Nanocomposites in Dentistry

Amirhosein Amiri[1], Yekta Farkhondeh Fal[2], M. Shahmirzaei[3]*

1- Undergraduate Student, Payame Noor University of Kerman, amirhoseinmiri79401@yahoo.com
2- Dentistry Student, Bushehr University of Medical Sciences, yekta15far@gmail.com
3- Assistant Professor, Faculty of Materials Engineering, Payame Noor University of Tehran, m.shamirzaei@pnu.ac.ir

Abstract

Nanocomposites, as advanced materials in dentistry, have brought significant transformation to the field due to their unique physical, chemical, and mechanical properties. The limitations of traditional biomaterials, such as low resistance to wear, fracture, and water absorption, have led to the consideration of nanocomposites as suitable alternatives due to their superior properties. This paper examines the structure, classification, properties, and applications of nanocomposites in dentistry, exploring how these materials can enhance the therapeutic and restorative performance of dental treatments. The results indicate that nanocomposites, due to their improved mechanical, biological, and chemical properties, can be effective in treating dental issues such as caries, periodontitis, and restoring damaged tissues. However, further research is needed to evaluate their long-term effects in living environments and to optimize processing techniques.

Keywords: Nanocomposites, Dentistry, Biomaterials, Dental Restoration, Mechanical Properties, Nanotechnology, Periodontitis, Nanomaterials

نانوکامپوزیت ها در دندان‌پزشکی

امیرحسین امیری [۱]، یکتا فرخنده فال[۲]، مهدی شاهمیرزایی[۳*]

۱- دانشجوی کارشناسی، دانشگاه پیام‌نور کرمان، amirhoseinmiri79401@yahoo.com

۲- دانشجوی دندانپزشکی، دانشگاه علوم‌پزشکی بوشهر، yekta15far@gmail.com

۳- استادیار، دانشکده مهندسی مواد، پیام‌نور کرمان ـ ایران، m.shamirzaei@pnu.ac.ir

خلاصه

نانوکامپوزیت‌ها به عنوان مواد پیشرفته در دندانپزشکی، به دلیل خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی منحصر به فرد خود، تحول قابل توجهی را در این حوزه به ارمغان آورده‌اند. مشکلات موجود در مواد زیستی سنتی مانند مقاومت پایین در برابر سایش، شکستگی و جذب آب، باعث شده است که نانوکامپوزیت‌ها با خواص برتر خود، به عنوان جایگزین‌های مناسب مورد توجه قرار گیرند. این مقاله به بررسی ساختار، طبقه‌بندی، خواص و کاربردهای نانوکامپوزیت‌ها در دندانپزشکی پرداخته و بررسی می‌کند که چگونه این مواد می‌توانند عملکرد درمانی و ترمیمی دندان‌ها را بهبود بخشند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که نانوکامپوزیت‌ها به دلیل بهبود خواص مکانیکی، زیستی و شیمیایی، می‌توانند در درمان مشکلات دندانی از جمله پوسیدگی، پریودنتیت و ترمیم بافت‌های آسیب‌دیده مؤثر واقع شوند. با این حال، تحقیقات بیشتری برای بررسی تأثیرات بلندمدت آنها در محیط‌های زنده و بهینه‌سازی تکنیک‌های پردازش مورد نیاز است.

کلمات کلیدی: نانوکامپوزیت‌ها، دندانپزشکی، مواد زیستی، ترمیم دندان، خواص مکانیکی، فناوری نانو، پریودنتیت، نانومواد

۱. مقدمه

علم نانو و فناوری نانو پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه‌های مختلف علمی، مهندسی، پزشکی و دندانپزشکی به همراه داشته‌اند. نانومواد و نانوکامپوزیت‌ها ویژگی‌هایی دارند که قادرند به حل مشکلات بالینی که پیش‌تر حل نشده بودند، کمک کنند [۱]. دندان‌ها، که در حفره دهان قرار دارند، از مینا، عاج، پالپ و لیگامان پریودنتال تشکیل شده‌اند. دندان‌ها برای جویدن ضروری هستند و به اعتماد به نفس و کیفیت زندگی کمک می‌کنند. بنابراین، از دست دادن دندان‌ها به دلیل بیماری‌های دندانی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر سلامت جسمی و روانی بیماران داشته باشد [۲].

در حال حاضر، دندانپزشکی مدرن به دنبال استفاده از تکنیک‌های نوین و مواد پیشرفته برای حفاظت و درمان دندان‌ها است. نانوکامپوزیت‌ها، که ترکیبی از نانومواد و مواد زیستی دندانی هستند، به دلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص خود، به‌طور چشمگیری می‌توانند خواص بالینی درمان‌ها را بهبود دهند. این مواد به‌ویژه در زمینه‌هایی مانند ترمیم دندان‌های آسیب‌دیده، درمان پوسیدگی و مدیریت بیماری‌های پریودنتال دارای پتانسیل بالایی هستند [۳].

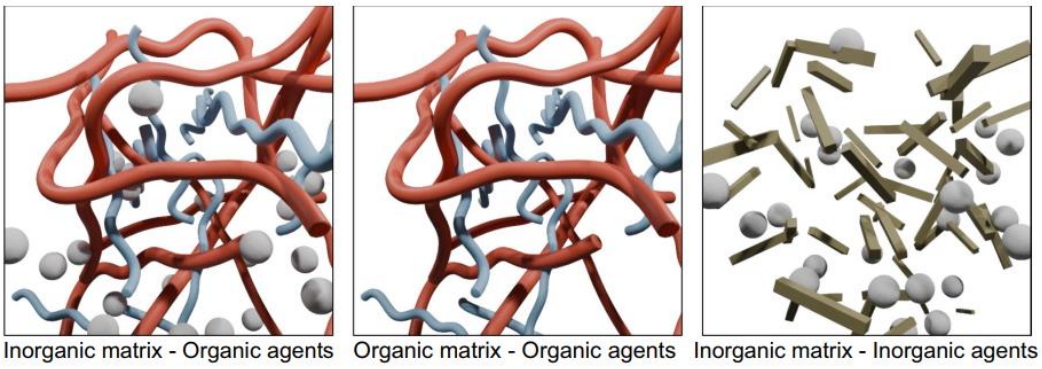
با وجود اینکه تحقیقات نشان داده‌اند که نانوکامپوزیت‌ها می‌توانند خواص بالینی بهتری نسبت به مواد سنتی ارائه دهند، اما هنوز نیاز به مطالعات گسترده‌تری برای درک کامل تأثیرات بلندمدت این مواد در محیط‌های زنده و بهینه‌سازی فرآیندهای تولید آنها وجود دارد [۳].

در این راستا، روش‌های مختلفی برای ادغام نانوکامپوزیت‌ها با مواد دندانی و شناسایی ویژگی‌های خاص آنها در شرایط آزمایشگاهی و بالینی مورد نیاز است. این تحقیقات می‌تواند شامل تحلیل‌های دقیق از رفتار نانوکامپوزیت‌ها تحت تأثیر شرایط مختلف محیطی، ارزیابی طولانی‌مدت دوام و کارایی آنها، و بررسی تأثیرات بیولوژیکی این مواد بر روی بافت‌های زنده باشد.

آسیب‌های دندانی ممکن است به پوسیدگی دندان، بیماری‌های پریودنتال، ضایعات پیش‌سرطانی و از دست دادن دندان منجر شوند. تمامی این آسیب‌ها می‌توانند از طریق مداخلات درمانی و استفاده از مواد سنتزی زیست فعال به‌طور مؤثر درمان شوند. نانوکامپوزیت‌ها به‌عنوان مواد زیستی دندانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاصی دارند که آن‌ها را برای غلبه بر مشکلات بالینی مواد زیستی سنتی در دندانپزشکی بالینی برتر می‌سازد. بنابراین، این مقاله به بررسی کاربرد نانومواد در حوزه‌های مختلف دندان‌پزشکی و طبقه‌بندی نانومواد بر اساس ابعاد و شکل آنها می‌پردازد.

۲. طبقه‌بندی نانوکامپوزیت‌ها

نانوکامپوزیت‌ها نوعی از مواد جدید حاوی پرکننده‌های پراکنده با حداقل یک بعد در محدوده نانومتری هستند که در شکل ۱ نشان داده شده است [۴]. در مقایسه با کامپوزیت‌های سنتی در مقیاس ماکرو یا میکرو، نانوکامپوزیت‌ها ویژگی‌های منحصر به فردی مانند افزایش سطح، عملکرد، انرژی سطح و نسبت استحکام به وزن بالا را نشان می‌دهند. پوشش‌های نانوکامپوزیت یک تغییر دهنده بازی در مواد دندانی هستند و راه حلی انعطاف‌پذیر و نوآورانه برای چالش‌های مختلف در مراقبت از دهان ارائه می‌دهند. این پوشش‌ها می‌توانند یکپارچگی ساختاری را تقویت کنند، زیبایی شناسی را بهبود بخشند، از عفونت جلوگیری کنند، تحویل دارو را تسهیل کنند و زیست سازگاری را تضمین کنند [۵، ۶].



شکل ۱- نمایش شماتیک انواع کامپوزیت [۴].

کامپوزیت‌ها از ترکیب دو فاز مختلف ساخته می‌شوند تا خواص مورد نظر برای کاربردهای خاص را به دست آورند. نانوکامپوزیت‌ها زیرمجموعه‌ای از مواد کامپوزیتی هستند که حداقل یک جزء آنها در مقیاس نانو قرار دارد. به دلیل سطح بالای تماس بین ماتریس و پرکننده و نسبت ابعادی بالاتر، نانوکامپوزیت‌ها به دلیل ترکیب خواص ویژه و امکان طراحی با غلظت کم پرکننده‌ها، در سال‌های اخیر جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده‌اند [۷].

نانوکامپوزیت‌ها بر اساس وجود یا عدم وجود مواد پلیمری به دو دسته نانوکامپوزیت‌های پلیمری و غیرپلیمری تقسیم می‌شوند. نانوکامپوزیت‌هایی که در ترکیب آن‌ها هیچ نوع پلیمر یا مواد مشتق از پلیمر وجود ندارد، نانوکامپوزیت‌های غیرپلیمری یا نانوکامپوزیت‌های معدنی نامیده می‌شوند. این دسته خود به سه نوع نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر فلز، مبتنی بر سرامیک و ترکیب سرامیک-سرامیک تقسیم می‌شود [۷].

خواص تعدادی از نانو افزودنی‌ها که در ساخت پلیمرهای نانوکامپوزیتی دندانی استفاده می‌شوند، در جدول ۱ مورد ارزیابی قرار گرفته است.

جدول ۱. توصیف خواص برخی از نانو افزودنی‌هایی مورد استفاده در پلیمرهای نانوکامپوزیتی دندانپزشکی

افزودنی‌ها	خصوصیات	رفرنس
نانوذرات سیلیس و پیش پلیمر	ادغام پیش پلیمر باعث بهبود خمش PMMA در تمام غلظت‌ها در مقایسه با گروه کنترل و گروه افزودن سیلیس شد. افزایش غلظت پرکننده منجر به بهبود ویژگی‌های مکانیکی رزین اکریلیک شد.	[۸]
$nZrO_2$	با اینکه افزودن $nZrO_2$ اثر مضری بر برخی ویژگی‌های مواد داشت. با افزایش نرخ افزودن $nZrO_2$، مقادیر جذب آب / حلالیت نمونه‌ها نیز افزایش یافت.	[۹]
الیاف شیشه و نانو پرکننده	افزودن نانو پرکننده برای ترمیم رزین، هم استحکام خمشی و هم مقاومت ضربه‌ای را بهبود می‌بخشد.	[۱۰]
$nAl_2O_3 + nTiO_2$	هر دو استحکام تسلیم فشاری و چقرمگی شکست به تدریج بهبود دادند و بیشترین بهبود را در سختی نشان دادند و ضریب اصطکاک و نرخ سایش را کاهش دادند.	[۱۱]

$nZrO_2$	بسته به اندازه دانه‌های ZrO_2 استفاده شده، افزودن نانو ZrO_2 استحکام خمشی کامپوزیت را با ماتریس PMMA افزایش می‌دهد.	[۱۲]
نانوباریم تیتانیوم (NBT)	نانوکامپوزیت‌های NBT/PMMA به دلیل ذرات NBT پراکنده و بسیار متراکم، سختی سطح بالاتر و زبری سطح پایین‌تری داشتند.	[۱۳]

۳. انواع نانوکامپوزیت‌ها در دندانپزشکی

نانو مواد به چهار دسته اصلی بر اساس ماتریس‌هایشان تقسیم می‌شوند: نانوکامپوزیت‌های ماتریس سرامیکی، نانو مواد ماتریس فلزی، نانوکامپوزیت‌های ماتریس پلیمری و نانوکامپوزیت‌های سرامیک- سرامیک [۱۴].

۳-۱. نانوکامپوزیت‌های پلیمری

نانوکامپوزیت‌های پلیمری شامل پلیمرهایی هستند که به عنوان ماتریس عمل می‌کنند و افزودنی‌های نانو به عنوان مواد تقویت‌کننده در آنها استفاده می‌شود. این افزودنی‌ها می‌توانند به صورت یک بعدی (نانو لوله‌ها و الیاف)، دوبعدی (مواد لایه‌ای مانند خاک رس) و سه بعدی (ذرات کروی) باشند. نانوکامپوزیت‌های پلیمری به دلیل ویژگی‌های مکانیکی برجسته خود، از جمله قدرت و سختی بالا با مقادیر کم افزودنی‌های نانو، توجه زیادی را در زمینه‌های علمی و صنعتی جلب کرده‌اند. علاوه بر این، این نانوکامپوزیت‌ها دارای موانع عالی در برابر اکسیداسیون، سایش و خواص مغناطیسی، الکتریکی و طیفی هستند [۱۵].

نانوکامپوزیت‌های پلاستیکی از مواد نانو پرکننده در ماتریس پلاستیکی ساخته می‌شوند. هدف اصلی ترکیب فرآوری‌پذیری پلیمر با ویژگی‌های برتر مواد نانو پرکننده است تا مواد نانوکامپوزیت با ویژگی‌های ساختاری بهبود یافته تولید شود. یکی از مفاهیم نوین در نانوکامپوزیت‌ها، افزایش قابل توجه سطح تماس بین پرکننده‌های نانو و مواد پلیمری است که با کاهش اندازه ویژگی‌های پرکننده به مقیاس نانو حاصل می‌شود [۱۴].

نمونه‌ای از تقویت‌کننده‌های کامپوزیت پلیمری شامل پلاستیک (ماتریس) و مواد پرکننده است. به عنوان مثال، پلی‌آمید یک پلیمر ترموپلاستیک است و الیاف کربن و شیشه مواد تقویت‌کننده رایج هستند. نوع مواد تقویت‌کننده به کاربرد مورد نظر بستگی دارد. در اکثر موارد، نیروهای بین‌مولکولی ضعیف ماتریس پلیمر و پرکننده‌ها را به هم نگه می‌دارند، اما در برخی موارد از چسبندگی نیز استفاده می‌شود. هنگامی که ماده پرکننده در ماتریس به سطح اتمی یا مولکولی (سطح نانومتری) پراکنده شده و با مواد ماتریس پیوند شیمیایی برقرار می‌کند، بهبودهای قابل توجهی در ویژگی‌های مکانیکی ماده کامپوزیت و همچنین ویژگی‌های جدید و غیرمنتظره به دست می‌آید [۱۴].

برای دستیابی به استحکام بالا، از مواد معدنی خاک رس (مانند مونت موریلونیت، ساپونیت و هکتوریت) به عنوان مواد پرکننده استفاده می‌شود. یک لایه از ذرات خاک رس سیلیکاتی تقریباً ۱ نانومتر ضخامت دارد و از صفحات به عرض حدود ۱۰۰ نانومتر تشکیل شده است. در نتیجه، نسبت ابعاد آن بسیار بزرگ است. الیاف شیشه‌ای با قطر ۱۳ میکرومتر و طول ۰/۳ میلی‌متر، بزرگ‌تر از یک لایه سیلیکاتی معمولی است. پلیمرها مزایای متعددی دارند از جمله وزن سبک، دوام بالا، سهولت پردازش، مقاومت در برابر خوردگی و هزینه پایین. با این حال، از نظر مکانیکی، حرارتی و الکتریکی، پلیمرها در مقایسه با سرامیک‌ها و فلزات عملکرد ضعیف‌تری دارند و همچنین در عملکردهای موانع گاز، مقاومت در برابر حرارت و آتش نیز ضعیف‌تر هستند. در برخی نانوکامپوزیت‌های ماتریس پلیمری، ترکیب‌های جدیدی از ویژگی‌ها مشاهده شده است، مانند افزودن مقدار بسیار کمی از سیلیکات‌های میکا (۰/۰۳-۰/۰۴٪) به اپوکسی که مدول را در فاز لاستیکی به میزان حدود

٪۴۵۰ افزایش می‌دهد. پیشرفت نانوکامپوزیت‌ها همچنین به پیشرفت‌های قابل توجهی در پردازش شیمیایی نانو مواد منجر شده است [۱۵].

۳-۲. نانوکامپوزیت‌های ماتریس سرامیکی

نانوکامپوزیت‌های ماتریس سرامیکی که حداقل یکی از فازهای نانو را شامل می‌شوند، نمونه‌ای نوین از مواد مهندسی هستند که کاربردهای صنعتی گسترده‌ای دارند. این نانوکامپوزیت‌ها به دلیل میکروساختار ویژه خود، ویژگی‌های الکتریکی و مکانیکی استثنائی را از خود نشان می‌دهند. روش‌های مختلفی برای تولید این نانوکامپوزیت‌ها وجود دارد، از جمله روش‌های سنتی پودر، پیش‌ماده‌های پلیمری، پیرولیز اسپری، فرآوری شیمیایی مانند فرآیند سل-ژل، و روش‌های کلوئیدی و رسوبی. نمونه‌هایی از نانوکامپوزیت‌های ماتریس سرامیکی شامل Al_2O_3/SiO_2 ، SiO_2/Ni، Al_2O_3/TiO_2 و Al_2O_3/SiC هستند. نانولوله‌های کربنی (CNTs) از زمان کشفشان به طور گسترده در تولید نانوکامپوزیت‌های پلیمری استفاده شده‌اند و نمونه‌هایی از نانوذرات ماتریس سرامیکی مبتنی بر CNT شامل Al_2O_3/CNT و $MgAl_2O_4/CNT$ هستند [۱۴].

۳-۳. نانوکامپوزیت‌های ماتریس فلزی

مواد تقویت‌شده با نانوذرات که شامل ماتریس فلزی یا آلیاژی نرم و تقویت شده با نانوذرات هستند، به عنوان نانوکامپوزیت‌های ماتریس فلزی شناخته می‌شوند. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی این کامپوزیت‌ها که از ماتریس فلزی یا آلیاژی با نانوذرات پر شده‌اند، به طور قابل توجهی با ویژگی‌های ماده ماتریس متفاوت است. نانوذرات معمولا برای بهبود مقاومت به سایش، ویژگی‌های مکانیکی و خواص دفعی استفاده می‌شوند. در مقیاس نانو، تعامل نانوذرات با ناپیوستگی‌ها اهمیت زیادی پیدا می‌کند و منجر به بهبودهای قابل توجهی در ویژگی‌های مکانیکی می‌شود. نانوذرات با عمل به عنوان مانع ناپیوستگی، ویژگی‌های مکانیکی را بهبود می‌بخشند. روش‌های پردازش متداول شامل پیرولیز اسپری، نفوذ مایع فلز و الکترولیز هستند. همچنین، سیستم‌های شیمیایی مانند روش‌های کلوئیدی، سل-ژل و رسوب الکتریکی برای تولید نانوکامپوزیت‌های ماتریس فلزی به کار می‌روند [۱۴].

۳-۴. نانوکامپوزیت‌های سرامیک- سرامیک

نانوکامپوزیت‌های سرامیک-سرامیک به موادی اشاره دارند که از دو یا چند فاز سرامیکی تشکیل شده‌اند و حداقل یکی از این فازها ابعادی در مقیاس نانو (معمولا کمتر از ۱۰۰ نانومتر) دارد. این نوع نانوکامپوزیت‌ها از ترکیب دو ماده سرامیکی مختلف ساخته می‌شوند که خواص فیزیکی، شیمیایی یا مکانیکی بهتری نسبت به هر یک از سرامیک‌های جداگانه ارائه می‌دهند [۱۶].

در این نانوکامپوزیت‌ها، یکی از فازها ممکن است به عنوان ماتریس (ماده اصلی) عمل کند و فاز دیگر به عنوان تقویت‌کننده. این ترکیب باعث افزایش ویژگی‌هایی مانند مقاومت به حرارت، سختی، استحکام، دوام، و مقاومت به سایش می‌شود. همچنین، نانوذرات در این کامپوزیت‌ها می‌توانند باعث بهبود خواص شیمیایی مانند مقاومت به خوردگی و بهبود خواص زیستی مانند سازگاری زیستی شوند [۱۶].

نانوکامپوزیت‌های سرامیک-سرامیک به دلیل ویژگی‌های خاص خود در کاربردهای مختلفی مانند ایمپلنت‌های پزشکی، قطعات مهندسی پیشرفته، و صنایع هوافضا استفاده می‌شوند. به‌عنوان مثال، در حوزه پزشکی، این مواد می‌توانند به عنوان جایگزین‌های استخوان و ایمپلنت‌های دندانی به کار روند، چرا که به دلیل شباهت به ترکیبات طبیعی استخوان، سازگاری زیستی و مکانیکی بالایی دارند [۱۶].

۴. تکنیک‌های پردازش نانوکامپوزیت‌ها

تکنیک‌های پردازش نانوکامپوزیت‌ها به روش‌های مختلفی اشاره دارد که برای ساخت این مواد مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از پردازش نانوکامپوزیت‌ها، دستیابی به موادی با خواص بهینه است که در آنها نانوذرات به طور یکنواخت در ماتریس پخش شده و بهبود ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی حاصل می‌شود. در زیر، برخی از تکنیک‌های مهم پردازش نانوکامپوزیت‌ها آورده شده است [۱۷].

۴-۱. روش پلیمریزاسیون درجا

در این روش، نانوذرات در طی فرآیند پلیمریزاسیون درون ماتریس پلیمری تشکیل می‌شوند. ابتدا پیش‌ماده پلیمری و نانوذرات به صورت هم‌زمان در مخلوط قرار گرفته و فرآیند پلیمریزاسیون آغاز می‌شود. این روش باعث توزیع یکنواخت نانوذرات در ماتریس پلیمری می‌شود [۱۷].

۴-۲. مخلوط‌سازی مذاب

در این روش، نانوذرات به یک پلیمر مذاب اضافه شده و با استفاده از تکنیک‌های اختلاطی مانند اکستروژن یا پرس، مخلوط می‌شوند. این روش به دلیل استفاده از دما و نیروی مکانیکی، به یکنواختی در توزیع نانوذرات کمک می‌کند و بیشتر در صنعت پلیمر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۷].

۴-۳. پراکندگی محلولی

در این تکنیک، نانوذرات در یک محلول مناسب پراکنده شده و سپس به یک ماتریس پلیمری یا سرامیکی اضافه می‌شوند. این روش معمولا برای تهیه نانوکامپوزیت‌های پلیمری استفاده می‌شود. پس از افزودن نانوذرات، حلال تبخیر می‌شود و یک نانوکامپوزیت متراکم و یکدست به دست می‌آید [۱۷].

۴-۴. الکتروریسی

این تکنیک برای تولید نانوکامپوزیت‌های الیافی بسیار نازک به کار می‌رود. در این روش، یک محلول شامل پلیمر و نانوذرات با استفاده از نیروی الکتریکی به شکل الیاف نانو در می‌آید. این الیاف نانو می‌توانند به عنوان تقویت‌کننده در مواد دیگر استفاده شوند [۱۷].

۴-۵. چاپ سه‌بعدی

در این تکنیک مدرن، نانوکامپوزیت‌ها با استفاده از چاپگرهای سه‌بعدی تولید می‌شوند. مواد نانوکامپوزیتی به صورت لایه‌ای چاپ شده و شکل نهایی را به خود می‌گیرند. این روش به ویژه برای ساخت قطعات پیچیده و سفارشی‌سازی‌شده بسیار مفید است [۱۷].

۴-۶. رسوب‌دهی فیزیکی بخار

در این روش، نانوذرات از طریق تبخیر فیزیکی و سپس رسوب بر روی سطح یک ماده، بر روی ماتریس قرار می‌گیرند. این تکنیک برای ساخت نانوکامپوزیت‌های مبتنی بر لایه‌های نازک استفاده می‌شود [۱۷].

۴-۷. رسوب‌دهی شیمیایی بخار

در این روش، مواد شیمیایی به حالت گاز وارد محفظه‌ای می‌شوند که حاوی زیرلایه (ماتریس) است. در این محفظه، واکنش شیمیایی صورت می‌گیرد و نانوذرات به طور کنترل‌شده بر روی سطح ماتریس رسوب می‌کنند. CVD اغلب برای تهیه نانوکامپوزیت‌های سرامیکی استفاده می‌شود [۱۷].

۴-۸. فرآیند لیچینگ نمک

این تکنیک بیشتر برای تولید نانوکامپوزیت‌های با ساختار متخلخل به کار می‌رود. در این روش، ذرات نمک به عنوان عامل ایجاد تخلخل به ماتریس اضافه می‌شوند و سپس در یک مرحله شستشو، نمک حل شده و حذف می‌شود. نتیجه، یک نانوکامپوزیت متخلخل با ویژگی‌های خاص است [۱۷].

۴-۹. فرآیند فریز-درایینگ

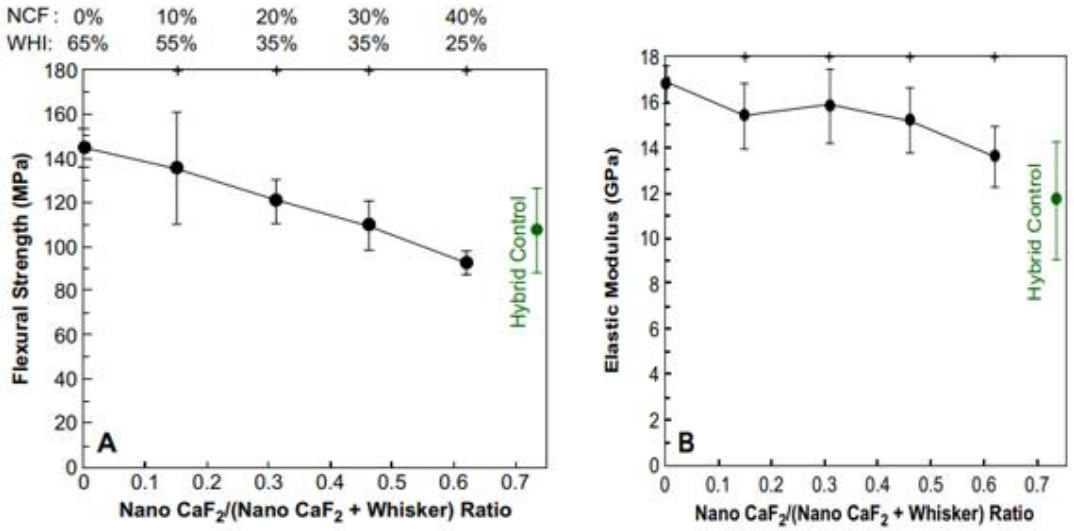
در این فرآیند، نانوذرات به یک محلول ماتریسی اضافه شده و سپس به سرعت منجمد می‌شود. با حذف آب یا حلال از طریق فرآیند تصعید (یخ به بخار)، یک نانوکامپوزیت متخلخل با ساختار منظم به دست می‌آید [۱۷].

۴-۱۰. فوم‌سازی گازی

در این تکنیک، از گاز برای ایجاد فوم در یک ماتریس پلیمری یا سرامیکی استفاده می‌شود. این روش به تولید نانوکامپوزیت‌هایی با ساختار متخلخل کمک می‌کند که در کاربردهایی مانند مهندسی بافت یا فیلترهای پیشرفته مفید است [۱۷].

۵. تحقیقات دندانپزشکی نانوتکنولوژیکی

اخیراً از اکسید تیتانیوم به عنوان یک نانوپرکننده استفاده شده است که نتایج برتری داشته است. ذرات پرکننده نانوساختار متخلخل در مرحله آزمایشی هستند که به ماتریس رزین اجازه می‌دهد تا مواد مکانیکی در هم قفل شده را تولید کند و ممکن است نیاز به یک عامل جفت‌کننده را برطرف کند. Xu و همکارانش و چان و همکارانش گزارش کردند که سیلانیزاسیون چقرمگی شکست و استحکام یک کامپوزیت کلسیم فسفات آزاد کننده یون را افزایش می‌دهد. مطالعه‌ای که توسط Karabela و Sideridou انجام شد، اثرات متفاوتی را روی حلالیت و جذب RBC مشاهده کرد که از ترکیب‌های سیلان متنوع برای اتصال کامپوزیت‌های حاوی سیلیس استفاده می‌شود [۱۸].



شکل ۲- (الف) استحکام خمشی و (ب) مدول الاستیک کامپوزیت رزین دندان حاوی نانوذرات CaF_2. در بالا، NCF نشان دهنده نانوذرات CaF_2 و WHI نشان دهنده سبیل است. محور x نشان دهنده نسبت جرمی CaF_2 به CaF_2 سبیل) است، که در آن "۰" به معنای همه سبیل‌ها و بدون CaF_2 است [۱۸].

۶. کاربرد نانوکامپوزیت‌ها در دندانپزشکی

۶-۱. پریودنتیکس

پریودنتیکس شاخه‌ای از دندانپزشکی است که به ساختارهای پشتیبان دندان، از جمله لثه، لیگامان پریودنتال، استخوان آلوئولار و غلاف مربوط می‌شود و مشکلاتی که بر این ساختارها تأثیر می‌گذارند را شامل می‌شود. پریودنتیت، با علائمی چون پوسیدگی دندان، از دست رفتن استخوان و مشکلات دندانی، به اجزای سخت و نرم اطراف دندان آسیب می‌زند. این اختلالات می‌توانند با استفاده از درمان‌های مختلف، که ممکن است شامل روش‌های پزشکی و جراحی باشند، مدیریت شوند. مولکول‌های کوچک به دلیل اندازه بزرگ‌تری که دارند، در درمان‌های پزشکی به سختی می‌توانند به فضاهای عمیق و ملتهب بین دندان و لثه نفوذ کنند. اما نانوذرات به دلیل قطر نانومتری خود، قادر به رسیدن به نواحی زیر لثه‌ای هستند. به عنوان مثال، استفاده از نانوذرات برای تحویل دارو در درمان بیماری پریودنتال با تری‌کلوزان نشان داده شده است [۱۹].

نانوذرات تتراسایکلین نیز به عنوان درمانی برای پریودنتیت مورد بررسی قرار گرفته است ®Arestin و ®Nanogen دو نوع میکروسفر تجاری بارگذاری‌شده با تتراسایکلین هستند که دارو را به مدت طولانی به ناحیه آسیب‌دیده منتقل می‌کنند [۲۰]. نانوکریستال‌های هیدروکسی‌آپاتیت (HA) اخیراً برای درمان و مدیریت ناهنجاری‌های پریودنتال درون استخوانی آزمایش شده‌اند و نتایج امیدوارکننده‌ای به همراه داشته‌اند [۲۱]. همچنین، نانوذرات کربنات و آپاتیت توانایی مؤثری در مهر و موم کردن لوله‌های دندانی نشان داده‌اند که برای درمان حساسیت دندانی در درازمدت اهمیت دارد [۲۲].

۶-۲. جراحی دهان و فک و صورت

جراحی دهان و فک و صورت به درمان جراحت‌ها و ناهنجاری‌ها در بافت‌های سخت و نرم نواحی دهان و فک و صورت می‌پردازد. ناهنجاری‌های صورت و استخوانی که به دلیل بیماری‌های دندانی یا آسیب‌ها ایجاد می‌شوند، نیاز به جراحی برای بازگرداندن ویژگی‌های طبیعی صورت دارند. در جراحی‌های دهانی، از مواد زیست‌سازگار برای بهبود ظاهر صورت بیمار استفاده می‌شود. مواد با زیست‌سازگاری پایین می‌توانند باعث تحریک، عفونت و تغییر رنگ پوست صورت شوند. نانو مواد مدرن به دلیل زیست‌سازگاری بالا، نسبت به گزینه‌های درمانی سنتی برتری دارند [۲۳]. این نانوذرات همچنین می‌توانند به عنوان پایه‌های جدید برای تولید استخوان، به دلیل توانایی‌شان در تحریک تمایز استخوان‌ساز و بیومینرالیزاسیون سلول‌ها به کار روند.

سرطان دهان اکنون یکی از کشنده‌ترین بیماری‌های دهانی است و تهدیدی جدی برای سلامت انسان محسوب می‌شود. سمیت سیستمیک ناشی از شیمی‌درمانی، یکی از عوارض جدی درمان سرطان است و علائمی مانند سوزش دهان و ریزش مو را به همراه دارد. شناسایی دقیق و کشتن سلول‌های سرطانی با استفاده از نانو داروها می‌تواند به کاهش سمیت سیستمیک با کاهش میزان داروهای ضد تومور مورد نیاز کمک کند [۲۴]. تحویل نانو دارو به صورت موضعی همچنین می‌تواند به محافظت از بافت‌های سالم در کنار تخریب بافت‌های سرطانی کمک کند. نانوذرات مغناطیسی در آزمایش‌های متعدد به عنوان ابزار مؤثر برای تحویل هدفمند داروهای تومور معرفی شده‌اند. این نانوذرات می‌توانند به راحتی از طریق مسیر وریدی به بافت تومور وارد شوند و به دلیل اندازه نانو خود، به مقدار کمی دارو نیاز دارند، که این امر سمیت سیستمیک را کاهش داده و با دقت بالا به کاهش تومور کمک می‌کند [۲۵، ۲۶].

۶-۳. اندودنتیکس

اندودنتیکس به مطالعه فیزیولوژی پالپ دندان و مدیریت بیماری‌ها و آسیب‌های آن، از جمله اختلالات پری‌ریپیکال، می‌پردازد. پوسیدگی دندان، که به‌وسیله میکروب‌های دهان ایجاد می‌شود، می‌تواند منجر به درمان‌های اندودنتیک مانند درمان ریشه شود که برای پوسیدگی‌های شدید دندان به‌کار می‌رود. نانو تکنولوژی می‌تواند در توسعه مواد پیشرفته برای اندودنتیکس نقشی کلیدی ایفا کند. مواد مختلفی مانند آمالگام دندانی، سیمان‌های شیشه‌ای، کامپوزیت‌های دندانی، گوتا پرچا، ضدعفونی‌کننده‌های کانال ریشه و مواد پرکننده در اندودنتیکس استفاده می‌شوند. نانوتکنولوژی می‌تواند با افزودن نانوذرات (NPs) ضد میکروبی به این مواد، ویژگی‌های آن‌ها را بهبود بخشد و از عفونت‌های مجدد و شکست‌های درمانی جلوگیری کند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که نانوذرات بیوپلیمری اثرات ضدباکتریایی قوی‌تری در ضدعفونی‌کننده‌های کانال ریشه دارند و افزودن نانوذرات QPEI (پلی‌اتیلن‌ایمین آمونیوم چهارم) به مواد پرکننده کانال ریشه، فعالیت‌های ضدمیکروبی آن‌ها را در برابر بیوفیلم‌های *انترکوکوس فاسیلس* افزایش داده است [۲۷، ۲۸].

۶-۴. ارتودنسی و ارتوپدی فکی دندانی

ارتودنسی و ارتوپدی فکی دندانی به تشخیص، پیشگیری و درمان اختلالات مالاکلوژن می‌پردازند. تنظیم صحیح دندان‌ها برای سلامت دهان بسیار مهم است و مشکلاتی مانند شلوغی دندان‌ها یا فاصله بین دندان‌ها ممکن است نیاز به درمان ارتودنسی داشته باشد. استفاده از نانو تکنولوژی در ارتودنسی در حال توسعه است و تحقیقات در حال بررسی نانوذرات با ویژگی‌های بهبود یافته هستند. پوشش دادن سیم‌های ارتودنسی و براکت‌ها با نانوذرات، اصطکاک و مقاومت مکانیکی را کاهش می‌دهد. نانوذرات ضد میکروبی می‌توانند از ایجاد پلاک دندانی و پوسیدگی‌های مرتبط با تجهیزات ارتودنسی جلوگیری

کنند. مطالعاتی مانند تحقیقات Kachoei و همکاران نشان داده‌اند که پوشش نانو بر روی سیم‌های قوس و براکت‌های خودقفل‌کننده، اصطکاک را کاهش داده و عملکرد درمان‌های ارتودنسی را بهبود می‌بخشد [۲۹].

۶-۵. رادیولوژی

رادیولوژی به مدیریت غیرجراحی و تشخیص بیماری‌های دهان و صورت می‌پردازد که به پوسیدگی دندان مربوط نمی‌شود. حفظ سلامت دهان نیازمند تشخیص و درمان دقیق بیماری‌های دهانی است. نانوتکنولوژی در بهبود تصویربرداری و درمان در پزشکی دهان نقش مهمی دارد. نانوذرات با داشتن سطح وسیع و تعاملات شیمیایی یا فیزیکی قوی، قابلیت‌های تشخیصی و درمانی را افزایش می‌دهند. نانوذرات ارگانیک و غیر ارگانیک، از جمله سیلیکا، زیرکونیا، هیدروکسی‌آپاتیت و دی‌اکسیدتیتانیوم، در پزشکی دهان استفاده می‌شوند. تصویربرداری نانو، که یک تکنولوژی جدید است، از نانو فسفر استیلاتورها استفاده می‌کند که با دوزهای کم تابش یونیزان نور مرئی تولید می‌کنند و تصاویری با کیفیت بالا با حداقل تابش را ارائه می‌دهند، که برای تصویربرداری دندانی مفید است [۳۰].

۶-۶. ترمیم دندان

ترمیم دندان به مدیریت و درمان مشکلات دندانی و ساختارهای پشتیبان آن‌ها می‌پردازد. برای ترمیم و بازسازی ساختارهای دندانی آسیب‌دیده و بهبود زیبایی و عملکرد دندان‌ها، نیاز به روش‌های پیشرفته است. نانو تکنولوژی به بهبود مواد ترمیمی دندان مانند سیمان‌های شیشه‌ای، کامپوزیت‌های دندانی، ایمپلنت‌های دندانی و مواد اندودنتیک کمک کرده است. اخیراً، پیشرفت‌های قابل توجهی در ترمیم‌های دندانی مبتنی بر رزین حاصل شده است. افزودن نانوذرات به ماتریس رزین کامپوزیت می‌تواند ویژگی‌های مکانیکی مانند کاهش انقباض پلیمر، مقاومت در برابر سایش و سختی سطح را بهبود بخشد. در مطالعه‌ای، افزودن نانوذرات شیشه‌ای فلوروسیکال به سیمان‌های شیشه‌ای باعث افزایش خواص مکانیکی و زیبایی‌شناختی آن‌ها شد. نانوایونومرها نیز برای کاربردهای درمانی گزارش شده‌اند [۳۱].

۶-۷. پیشگیری از بیماری‌های دندان

نانوتکنولوژی می‌تواند به پیشگیری از پوسیدگی دندان و محافظت در برابر عوامل ایجادکننده ضایعات کمک کند. بیوفیلم‌های میکروبی زودهنگام بر روی سطح دندان باعث پوسیدگی می‌شوند که در نهایت به خرابی دندان منجر می‌شود. محصولات ترمیمی دندانی حاوی نانوآپاتیت می‌توانند به بازسازی ساختارهای آسیب‌دیده دندان کمک کنند. نانوذرات ضدمیکروبی می‌توانند به کامپوزیت‌های دندانی اضافه شوند تا از چسبیدن میکروب‌های مضر به سطح دندان جلوگیری کنند. استفاده از خمیر دندان‌های حاوی نانوذرات هیدروکسی‌آپاتیت برای حذف بیوفیلم و بازسازی عیوب مینای دندان مؤثر است. نانوذرات کلسیم آمورف نیز می‌توانند به بازسازی مینای دندان کمک کنند [۳۲، ۳۳].

۶-۸. پروتز دندان

پروتز دندان به ارزیابی، تست تشخیصی، بازتوانی کامل دهان و حفظ عملکرد طبیعی دهان در افرادی که مشکلاتی مانند دندان‌های از دست رفته یا بافت‌های دهان و فک دارند، می‌پردازد و از جایگزین‌های زیست‌سازگار استفاده می‌کند. پیری طبیعی، اختلالات دهانی و آسیب‌ها می‌توانند محیط دهان را تغییر دهند و منجر به از دست دادن دندان شوند که نیاز به جایگزینی برای عملکرد مناسب دهان دارد. مواد جدیدی مانند رزین‌های اکریلیک و ایمپلنت‌های دندانی ویژگی‌های بهبودیافته‌ای دارند و برای انواع مختلف عملیات پروتز دندانی مناسبند. تولید دندان‌های مصنوعی با مواد نانو سرامیکی،

استحکام بالاتر، ثبات رنگ و هدایت الکتریکی و حرارتی کمتری را به نمایش گذاشته است. ترکیبات فلزی مختلفی برای ساخت دندان‌های پروتزی، مانند آلیاژهای تیتانیوم، کبالتیوم کروم و مولیبدن، مورد استفاده قرار گرفته است. این ترکیبات ویژگی‌های مکانیکی خوب و مقاومت شیمیایی به فولاد ضد زنگ را نشان می‌دهند. افزودن نانوذرات به پلی‌متیل متاکریلات (PMMA) استحکام عرضی را افزایش می‌دهد، سازگاری بیولوژیکی را بهبود می‌بخشد، سختی سطح را افزایش می‌دهد و جذب و حل‌شدگی آب را کاهش می‌دهد [۳۴].

۷. نتیجه‌گیری

استفاده از نانوکامپوزیت‌ها در دندانپزشکی به دلیل خواص فیزیکی و مکانیکی برتر، از جمله مقاومت بالا در برابر سایش، شکستگی و جذب آب، بهبود قابل توجهی در درمان‌های دندانی ایجاد کرده است. این مواد در ترمیم‌های دندانی و درمان مشکلات پریودنتال و جراحی‌های دهان و فک و صورت مؤثر هستند. نتایج مطالعات نشان می‌دهند که نانوکامپوزیت‌ها به دلیل تعامل بهتر با ساختارهای طبیعی دندان و افزایش دوام ترمیم‌ها، می‌توانند جایگزین مناسبی برای مواد زیستی سنتی باشند. با این حال، تحقیقات بیشتری برای ارزیابی تأثیرات بلندمدت این مواد در محیط‌های بالینی و زنده و بهبود روش‌های پردازش نانوکامپوزیت‌ها مورد نیاز است.

۸. قدردانی

درصورت لزوم، بخش کوتاه تقدیر وتشکر می تواند قبل از ارائه فهرست مراجع ذکر گردد.

۹. مراجع

1.Sudha PN, Kirubanandam S, Vijayalakshmi K, Barhoum A. Nanomaterials history, classification, unique properties, production and market Current prospects and future trends micro and nano technologies Emerging applications of nanoparticles and architecture nanostructures. Amsterdam: Elsevier; 2018. p. 341-84
2.Duane B, Harford S, Ramasubbu D, Stancliffe R, Pasdeki-Clewer E, Lomax R, et al. Environmentally sustainable dentistry: a brief introduction to sustainable concepts within the dental practice. British Dental Journal 2019;226:292-5
3.Silva Soares LE, Nahorny S, de Faria Braga V, Marciano FR, Bhattacharjee TT, et al. Oral Dis 2018;24:228.
4.Mosher BP, Zeng T (2003) Synthesis and characterization of novel organic-inorganic nancomposite coatings. MRS Online Proc Libr 788(1):84
5.Silva RC, Agrelli A, Andrade AN, Mendes-Marques CL, Arruda IR, Santos LR, Machado G (2022) Titanium dental implants: an overview of applied nanobiotechnology to improve biocompatibility and prevent infections. Materials 15(9):3150
6.Lo Giudice R, Tribst JPM (2020) Dental materials coatings: effect on the clinical behavior. Coatings 10(12):1229
7.Sen M. Nanotechnology and the Environment 2020;. Available from: https://doi.org/10.5772/intechopen.93047.

8.P. Cevik and A. Z. Yildirim-Bicer, "The effect of silica and prepolymer nanoparticles on the mechanical properties of denture base acrylic resin," Journal of prosthodontics, vol. 27, no. 8, pp. 763-770, 2018.
9.G. Ergun, Z. Sahin, and A. S. Ataol, "The effects of adding various ratios of zirconium oxide nanoparticles to poly (methyl methacrylate) on physical and mechanical properties," Journal of oral science, vol. 60, no. 2, pp. 304-315, 2018.
10. T. H. Abushowmi et al., "Comparative effect of glass fiber and nano-filler addition on denture repair strength," Journal of Prosthodontics, vol. 29, no. 3, pp. 261-268, 2020.
11. A. Nabhan, M. Taha, and N. M. Ghazaly, "Filler loading effect of Al2O3/TiO2 nanoparticles on physical and mechanical characteristics of dental base composite (PMMA)," Polymer Testing, p. 107848, 2022.
12. K. Chęcińska, M. Chęciński, M. Sikora, Z. Nowak, S. Karwan, and D. Chlubek, "The Effect of Zirconium Dioxide (ZrO2) Nanoparticles Addition on the Mechanical Parameters of Polymethyl Methacrylate (PMMA): A Systematic Review and Meta-Analysis of Experimental Studies," Polymers, vol. 14, no. 5, p. 1047, 2022.
13. N. Elshereksi, A. Muchtar, and C. Azhari, "Effects of nanobarium titanate on physical and mechanical properties of poly (methyl methacrylate) denture base nanocomposites," Polymers and Polymer Composites, vol. 29, no. 5, pp. 484-496, 2021
14. W. Khan, N. Hamadneh, and W. Khan, "Science and applications of tailored nanostructures," ed: One Central Press (OCP), 2016.
15. J. Huang, J. Zhou, and M. Liu, "Interphase in polymer nanocomposites," JACS Au, vol. 2, no. 2, pp. 280-291, 2022.
16. Thostenson E, Li C, Chou TW. Nanocomposites in context. Composites Science and Technology 2005;65:491-516.
17. Funda G, Taschieri S, Bruno GA, Grecchi E, Paolo S, Girolamo D, et al. Nanotechnology scaffolds for alveolar bone regeneration. Materials (Basel) 2020;13:201.
18. H.H. Xu, J.L. Moreau, L. Sun, L.C. Chow, Strength and fluoride release characteristics of a calcium fluoride based dental nanocomposite, Biomaterials 29 (32) (2008) 4261–4267.
19. Arcos D, López-Noriega A, Ruiz-Hernández E, Terasaki O, Vallet-Regí M. Ordered mesoporous microspheres for bone grafting and drug delivery. Chemistry of Materials. 2009 Mar 24;21(6):1000-9.
20. Khurshid Z, Zafar M, Qasim S, Shahab S, Naseem M, AbuReqaiba A. Advances in nanotechnology for restorative dentistry. Materials. 2015 Feb;8(2):717-31
21. Chitsazi MT, Shirmohammadi A, Faramarzie M, Pourabbas R, Rostamzadeh AN. A clinical comparison of nano-crystalline hydroxyapatite (Ostim) and autogenous bone graft in the treatment of periodontal intrabony defects. Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2011 May 1;16(3):e448-53.
22. Vano M, Derchi G, Barone A, Covani U. Effectiveness of nano-hydroxyapatite toothpaste in reducing dentin hypersensitivity: a double-blind randomized controlled trial. Quintessence international. 2014 Sep 1;45(8).
23. Foster BL, Ramnitz MS, Gafni RI, Burke AB, Boyce AM, Lee JS, Wright JT, Akintoye SO, Somerman MJ, Collins MT. Rare bone diseases and their dental, oral, and craniofacial manifestations. Journal of dental research. 2014 Jul;93(7_suppl):7S-19S.
24. Huber FX, Belyaev O, Hillmeier J, Kock HJ, Huber C, Meeder PJ, Berger I. First histological observations on the incorporation of a novel nanocrystalline hydroxyapatite

paste OSTIM® in human cancellous bone. BMC Musculoskeletal Disorders. 2006 Dec;7(1):1-4.
25. Malik A, Tahir Butt T, Zahid S, Zahid F, Waquar S, Rasool M, Qazi MH, Qazi AM. Use of magnetic nanoparticles as targeted therapy: theranostic approach to treat and diagnose cancer. Journal of Nanotechnology. 2017 May 30;2017.
26. Yu K, Liu M, Dai H, Huang X. Targeted drug delivery systems for bladder cancer therapy. Journal of Drug Delivery Science and Technology. 2020 Apr 1;56:101535.
27. Shrestha A, Kishen A. Antibacterial nanoparticles in endodontics: a review. Journal of endodontics. 2016 Oct 1;42(10):1417-26.
28. Kesler Shvero D, Zaltsman N, Weiss EI, Polak D, Hazan R, Beyth N. Lethal bacterial trap: cationic surface for endodontic sealing. Journal of Biomedical Materials Research Part A. 2016 Feb;104(2):427-34.
29. Kachoei M, Eskandarinejad F, Divband B, Khatamian M. The effect of zinc oxide nanoparticles deposition for friction reduction on orthodontic wires. Dental research journal. 2013 Jul;10(4):499.
30. Tay CY, Fang W, Setyawati MI, Chia SL, Tan KS, Hong CH, Leong DT. Nano-hydroxyapatite and nano-titanium dioxide exhibit different subcellular distribution and apoptotic profile in human oral epithelium. ACS applied materials & interfaces. 2014 May 14;6(9):6248-56
31. Hua Y, Gu L, Watanabe H. Micromechanical analysis of nanoparticle-reinforced dental composites. International Journal of Engineering Science. 2013 Aug 1;69:69-76.
32. Arafa MG, Mousa HA, Afifi NN. Preparation of PLGA chitosan based nanocarriers for enhancing antibacterial effect of ciprofloxacin in root canal infection. Drug Delivery. 2020 Jan 1;27(1):26-39.
33. Toledano M, Osorio R, Osorio E, Medina-Castillo AL, Toledano-Osorio M, Aguilera FS. Ions-modified nanoparticles affect functional remineralization and energy dissipation through the resin-dentin interface. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials. 2017 Apr 1;68:62-79.
34. Wang S, Meng Y, Li C, Qian M, Huang R. Receptormediated drug delivery systems targeting to glioma. Nanomaterials. 2015 Dec 28;6(1):3.