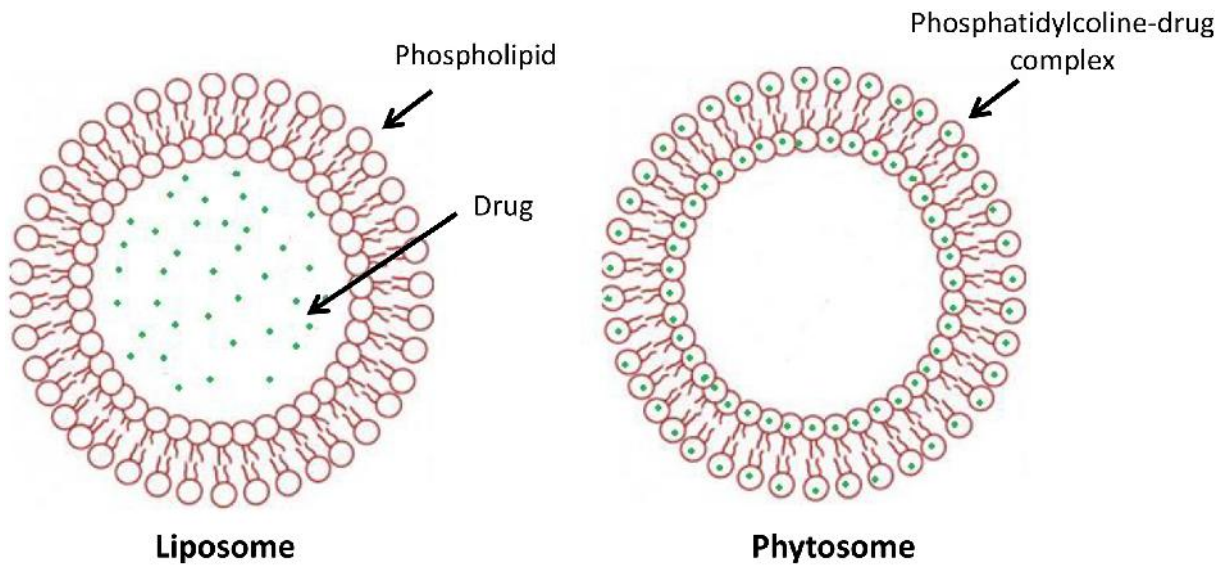
فیتوزوم کمپلکسی از مواد فعال طبیعی و فسفولیپید اغلب لسیتین می‌باشد. در واقع ادغام لیپوزوم و عصاره‌های گیاهی می‌باشد. فیتوزوم‌ها منجر به افزایش دارورسانی خوراکی و موضعی عصاره‌های گیاهی مانند ژینکو، سیلیبین، کورکومین، چای سبز و ... می‌گردند. در شکل ۱ تفاوت ساختار لیپوزوم و فیتوزوم نشان داده شده است.^۷

ترانسفروزوم

نسل دوم از حامل‌های وزیکولی لیپیدی هستند که خاصیت الاستیسیته و انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به لیپوزوم‌ها دارند. در ساختارشان سورفکتانت‌ها استفاده می‌شود که به انعطاف‌پذیری آن‌ها کمک می‌کنند. اندازه ذره‌ای ترانسفروزوم‌ها کمتر از ۳۰۰ نانومتر می‌باشد. هنگام عبور از سطح پوست و از بین سلول‌های کراتینوسیت، تغییر شکل داده و عبور می‌کنند (شکل ۲).^{۱۴}

اتوزوم

نسل سوم در این دسته، اتوزوم‌ها هستند که در



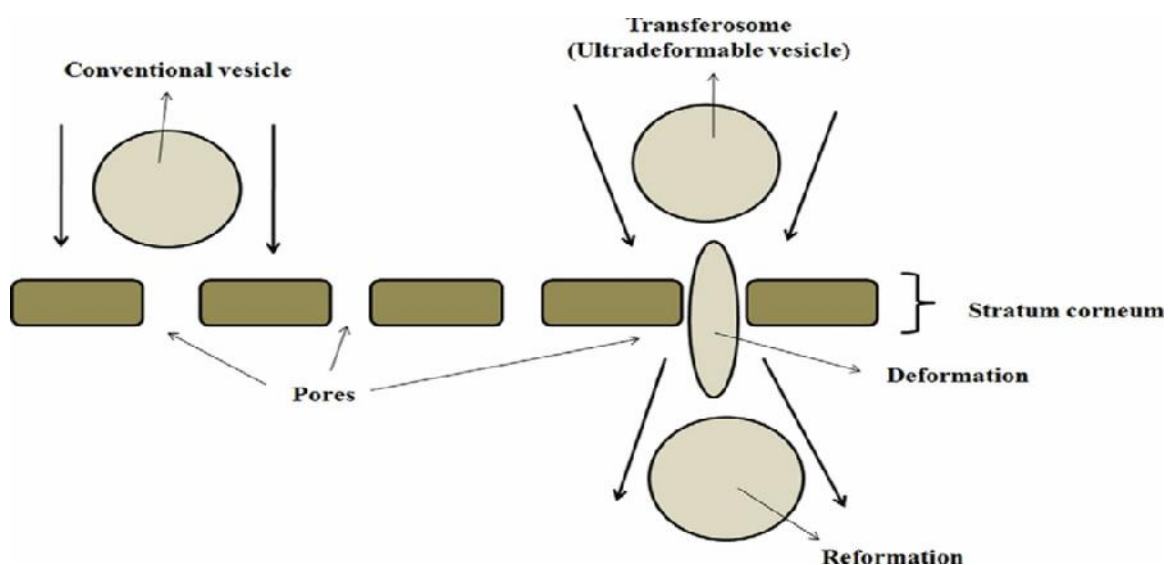
شکل ۱: تفاوت ساختار لیپیدی لیپوزوم و فیتوزوم.^۷

نوع ذرات لیپیدی وجود دارد؛ نانوذرات جامد لیپیدی و حامل‌های با ساختار نانو. نانوذرات جامد لیپیدی در این دسته، نسل اول هستند و از ماتریکس جامد لیپیدی در ابعاد ۵۰-۱۰۰۰ نانومتر تشکیل شده‌اند، در حالی که حامل‌های با ساختار نانو در نسل دوم قرار می‌گیرند و در ساختارشان هر دو حالت لیپید جامد و مایع قرار دارد که منجر به بهبود افزایش ظرفیت بارگیری دارو

ساختارشان از ۲۰ تا ۴۵ درصد اتانول استفاده شده است و اندازه ذره‌های کمتر از ۳۰۰ نانومتر دارند. هم‌چنین نسبت به لیپوزوم ۳۰-۱۰ برابر خاصیت الاستیسیته و به‌دنبال آن نفوذ بیشتری دارند.^۸

حامل‌های نانوذرات لیپیدی

در ساختار این دسته از حامل‌ها، از لیپیدهای ایمن و زیست‌سازگار استفاده شده است. در این دسته دو



شکل ۲: تغییر شکل ترانسفروزوم حین عبور از بین کراتینوسیت‌ها.^{۱۴}

استفاده شده است بنابراین، نسبت به لیپوزوم‌ها، پایدارتر و ارزان‌تر هستند. اندازه ذرات در نئوزوم‌ها بین ۲۰۰-۵۰ نانومتر می‌باشد. نئوزوم‌ها به‌عنوان حامل در دارورسانی انواع داروها و مواد آرایشی موضعی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. به‌نظر می‌رسد که نئوزوم‌ها در دارورسانی مواد مؤثره مفید هستند؛ زیرا می‌توانند مدت ماندگاری مواد فعال در لایه شاخی پوست و هم‌چنین اپیدرم را افزایش و جذب سیستمیک را کاهش دهند. دسته‌های دیگر در این نوع حامل‌ها، میکروامولسیون‌ها و نانوامولسیون‌ها می‌باشند که از مخلوط فاز روغن و آب به همراه سورفکتانت تهیه شده‌اند. دکتر نصراللهی و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مطالعه‌ای، نانوامولسیون حاوی ترتینوئین جهت درمان ضایعات آکنه را بررسی کردند؛ به این صورت که در تهیه نانوامولسیون روغن در آب ترتینوئین از تری‌گلیسیرید به‌عنوان فاز روغنی، توئین ۸۰ به‌عنوان سورفکتانت و آب دیونیزه به‌عنوان فاز آبی با متد هموژنایزر با فشار بالا استفاده شد.^{۲۱}

نانوذرات پلیمری

نانوذرات پلیمری به دو دسته کلی، نانوذرات پلیمری زیست‌تخریب‌پذیر و نانوذرات پلیمری زیست‌تخریب‌ناپذیر تقسیم می‌گردند. در این گروه، اصلی‌ترین راه نفوذ دارو، از طریق ضمام پوستی است. دندیرم‌ها نیز در این گروه قرار می‌گیرند که ساختارهای پلیمری کروی با انشعابات زیاد هستند و ابعاد ذره‌ای آن‌ها بین ۱ تا ۱۰ نانومتر می‌باشد. به‌طور عمده در لایه اپیدرم و فولیکول‌های مو تجمع می‌یابند. کمترین میزان حساسیت پوستی در این دسته از حامل‌ها گزارش شده است.^{۲۲}

نانوکریستال

نانوکریستال‌ها مجموعه‌های متشکل از صدها تا هزاران اتم به‌صورت خوشه‌ای در ابعاد ۱۰ تا ۴۰۰ نانومتر هستند که در دارورسانی ترکیبات کم‌محلول در آب کاربرد دارند.^{۲۳}

می‌شود. این نانوذرات از لیپیدهای فیزیولوژیکی و زیست‌تخریب‌پذیر تشکیل یافته‌اند که سمیت کمی دارند. اندازه کوچک نانوذرات جامد لیپیدی از طریق تماس نزدیک با لایه شاخی پوست باعث افزایش نفوذ مواد فعال در پوست می‌شوند. نانوذرات جامد لیپیدی با ایجاد انسداد سطح پوست منجر به افزایش رطوبت پوست می‌شوند.^{۱۱}

مشخص شده است که نانوذرات جامد لیپیدی به‌تنهایی ویژگی ضدآفتاب فیزیکی را دارند. در یک مطالعه درون‌تن نشان داده شده است که با افزودن نانوذرات جامد لیپیدی به یک کرم معمولی، میزان رطوبت پوست تا ۳۱ پس از ۴ هفته افزایش یافته است. نانوذرات جامد لیپیدی هم‌چنین به‌عنوان حامل موضعی در عطرها سودمند هستند. دکتر نصراللهی و همکارانش در دو مطالعه مجزا، اثر ضدچروک نانوذرات جامد لیپیدی Q10 و اثر ضدآکنه نانوامولسیون‌های ترتینوئین را بررسی کردند.^{۱۶} در سال ۲۰۱۱ مطالعه درون‌تن و برون‌تن بررسی پایداری و اثربخشی کرم موضعی حاوی نانوذرات جامد لیپیدی Q10 با ابعاد ۱۰۰-۵۰ نانومتری نشان داد فرآورده نانو، رهش آهسته‌تری نسبت به کرم موضعی معمولی داشته‌اند. هم‌چنین مطالعه بالینی شامل بررسی رطوبت و الاستیسیته پوست ۲۵ داوطلب، نفوذپذیری پوستی بالا و اثربخشی آبرسان و ضدچروک نانوذرات Q10 را ثابت کرد.^{۲۰} در مطالعه دیگر این گروه در سال ۲۰۱۸ پایداری و اثربخشی نانوامولسیون حاوی ترتینوئین با امولسیون معمولی آن مقایسه شد. در این مطالعه نانوامولسیون روغن در آب پایدار با اندازه ذره‌ای ۱۵۰ نانومتر شکل گرفت و به‌طور معنی‌داری باعث کاهش اندازه و شدت ضایعات آکنه در داوطلبان شد.^{۲۱}

حامل‌های سورفکتانتی نانو

در این دسته نئوزوم‌ها قرار دارند. وزیکول‌های دولایه همانند لیپوزوم‌ها می‌باشند با این تفاوت که در ساختارشان، سورفکتانت‌های غیریونی و کلسترول

نانوذرات فلزی

نانوذرات فلزی به دلیل داشتن خاصیت ضدباکتریایی، ضدقارچی، ضدآفتاب و ... به عنوان حاملی ارزشمند در صنعت آرایشی و بهداشتی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این ذرات به طور گسترده‌ای در محصولاتی مانند دئودورانت، کرم ضدپیری و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شکل ۳ لیستی از فلزات و درصد استفاده از آن‌ها که در صنعت آرایشی کاربرد دارد ذکر شده است.^۶

نانوذرات سیلیکا

نانوذرات سیلیکا در صنعت دارو و آرایشی به دلیل خصوصیات منحصر به فرد از قبیل سطح آب‌دوست، سهولت و هزینه نسبتاً پایین تولید سنتتیک آن، داشتن سطح و شکل و اندازه قابل تنظیم، زیست‌سازگارپذیری بالا، پایداری بالا و بی‌خطری، کاربرد وسیعی دارد.^{۲۴}

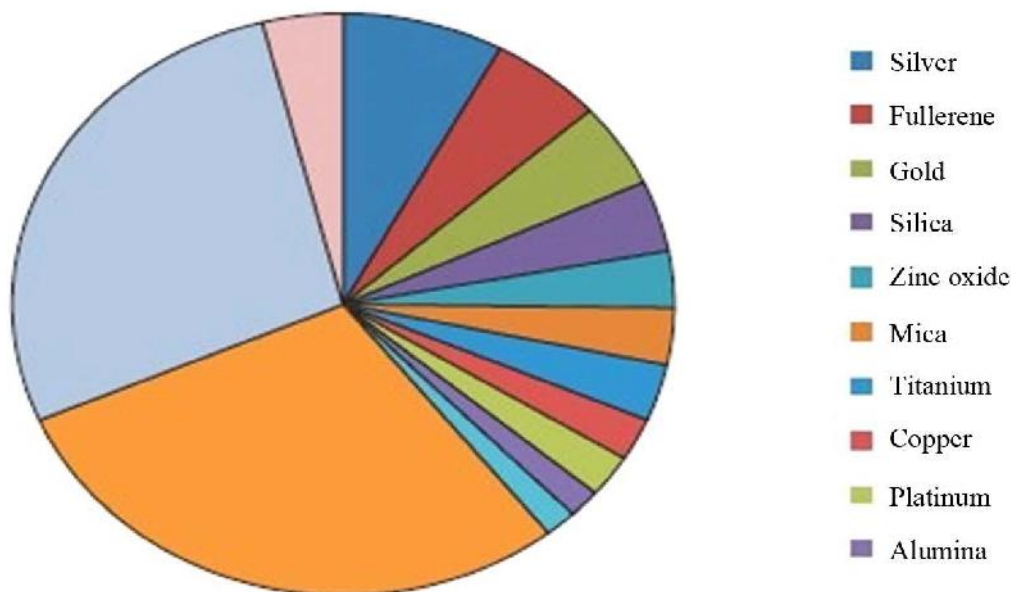
نانوذرات اکسید روی

نانوذرات اکسید روی به طور عمده در محصولات ضدآفتاب فیزیکی کاربرد دارد. مهندسی نانو منجر به

تولید ضدآفتاب‌های شفاف و از نظر ظاهری زیبا با اثربخشی بالای اکسید روی شده است. در سال ۲۰۱۹ مطالعه‌ای توسط محققان استرالیایی انجام گرفت که در آن از نانوذرات اکسید روی بر روی پوست داوطلبان به مدت ۵ روز استعمال کرده و میزان سمیت موضعی، میزان نفوذ پوستی و تغییرات متابولیک اپیدرم زنده پوست را بررسی نمودند. مشاهده شد نانوذرات اکسید روی در سطح پوست تجمع یافته و در اپیدرم زنده سمیت سلولی ایجاد نکرد، در نتیجه استفاده مکرر از ضدآفتاب حاوی اکسید روی بی‌خطر بوده و به اپیدرم زنده نفوذ نمی‌کند.^{۱۷}

نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید

نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در ابعاد ۴۰۰-۲۰۰ نانومتر به عنوان فیلتر فیزیکی در محصولات ضدآفتاب و گاهی در کرم پودر و بالم لب کاربرد و اثربخشی بالایی دارد. در مقاله مروری انجام گرفته در سال ۲۰۱۹ عنوان شده است که در استعمال موضعی در انسان و حیوان، نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید به لایه اپیدرم زنده نفوذ نمی‌کند و به گردش عمومی خون نمی‌رسد. کمیته علمی بی‌خطری مصرف‌کنندگان (Scientific



شکل ۳: لیست نانوذرات فلزی مورد استفاده در صنعت آرایشی.^۶

در تهیه فرمولاسیون‌های آرایشی جوان‌سازی پوست در نظر گرفته شده‌اند. این‌گونه حامل‌ها از حلقه‌های کربن تشکیل شده‌اند که شکل کروی سه‌بعدی دارند.^{۱۹}

بررسی خصوصیات نانو مواد

خصوصیات و ویژگی‌های نانو ذرات توسط تکنیک‌های متنوعی ارزیابی می‌گردند که این موارد به‌طور خلاصه در جدول ۳ ذکر شده است.

فناوری نانوترکیبات گیاهی در صنعت آرایشی

ترکیبات فعال زیستی مشتق شده از گیاهان، قرن‌ها است که در صنعت آرایشی جهت درمان‌های زیبایی متنوعی در محصولات مراقبت از پوست استفاده شده‌اند.

ترکیبات فعال گیاهی علاوه بر اثرات آرایشی اثرات ضدباکتری، ضدقارچ، ضدسرطان و ضدالتهاب بیولوژیک را افزایش می‌دهند.

نانوذرات ترکیبات فعال گیاهی مانند کورکومین و روغن‌های گیاهی با مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی مختلفی ظاهر پوست را بهبود می‌بخشند.

اخیراً یک سامانه نانومولسیون با اندازه ذره‌ای ۷۰ نانومتر از فلاوانون‌های برگ گیاه *Eysenhardtia platycarpa* تهیه شد که اثرات ضدپیری خوبی نشان داد. هم‌چنین ترکیب رزوراترول (Resveratrol) و کورکومین در یک فرآورده موضعی منجر به افزایش دارورسانی در درمان بیماری‌ها از طریق فعالیت آنتی‌اکسیدانی شده و روند پیری را کندتر کرده است.^{۲۵}

سمیت نانوذرات

نانوذرات موجود در محصولات مختلف آرایشی و بهداشتی که روی پوست استعمال می‌شوند، در صورت رسیدن به جریان خون می‌توانند اثرات سمی داشته باشند. یک تحقیق در مورد سمیت نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید نشان داد که وقتی نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید به‌صورت زیرجلدی بر روی موش‌های باردار

(Committee on Consumer Safety [SCCS]) بیان کرده است نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید در صورت استفاده موضعی تا غلظت ۲۵ درصد، حساسیت‌زا و تحریک‌کننده نبوده و پس از استعمال موضعی، هیچ‌گونه شواهد مبنی بر سرطان‌زایی در آن مشاهده نگردیده است.^{۱۸}

نانوذرات نقره

نانوذرات نقره حدود ۱۲ درصد از محصولات نانو را در صنعت آرایشی به خود اختصاص داده است. نقره با تخریب دیواره سلولی باکتری اثر ضد میکروب دارد. نانوذرات نقره نسبت به میکروذرات آن اثر ضد میکروب قوی‌تری دارند و هرچه اندازه نانوذرات کوچک‌تر باشد، اثر ضد میکروبی قوی‌تر می‌شود. به‌عنوان نگهدارنده در محصولاتی از قبیل شامپو و خمیردندان و اثر ضدالتهاب و ضدآکنه در محصولات آرایشی نیز کاربرد دارد. به‌طور کلی میزان سمیت نانوذرات نقره به شکل نانوذرات روش‌های تجویز آن بستگی دارد.^۶

نانوذرات طلا

فعالیت‌های صنعتی بر روی نانوذرات طلا و تبدیل آن‌ها به محصولات آرایشی و بهداشتی به‌سبب افزایش پایداری محصولات، بهبودبخشیدن به انتقال ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها و سایر مواد فعال و درنهایت زیبا و جذاب‌تر کردن محصولات آرایشی و بهداشتی است. نانوذرات طلا اثرات ضدقارچ و ضدباکتری دارد. اندازه ذره‌ای، غلظت و تعداد دفعات استعمال موضعی آن در میزان سمیت مؤثر است. مطالعات نشان داده‌اند که نانوذرات طلا در ابعاد ۴۰۰-۵ نانومتر در تماس با بدن خنثی و بی‌خطر می‌باشند.^۶

فولرن

مواد نانوی دیگر مانند فولرن به‌دلیل داشتن خاصیت آنتی‌اکسیدانی در برخی محصولات آرایشی استفاده شده‌اند. آن‌ها ظرفیت بالایی در به‌دام‌انداختن گونه‌های فعال اکسیژن نشان می‌دهند و جهت استفاده

جدول ۳: روش‌های آزمایشگاهی بررسی خصوصیات نانوذرات^{۱۷}.

کاربرد	متد آزمایشگاهی
اندازه‌گیری اندازه ذره‌ای، توزیع ذره‌ای نانوذرات در اشکال دارویی محلول و سوسپانسیون	تصویربرداری لیزری (laser light Scattering System)
اندازه‌گیری بار سطحی نانوذرات در اشکال دارویی محلول و سوسپانسیون	آنالیزور پتانسیل زتا
ارزیابی سطح و شکل نانوذرات	میکروسکوپ الکترونی (Scanning Electron Microscope [SEM])
اندازه‌گیری خصوصیات سطحی و مورفولوژی نانوذرات	میکروسکوپ الکترونی (Transmission Electron Microscope [TEM])
اندازه‌گیری سطح و شکل (زبری و نرمی) نانوذرات با رزولوشن بالا	میکروسکوپ اتمی (Atomic Force Microscope [AFM])
اندازه‌گیری غیرتهاجمی سه‌بعدی نانوذرات و ارزیابی عبور نانوذرات از سدهای بیولوژیک	میکروسکوپ کونفوکال (laser Scanning Confocal Microscope [LSCM])
آنالیز مساحت سطحی نانوذرات و ظرفیت جذب آن‌ها	آنالیزور سطح و تخلخل (Surface Area analyzer and pore size Analyzer)
ارزیابی ترکیبات شیمیایی موجود بر روی سطوح نانوذرات	اسپکتروسکوپ اشعه ایکس (X-ray Photoelectron Spectroscopy [XPS, ESCA])
تعیین ترکیبات شیمیایی موجود در سطح نانوذرات	اسپکتروسکوپ FTIR (Founier Transform Infrared spectroscopy)
آنالیز حرارتی نانوذرات و ناخالصی‌ها حین ساخت	کالریمتری افتراقی (Differential Scanning Calorimetry [DSC])
شناسایی، جداسازی و تعیین مقدار نانوذرات با اندازه ذره‌ای مختلف	HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

مبنی بر نفوذ نانوذرات حاصل از محصول آرایشی و بهداشتی به پوست سالم و بدون زخم در بزرگسالان وجود ندارد^{۲۲}.

دارورسانی موضعی سیستم‌های نانوحامل نسبت به روش‌های قدیمی دارورسانی پوستی، ایمن‌تر و مؤثرتر هستند و هم‌چنین اختصاصی و هدفمند عمل می‌کنند بنابراین، در این راه به میزان کمتری از دوز دارو نیاز است و به دنبال آن عوارض جانبی بسیار کمتر خواهد شد. با این حال، تماس مکرر و مزمن نانوحامل‌ها، مخصوصاً نانوحامل‌های پلیمری و فلزی با پوست، منجر به ایجاد سمیت و حساسیت در پوست می‌گردند^{۲۳}.

قرارگرفتن در معرض نانوذرات

استفاده صنعتی از نانوذرات فرصت‌های جدیدی ایجاد کرده است؛ اما برخی از خطرات و عدم قطعیت‌ها

تجویز می‌شوند، به جنین منتقل شده و منجر به آسیب مغزی و کاهش تولید اسپرم در فرزندان نر می‌شوند. تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید می‌توانند رادیکال‌های آزاد تولید کرده و باعث سمیت سلولی، در مواجهه با اشعه فرابنفش شوند. اگر نانوذرات به‌طور اتفاقی استنشاق و بلعیده یا از طریق پوست جذب شوند، می‌توانند باعث آسیب پوستی، آسیب ریه‌ها و سمیت اندام‌ها شوند یا به جنین آسیب برسند^{۲۴}.

نانوذرات نقره به‌دلیل فعالیت ضد میکروبی در محصولات آرایشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. غلظت نقره‌ای که برای باکتری‌ها کشنده است، برای کراتینوسیت‌ها و فیبروبلاست‌ها نیز کشنده است. صنعت آرایشی و بهداشتی عنوان می‌کند که خطرات آن‌ها برای مصرف‌کننده کم است؛ زیرا هیچ مدرکی

پوست سالم نمی‌توانند از سد پوست عبور کنند و به سلول‌های زنده اپیدرم یا لایه‌های عمیق‌تر برسند از این‌رو، ثابت شده است که سیستم‌های دارورسانی موضعی نانومحصولات آرایشی و بهداشتی، مفید و بی‌خطر هستند.^{۲۴}

نتیجه می‌گیریم که صنعت آرایشی، روزبه‌روز با توجه به تنوع گسترده محصولات آرایشی و بهداشتی در بازار و ورود محصولاتی از تولیدکنندگان بزرگ کوچک و شرکت‌های محلی در سراسر جهان رو به رشد است. نانو تکنولوژی در صنعت آرایشی منجر به کاهش دفعات مصرف، دارورسانی هدفمند، افزایش حلالیت مواد مؤثره، افزایش پایداری محصول، رهش آهسته ماده مؤثره، افزایش اثربخشی از طریق بهبود نفوذ ترکیب فعال به پوست و کاهش عوارض جانبی شده که این موارد، از جمله مزایای آن است. گسترش سریع و تجاری‌سازی فناوری نانو در صنعت آرایشی، پیشرفت‌های تکنیکی و اقتصادی بزرگی را به وجود آورده است؛ اما در مورد خطرات ناشی از سلامتی و ایمنی مصرف‌کنندگان نیز سؤال وجود دارد بنابراین، محصولات آرایشی بر پایه نانو تکنولوژی باید به گونه‌ای طراحی و عرضه شوند که سلامت مصرف‌کنندگان و محیط‌زیست را تضمین نماید.

را نیز به همراه دارد. افزایش تولید و استفاده از نانومواد، منجر به افزایش تعداد کارگران و مصرف‌کنندگان در معرض نانومواد می‌شود. استنشاق شایع‌ترین مسیر قرارگرفتن در معرض نانوذرات موجود در هوا است. ممکن است کارگران نانوذرات را استنشاق کنند درحالی‌که مصرف‌کنندگان ممکن است حین استفاده از محصولات آرایشی و بهداشتی آروسول شده استنشاق کنند.^{۲۴}

رسوب نانوذرات در دستگاه تنفسی به تعامل آن‌ها با غشای اپیتلیوم تنفسی بستگی دارد. نانوذرات ممکن است از طریق اعصاب بینی به مغز انتقال پیدا کرده و به سیستم عصبی دسترسی پیدا کنند. به دلیل اندازه آن‌ها، این نانوذرات به راحتی می‌توانند به جریان خون یا پوست دسترسی پیدا کنند و از آنجا به اندام‌های مختلف منتقل شوند. خوردن آن دسته از مواد آرایشی و بهداشتی که در نزدیکی دهان یا لب‌ها استفاده می‌شوند، ممکن است باعث انتقال غیرعمدی نانوذرات به دهان شود.^{۲۴}

مسیر دیگر، قرارگرفتن در معرض نانوذرات در گردش خون جذب پوستی است. انتقال نانوذرات از طریق پوست به ماهیت و خصوصیات فیزیکوشیمیایی نانوذرات و حامل، ماهیت ماده و شرایط پوست مربوط می‌شود. تحقیقات نشان داده است که این نانوذرات در

References

1. Brandt F, Cazzaniga A, Hann M. Cosmeceuticals: Current trends and market analysis. *Semin Cutan Med Surg* 2011; 30: 141-43.
2. Mu L, Sprando R. Application of nanotechnology in cosmetics. *Pharm Res* 2010; 27: 1746-749.
3. Bangham A. Physical structure and behavior of lipids and lipid enzymes. *J Lipid Res* 1963; 64:65-104.
4. Draelos Z. Retinoids in cosmetics. *Cosmet Dermatol* 2005; 18: 3-5.
5. Iqbal B, Ali J, Baboota S. Recent advances and development in epidermal and dermal drug deposition enhancement technology. *Int J Dermatol* 2018; 57:646-60.
6. Ha T, Jeong J, Jung B, et al. Cosmetic pigment composition containing gold or silver nanoparticles. *European Patent* 1909745A1, 2008.

7. Jain S, Patel N, Shah MK, et al. Recent advances in lipid based vesicles and particulate carriers for topical and transdermal application. *J Pharm Sci* 2017; 106: 423–45.
8. Paudel KS, Milewski M, Swadley CL, et al. Challenges and opportunities in dermal/transdermal delivery. *Ther Deliv* 2010; 1:109–31.
9. Jain S, Patel N, Madan P, et al. Quality by design approach for formulation, evaluation and statistical optimization of diclofenac loaded ethosomes via transdermal route. *Pharm Dev Techno* 2015; 20: 473–89.
10. Pathak Y, Thassu D. Drug delivery nanoparticles formulation and characterization. *J Pharm Sci* 2009; 191: 126–55.
11. Erdo F, Hashimoto N, Karvaly G, et al. Critical evaluation and methodological positioning of the transdermal microdialysistechnique. A review. *J Control Release* 2016; 233: 147–61.
12. Feingold KR. Thematic review series: Skin lipids. The role of epidermal lipids in cutaneous permeability barrier homeostasis. *J Lipid Res* 2007; 48: 2531–546.
13. Patel N, Jain S, Madan P, et al. Influence of electronic and formulation variables on transdermal iontophoresis of tacrine hydrochloride. *Pharm Dev Techno* 2015; 20: 442–57.
14. Perez AP, Altube MJ, Schilrreff P, et al. Topical amphotericin B in ultra-deformable liposomes: formulation, skin penetration study, antifungal and ant leishmanial activity in vitro. *Colloids Surf B* 2015; 139: 190–98.
15. Naeimifar A, Samadi A, Ahmad Nasrollahi S, et al. Efinaconazole topical solution 10%: Formulation and efficacy assessment in the treatment of toenail onychomycosis, *Mycoses* 2020; 63:517-24.
16. Ahmad Nasrollahi S, Hasanzadeh H, Moradi A, et al. Safety assessment of tretinoin loaded nano emulsion and nanostructured lipid carriers: A non-invasive trial on human volunteers. *Curr Drug Deliv* 2017; 14:575-80.
17. Mohammed Y, Holmes A, Haridass A, et al. Support for the safe use of zinc oxide nanoparticle sunscreens: Lack of skin penetration or cellular toxicity after repeated application in volunteers. *J Invest Dermatol* 2019; 139: 308-15.
18. Dreno B, Alexis A, Chuberre B, et al. Safety of titanium dioxide nanoparticles in cosmetics. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2019;33:34–46.
19. Pandey P, Satija S, Wadhwa R, et al. Emerging trends in nanomedicine for topical delivery in skin disorders: Current and translational approaches, *Dermatol Ther* 2020; 33:132-92.
20. Farbod E, Ahmad Nasrollahi S, Tabbakhi Z, et al. Novel formulation and evaluation of Q10-loaded solid lipid nanoparticles cream: In vitro and in vivo studies, *Int J Nanomedicine* 2011; 6:611-17.
21. Sabouri M, Samadi A, Ahmad Nasrollahi S, et al. Tretinoin loaded nanoemulsion for acne vulgaris: Fabrication, physicochemical and clinical efficacy assessments. *Skin pharmacol Physiol*, 2018;3 :316-23.
22. Kushwaha N. Use of nanotechnology in cosmeceuticals: A review. *Int J Pharm Sci Invent* 2020;9:43-51.
23. Gupta V, Mohapatra S, Mishra H, et al. Nanotechnology in cosmetics and cosmeceuticals—A review of latest advancements. *Gels* 2022; 8:173-204.
24. Ong W, Nyam K. Evaluation of silver nanoparticles in cosmeceutical and potential biosafety complications. *Saudi J Biol Sci* 2022;29:2085-094.

25. Dubey SK, Dey A, Singhvi G, et al. Emerging trends of nanotechnology in advanced cosmetics. *Colloids Surf B* 2022;214:112440.
26. Ahmad Nasrollahi S, Naeimifar A, Daneshmand B, et al. Formulation of Cosmetics & Toiletries (2), 2021;5: 322-52.

Reviewing the nanotechnology in cosmeceuticals

Seyedsajad Alenabi, PharmD¹
Atefeh Naeimifar, PhD²
Sara Bahrainian, PhD³
Saman Ahmadnasrollahi, PhD^{4*}

1. School of Pharmacy, Mazandaran University of Medical Sciences, Mazandaran, Iran
2. Department of Pharmaceutics, School of Pharmacy, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3. Department of Pharmaceutics, School of Pharmacy, Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran
4. Center for Research & Training in Skin Diseases & Leprosy, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Received: Aug 19, 2022

Accepted: Oct 02, 2022

Pages: 191-202

Corresponding Author:

Saman Ahmadnasrollahi, PhD

No. 415, Taleqani Ave., Tehran, Iran

Email: snasrollahi@tums.ac.ir

Conflict of interest: None to declare

Cosmeceuticals are the fastest growing segment of the personal care industry, and a number of topical cosmeceutical treatments for conditions such as photoaging, hyperpigmentation, wrinkles, and hair damage have come into widespread use. In the cosmeceutical arena nanotechnology has played an important role. Using new techniques to manipulate matter at an atomic or molecular level, opening up new perspectives for the future of cosmeceutical industry. Nanotechnology-based cosmeceuticals offer the advantage of diversity in products, and increased bioavailability of active ingredients and increase the aesthetic appeal of cosmeceutical products with prolonged effects. However increased use of nanotechnology in cosmeceuticals has raised concern about the possible penetration of nanoparticles through the skin and potential hazards to the human health. This review outlines the different nanoparticles used in various classes of cosmeceuticals, and the potential risk caused by nanoparticles on exposure.

Keywords: nanotechnology, cosmeceuticals, nanocarriers, toxicity

