

مروری کوتاه بر استفاده از نانو مواد در درمان زخم های دیابتی

راضیه سنجری^۱، محسن فروزان فر^{۲*}، فاطمه هنرآسا^۳، محمدامین عدالت منش^۱، حیدر اقابابا^۴

^۱ گروه زیست شناسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.
^۲ گروه زیست شناسی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.
^۳ گروه شیمی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.
^۴ گروه زیست شناسی، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران.

چکیده: زخم های پوستی و کاهش زمان بهبود آن ها، یکی از جنبه های مهم پزشکی محسوب می شوند. ترمیم زخم به عنوان یک فرایند طبیعی زیستی، شامل ارتباط متقابل فرایندهای سلولی در مرحله ی تحقیق و برنامه ریزی شده از نظر توالی و بازه های زمانی است و هر گونه نقص در این فرایند موجب به تاخیر افتادن بهبود زخم می شود. زخم های دیابتی یکی از عوارض شایع دیابت هستند که به دلیل اختلال در جریان خون و عملکرد ایمنی بدن ایجاد می شوند. درمان این زخم ها به دلیل پیچیدگی های بالینی و نیاز به ترمیم موثر بافت، چالش برانگیز است. در سال های اخیر، نانومواد به عنوان گزینه ای نویدبخش در درمان زخم های دیابتی معرفی شده اند. نانومواد با ویژگی های منحصر به فرد خود، از جمله نسبت سطح به حجم بالا و خواص فیزیکی و شیمیایی خاص، می توانند به عنوان ابزارهای موثر در ترمیم زخم ها عمل کنند. این مواد شامل نانوذرات فلزی (مانند نقره و طلا)، نانولوله های کربنی و نانوکامپوزیت های پلیمری هستند که هریک به شیوه ای خاص در فرایند ترمیم زخم ها نقش دارند. مکانیسم های عمل نانومواد شامل خاصیت ضد عفونی کنندگی، تحریک ترمیم بافت و کنترل التهاب است. همچنین، استفاده از نانومواد در پانسمان های پیشرفته و سیستم های دارورسانی هدفمند می تواند به تسریع روند بهبودی زخم ها کمک کند. با این حال، چالش هایی نظیر سمیت و هزینه تولید باید مورد توجه قرار گیرد. این مطالعه به مروری بر کاربردهای بالینی نانو مواد در درمان زخم های دیابتی و بهبود نتایج درمانی می پردازد.

واژگان کلیدی: نانومواد، زخم، دیابت، ترمیم، التهاب.

mforozaanfar@yahoo.com

پوست به عنوان مانع اصلی بین محیط داخلی و خارجی، اندام های داخلی را از عوامل بیماری زای خارجی و عوامل محیطی محافظت می کند. با این حال، هنگامی که این سد محافظ به دلیل آسیب، جراحی یا بیماری های مزمن به خطر می افتد، نقطه ورودی برای عوامل بیماری زا مانند استافیلوکوکوس اورئوس مقاوم به متی سیلین^۱ و سودوموناس آئروژینوزا^۲ ایجاد می شود [۳].

۱- مقدمه

پوست، به عنوان بزرگترین اندام بدن انسان، دارای ساختارهای پیچیده و چندمنظوره ای است که نقش های اساسی از جمله محافظت در برابر تهدیدات فیزیکی، شیمیایی و زیستی، حس، تنظیم دما و حفظ تعادل هیدراتاسیون را ایفا می کنند [۱،۲].

^۱ Methicillin resistant staph aureus, MRSA

^۲ Pseudomonas aeruginosa

نفوذپذیری غشایی تغییر یافته باکتری‌ها که جذب آنتی‌بیوتیک را کاهش می‌دهد؛ ۴. پمپ‌های افلاکس به طور فعال آنتی‌بیوتیک‌ها را دفع می‌کنند و غلظت داروی داخل سلولی را کاهش می‌دهند؛ ۵. ریزمحیط محافظ، یک جایگاه محافظ برای باکتری‌ها فراهم می‌کند و به باکتری‌ها اجازه می‌دهد تا از پاسخ‌های ایمنی فرار کنند و حساسیت آنتی‌بیوتیکی آنها را کاهش می‌دهد [۱۳].

علاوه بر این، استفاده سیستمیک از آنتی‌بیوتیک‌ها می‌تواند به دلیل عملکرد غیر اختصاصی و استفاده طولانی مدت، منجر به اثرات نامطلوب و ایجاد مقاومت دارویی شود [۱۷]. علاوه بر این، درمان موفقیت‌آمیز عفونت‌های زخم نه تنها به کنترل مؤثر عفونت، بلکه به بهبود زخم برای بازیابی یکپارچگی و عملکرد پوست نیز نیاز دارد [۱۸]. در نتیجه، نیاز مبرمی به رویکردهای درمانی نوآورانه وجود دارد که بتوانند به طور مؤثر زخم‌های آلوده به باکتری را درمان کنند.

دیابت به عنوان یک بیماری مزمن و شایع در سطح جهانی، تأثیرات عمیقی بر سلامت عمومی دارد. بر اساس آمار سازمان بهداشت جهانی، تعداد مبتلایان به دیابت در سال ۲۰۱۹ به حدود ۴۶۵ میلیون نفر رسید و پیش بینی می‌شود که این رقم تا سال ۲۰۴۵ به ۷۰۰ میلیون نفر افزایش یابد [۱۹]. دیابت نه تنها بر قند خون تأثیر می‌گذارد، بلکه عوارض متعددی را نیز به همراه دارد که یکی از جدی‌ترین آن‌ها زخم‌های دیابتی است. این زخم‌ها معمولاً در نواحی پا و اندام‌های تحتانی ایجاد می‌شوند و می‌توانند منجر به عفونت‌های شدید، بستری شدن در بیمارستان و حتی قطع عضو شوند [۲۰].

زخم‌های دیابتی به دلیل اختلال در جریان خون و کاهش حس در نواحی آسیب دیده، به راحتی عفونی می‌شوند. این زخم‌ها معمولاً به درمان‌های معمولی پاسخ نمی‌دهند و نیازمند رویکردهای ویژه‌ای هستند. طبق گزارشات، حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد از بیماران دیابتی در طول عمر خود دچار زخم‌های دیابتی می‌شوند که این مسئله نه تنها کیفیت زندگی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد بلکه هزینه‌های درمانی بالایی را نیز برای سیستم‌های بهداشتی ایجاد می‌کنند [۲۱]. این زخم‌ها اغلب به دلیل نارسایی در جریان خون و آسیب‌های عصبی ناشی از دیابت ایجاد می‌شوند. در نتیجه، این زخم‌ها به طور معمول دیر بهبود

این عوامل بیماری‌زا می‌توانند منجر به عفونت زخم شوند و در نتیجه عوارضی مانند زخم‌های التیام‌نیافته، سپسیس و حتی مرگ ایجاد کنند. به‌ویژه در افرادی که بیماری‌های زمینه‌ای مانند دیابت دارند، عفونت‌های زخم می‌توانند به راحتی مزمن شوند، زیرا دیابت می‌تواند از طریق اختلال در رگ‌زایی، نوروپاتی و اختلال عملکرد سیستم ایمنی، بهبود زخم را مختل کند [۴]. زخم‌های مزمن اغلب با التهاب پایدار، تشکیل بیوفیلیم و نکروز بافت مشخص می‌شوند که در نهایت مانع بسته شدن زخم و بازسازی بافت می‌شود [۵، ۶، ۷].

اگر عفونت‌های مزمن زخم‌ها درمان نشوند، می‌توانند منجر به عوارض جدی از جمله افزایش خطر قطع عضو، عفونت‌های سیستمیک، طولانی شدن مدت بستری در بیمارستان و کاهش قابل توجه کیفیت زندگی شوند. زخم‌های عفونی یک ریز محیط غیرطبیعی ایجاد می‌کنند که درمان را پیچیده می‌کند. ویژگی‌های کلیدی این ریز محیط عمدتاً شامل افزایش سطح گونه‌های فعال اکسیژن، هیپوکسی و تشکیل بیوفیلیم است [۸].

در ابتدا، پاسخ ایمنی باعث ایجاد پاسخ التهابی حاد می‌شود که با آزادسازی سیتوکین‌های پیش‌التهابی و جذب سلول‌های ایمنی مانند نوتروفیل‌ها و ماکروفاژها مشخص می‌شود. اگرچه این سلول‌ها برای پاکسازی پاتوژن ضروری هستند، اما می‌توانند از تنظیم خارج شوند و منجر به تولید بیش از حد مولکول‌های رادیکال آزاد و تشدید آسیب بافتی شوند. عفونت‌های مداوم باعث تجمع باکتری‌ها و تشکیل بیوفیلیم می‌شوند، جایی که مواد پلیمری خارج سلولی متابولیسم باکتری‌ها را کاهش داده و مقاومت در برابر درمان‌های مرسوم را افزایش می‌دهند [۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲] و ریشه‌کنی عفونت‌ها را دشوار می‌کنند [۱۳].

روش‌های سنتی مراقبت از زخم برای مدیریت عفونت‌ها به شدت به آنتی‌بیوتیک‌های سیستمیک [۱۴] و پانسمان‌های معمولی [۱۵] متکی هستند. با این حال، مقاومت آنتی‌بیوتیکی، تشکیل بیوفیلیم و سمیت‌های سیستمیک اغلب اثربخشی آنها را محدود می‌کند. مکانیسم‌های اساسی مقاومت آنتی‌بیوتیکی چندوجهی هستند [۱۶]، از جمله: ۱. باکتری‌ها آنزیم‌هایی مانند بتالاکتاماز تولید می‌کنند که آنتی‌بیوتیک‌ها را تجزیه می‌کنند؛ ۲. جهش در محل‌های هدف آنتی‌بیوتیک‌ها، آنها را بی‌اثر می‌کند؛ ۳.

استفاده از روش های پیشرفته مانند درمان فتودینامیک ضدباکتریایی و نانوذرات، به ویژه در بیماران دیابتی با بیماری های همراه، می تواند به بهبود زخم ها کمک کند. ادغام این روش ها برای مقابله با چالش هایی مانند هیپوکسی و استرس اکسیداتیو ضروری است تا نتایج بالینی موثری حاصل شود [۲۸].

در سال های اخیر، ظهور نانوزیم ها، نانومواد با ویژگی ها و فعالیت های شبه انزیم طبیعی، توجه زیادی به خود جلب کرده است. به عنوان یک گزینه امیدوارکننده در زیست پزشکی، وسعت کاربرد آن به سرعت در حال افزایش است و مکانیسم های مختلفی برای تسریع بهبود زخم، مانند اثرات آنتی اکسیدانی، اثرات ضدباکتریایی، تقویت رگ زایی دارد. در مواجهه با نقص های ذاتی نانوزیم ها، مواد کامپوزیتی نانوزیم های چندمنظوره جدید نیز به طور مداوم توسعه یافته اند. این یک روش جدید برای بهبود پای زخم دیابتی است [۲۹].

این مطالعه به بررسی انواع نانومواد، مکانیسم های عمل و کاربردهای بالینی آن ها در درمان زخم های دیابتی می پردازد. همچنین چالش ها و محدودیت های موجود در استفاده از این مواد نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت. امید است که با پیشرفت فناوری و تحقیقات بیشتر، نانومواد بتوانند به عنوان یک راهکار موثر در درمان زخم های دیابتی مورد استفاده قرار گیرند. تفاوت این مطالعه مروری با مطالعات مروری دیگر در این است که این مطالعه به طور خاص بر روی نانو مواد و کاربردهای آن ها در درمان زخم های دیابتی تمرکز دارد، در حالی که بسیاری از مقالات مروری دیگر ممکن است به بررسی کلی درمان های زخم یا روش های درمانی مختلف بپردازند.

۲- پانسمان

زخم های دیابتی نه تنها به دلیل زمان طولانی بهبودی، بلکه به دلیل خطر بالای عفونت و احتمال بروز عوارض جانبی از جمله قطع عضو و حتی مرگ، چالش های زیادی را به سیستم های بهداشتی و بیماران تحمیل می کنند. روش های درمانی سنتی که بر پایه پانسمان های ساده و استفاده از آنتی بیوتیک ها بودند، در بسیاری از موارد ناکارآمد بوده و از کاهش نرخ عفونت جلوگیری نمی کنند. همچنین، زخم های دیابتی به محیطی مرطوب و

می یابند و به مراقبت های خاص نیاز دارند [۳۳]. زخم های پای دیابتی به دلیل شیوع بالا، نیازمند رویکردهای درمانی نوآورانه هستند. فیروبلاست ها با نقش کلیدی در بهبود زخم تحت تاثیر شرایط هیپرگلیسمی قرار می گیرند. استفاده از داربست های نانوفیبری الکتروریسی شده می تواند به بهبود عملکرد فیروبلاست ها و تسریع روند بهبود زخم کمک کند [۲۴].

درمان زخم های دیابتی یک چالش بزرگ است که نیازمند رویکردهای نوین و موثر است. روش های سنتی درمان شامل استفاده از پانسمان های معمولی، آنتی بیوتیک ها و جراحی هستند، اما این روش ها همیشه نتایج مطلوبی ندارند و ممکن است زمان زیادی برای بهبودی نیاز باشد. بنابراین، پژوهشگران به دنبال راهکارهای جدیدی هستند که بتوانند به بهبود سریع تر و موثرتر زخم ها کمک کنند [۲۵].

در سال های اخیر، نانومواد به عنوان یک گزینه نویدبخش در درمان زخم های دیابتی شناخته شده اند. نانومواد شامل ساختارهایی با ابعاد نانو هستند که خواص فیزیکی و شیمیایی خاصی دارند. این مواد می توانند با افزایش سطح تماس با بافت زخم، افزایش سرعت ترمیم و کاهش عفونت ها، نقش مهمی در فرایند بهبودی ایفا کنند [۲۶]. نانو ذرات فلزی مانند نقره و طلا به دلیل خاصیت ضدعفونی کنندگی خود، مورد توجه ویژه ای قرار گرفته اند. علاوه بر نانوذرات فلزی، نانولوله های کربنی و پلیمرهای نانوکامپوزیتی نیز به عنوان حامل های دارویی و سیستم های دارورسانی هدفمند مورد استفاده قرار می گیرند. این مواد می توانند داروها را به صورت هدفمند به محل زخم منتقل کنند و همچنین با تحریک فرایندهای ترمیم بافت، بهبودی را تسریع کنند [۲۷]. استفاده از این نانومواد در پانسمان های پیشرفته می تواند به کاهش زمان بهبودی و همچنین کاهش خطر عفونت کمک کند.

با این حال، استفاده از نانومواد در درمان زخم های دیابتی چالش هایی نیز دارد. یکی از مهم ترین چالش ها، سمیت بالقوه این مواد است که ممکن است بر روی سلول های سالم تاثیر منفی بگذارد [۲۸]. همچنین، هزینه تولید و مقیاس پذیری این مواد نیز مورد توجه قرار گیرد تا بتوانند به صورت گسترده در درمان زخم های دیابتی مورد استفاده قرار گیرند.

پایدار برای تسریع در روند بهبود نیاز دارند، که روش های قدیمی نمی توانند این شرایط را به درستی فراهم کنند [۲۵].

خصوصیات پانسمان ایده آل در ادامه آورده شده است: ۱. قادر به حفظ رطوبت در محل زخم و جذب ترشح اضافی است. ۲. فاقد ذرات و آلاینده های سمی است. ۳. غیر سمی است و ایجاد آلرژی نمی کند. ۴. قادر به محافظت از زخم در برابر صدمات بیشتر است. ۵. بدون صدمه به زخم قابل تعویض است. ۶. غیر قابل نفوذ در برابر باکتری هاست. ۷. عایق حرارتی است. ۸. امکان تبادل گازی را فراهم می کند. ۹. راحت و سازگار است. ۱۰. کمتر به تعویض پانسمان نیاز است. ۱۱. مقرون به صرفه است [۳۰].

استفاده از پانسمان های پیشرفته در دهه های اخیر به عنوان یکی از موثرترین راهکارها برای بهبود زخم های دیابتی مطرح شده است. این پانسمان ها با ویژگی هایی همچون حفظ رطوبت، خاصیت ضدباکتریایی، قابلیت جذب بالا و تسهیل در رشد بافت جدید، به درمان زخم های دیابتی کمک می کنند. از مهم ترین پانسمان های پیشرفته ای که امروزه در درمان زخم دیابتی استفاده می شود می توان به پانسمان های هیدروژل، هیدروکلوئید، فوم و نانوپانسمان ها و .. اشاره کرد [۳۱-۳۲]. در ادامه به بررسی هریک پرداخته خواهد شد.

۲-۱- پانسمان هیدروژل

پانسمان های هیدروژل از مواد پایه آب تشکیل شده اند و ساختاری ژل مانند دارند که برای حفظ رطوبت در زخم های خشک و نیمه خشک ایده آل هستند. این پانسمان ها معمولاً از پلیمرهای طبیعی و مصنوعی مانند پلی وینیل الکل، پلی آکریل آمید و ژلاتین ساخته می شوند و توانایی بالایی در جذب و حفظ رطوبت دارند. رطوبت در زخم از یک طرف از خشک شدن سطح زخم جلوگیری می کند و از طرف دیگر، با ایجاد محیطی مرطوب به سلول های جدید کمک می کند تا به راحتی رشد کرده و به بهبودی زخم کمک کنند. پانسمان های هیدروژل، با ساختاری ژلاتینی و توانایی جذب بالای رطوبت، برای درمان طیف گسترده ای از زخم ها، به ویژه زخم های خشک و زخم هایی که به رطوبت اضافی نیاز دارند، بسیار مناسب هستند. این پانسمان ها با

ایجاد یک محیط مرطوب بر روی سطح زخم، به نرم شدن بافت های مرده و نکروزه کمک کرده و فرآیند ترمیم را تسریع می بخشند. علاوه بر این، پانسمان های هیدروژل با کاهش درد و ناراحتی بیمار، کیفیت زندگی آن ها را بهبود می بخشند. به همین دلیل، این نوع پانسمان ها برای درمان زخم های دیابتی با ترشح کم و زخم هایی که دچار بافت مرده هستند، بسیار مفید می باشند. با استفاده از پانسمان های هیدروژل، می توان به طور موثر به ترمیم زخم ها کمک کرده و از عوارض احتمالی آن ها جلوگیری کرد [۳۳-۳۴].

در مجموع می توان گفت که پانسمان های هیدروژل به دلیل داشتن ساختار پایه آب، ویژگی های منحصر به فرد زیر را دارند که آن ها را برای درمان زخم های دیابتی مناسب می سازد:

۱. حفظ رطوبت زخم: هیدروژل ها با حفظ رطوبت زخم، از خشک شدن آن جلوگیری می کنند و شرایط مناسب برای رشد بافت جدید را فراهم می کنند. این محیط مرطوب باعث می شود که روند بهبودی زخم سریع تر پیش برود.

۲. کاهش درد: ساختار ژل مانند این پانسمان ها باعث می شود که تماس پانسمان با سطح زخم کمترین تحریک را ایجاد کرده و به کاهش درد کمک کند. بسیاری از بیماران دیابتی با مشکلات درد در ناحیه زخم مواجه اند. پانسمان های هیدروژل در کاهش این درد بسیار موثر هستند.

۳. جلوگیری از چسبندگی به زخم: این پانسمان ها به دلیل ساختار نرم و مرطوب، به سطح زخم نمی چسبند و تعویض آن ها بدون درد و آسیب به بافت زخم انجام می شود. این ویژگی به خصوص برای بیمارانی که نیاز به تعویض پانسمان های مکرر دارند، بسیار مفید است.

۴. خواص خنک کنندگی: استفاده از پانسمان های هیدروژل می تواند دمای زخم را کاهش دهد و احساس خنکی ایجاد کند که این امر در کاهش التهاب و درد موثر است [۳۵].

هرچند پانسمان های هیدروژل ویژگی های مثبتی دارند، اما معایب و محدودیت هایی نیز در استفاده از آن ها وجود دارد که در ادامه به آنها اشاره می شود. یکی از چالش های اصلی پانسمان های هیدروژل قیمت بالای آن هاست که باعث می شود این روش

درمان برای برخی از بیماران از لحاظ اقتصادی غیرقابل دسترسی باشد. همچنین به دلیل ساختار مرطوب، اگر پانسمان هیدروژل به درستی تعویض نشود، احتمال بروز عفونت در زخم وجود دارد. از طرف دیگر، پانسمان‌های هیدروژل برای زخم‌های سطحی و نیمه‌خشک مناسب‌تر هستند و در زخم‌های عمیق و عفونی کارایی کمتری دارند [۳۳-۳۴].

مطالعات کلینیکی نشان داده‌اند که استفاده از پانسمان‌های هیدروژل می‌تواند زمان بهبودی زخم‌های دیابتی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. در یک مطالعه که در مجله تخصصی زخم‌های دیابتی منتشر شده است، نشان داده شد که بیماران دیابتی که از پانسمان‌های هیدروژل استفاده کردند، به‌طور میانگین ۳۵ درصد سریع‌تر از بیماران با روش‌های سنتی بهبود یافتند. همچنین، میزان رضایت بیماران از لحاظ کاهش درد و راحتی در استفاده از این پانسمان‌ها بسیار بالا گزارش شده است. در نتیجه، پانسمان‌های هیدروژل به عنوان یکی از گزینه‌های مؤثر در درمان زخم‌های دیابتی شناخته می‌شوند، به شرط آنکه برای زخم‌های سطحی و با رعایت اصول بهداشتی استفاده شوند [۲۳].

۲-۲- پانسمان هیدروکلوئید

پانسمان‌های هیدروکلوئید یکی دیگر از انواع پانسمان‌های پیشرفته‌ای هستند که برای درمان زخم‌های دیابتی به کار می‌روند. این پانسمان‌ها از لایه‌ای نیمه‌شفاف و منعطف تشکیل شده‌اند که دارای مواد ژله‌ای مانند کربوکسی‌متیل سلولز، ژلاتین و پکتین هستند. این مواد در تماس با ترشحات زخم به ژل تبدیل شده و رطوبت مناسبی را برای زخم فراهم می‌کنند. پانسمان‌های هیدروکلوئید می‌توانند به مدت چند روز بر روی زخم باقی بمانند و از عفونت و خشک شدن زخم جلوگیری کنند [۳۶].

در مجموع می‌توان گفت که پانسمان‌های هیدروکلوئید ویژگی‌های منحصر به فردی دارند که آن‌ها را برای زخم‌های دیابتی با شرایط خاص مناسب می‌سازد. در ادامه به بررسی این ویژگی‌ها پرداخته می‌شود.

۱. ایجاد محیط مرطوب برای زخم: این پانسمان‌ها به دلیل تبدیل شدن به ژل در تماس با ترشحات، رطوبت زخم را حفظ کرده و از

خشک شدن زخم جلوگیری می‌کنند. این محیط مرطوب به رشد سلول‌های جدید کمک کرده و فرایند بهبود را تسریع می‌کند.

۲. جذب ترشحات اضافی: پانسمان‌های هیدروکلوئید قابلیت بالایی در جذب ترشحات زخم دارند و برای زخم‌هایی که ترشحات متوسط تا زیاد دارند، بسیار مناسب هستند. جذب این ترشحات به جلوگیری از رشد باکتری‌ها و کاهش احتمال عفونت کمک می‌کند.

۳. قابلیت تعویض کمتر: این پانسمان‌ها به دلیل ساختار محکم و مقاوم می‌توانند چند روز بر روی زخم باقی بمانند و نیاز به تعویض مکرر ندارند. این ویژگی نه تنها راحتی بیشتری برای بیمار فراهم می‌کند، بلکه از آسیب به بافت جدید زخم جلوگیری می‌کند.

۴. محافظت از زخم در برابر باکتری‌ها و آلودگی: لایه بیرونی پانسمان هیدروکلوئید ضدآب است و می‌تواند از ورود باکتری‌ها و آلودگی به داخل زخم جلوگیری کند، در حالی که اجازه می‌دهد بخار آب از پانسمان خارج شود [۳۷].

هرچند پانسمان‌های هیدروکلوئید ویژگی‌های مناسبی برای زخم‌های دیابتی دارند، اما معایب و محدودیت‌هایی نیز برای آنها وجود دارد که شامل موارد زیر است.

بوی نامطبوع: در برخی موارد، به دلیل تجمع ترشحات در زیر پانسمان، بوی نامطبوعی ایجاد می‌شود که ممکن است برای بیمار ناخوشایند باشد.

مناسب نبودن برای زخم‌های عفونی شدید: این پانسمان‌ها برای زخم‌های عفونی شدید مناسب نیستند، زیرا در صورت تجمع عفونت، تغییر پانسمان به‌موقع دشوار می‌شود و خطر گسترش عفونت را افزایش می‌دهد.

احتمال تحریک پوست اطراف زخم: در برخی موارد، استفاده طولانی‌مدت از پانسمان‌های هیدروکلوئید ممکن است باعث تحریک و حساسیت در پوست اطراف زخم شود [۳۸].

مطالعات متعددی درباره تأثیر پانسمان‌های هیدروکلوئید بر زخم‌های دیابتی انجام شده است. در یک پژوهش منتشر شده در مجله بین‌المللی زخم‌های دیابتی، نشان داده شد که بهبود زخم‌های بیماران مبتلا به دیابت که از پانسمان‌های هیدروکلوئید

استفاده کردند، به طور میانگین ۴۰ درصد سریع‌تر از بیمارانی بود که از روش‌های سنتی پانسمان استفاده کرده بودند. همچنین، این مطالعه نشان داد که میزان عفونت در بیماران با پانسمان‌های هیدروکلوئید به طرز چشم‌گیری کاهش یافت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که پانسمان‌های هیدروکلوئید می‌توانند به عنوان یک گزینه موثر و کم‌درد برای بیماران دیابتی در درمان زخم‌هایشان استفاده شوند، به خصوص در مواردی که زخم عفونی نبوده و نیاز به محافظت طولانی‌مدت دارد [۳۶].

۲-۳- پانسمان فوم

پانسمان‌های فوم در برابر اکسیژن و بخار آب نفوذپذیر هستند. آنها معمولاً دارای یک لایه آبگریز هستند که فضای بسته را فراهم می‌کند و برخی از آنها دارای چسب هستند که باعث سهولت در استفاده می‌شود. آنها می‌توانند فقط مقادیر محدودی از ترشحات زخم را جذب کنند، بنابراین ممکن است لازم باشد هر دو تا سه روز یا حتی بیشتر زمانی که ترشح زیاد است، تعویض شوند. پانسمان‌های فوم به طور ایده آل برای زخم‌های با ترشح متوسط مناسب هستند. به عنوان مثال پس از جراحی سطحی و زخم‌های مزمن. از طرفی پانسمان‌های فوم با ایجاد یک لایه ضربه گیر می‌توانند فشار را در ناحیه برجستگی‌های استخوانی کاهش دهند و به همین دلیل به عنوان پانسمان محافظ مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳۹].

۲-۴- پانسمان آلژینات

فیبرهای آلژینات دارای خواص تبادل یونی هستند. در تماس با ترشح زخم، یون کلسیم در فیبر با یون‌های سدیم در مایع بدن جایگزین می‌شود. در نتیجه یک قسمت از فیبر، آلژینات سدیم می‌شود. آلژینات سدیم محلول در آب است. این تبادل یون باعث تورم فیبر و ایجاد ژل در سطح زخم می‌شود. علاوه بر این ویژگی منحصر به فرد، فیبرهای آلژینات یکی از مواد ایده آل برای تولید پوشش‌های مرطوب کننده برای پانسمان زخم می‌باشند. پانسمان آلژینات چسبنده نیست و استفاده از آن آسان است. همچنین دفعات تعویض پانسمان کم است. از آنجا که پانسمان آلژینات هیدروفیل است، ۳۰-۲۰ برابر وزن مایع زخم را جذب می‌کند. این پانسمان، تشکیل بافت اپیتلیوم و گرانولاسیون

را افزایش می‌دهد. از پانسمان آلژینات ۴۴، برای زخم‌های ضخیم، زخم‌های توخالی، زخم‌های خون ریزی کرده متوسط و شدید و زخم‌های عفونی استفاده می‌شود. این پانسمان، به لخته شدن کمک می‌کند. یون کلسیم آزاد شده توسط پانسمان، سبب فعال شدن ماده پروترومبین است که باعث انعقاد می‌شود. اگر چه پانسمان‌های آلژینات خواص ضد باکتری ندارند، اما باکتری‌ها می‌توانند به صورت غیرفعال در داخل ژل قرار می‌گیرند و با تعویض پانسمان حذف شوند [۴۰-۴۱].

۲-۵- فیلم شفاف

در مراقبت از زخم، فیلم‌های نیمه رسانا (فیلم‌های شفاف) با جلوگیری از انتقال باکتری‌های هوا به زخم، اجازه تبادل گاز بین زخم و محیط را می‌دهد. ساختار نیمه رسانای فیلم‌ها باعث می‌شود تا بخش زیادی از رطوبت از طریق فیلم منتقل شود. اما از جذب ترشحات زخم جلوگیری می‌کند. بنابراین، فیلم‌ها نسبتاً مفید هستند و در هنگام استفاده از آنها هیچ ناراحتی ایجاد نمی‌کنند. از آنجا که شفاف هستند، قسمت زخمی به طور مستقیم مشاهده می‌شود. از فیلم شفاف در زخم‌های جراحی، سوختگی سطحی، زخم بستر و ناحیه کاتتر داخل وریدی می‌توان استفاده کرد. پانسمان فیلم شفاف به اتولیز زخم‌های نابالغ کمک می‌کند. این پانسمان سبک و انعطاف پذیر است. همچنین با اعمال پانسمان بر روی زخم از آسیب به زخم در اثر اصطکاک جلوگیری کند [۴۲-۴۱].

۲-۶- پانسمان‌های نانو و پلیمری

پانسمان‌های نانو و بیوپلیمری از جدیدترین و پیشرفته‌ترین نوع پانسمان‌ها برای درمان زخم‌های دیابتی محسوب می‌شوند که با استفاده از فناوری نانو و مواد بیوپلیمری ساخته شده‌اند. این پانسمان‌ها معمولاً از موادی مانند کیتوسان، آلژینات و پلی‌کاپرولاکتون ساخته می‌شوند که با محیط زیستی و بافت انسانی سازگاری خوبی دارند. نانوذرات به‌کاررفته در این پانسمان‌ها قابلیت ضدباکتریایی و ضدالتهابی دارند و می‌توانند به طور موثری از بروز عفونت جلوگیری کنند. در برخی از این پانسمان‌ها از نانوذرات نقره نیز استفاده می‌شود که به دلیل خواص ضدباکتریایی و ضدقارچی، به افزایش سرعت بهبود زخم کمک

می‌کند [۲۳]. این پانسمان‌ها نه تنها به عنوان یک پوشش محافظ عمل می‌کنند، بلکه با دارا بودن خواص ضد باکتریایی، به طور فعال با عفونت‌ها مبارزه کرده و از گسترش آن‌ها جلوگیری می‌کنند.

علاوه بر این، قابلیت جذب ترشحات و حفظ رطوبت مناسب زخم، محیطی ایده آل برای ترمیم بافت فراهم می‌آورد. همچنین، نانوذرات موجود در این پانسمان‌ها با تحریک سلول‌های ترمیمی، سرعت بهبود زخم را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهند. به عبارت دیگر، پانسمان‌های نانویی با تلفیق فناوری نانو و علم پزشکی، راهکارهای نوینی را برای درمان موثر و سریع زخم‌های دیابتی ارائه می‌دهند و آینده‌ای روشن را برای بیماران رقم می‌زنند [۴۳-۴۴].

پانسمان‌های نانو و بیوپلیمری ویژگی‌های متعددی دارند که آن‌ها را به گزینه‌ای مناسب و کارآمد برای درمان زخم‌های دیابتی تبدیل کرده است. این ویژگی‌ها عبارت‌اند از:

۱. خاصیت ضدباکتریایی و ضدعفونی‌کننده قوی: یکی از ویژگی‌های مهم پانسمان‌های نانو، خاصیت ضدباکتریایی بالای آن‌ها به‌ویژه در زخم‌های عفونی است. این پانسمان‌ها به دلیل استفاده از نانوذرات مانند نقره، می‌توانند به طور موثری باکتری‌های بیماری‌زا را از بین برده و از بروز عفونت در زخم جلوگیری کنند.

۲. حفظ رطوبت مناسب و جذب ترشحات: ساختار بیوپلیمری این پانسمان‌ها به گونه‌ای است که می‌تواند ترشحات زخم را جذب کرده و محیطی مرطوب برای بهبود زخم ایجاد کند. این ویژگی به‌خصوص در زخم‌های دیابتی که نیاز به محیط مرطوب دارند، بسیار مؤثر است.

۳. تسریع در رشد و بازسازی بافت: استفاده از فناوری نانو در این پانسمان‌ها به دلیل فراهم آوردن محیطی مناسب، موجب تسریع رشد سلول‌های جدید و ترمیم بافت‌های آسیب‌دیده می‌شود. نانوذرات همچنین می‌توانند از التهاب زخم جلوگیری کرده و روند بهبود را سریع‌تر کنند.

۴. سازگاری زیستی بالا: مواد بیوپلیمری مانند کیتوسان و آلژینات به طور طبیعی با بدن انسان سازگاری دارند و احتمال ایجاد

حساسیت یا التهاب را به حداقل می‌رسانند. این ویژگی باعث می‌شود که بیماران دیابتی که اغلب پوست حساسی دارند، به راحتی از این پانسمان‌ها استفاده کنند [۴۲].

با وجود مزایای بسیار پانسمان‌های نانو و بیوپلیمری، این پانسمان‌ها نیز محدودیت‌ها و معایبی دارند که در موارد خاص می‌تواند مشکلاتی ایجاد کند که در ادامه به این مشکلات اشاره می‌شود.

قیمت بالا: تولید پانسمان‌های نانو و بیوپلیمری به دلیل فناوری پیچیده به‌کاررفته در ساخت آن‌ها و هزینه بالای مواد اولیه، قیمت بالایی دارد. این امر می‌تواند استفاده از این پانسمان‌ها را برای برخی بیماران از لحاظ اقتصادی محدود کند.

احتمال بروز حساسیت در برخی موارد خاص: با وجود سازگاری زیستی بالا، برخی افراد ممکن است نسبت به مواد به‌کاررفته در ساخت این پانسمان‌ها حساسیت داشته باشند. اگرچه این موارد نادر هستند، اما نیاز به بررسی دقیق توسط پزشک دارند.

نیاز به تعویض منظم در صورت بروز عفونت شدید: اگرچه این پانسمان‌ها خاصیت ضدباکتریایی دارند، اما در صورت بروز عفونت شدید، نیاز به تعویض منظم دارند تا از تشدید عفونت جلوگیری شود [۴۴].

تحقیقات گسترده‌ای درباره تأثیر پانسمان‌های نانو و بیوپلیمری بر زخم‌های دیابتی انجام شده است. در مطالعه‌ای که در مجله بین‌المللی فناوری‌های زیستی پزشکی منتشر شده است، نشان داده شد که استفاده از پانسمان‌های نانو در بیماران دیابتی باعث کاهش ۵۵ درصدی زمان بهبود زخم در مقایسه با روش‌های سنتی شده است. این مطالعه همچنین نشان داد که بیماران با استفاده از این پانسمان‌ها به طور قابل توجهی درد کمتری تجربه کردند و نیاز به آنتی‌بیوتیک کمتری داشتند. در مطالعه‌ای دیگر که در مجله تخصصی زخم‌های دیابتی منتشر شد، استفاده از پانسمان‌های نانوذره‌ای حاوی نقره به میزان زیادی از بروز عفونت جلوگیری کرد و نتایج مثبتی در کاهش میزان ترشحات و التهاب زخم‌ها به همراه داشته است [۴۵].

پانسمان‌های نانو و بیوپلیمری به دلیل خواص ضدباکتریایی، سازگاری با بدن و قدرت بالا در جذب ترشحات، گزینه‌ای ایده‌آل

برای زخم‌های دیابتی عفونی و زخم‌هایی با ترشحات بالا هستند. این پانسمان‌ها می‌توانند زمان بهبود زخم را به میزان چشمگیری کاهش دهند و درد بیمار را کم کنند. اگرچه قیمت این پانسمان‌ها بالاست، اما در مواردی که زخم‌های دیابتی عمیق و عفونی باشند، استفاده از آن‌ها می‌تواند هزینه‌های طولانی‌مدت درمان را کاهش دهد.

۳- انواع نانومواد مورد استفاده برای زخم‌های دیابتی

نانوفناوری با ورود خود به عرصه‌های مختلف علمی تحولی شگرف را به وجود آورد. فناوری دستکاری مواد و ذرات در مقیاس نانومتر یعنی قطر ۱-۱۰۰ نانومتر یا به عبارت دیگر مولکول به مولکول یا حتی اتم به اتم. از این ریز ذرات فعالیت موثرتری قابل انتظار است و شناخته‌ترین علت می‌تواند افزایش نسبت سطح به حجم باشد که منجر به افزایش سطح تماس و احتمال بیشتر برخورد بین ذرات نسبت واحد حجم باشد که تاثیر مثبتی روی فعال سازی مواد و واکنش‌ها خواهد داشت. از ارزشمندترین کاربردهای نانوفناوری نانوپزشکی و نانودارو بوده که بر سنتز ریز ذرات مختلف جهت استفاده‌های تشخیصی یا آمایش بیماران، ساخت رستپورهای مصنوعی و پیشرفت توالی یابی DNA با استفاده از نانو پورها، ژن درمانی، قابلیت اجرای مهندسی بافت و انتقال دارویی، بوده است. نانومولسیون، ریز ذرات، ریز لیپوزوم‌ها، فیتوزوم‌ها، نانو وزیکول‌ها و نانو لیزوزوم‌ها نام‌های آشنایی در دامنه‌ی نانومدیسین هستند [۴۳-۴۴]. یکی از زمینه‌هایی که توانست با استفاده از مواد نانومقیاس رشد چشمگیری نماید، بیوپزشکی است. به همین دلیل شاخه‌های مختلف بیوپزشکی همچون مهندسی بافت و سیستم رهایش دارو در سالهای اخیر محصولات بسیار متنوع و کاربردی را با بازده بالا تولید نموده‌اند. علت اصلی این رشد، استفاده از نانو داروهایی است که هر یک به نوبه خود تاثیر بسزایی را در درمان و ترمیم اعضای بدن انسان دارند [۴۳].

در ادامه برخی از مهمترین انواع نانومواد که در درمان زخم‌های دیابتی استفاده می‌شود مرور خواهد شد.

۳-۱- نانو مواد حاوی عصاره‌های طبیعی

گیاهان، موجودات دریایی و میکرو ارگانیسم‌ها در طبیعت فراوان هستند و بسیاری از عصاره‌های آنها پتانسیل درمانی دارند. عصاره‌های طبیعی گیاهانی مانند سیر، گیاه اوجن، خیار چنبر تلخ، درخت کاری، گل پربوش، درخت ارجون و خردل چینی از زمان‌های قدیم برای درمان دیابت استفاده می‌شده است [۴۶]. وقتی این مواد طبیعی ضد دیابت با نانو مواد ترکیب می‌شوند (یا در داخل آنها قرار می‌گیرند)، در مقایسه با وقتی که به تنهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ممکن است اثرات ضد دیابتی بهتری مشاهده شود که به احتمال زیاد به دلیل افزایش زیست سازگاری و کاهش سمیت است. نانوذرات فعلی که برای بارگیری مواد طبیعی ضد دیابت استفاده می‌شوند، عمدتاً از عناصر معدنی مانند طلا، پلاتین، نقره و اکسید روی ساخته شده‌اند. نانوذرات پلاتین بارگذاری شده با عصاره برگ جینسینگ هندی یا گیلان زمستانی پس از تجویز با دوز ۱ میلی گرم در کیلوگرم وزن موش، در موش‌های دیابتی شده با استرپتوزوتوسین^۱، کاهش قابل توجهی در سطح گلوکز پلاسما ایجاد کردند [۴۷]. به طور مشابه، در مقایسه با درمان با عصاره برگ شاهی (۱۵۰ میلی گرم در دسی لیتر) و انسولین (۱۰ واحد در کیلوگرم) وضعیت موش‌های صحرایی دیابتی ناشی از الوکسان که نانوذرات اکسید روی غنی شده با دوز ۸ میلی گرم در دسی لیتر را دریافت کردند، به مراتب بهتر بود [۴۸]. این یافته‌ها نشان می‌دهند که نانوذرات معدنی بارگذاری شده با عصاره‌های گیاهان ضد دیابتی می‌توانند به عنوان عوامل ضد دیابت قوی مورد استفاده قرار گیرند.

۳-۲- نانو مواد حاوی انسولین نو ترکیب انسانی

گذشته از عصاره‌های طبیعی، چندین داروی ضد دیابت مصنوعی تایید شده توسط سازمان غذا و داروی ایالات متحده، مانند سولفونیل اوره از، بی گوانیدها (مهارکننده‌های گلوکوزیداز/نشاسته)، تiazolidinediones (مواد محرک ترشح انسولین) و به ویژه انسولین نو ترکیب انسانی، برای کنترل سطح گلوکز خون در بیماران دیابتی استفاده می‌شوند [۴۶].

دو روش تجویز دارو وجود دارد. تزریق زیرجلدی و انتقال خوراکی دارو. داروهای مصنوعی با وزن مولکولی پایین را می‌توان به

¹ C₆₀H₁₅N₃O₇

مادون قرمز، یک روش غیرتهاجمی موثر برای درمان عفونت های زخم است که بهبود نفوذ بافت و ایمنی را فراهم می آورد [۵۴].

۳-۴- انواع دیگر از نانومواد مورد استفاده در درمان زخم های دیابتی

انواع دیگر از نانومواد مورد استفاده در درمان زخم های دیابتی شامل موارد زیر است.

۱. نانوذرات حاوی اسید نوکلئیک، این نانومواد می توانند ژن های مرتبط با ترمیم زخم را بیان کنند و به بهبود زخم های دیابتی مزمن کمک کنند.

۲. نانوذرات حاوی نیتریک اکسید، این نانومواد دارای خواص ضدباکتریایی و توانایی گشاد کردن عروق خونی هستند.

۳. نانوذرات حاوی کورکومین، کورکومین یک ترکیب با خواص ضدالتهابی، آنتی اکسیدانی و ضدباکتریایی است که با استفاده از نانومواد به محل زخم منتقل می شود.

۴. نانوپوشش ها، نانوپوشش هایی که بر روی پانسمان ها قرار می گیرند، می توانند از عفونت جلوگیری کنند و سرعت ترمیم زخم را افزایش دهند [۵۰].

۴-۴- مروری بر برخی پژوهش های انجام شده در استفاده از نانومواد و بیوپلیمرها در درمان زخم های دیابتی

زخم پوش هیدروکلوئید برای اولین بار در سال ۱۹۸۲ معرفی شد. این زخم پوش شامل یک لایه داخلی ابدوست از ژلاتین، پکتین، کربوکسی متیل سلولز و پلی ایزوبوتیلن است که توسط یک لایه خارجی انعطاف پذیر و ضد آب پوشیده شده است [۵۵]. پانسمان های هیدروکلوئیدی برای زخم هایی مانند زخم های فشاری، سوختگی های جزئی و زخم های جراحی استفاده می شوند. هیدروکلوئید ضد آب بوده و نسبت به باکتری ها نفوذ ناپذیرند اما زمانی که در تماس با ترشحات قرار می گیرند متورم می شوند و حفره ی زخم را پر می کنند [۵۶].

صورت خوراکی و داخل وریدی استفاده کرد. با این حال، از آنجایی که مصرف خوراکی انسولین فراهمی زیستی بسیار پایینی دارد، تزریق انسولین زیرجلدی روش توصیه شده برای مدیریت بیماران دیابتی نیازمند به انسولین است. نانوسیستم های مختلفی در این رابطه گزارش شده اند که به طور موثر فراهمی زیستی خوراکی انسولین یا سایر داروهای مصنوعی را از طریق افزایش نفوذپذیری دارو یا با غلبه بر اثر عبور اول افزایش می دهند. قبل از اینکه انسولین خوراکی شروع به کار کند، باید ساختار خود را در معده، روده کوچک و روده بزرگ حفظ کند. در طول مسیر، عبور از محیط نامالایم دستگاه گوارش و محیط اسیدی معده همچنان چالش های مهمی هستند. در نتیجه، یک نانوسیستم انتقال ایده آل برای تجویز خوراکی انسولین باید زمان ماندگاری دارو را در روده طولانی تر کند. نفوذپذیری بافت پوششی مخاطی را به طور برگشت پذیر افزایش دهد تا قادر به افزایش جذب دارو باشد و پایداری آن را در برابر آنزیم های دستگاه گوارش و شرایط بسیار اسیدی معده بهبود بخشد تا از دست نخورده باقی ماندن بخش فعال انسولین اطمینان حاصل کند [۴۹].

۳-۳- نانومواد در درمان نوری زخم های دیابتی

نانومواد کاربردهای گسترده ای در درمان نوری زخم های دیابتی دارند، از جمله تسریع روند ترمیم، کنترل عفونت و کاهش درد. این نانومواد با ایجاد یک محیط بهینه برای بهبود زخم و افزایش دسترسی به داروها، به بهبود کیفیت زندگی بیماران کمک می کنند. استفاده از نانومواد انتقال درمان نوری به دلیل مزایایی از جمله نفوذپذیری عالی، حداقل عوارض جانبی، آزادسازی دقیق و کنترل شده دارو، آسیب کمتر و زمان درمان کوتاه تر نسبت به رادیودرمانی و شیمی درمانی ارجحیت پیدا کرده است [۵۰-۵۱].

همچنین در زمینه طراحی پانسمان زخم حساس به مادون قرمز به دلیل اثرات ضدالتهابی و ترمیم زخم بدون اسکار، نتایج مفیدی از خود به نمایش می گذارد [۵۲]. در فتوتراپی که یک درمان ضدباکتری ایده آل است، عامل فتوترمال انرژی نور را به انرژی گرمایی تبدیل کرده و هیپرترمی موضعی برای کشتن باکتری ها ایجاد کند [۵۳]. عفونت های باکتریایی می توانند بهبود زخم را پیچیده تر می کند. فتوتراپی، به ویژه با استفاده از نور نزدیک به

دانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ غشا ترکیبی از لایه ی آلژینات و یک لایه کیتوسان با قابلیت ضد میکروبی تهیه کردند. در این مطالعه ciprofloxacin HCL با لایه ی آلژینات ترکیب شد. قابلیت جذب آب، رهایش دارو و فعالیت ضد میکروبی در محیط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. غشا کامپوزیتی اتصال کاملی بین دو لایه نشان داد و جذب آب همه ی غشاها بالای ۸۰۰٪ بود. همچنین ciprofloxacin HCL (یک آنتی بیوتیک قوی برای عفونت های باکتریایی) در مدت ۴۸ ساعت از غشا آزاد شد [۶۱].

مریم و همکاران در سال ۲۰۱۰ در مطالعه ای اثر عصاره آبی رزماری بر ترمیم زخم های دیابتی را بررسی نمودند و گزارش کردند که این عصاره منجر به کاهش سلول های التهابی در زخم شد [۶۲]. همچنین کاهش تعداد کلونی های استافیلوکوکوس اورئوس در این مطالعه نشان دهنده اثر ضد باکتریایی این اسانس می باشد که توسط مونرو و همکاران تایید می شود. این محققین فعالیت ضد میکروبی این اسانس را با استفاده از روش های دیسک دیفیوژن و رقت در لوله بررسی نمودند و نشان دادند عصاره متانولی حاوی ۳۰ درصد کارنوسیک اسید، ۱۶ درصد کارنوسل و ۵ درصد رزمارینیک اسید بیشترین اثرات ضد میکروبی را در باکتری های گرم مثبت، گرم منفی و مخمر دارد. آنها پیشنهاد کردند فعالیت ضد میکروبی عصاره رزماری مرتبط با ترکیب فنلی آن می باشد [۶۳].

آل وایلی و همکارانش در مطالعه مروری وسیعی که در سال ۲۰۱۱ در مورد اثرات عسل در درمان زخم های غیرقابل التیام و سوختگی انجام دادند، بیان نمودند که عسل فراوری شده در مناطق جغرافیایی مختلف اثرات درمانی قابل توجهی در زخم های مزمن و سوختگی ها دارد و پزشکان را به استفاده از این ماده تشویق نمودند [۶۴].

موهد زهدی و همکارانش در سال ۲۰۱۲ اثر عسل بر زخم پوش هیدروژلی پلی وینیل پیرولیدون را بررسی کردند. آنها هیدروژل دارای عسل را با هیدروژل بدون عسل و آپسایت^۱ که یک زخم پوش موجود در بازار است مقایسه کردند. هیدروژل عسل دار در مقایسه با هیدروژل کنترل کمی اسیدی تر بود. این را می توان به

ایگناتوا و همکاران در سال ۲۰۰۷ توانستند آمونیوم کیتوسان چهارتایی و پلی وینیل پیرولیدون را الکتروریسی و داربست حاصله را به عنوان یک زخم پوش مناسب به کار برند. کیتوسان با گروه های عاملی آمونیوم خواص ضد قارچ و ضد باکتری دارد که این به دلیل حمله به غشای سیتوپلاسمی باکتری ها و قارچ ها می باشد [۵۷]. بوکارد و همکارانش در سال ۲۰۰۷ پس از بررسی ترمیم زخم پوست موش صحرایی توسط هیدروژل کیتوسان به این نتیجه دست یافتند که هیدروژل کیتوسان قادر به چسبندگی و مهاجرت و تکثیر سلولی می گردد و با تاثیر ژل کیتوهیل روی سوختگی پوست پس از طی دوره درمان نتایج تایید کردند که گروه درمان، ترمیم قابل قبولی داشتند. اپیدرم به صورت کاملاً طبیعی شکل گرفته بود و کراتینوسیت ها به شکل اولیه ظاهر شده اما در گروه کنترل بدون درمان، کراتینوسیت ها دچار تورم شدند و اپیدرم به شکل غیرطبیعی ظاهر شد [۵۸].

عبداللطیف و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۸ به بررسی تاثیر استفاده از پماد عسل در درمان زخم پای دیابتی پرداختند و مشاهده نمودند که پس از ۹ هفته درمان، ۱۰۰٪ از بیماران دچار زخم های تیپ ۱ و ۲ و ۹۲٪ از بیماران دچار زخم های تیپ ۳ بر اساس طبقه بندی واگنر به خوبی به درمان جواب دادند و زخم کاملاً بسته شد، بدون اینکه علامتی مبنی بر عفونت استخوان وجود داشته باشد. آنها مشاهده نمودند که در تمام بیماران دچار زخم تیپ ۴ نیز پس از درمان جراحی و استفاده از پماد حاوی عسل، زخم کاملاً بهبود یافت [۵۹].

مدهوماث و همکارانش در سال ۲۰۱۰ نانو کامپوزیتی از کیتوسان و نانو ذرات نقره ساختند که در این تحقیق مقدار کیتوسان ثابت و مقادیر مختلفی از محلول نانو ذرات نقره به کیتوسان اضافه کردند. نمونه A شامل ۱۰، نمونه B شامل ۱۵، و نمونه C شامل ۲۰ میلی لیتر از محلول نانو ذرات نقره بود و خاصیت آنتی باکتریال آن را در مقابل دو باکتری اشرشیا کولای و استافیلوکوکوس اورئوس مورد آزمایش قرار دادند که این کامپوزیت خاصیت آنتی باکتریال دارد. خاصیت انعقاد کنندگی این نانو کامپوزیت نیز مورد آزمایش قرار گرفت و اثبات شد این نانو کامپوزیت سبب انعقاد خون می شود که برای بهبود زخم به خصوص در مراحل اولیه مناسب است [۶۰].

¹ Fluoroquinolone

² Opsite Spray on dressin

خاصیت اسیدی عسل نسبت داد که pH آن بین ۲/۳ و ۴/۵ است. پانسمان هایی که pH پایین تری دارند، برای پوشاندن زخم مناسب ترند. زیرا محیط نامطلوبی را برای رشد باکتری ایجاد می کنند. علاوه بر این، محیط اسیدی باعث افزایش حداکثری اکسیژن به بافت زخم می شود و برای بهبود بافت بدن موثرند [۶۵].

قلی پور و همکاران در سال ۲۰۱۳ با تولید نانو الیاف مخلوط از کیتوسان و پلی وینیل الکل و آزمایشات کشت میکروبی بر روی وب حاصله، خاصیت ضد میکروبی وب نانولیفی مخلوط نسبت به باکتری گرم- منفی سودومنازائورجینوزا نشان داده شد و نتایج کشت سلولی با سلول های فیبروبلاست نشان دهنده رشد بسیار مناسب سلول ها بر روی داربست حاصله بود [۶۶].

همچنین محققین در یک مطالعه دیگر در سال ۲۰۱۳ به بررسی تاثیر استفاده از روغن های گیاهی مختلف حاوی ازن در التیام زخم پرداختند و مشاهده نمودند که تنها روغن کنجد در التیام سریع تر زخم موثر است [۶۷].

اسکاکت و همکارانش در سال ۲۰۱۵ از ابریشم برای تهیه هیدروژل استفاده کردند و سلول های فیبروبلاست موش را به دو صورت دوبعدی و همچنین کپسوله شده داخل جوهر زیستی (سه بعدی) چاپ کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سلول هایی که داخل جوهر زیستی کپسوله شده اند زندمانی سلولی پایین تری را نسبت به سلول هایی که کشت داده شده به صورت دوبعدی روی سطح داربست چاپ شده، نشان می دهند. همچنین در پژوهش های دیگری از جوهر زیستی حاوی ابریشم و ژلاتین استفاده شده است که اثر نحوه برقراری اتصال عرضی بر روی تمایز سلولی بررسی شده است. به طور مثال نشان داده شده است که هیدروژل های تهیه شده با روش آنزیمی منجر به تمایز کاندروژنیک و ادیپوژنیک می شود در حالی که روش فراصوت تمایز استخوانی را سبب می شود [۶۸].

حاجیان و همکاران زخم پوشی حاوی نانوفیبر پلی وینیل الکل و الوئه ورا با ترکیب درصدهای متفاوت با روش ریخته گری حلال تهیه کردند و خواص یک زخم پوش ایده آل را مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند با افزودن درصد الوئه ورا به پلی وینیل الکل مقدار تخلخل بالا رفته است. در تست جذب آب که نتایج

در ۹۰ دقیقه گزارش شده است، مشاهده شد در هیدروژل هایی با ترکیب درصد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ از الوئه ورا نسبت به پلی وینیل الکل خالص، جذب آب بالا رفته است. اما در درصدهای بالاتر ۴۰، ۵۰ و ۶۰ شاهد نتیجه ای برعکس بوده و جذب آب کاهش یافته است، که این موضوع به تخریب حفرات و منافذ نگهدارنده در اثر جذب آب نسبت داده شده است. الوئه ورا و هم پلی وینیل الکل آبدوست های خوبی محسوب می شوند. نمونه ها بعد از ۹۰ دقیقه جذب آب با انحلال و تخریب زنجیره های هیدروژل همراه بوده است [۶۹].

درمان مبتنی بر نانوذرات نتایج امیدوار کننده ای را در ارتقای فعالیت های آنتی اکسیدانی برای بهبود مؤثر زخم در جوندگان دیابتی نشان داده است. بایرگی و همکاران، نانوذرات لاکتیک-کو-گلیکولیک اسید محصور شده با اسید فرولیک (FA؛ ۴- هیدروکسی -۳- متوکسی سینامیک اسید) را برای مطالعه اثر آن در بهبود زخم دیابتی توسعه دادند. FA یک ترکیب فنولی و یک آنتی اکسیدان طبیعی با اثر درمانی بالقوه در ترمیم زخم دیابتی به دلیل اثرات کاهش دهنده قند خون، مهار رادیکالهای آزاد، رگزایی، ضد باکتریایی و نوروزنیک است. محققان نشان دادند که در مقایسه با گروه کنترل، پراکنده شدن نانوذرات پلیمری بارگذاری شده با FA (تجویز خوراکی) و زخم های تحت درمان با هیدروژل مبتنی بر نانو ذرات پلیمری حاوی FA (تجویز موضعی) موجب اپیتلیزه شدن سریع تر زخم شده که منجر به بسته شدن مؤثر زخم در روز ۱۴ گشت. تشکیل محصولات نهایی گلیکاسیون پیشرفته به عنوان یک مکانیسم پاتوفیزیولوژیکی مهم در ایجاد زخم های دیابتی شناخته شده است. اتصال AGE^۱ موجود در گردش خون به RAGE (گیرنده برای AGEs) در انواع مختلف سلول منجر به اختلال در عملکرد فاکتورهای رشد می شود. AGE و RAGE^۲ منجر به استرس اکسیداتیو شده و باعث رگزایی غیر طبیعی RAGE در بهبود زخم می شوند. در بافتهای پوست دیابتی نوع ۲، بیان هر دو AGE و RAGE در مقایسه با بافت های پوست طبیعی افزایش یافت [۷۰].

هی و و همکاران نانوالیاف پلی کاپرولاکتون (PCL) و کیتوزان جی-پلی آنیلین چهارتایی شده (QCSP) را برای ارتقاء بهبود زخم

^۱ Advance Glycation End products

^۲ Receptor for Advanced Glycation End-products

توسعه دادند. این پانسمان های زخم نانوالیافی ویژگی های مکانیکی قابل مقایسه با بافت نرم، قابلیت مهار رادیکالهای آزاد، خاصیت ضد میکروبی و زیست سازگاری را از خود نشان دادند. داده های آن ها نشان می دهد که قابلیت آنتی اکسیدانی نانوالیاف PCL/QCSP^{۱۵} با افزایش غلظت QCSP افزایش یافته و تقریباً ۷۰ درصد رادیکالهای آزاد را می توان با ۶ میلی گرم بر میلی لیتر سوسپانسیون PCL/QCSP^{۱۵} پاکسازی کرد و کارایی مهار DPPH^۱ زمانی که غلظت سوسپانسیون PCL/QCSP^{۱۵} به ۸ میلی گرم در میلی لیتر رسید، بیش از ۸۰ درصد بود. علاوه بر این زخم هایی که تحت درمان با پانسمان نانوالیاف PCL/QCSP^{۱۵} قرار گرفتند، ترشح کلاژن ضخامت نسج التیامی و افزایش رگ زایی را نشان دادند که منجر به بسته شدن سریع زخم در مقایسه با نگادرم تجاری موجود شد [۷۱].

۵- وضعیت بالینی نانوپزشکی در درمان دیابت

اگرچه مطالعات متعدد نشان می دهد که نانوذرات دارای خواص ضد دیابتی هستند، اما هنوز مسائلی در مورد استفاده از نانوذرات در درمان دیابت وجود دارد، مانند دوزی از نانوذره که بیماران می توانند به طور ایمن و موثر مصرف کنند و مکانیسم های ضد دیابتی احتمالی نانوذرات سوپرپارامگناطیس. این ذرات می توانند توسط سلول های موجود در سیستم رتیکولوسیت - اندوتلیال کبد، طحال و غدد لنفاوی شناسایی و فاگوسیتوز^۲ شوند. تجمع این سلول ها فعالیت درمانی آن ها را محدود می کند و ممکن است منجر به سمیت شود، احتمالی که نیاز به ارزیابی علمی جامع دارد. نکته مهم این است که چگونه می توان از این سیستم های فاگوسیتوز اندوتلیال اجتناب کرد تا نانوذرات بتوانند به طور دقیق به هدف خود برسند. این یک نگرانی رایج در نانوپزشکی است که باید حل شود [۷۲].

مکانیسم های زیربنایی سمیت نانوذرات و سایر نقش های چندگانه در پیشگیری و درمان دیابت هم از نظر کاربردی بسیار ضروری هستند. برای کاهش سمیت نانوذرات، موادخام و فرایندهای دخیل در سنتز آن ها باید بهینه شوند. به حداقل رساندن استفاده از معرف های شیمیایی سمی یا استفاده از مواد

طبیعی در فرایند سنتز ممکن است زیست سازگاری را بهبود بخشد. علاوه بر این، مطالعات بر روی مکانیسم های تنظیم و کنترل نانوذرات در داخل بدن برای کاربرد آنها در دیابت حیاتی است. بیشترین تاثیر نانوذرات با توسعه استراتژی های نوآورانه برای هدف قرار دادن موثر نانوذرات به محل بافت های آسیب دیده در بیماران دیابتی تضمین می شود. یک سیستم دارورسانی ایده آل نانوذرات باید بتواند به بافت های بیمار برسد، آن ها را شناسایی کند، به آن ها متصل شود و داروی بارگذاری شده را به بافت های بیمار برساند و در عین حال آسیب ناشی از دارو به بافت های سالم را به حداقل برساند یا از آن جلوگیری کند [۷۳].

۶- چالش ها و آینده استفاده از نانومواد در درمان زخم های دیابتی

با وجود پتانسیل بالای نانو مواد در درمان زخم های دیابتی، چندین چالش وجود دارد که باید مورد توجه قرار گیرد. یکی از این چالش ها، سمیت بالقوه نانومواد است. برخی از نانوذرات ممکن است به سلول های سالم آسیب برسانند یا واکنش های ایمنی غیرمنتظره ای ایجاد کنند. بنابراین، تحقیقات بیشتری برای ارزیابی ایمنی و بی خطری این مواد در کاربردهای بالینی ضروری است [۷۴].

چالش دیگر، هزینه تولید نانو مواد است. فرایندهای سنتز و تولید نانومواد معمولاً پیچیده و پرهزینه هستند که می تواند مانع از تجاری سازی و استفاده گسترده آن ها در درمان زخم های دیابتی شود. به همین دلیل، تحقیق در زمینه روش های اقتصادی تر برای تولید نانو مواد و بهینه سازی فرایندهای تولید اهمیت دارد [۷۴].

در آینده انتظار می رود که با پیشرفت های فناوری و تحقیقات بیشتر، نانومواد به عنوان یک گزینه درمانی استاندارد برای زخم های دیابتی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، توسعه سیستم های دارورسانی هوشمند مبتنی بر نانو مواد می تواند به بهبود کارایی درمان و کاهش عوارض جانبی کمک کند.

۷- نتیجه گیری

¹ 2,2-Diphenyl-1-picrilhydrazyl
² Cell eating

8. J. Hurlow, PG., Bowler, J Wound Care. 31(5):436-45 (2022).
9. S. Darvishi, S. Tavakoli, M. Kharaziha, HH. Girault, CF. Kaminski, I. Angew. Chem. Int. Ed. 61(13):e202112218 (2022).
10. D. Banerjee, P. Shivapriya, PK. Gautam, K. Misra, AK. Sahoo, SK. Samanta, Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences.;90(2):243-59 (2020).
11. Y. Su, JT. Yrastorza, M. Matis, J. Cusick, S. Zhao, G. Wang, et al. Adv. Sci., 9(29):2203291 (2022).
12. W. He, Q. Wang, X. Tian, G. Pan, editors. Exploration; Wiley Online Library (2022).
13. K. Razdan, J. Garcia-Lara, V. Sinha, KK. Singh, Drug Discov. Today; 27(8):2137-50 (2022).
14. MD. Caldwell, Surg. Clin., 100(4):757-76 (2020).
15. Y. Liang, Y. Liang, H. Zhang, B. Guo, Asian J. Pharm. Sci. 17(3):353-84 (2022).
16. S. Roy, I. Hasan, B. Guo Coord. Chem. Rev., 482:215075 (2023).
17. J-H. Jo, CP. Harkins, NH. Schwardt, JA. Portillo, NCS. Program, MD. Zimmerman, et al. Sci. Transl. Med., 13(625):eabd8077 (2021).
18. SA. Azim, C. Whiting, AJ. Friedman, Nitric Oxide; 146:10-8 (2024).
19. AA. Chaudhari, K. Vig, DR. Baganizi, R. Sahu, S. Dixit, V. Dennis, et al. Int. J. Mol. Sci.; 17(12):1974 (2016).
20. H. He, DL. Xia, YP. Chen, XD. Li, C. Chen, YF. Wang, et al. J. Biomed. Mater. Res. B., Appl. Biomater., 105(7):1808-17 (2017).

اگر چه تاکنون داروها و روش های درمانی نوینی مانند لیزر درمانی، پماد حاوی کلاژن، پانسمان حاوی کیتوزان و موکوپلی ساکارید آبدوست و پانسمان حاوی نقره برای التیام زخم های مزمن و دیابتی معرفی هیدروآلژینات و ارائه شده اند که با نتایج قابل توجهی نیز همراه بوده اند. اما باید توجه کرد که این مشکل همچنان باقی است و یکی از چالش های مهم در نگهداری از بیماران نیازمند بستری طولانی مدت در بیمارستان یا منزل است. نکته مهمی که در برخورد با این زخم ها باید مورد توجه قرار گیرد این است که درمان صحیح و به موقع می تواند از بروز عوارض شدید و قطع عضو بیمار جلوگیری کند.

این مقاله به بررسی چالش ها و موانع موجود در استفاده از نانو مواد در درمان زخم های دیابتی پرداخت که ممکن است در مقالات دیگر کمتر مورد توجه قرار گیرد. با ارائه یک دیدگاه جامع از وضعیت فعلی و آینده نانو مواد در این حوزه، این مقاله می تواند به عنوان یک منبع مفید برای پژوهشگران و پزشکان فعال در زمینه درمان زخم های دیابتی عمل کند.

مراجع

1. M. Wang, Y. Hong, X. Fu, X. Sun, Bioactive Materials, 39:492-520 (2024).
2. J. Chen, Y. Fan, G. Dong, H. Zhou, R. Du, X. Tang, et al. Biomater. Sci., 11(9):3051-76 (2023).
3. M. Malone, G. Schultz, Br J Dermatol., 187(2):159-66 (2022).
4. M. Liu, X. Wei, Z. Zheng, Y. Li, M. Li, J. Lin, et al. Int. J. Nanomedicine, 1537-60 (2023).
5. X. Ding, Q. Tang, Z. Xu, Y. Xu, H. Zhang, D. Zheng, et al. Burns & Trauma; 10:tkac014 (2022).
6. V. Falanga, RR. Isseroff, AM. Soulika, M. Romanelli, D. Margolis, S. Kapp, et al. Nat Rev Dis Primers; 8(1):50 (2022).
7. D. Chen, G. Tan, S. Tian, L. Han, Y. Li, Y. Tan, et al. Chem. Engin. J., 500:157299 (2024).

effect of 2% alcohol green tea extract on healing process of open wound in male mice 324-335, (2009).

35. SM. Mihaila, AK. Gaharwar, RL. Reis, AP. Marques, ME. Gomes, A. Khademhosseini, Adv. Healthc. Mater. 2(6):895-907 (2013).

36. BS. Nayak, LP. Pereira, D. Maharaj, Indian J. Exp. Biol., 45(8):739 (2007).

37. T.J. Ho, S.J. Jiang, G.H. Lin, et al. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. Hindawi (2016).

38. S. Shamim, K. Sultana, S. Ahmad, Pak. J. Pharmacol., 20(1):41-4 (2003).

39. MZM. Zaki, A. Hamid, MA. Latif, Adv. Environ, Biol., 5(12):3734-42 (2011).

40. B. Onarımında, K. Bir, Turk Neurosurg., 22:712-7 (2012).

41. JE. Grey, K. Harding, S. Enoch, ABC of Wound Healing: 34-40 (2022).

42. R. Ghaderi, M. Afshar, Iran. J. Med. Sci.; 29(4):185-8 (2015).

43. MD. Stenoien, WJ. Drasler, RJ. Scott, ML. Jenson, Silicone Composite Vascular Graft; 33-125-132 (1999).

44. D. F. Emerich, C. G. Thanos Expert Opin. Biol. Ther., 3(4):655-663 (2003).

45. M. Karimi, S. Rohollah, J. Kokini, Trends Food Sci. Technol., 69(A): 59-73 (2017).

46. I. Barwal, A. Sood, M. Sharma, B. Singh, S.C. Yadv, Colloids Surf. B Biointerfaces 101 510-516 (2013).

21. S. Patel, S. Srivastava, MR. Singh, D. Singh Biomed. Pharmacother., 112:108615 (2019).

22. L. Zhao, L. Niu, H. Liang, H. Tan, C. Liu, F. Zhu, ACS Appl. Mater. Interfaces., 9(43):37563-74 (2017).

23. Y. Liu, S. Zeng, W. Ji, H. Yao, L. Lin, H. Cui, et al. Adv. Sci., 9(3):2102466 (2022).

24. L. Chen, P. Wu, Y. Zhu, H. Luo, Q. Tan, Y. Chen, et al. APL Bioeng., 9(1) (2025).

25. Q.T. Pham, U. Sharam, A.G. Mikos Tissue Eng., 12:1197-1205 (2006).

26. T. Sahana, P. Rekha. Mol. Biol. Rep., 45(6):2857-67 (2018).

27. T. Sahana, P. Rekha, Mol. Biol. Rep., 45(6):2857-67 (2018).

28. P. Mikziński, K. Kraus, R. Sereďyński, J. Widelski, E. Paluch, Molecules; 30(11):2323 (2025).

29. JV. Vicente-da-Silva, JOd Pereira, SL .Carmo, FA. Patricio BFdC. ACS Omega; 10(13):12837-55 (2025).

30. RR. Reid, HK. Said, JE. Mogford, TA. Mustoe, J. Am. Coll. Surg., 199(4):578-85 (2004).

31. Chien S. Wound Rep. Reg., 15(6):928-35 (2007).

32. LM. Morton, TJ. Phillips, editors. Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery; (2012): WB Saunders.

33. SM. Peirce, TC. Skalak, GT. Rodeheaver. Wound Rep. Reg., 8(1):68-76 (2000).

34. P. Yaghmayei, F. Moshrefjavadi, MA. Nilforooshzade, H. Mardani, P. Kadanejadian The

59. M. Abdelatif, M. Yakoot, M. Etmaan, J. Wound Care;17:108-10 (2008).
60. M. Ignatova, N. Manolova, I. Rashkov, Eur. Polym. J., 43:1112-1122 (2007).
61. Y. Dong et al Chinese Chem. Lett., vol. 21, no. 8, pp. 1011-1014, (2010).
62. A. Mariam, Abu-Al-Basal. J Ethnopharmacol; 131:443-450 (2010).
63. S. Moreno, T. Scheyer, CS. Romano, AA. Vojnov, Free Radic. Res., 40:223-31 (2006).
64. AB. Jull, N. Walker, S. Deshpande Cochrane Database Syst. Rev., 2:CD005083 (2013).
65. M.T. Khorasani, A. Joorabloo, A. Moghaddm, H. Shamsi, Z., Mansoori Moghadam, Int, J. Biol. Macromol., 114, 2017, 1203-1215 (2018).
66. Gholipour- Kanani A., Bahrami S.H., Joghataie M., Samadi Kuchaksaraei A. Iranian J. Polymer Sci. Technol., 26(2):159-170 (2013).
67. Valcchi G, Lim Y, Belmonte G, Miracco C, Sticozzi C, et al. Int J Pharm; 458-65-73 (2013).
68. K. Schacht, T. Jungst, M. Schweinlin, A. Ewald, J. Groll, and T. Angew. Chem., Int. Ed. Engl., 54:2816-2820 (2015).
69. M. Hajian, M. Mahmoodi, and R. Imani, J. Macromol. Sci. Part B, vol. 56, no. 7, pp. 435-450, (2017).
70. U. Bairagi, P. Mittal, J. Singh, B. Mishra, Drug Dev Ind Pharm 1783-1796. 44 (2018).
71. He, Jiahui, et al. Chem. Engin. J. 385: (2020).
72. J.M. Martin., J.M. Zenilman, G.S. Lazarus, J. Invest. Dermatol. 130:38-48 (2010).
47. Y. Li, J. Zhang, J. Gu, S. J Photochem Photobiol B 169 96-100 (2017).
48. A. Bayrami, E. Ghorbani, S.R. Pouran, A. Habibi-Yangie, A. Khtae, M. Bayrami, Ultrason Sonochem 58 (2019).
49. Y. Liu, S. Zeng, W. Ji, H. Yao, L. Lin, H. Cui, H.A. Santos, G. Pan, Adv. Sci. 9 (2022).
50. A. Saneja, R. Kumar, D. Arora, S. Kumar, AK. Panda, S. Jaglan, Drug Discov, Today. 1;23(5):1115-25 (2018).
51. KH. Shen, CH. Lu, CY. Kuo, BY. Li, YC. Yeh.. J. Mater. Chem. B; 9(35):7100-16 (2021).
52. A.P. Rodrigues, E. M. Saravia Sanchez, A. C. da Costa, and A. M. Moraes J. Appl. Polym. Sci., vol. 109, no. 4, pp. 2703-2710, (2008).
53. J. Huo, Q. Jia, H. Huang, J. Zhang, P. Li, X. Dong, W. Huang, Chem. Soc. Rev., 50(15):8762-89 (2021).
54. X. Chen, Z. Lin, N. Cheng, Y. Mo, L. Lu, J. Hou, Z. Li, X. Nie, S. Gao, Q. Hua Mater Today Bio., (2025).
55. J. Fletcher, Z. Moore, I. Anderson, and K. Matsuzaki, "Pressure ulcers and Hydrocolloids, Made Easy. Wounds Int. [Intenet] , vol. 2, no. 4, (2011).
56. W. H. Eaglstein, Dermatologic Surg., 27, 2, 175-182 (2001).
57. M. Ignatova, N. Manolova, I. Rashkov, Eur. Polym. J., 43:1112-1122 (2007).
58. N. Boucard, C. Viton, D. Agay, E. Mari, T. Roger, Y. Chancerelle, Biomaterials, 28:3478-3488 (2007).

73. J.He, Y. Liang, M. Shi, B. Guo, Chem. Engin. J., 385 (2020).

74. H. Ezhilarasu, D. Vishalli, S.T. Dheen, B.H. Bay, D.K. Nanomaterials 10 (2020).



A brief review on the use of nanomaterials in the treatment of diabetic wounds

Razieh Sanjri¹, Mohsen Forozanfar^{2*}, Fatemeh Honarasa³, Mohammad Amin Edalatmanesh¹, Heydar Aqababa⁴

¹Department of Biology, Shi C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

²Department of Biology, Marv. C., Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.

³Department of Chemistry, Shi. C., Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

⁴Department of Biology, Ars. C., Islamic Azad University, Arsanjan, Iran.

Abstract: Skin wounds and reducing their healing time are considered an important aspect of medicine. Wound healing, as a natural biological process, involves the interrelation of cellular processes in stage of researched and planned in terms of sequence and time intervals, and any defect in this process causes delayed wound healing. Diabetic ulcers are a common complication of diabetes, caused by impaired blood flow and immune function. Treatment of these wounds is challenging due to clinical complexities and the need for effective tissue repair. In recent years, nanomaterials have been introduced as a promising option in improving the treatment of diabetic wounds. Nanomaterials, with their unique characteristics, including high surface-to-volume ratio and specific physical and chemical properties, can serve as effective tools in wound healing. These materials include metal nanoparticles (such as silver and gold), carbon nanotubes, and polymer nanocomposites, each of which plays a specific role in the wound healing process. The mechanisms of action of nanomaterials include antiseptic properties, stimulation of tissue repair, and control of inflammation. Also, the use of nanomaterials in advanced dressings and targeted drug delivery systems can help accelerate the wound healing process. However, challenges such as toxicity and production cost must be considered. This study examines the clinical applications of nanomaterials in the treatment of diabetic wounds and to improve treatment outcomes.

Keywords: Nanomaterials, Wound, Diabetes, Repair, Inflammation.