کاربردهای هوش مصنوعی در مدیریت فرایند درمان زخم: یک مطالعه مروری

علیرضا صادقی‌مقدم بیجاری[1]
هدی کشمیری نقاب[2*]
محمدحسن سهیلی‌فر[2]

۱. مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. گروه لیزر پزشکی، پژوهشکده فناوری زخم و ترمیم بافت یارا، سازمان جهاد دانشگاهی علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

نویسنده مسئول:
هدی کشمیری نقاب

تهران، خیابان انقلاب، خیابان فلسطین، خیابان وحید نظری، پلاک ۱۷
پست الکترونیک:
hodakeshmiri@ut.ac.ir

تعارض منافع: اعلام نشده است.

چالش درمان زخم‌ها از گذشته تاکنون یکی از مسائل مهم در حوزه پزشکی بوده است و درمان این ناهنجاری، هزینه‌های مادی و معنوی قابل‌توجهی را برای دولت‌ها و بیماران در پی خواهد داشت ازاین‌رو، محققین همواره به‌دنبال روش‌های نوین جهت ارتقای فرایند درمان زخم‌ها بوده‌اند. با توسعه علوم کامپیوتر و ظهور پدیده هوش مصنوعی در سال‌های اخیر، بسیاری از زمینه‌های حرفه‌ای ازجمله علوم پزشکی دستخوش تغییرات شده است و تلاش عمومی بر آن بوده که هوش مصنوعی به‌عنوان دستیار یا حتی جایگزین انسانی در برخی فرایندها به‌کار گرفته شود. در حوزه ترمیم زخم، انتظار می‌رود تا به‌کارگیری ابزارهای مبتنی‌بر هوش مصنوعی باعث ارتقای سرعت و دقت عملکرد نظام درمان شده و ترمیم زخم‌های بیماران در مدتی کوتاه‌تر و با نتایجی بهتر حاصل شود.

هوش مصنوعی در مدل‌های مختلفی ارائه شده است که هرکدام بر پایه داده‌های مختلف عمل کرده و از هر کدام در تحقیقات مختلفی استفاده شده است. ابزارهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری بر پایه هوش مصنوعی در تعدادی از تحقیقات طراحی و ارائه شده‌اند و عملکردشان در سطوح مختلف ازمایشگاهی/بالینی مورد ارزیابی قرار گرفته و کارآمدی‌شان به اثبات رسیده است.

طبق یافته‌ها می‌توان این‌گونه اظهار نمود که هوش مصنوعی قادر است در روند درمان زخم‌ها در فرایندهای تشخیصی، درمانی و آموزشی به کادر بالینی و تحقیقاتی کمک‌های مؤثری ارائه نماید و حتی در مواردی بیماران را از حضور مستقیم کادر بالینی بی‌نیاز سازد.

کلیدواژه‌ها: ترمیم زخم، هوش مصنوعی، تله‌پزشکی، آموزش پزشکی

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۷/۱۰ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۹/۰۳

پوست و زیبایی؛ پاییز ۱۴۰۴، دوره ۱۶ (۳): ۲۱۱-۱۹۷

مقدمه

ناهنجاری‌های پوستی ازجمله زخم، از گذشته تا امروز به‌عنوان یکی از بحران‌های جامعه بشری شناخته شده‌اند. ازطرفی میزان این موارد به‌طور نگران‌کننده‌ای در حال افزایش جهانی است؛ به‌طوری که در بین سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۲ حدود ۷۰٪ افزایش داشته است. به‌عنوان مثال، شبکه ملی سلامت بریتانیا در سال ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ تعداد ۳/۸ میلیون بیمار دارای انواع زخم‌ها را مورد درمان قرار داده است که صرفاً هزینه مستقیم صرف‌شده توسط دولت، بالغ بر ۸ میلیارد پوند برآورد شده است[1]. این رقم در مورد امریکا به مبلغ سالانه ۲۵ میلیارد دلار می‌رسد[2].

فرایند ترمیم زخم، فرایندی پویا و پیچیده است که به‌طورکلی در چهار مرحله همئوستازی، التهاب، تکثیر سلولی و بازارایی ماتریکس خارج سلولی رخ می‌دهد. عوامل بسیار مختلفی در جریان واکنش‌های مختلف با هم در هماهنگی‌اند تا این فرایند به شکل مؤثر پیش رود. به جهت این پیچیدگی، ایجاد شناخت نسبت به این فرایند و انجام مداخلات درمانی در بسیاری از موارد با چالش روبرو می‌گردد. روش‌ها و ابزارهای نوین، لازمه مقابله با این چالش‌ها خواهند بود[3].

هوش مصنوعی، یکی از شاخه‌های مهندسی الکترونیک که سعی در تقلید فعالیت‌های شناختی و یادگیری تفکر مانند انسان دارد، گزینه‌ای برجسته از میان این ابزارهاست که امروزه برای حل طیف

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

گسترده‌ای از مشکلات جهان درنظر گرفته می‌شود. با پیشرفت روزافزون سرعت و ظرفیت برنامه‌نویسی‌های نرم‌افزاری، کامپیوترهای هوشمند در آینده نزدیک می‌توانند همپای انسان عملکرد داشته باشند؛ لذا نمی‌توان منکر اهمیت توسعه و به‌کارگیری هوش مصنوعی در عصر حاضر شد. در سال‌های اخیر، کاربردهای متعددی در زمینه‌های مختلف ازجمله در حوزه پزشکی و نظام سلامت شناسایی شده‌اند[۴].

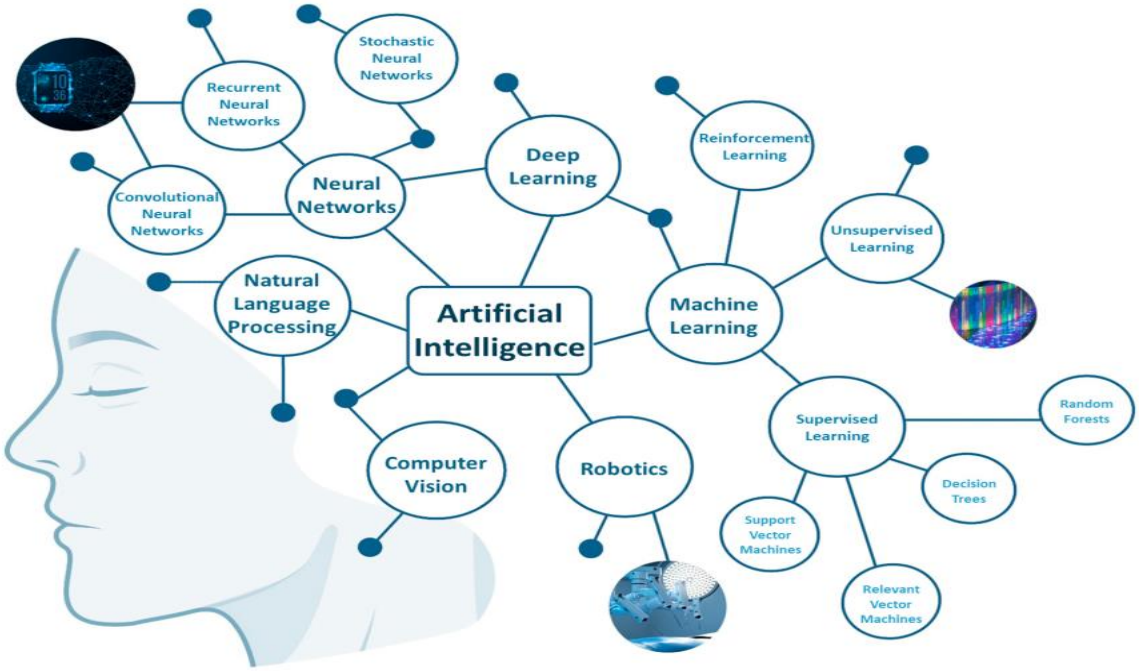
هوش مصنوعی قادر است با الگوریتم‌های خود داده‌ها را تجزیه و تحلیل، الگوها را استخراج و به کادر درمان کمک کند تا درمانی مؤثرتر ارائه دهند. ازجمله می‌توان از آن در بهبود روند درمان عارضه‌های پوستی بهره جست. محققین این عرصه دائماً در تلاشند تا با روش‌های نوین، روش‌های درمانی را متحول کنند. آن‌ها به‌دنبال کشف ابزارها و روش‌هایی‌اند که از زخم‌ها تصویربرداری، نتایج را تفسیر و در روند درمان به کادر بالینی کمک کنند[۵].

با توجه به گسترش هوش مصنوعی در سال‌های اخیر و نیز افزایش نیاز به توسعه روش‌های درمانی در حوزه بیماری‌های پوستی و ترمیم زخم، در این مطالعه سعی شده است تا چکیده‌ای از تلاش‌های سالیان اخیر در این باره به‌طور جامع ارائه شود. ما در اینجا به بررسی ماهیت هوش مصنوعی و کاربردهایی که برای آن در حوزه ترمیم زخم تعریف شده است پرداخته و نیز چالش‌ها و آینده پیش روی این ابزار را مورد ارزیابی قرار خواهیم داد[۶].

طبقه‌بندی مدل‌های هوش مصنوعی

زمانی که صحبت از به‌کارگیری هوش مصنوعی به میان آید، اصلی‌ترین سؤال این است که از چه روش و الگوریتمی استفاده خواهد شد و هر کدام از آن‌ها با چه میزان دقت و کارایی عمل خواهند کرد. به‌طور کلی هوش مصنوعی در پزشکی به چند بخش تقسیم می‌شود: یادگیری ماشینی (Machin learning)، یادگیری عمیق (Deep learning)، شبکه‌های عصبی (Neural networks)، پردازش طبیعی زبانی (Natural language processing) و بینایی رایانه‌ای (Computer vision) (شکل ۱)[۷و۸].

یادگیری ماشینی، بر پایه دریافت دسته‌ای از



شکل ۱: شاخه‌های مختلف هوش مصنوعی[۷].

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

داده‌ها و الگوها از انسان، سعی در یادگیری و تقلید ذهن انسانی دارد. یادگیری عمیق نیز نوع خاصی از یادگیری ماشینی است که می‌تواند با پردازش پیچیده‌تر، اطلاعات عمیق‌تری را از داده ورودی دریافته و به‌دنبال آن، خروجی گسترده‌تری در اختیار کاربران قرار دهد. شبکه‌های عصبی، به مجموعه‌ای از الگوریتم‌های به‌هم‌پیوسته اطلاق می‌شود که قادرند مجموعه متعددی از ورودی‌ها و خروجی‌ها را به‌طور هماهنگ پردازش نموده، ارتباط میان آن‌ها را دریافته و نهایتاً داده‌ها را برحسب نیاز غربالگری کنند. پردازش زبانی طبیعی، توانایی درک و فهم زبان انسان، تشخیص صدا و نیز ترجمه متون را دارد. نهایتاً، بینایی رایانه‌ای نیز در درک و تفسیر داده‌های ورودی از جنس تصویری کاربرد دارد. هرکدام از این دسته‌بندی‌های هوش مصنوعی به نوعی قادرند در فرایند درمان مشارکت نمایند[۷و۸].

هر یک از انواع ذکرشده شامل طیف متنوعی از الگوریتم‌ها می‌باشند. در یک مطالعه سیستماتیک، الگوریتم‌های یادگیری ماشینی و شبکه عصبی مورد استفاده در پیشگیری و مقابله با زخم‌های حاصل از جراحی مورد بررسی قرار گرفتند. بر طبق یافته‌ها، الگوریتم‌ها شامل ANN، SVM، CNN، KNN، LR، LDA، NB، RF، DT و ad-hoc می‌باشند که در موارد مختلف مورداستفاده قرار گرفته‌اند. به‌طورکلی از این الگوریتم‌ها جهت طبقه‌بندی زخم‌ها، جلوگیری از عفونت در محل جراحی و تعیین درجه سوختگی استفاده شده است. از میان آن‌ها، الگوریتم ANN که از نوع شبکه عصبی مصنوعی است، بالا ترین میزان دقت عمل (۹۶٪) را به نمایش گذاشته است. ازطرفی الگوریتم‌های CNN و SVM بیشترین تناوب به‌کارگیری در بین تحقیقات انجام‌شده را به خود اختصاص داده‌اند و عموماً دقت بالای ۹۰٪ را از خود به نمایش گذاشته‌اند. در مجموع می‌توان این گونه بیان کرد الگوریتم‌های مذکور به‌ویژه ANN ازجمله آن‌هایی هستند که کاربرد خود را در عمل اثبات کرده‌اند.

کاربردهای هوش مصنوعی در تشخیص

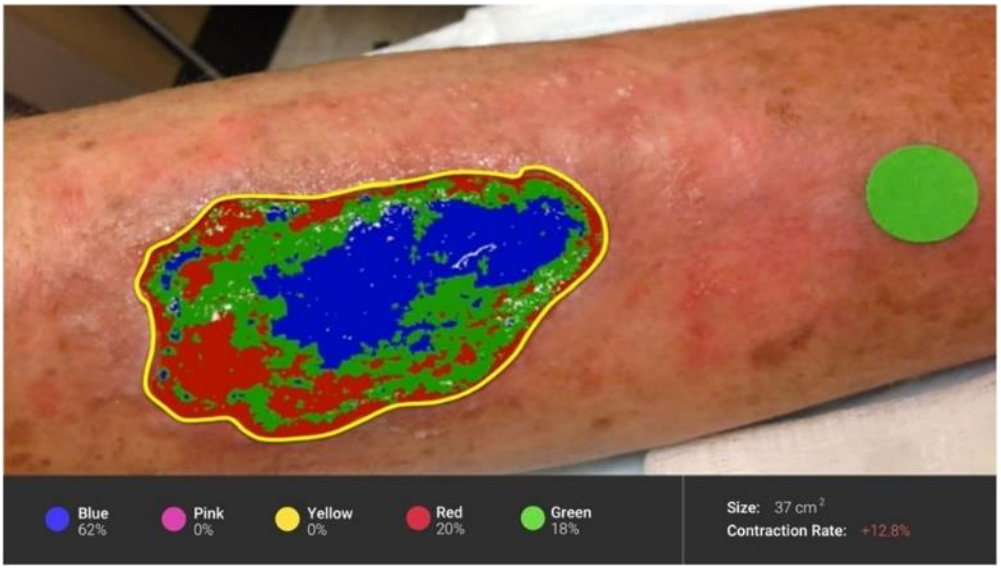
تشخیص و طبقه‌بندی زخم‌ها

دسته‌بندی زخم‌ها و آسیب‌های پوستی از بنیادین‌ترین مراحلی است که کادر درمان برای مراقبت از زخم‌ها باید انجام دهند. شناخت دقیق نوع زخم هر بیماری پیش‌نیاز انتخاب روش درمانی متناسب با آن می‌باشد. تعداد کمی از کادر بالینی تجربه و مهارت کافی در تشخیص و افتراق میان انواع زخم‌ها و آسیب‌های پوستی را دارند. برای دانشجویان پزشکی و پزشکان کم‌تجربه، اگرچه درمان زخم‌های نرمال چندان چالش‌برانگیز نخواهد بود؛ اما در تشخیص موارد خاص‌تر و حادتر ممکن است دچار خطا در تشخیص و درمان شوند. با توجه به خطاهای انسانی در تشخیص، تعدادی از محققین حوزه هوش مصنوعی تلاش کرده‌اند تا با استفاده از الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق، مدل‌هایی طراحی کنند تا در دسته‌بندی زخم‌ها و تعیین ابعاد آسیب به‌عنوان دستیاری مطمئن برای پزشکان ایفای نقش کنند.

هوش مصنوعی با دریافت تعداد بالایی داده و تصاویر از انواع زخم‌های بیماران پیشین، این توانایی را دارد که موارد جدید را با این بانک اطلاعاتی مقایسه نموده و تشخیص دهد که مورد جدید جزو کدام دسته از زخم‌ها می‌باشد[۹و۱۰]. همچنین نرم‌افزارهای موبایلی با ذخیره هزاران داده ثبت‌شده ایجاد یک آرشیو از اطلاعات مربوط به بیماران با انواع شرایط و زخم‌های مختلف نموده و کاربران در زمان نیاز به‌راحتی به تمام اطلاعات نمونه‌های پیشین دسترسی خواهند داشت (شکل ۲)[۱۱].

به‌عنوان مثال، پیودرما گانگرنوزوم (Pyoderma Gangrenosum)، یک عارضه پوستی، به‌راحتی می‌تواند با عارضه‌های پوستی دیگر مثل آبسه، سلولیت یا زخم پای دیابتی اشتباه گرفته شود. در پاسخ به این مسئله، برینکر و همکاران توانسته‌اند یک شبکه عصبی پیچیده طراحی کنند که قادر است این

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]



شکل ۲: نمونه ارزیابی تصویر زخم با استفاده از نرم‌افزار هوش مصنوعی[۱۱].

عارضه را با دقتی بالا از سایرین افتراق دهد[۱۲].

همچنین بیماری‌های زمینه‌ای مثل دیابت می‌توانند روند ترمیم را دچار اخلال کنند که به این نوع از زخم‌ها مزمن گفته می‌شود. تشخیص به‌موقع و دقیق زخم، انتخاب درمان متناسب و پیگیری فرایند درمان به‌طور مداوم و حرفه‌ای نیاز این قشر از بیماران است که موردهدف جامعه پزشکی قرار دارد[۱۳]. در تحقیقی دیگر، گویال و همکاران با استفاده از مدل DFUNet و CNN، تلاش کردند تا زخم‌های پای دیابتی (DFU) را از موارد سالم افتراق دهند که نتیجه‌ای موفقیت‌آمیز با حساسیت بیش از ۹۰٪ حاصل شد[۱۴].

بخش عمده‌ای از فرایند مدیریت و درمان زخم در منزل صورت خواهد گرفت یا به‌عبارتی دیگر، دور از دسترس کادر درمان. طبق آمارها، میزان تقاضای پرستار و ویزیت در منزل برای بیمارانی که روند درمان‌شان در منزل طی می‌شود، روندی روزافزون داشته است. اعزام پرستار شامل هزینه‌های بسیاری برای بیماران و نیز دولت و سازمان‌ها خواهد بود. ازطرفی جمعیت پرستاران حاضر نمی‌تواند پاسخ‌گوی این حجم از تقاضا باشند درنتیجه، بخشی از بیماران از این امکان محروم خواهند ماند. از این جهت یک نرم‌افزار کلینیکی از راه دور بر پایه هوش مصنوعی می‌تواند جایگزین متخصصین در منزل بیماران باشد تا زخم آن‌ها را به‌طور مداوم مورد بررسی قرار دهد. تعدادی نرم‌افزار تلفن همراه طراحی شده‌اند تا پاسخگوی این نیاز باشند. این نرم‌افزارها قابلیت این را دارند که با ارزیابی رنگ و ابعاد زخم، وضعیت و شرایط آن‌را تشخیص دهند[۱۲].

"Wound Viewer" مثالی از این نرم‌افزارهاست که توسط زوپو و همکاران ساخته شده است و با سنسورها و الگوریتم‌های مختلف، امکان بررسی ترکیبات بافت زخم، اندازه‌گیری ابعاد آن و ارسال این اطلاعات را برای کادر درمان فراهم می‌نماید[۱۵]. سابقاً بیماران مجبور به تصویربرداری و اندازه‌گیری زخم خود بودند و می‌بایست مدتی در انتظار پاسخ کارشناس می‌ماندند. حال با گسترش این نرم‌افزارها، صرفاً با بارگذاری یک تصویر، می‌توانند اطلاعات کاملی از وضعیت زخم خود دریافت کرده، بدون آن‌که انتظاری بکشند[۱۶-۱۸].

گواداگنین و همکارانش نرم‌افزار دیگری را بر پایه داده‌کاوی تصویری طراحی کردند که به‌طور خودکار می‌تواند از تصویر زخم‌های فشاری، شرایط آن‌ها را تفسیر نماید[۱۹].

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

آنیسوزامان و همکارانش پای را فراتر نهاده و طیف متنوعی از زخم‌ها شامل زخم پای دیابتی (DFU)، زخم فشاری (PU)، زخم وریدی (VU) و زخم‌های حاصل از جراحی (SW) را توسط هوش مصنوعی تجزیه و تحلیل کردند. آن‌ها از الگوریتم‌های VGG16، ResNet50 و LSTM استفاده کردند و داده‌های آن‌ها به‌صورت ترکیبی از تصویر زخم و محل به نرم‌افزار داده شد. نتیجه این بررسی دقتی بیش از ۸۶٪را داشت[۲۰]. احسان و همکاران نیز با به‌کارگیری مدل ResNet50 توانسته‌اند زخم‌های ایسکمیک و زخم‌های عفونی را به‌ترتیب با ۹۹/۵٪ و ۸۵٪ دقت دسته‌بندی نمایند[۲۱].

نرم‌افزارهای تشخیص و تخمین مشخصات زخم تصویرمحور می‌توانند بر پایه تصاویر دو یا سه‌بعدی عمل کنند. بر پایه تصاویر دوبعدی آن‌ها قادرند خصوصیاتی مثل اندازه، شکل و موقعیت زخم بیمار را شناسایی نمایند. این تشخیص عموماً بر پایه افتراق رنگ پیکسل به پیکسل انجام می‌شود. آن‌ها از نظام رنگی مشهور نظیر RGB (Red-Green-Blue) استفاده کرده و پیکسل‌ها را به پیش‌زمینه و پس‌زمینه طبقه‌بندی می‌کنند[۲۲-۲۴]. نرم‌افزار WITA مثال خوبی از این نرم‌افزارهای دوبعدی است که بر پایه رنگ‌ها می‌تواند خصوصیات زخم را ارزیابی کند[۲۵].

در کنار تصاویر دوبعدی، برای شناسایی برخی ویژگی‌ها مانند عمق زخم، حجم و شکل فضایی زخم نیاز به تصاویر سه‌بعدی خواهد بود. محققان مختلفی توانسته‌اند مدل‌های هوش مصنوعی مبتنی‌بر تصاویر سه‌بعدی را گسترش و ارائه دهند که با آن‌ها بتوان از راه دور صفات مذکور را درباره زخم بیماران مورد ارزیابی قرار داد[۲۶-۲۸]. برخی از این مدل‌ها صرفاً براساس دو تصویر از دو جهت مختلف و بدون دادن اطلاعاتی درباره موقعیت دوربین، قادرند تصویر سه‌بعدی زخم را ایجاد کنند. سیستم MAVIS نمونه‌ای از نرم‌افزارهای سه‌بعدی است که دو تصویر با اختلاف زاویه جزئی را اتخاذ و هر دو را پیکسل به پیکسل مورد ارزیابی قرار می‌دهد تا تمام صفات زخم را به‌دست‌آورد[۲۹].

ازجمله تکنیک‌های تصویربرداری سنتی که می‌توان با هوش مصنوعی تفیلق نمود، توموگرافی انسجام نوری (Optical Coherence Tomography) را می‌توان مثال زد. این یک تکنیک تصویربرداری مقطعی است که با استفاده از پرتو فروسرخ کم‌توان به‌صورت آنی از بافت زنده تصاویر دو و سه‌بعدی ارائه می‌دهد. از این روش می‌توان برای به تصویرکشیدن پوست و زخم انسان بهره برد. اگرچه این تکنیک مستلزم کنترل توسط انسان و نیز زمان‌بر است. محققین برای رفع این مشکل از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی استفاده کرده‌اند و نتایج حاصل را با آنالیزهای انسانی تطبیق دادند و با دقت و انسجام بالایی از سوی الگوریتم مواجه شدند[۳۰].

تعدادی از پژوهشگران نیز در تجزیه و تحلیل فاکتورهای مختلف و ارائه تفسیر مناسب از شرایط زخم از هوش مصنوعی کمک گرفته‌اند. آن‌ها مدل‌های مختلفی طراحی کرده‌اند که بتوانند داده‌های مختلفی را جمع‌آوری و تفسیری جامع و منسجم از آن‌ها ارائه دهند. توپاز و همکارانش یک نرم‌افزار مبنی‌بر پردازش زبانی را ارائه دادند که صرفاً با دریافت شرح حال‌های بالینی بیماران می‌تواند به داده‌های منسجمی دست یافته و آن‌ها را تفسیر نماید[۳۱]. محققین دیگری نظیر Ngo از یادگیری ماشینی استفاده کردند تا اثرات فاکتورهای مختلف بر روند ترمیمی را آنالیز نمایند[۳۲و۳۳].

برای نخستین بار، طلاح محمد و همکاران میزان اثربخشی استفاده از این‌گونه ابزارها را ارائه دادند. مطالعه آن‌ها برروی داده‌های مربوط به بیش از ۱۴هزار بیمار حاکی از آن است که این نرم‌افزارها نیاز به حضور پرستار را کاهش، کیفیت ویزیت را افزایش و طول درمان بیمار را کاهش داده‌اند[۳۴].

شناخت فرایند ترمیم زخم

شناخت درست از مراحل و جزئیات فرایند ترمیم زخم بسیار در درمان آن اهمیت دارد؛ تا حدی که بدون شناخت کامل و دقیق نمی‌توان درمانی مناسب

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

برای آن ایجاد کرد. ازطرفی به‌علت پیچیدگی این فرایند و دخیل‌بودن عوامل مختلف، رسیدن به این مهم کار دشواری به‌نظر می‌رسد ازاین‌رو، برخی از محققین تلاش کرده‌اند تا با استفاده از هوش مصنوعی به این نیاز پاسخ دهند. به‌طور مثال، در یک تحقیق سعی شده است تا مدل‌سازی ریاضی فرایند ترمیم زخم با استفاده از NNC انجام گیرد. این پژوهش تمرکز خود را بر حرکات سلول‌های فیبروبلاست و ترشح ماتریکس خارج سلولی (ECM) و اثر عوامل مختلف بر این دو قرار داد و توانست به‌صورت ریاضی، فرایند مذکور را تعریف نماید. در این میان حتی براساس این یافته‌ها، طرحی برای کنترل فرایند ترمیم نیز ارائه شده است[۳۵].

تحقیقات سلولی بخش مهمی از فرایند تحقیق در مسیر یافتن درمان مناسب زخم‌ها را شامل می‌شوند. به‌طورکلی هر یک از درمان‌های مورد ادعا در ابتدا در شرایط *In Vitro* و برروی کشت سلول ارزیابی می‌شوند. درباره ترمیم زخم، عمدتاً از سلول‌های اندوتلیال و کراتینوسایت به‌عنوان نماینده بافت پوست استفاده می‌گردد. در آزمایشات *In Vitro* صفاتی ازجمله تعداد سلول‌های زنده، سرعت مهاجرت آن‌ها و تراکم بر واحد مساحت موردارزیابی دقیق قرار می‌گیرد. روش کاوشگر هوشمند سلولی (iCD) که بر پایه الگوریتم‌های CNN طراحی شده است، دستیار مناسبی در این تحقیقات خواهد بود. درحالی که انجام شمارش و اندازه‌گیری صفات مذکور توسط انسان می‌تواند تحت‌تأثیر خطای دید، خستگی، عدم تشخیص به‌علت نامناسب‌بودن تصویر و ... متحمل خطا شود، ابزار فوق می‌تواند با دقت و سرعت بالا این فرایند را پیش برد[۳۶].

اهمیت مطلب فوق را می‌توان در تست اسکر (Scratch Assay) مشاهده نمود. از آنجا که این تست برمبنای اندازه‌گیری مساحت شکاف ایجادشده در میانه تک لایه سلولی است، شناسایی دقیق نواحی دارای سلول از نواحی تهی و شناسایی دقیق لبه‌های شکاف بسیار حائز اهمیت است. الگوریتم‌های u-net که از نوع CNN می‌باشند، مدل‌هایی مفید و قدرتمند در زمینه تجزیه و تحلیل تصویر می‌باشند. استفاده از آن‌ها خطای اندازه‌گیری را به میزان قابل‌توجهی نسبت به حالت سنتی کاهش می‌دهند[۳۷].

هوش مصنوعی در درمان و پیشگیری

جابه‌جایی هوشمند بیماران

لازم به ذکر است که کاربرد هوش مصنوعی در فرایند درمانی زخم‌ها صرفاً جنبه تشخیصی و آموزشی نداشته و پتانسیل مداخلات درمانی را نیز دارد. در مورد زخم‌های فشاری یکی از فاکتورهای مهم بررسی شرایط زخم، میزان فشار وارده بر زخم می‌باشد. محققین زخم‌پوش‌هایی طراحی کرده‌اند که انعطاف‌پذیر و قابل‌پوشش باشند و به‌واسطه سنسورهای فشاری بتوانند به‌صورت بی‌سیم اطلاعات را به اپراتور منتقل نمایند[۳۸]. با این حال، چالش این بیماران صرفاً تشخیصی نیست، بلکه برای بهبود زخم‌های‌شان، نیاز است تا به‌طور مداوم جابه‌جا شوند. دشواری انجام این فعل به‌صورت دستی باعث شده است تا محققانی ازجمله دانیلوویش و همکاران به‌دنبال حل این معضل ازطریق هوش مصنوعی باشند. این محققان با به‌کارگیری تجهیزات پیشرفته، سیستمی طراحی کردند که با استفاده از دوربین، می‌تواند بیمار را در چهار موقعیت مختلف تغییر وضعیت دهد[۳۹]. نی و همکاران، سیستم دیگری طراحی کردند که خود به‌واسطه سنسورها قادر است فشار را در هر ثانیه اندازه گیرد و برمبنای آن وضعیت بیمار را تغییر دهد. با استفاده از این فناوری سایز زخم بیمار مورد بررسی کاهش یافت و نیز بیمار احساس راحتی بیشتری را گزارش نمود[۴۰].

زخم‌پوش‌های هوشمند

زخم‌پوش‌های سنتی مثل بانداژ و گاز اگرچه کاربرد آسانی داشته و زخم را از عفونت خارجی مراقبت

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

می‌کنند؛ اما با نواقصی همراهند. به‌عنوان مثال، راه‌حلی برای ازدست‌رفتن رطوبت بافت ندارند. با کاهش رطوبت در ناحیه زخم، آن‌ها به بافت چسبیده و برداشتن‌شان به‌سختی و همراه با درد خواهد بود. حتی امکان ایجاد زخم مجدد حین برداشت آن‌ها نیز وجود دارد[۴۱]. در پاسخ به این نیاز امروزه زخم‌پوش‌های پیشرفته‌تری بر پایه بیوپلیمرهای طبیعی طراحی شده‌اند. کیتوزان، کلاژن، هیالورونیک اسید و آلجینات ازجمله این پلیمرها هستند و قابلیت انتقال مواد ضروری زخم مثل فاکتورهای رشد را فراهم می‌کنند. به‌علاوه انواع دیگری شامل هیدروژل، هیدروکلوئید، فوم و ... نیز هستند که خود توان واکنش با محیط زخم را دارند و از این طریق در روند ترمیم مداخله فعال خواهند کرد[۴۲و۴۳]. با محتوی آب حدود ۹۰٪ و ساختاری مشابه با ماتریکس خارج سلولی، هیدروژل‌ها قادرند یک شبکه ترابری سیال در بستر زخم فراهم آورند که در آن بستر تمامی مواد مورد نیاز ترمیم و سلول‌ها به‌راحتی جابه‌جا شوند. زخم‌پوش‌های هیدروژلی رطوبت زخم را حفظ می‌کنند، به زخم نمی‌چسبند و از آنجا که نسبت به گازها نفوذپذیرند، اصطلاحاً به زخم اجازه تنفس می‌دهند[۴۴و۴۵].

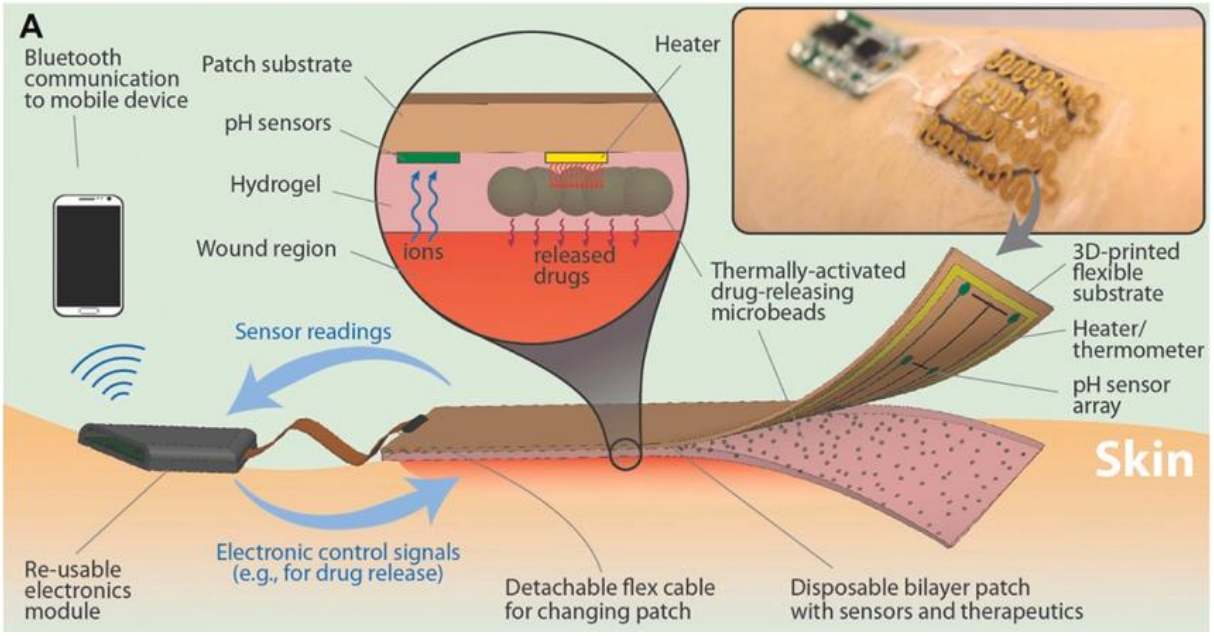
با ظهور فناوری‌های الکترونیکی و تلفیق‌شان با این زخم‌پوش‌های هیدروژلی، ما امروزه شاهد ارائه رده جدیدی از زخم‌پوش‌های هوشمند تحت عنوان "Sense-and-Treat" هستیم که با قابلیت حساسیت و پاسخ لحظه‌ای به فاکتورهای خاص می‌تواند خود را با محیط زخم سازگار نماید[۴۶]. این زخم‌پوش‌ها که بر پایه یادگیری عمیق استوارند، لایه‌ای از جنس کربن دارند که رسانش و حساسیت سنسورهای آن‌ها را بالا برده و نیز دارای ترکیباتی حساس به pHاند که با تشخیص دائمی pH محیط زخم می‌تواند گزارشی از اینکه زخم در کدام مرحله از ترمیم است، به ما بدهند[۴۷].

زخم‌پوش‌های هوشمند این قابلیت را دارند که اطلاعات مهمی از محیط زخم شامل دما، pH، فشار و نیز وجود عفونت در آن ناحیه را به‌صورت لحظه‌ای به‌دست آورده و براساس این داده‌ها، داروهای بارگذاری‌شده در این زخم‌پوش‌ها رهاسازی خواهند شد. این رهاسازی مطابق با نیازهای زخم در هر مرحله خواهند بود. این زخم‌پوش‌ها توسط نرم‌افزارهای مبتنی‌بر الگوریتم‌های یادگیری ماشینی عمل می‌کنند و از مدل‌هایی نظیر SVM، DT، KNN، GBDT و XGBoost بهره می‌برند (شکل ۳)[۴۸]. نخستین محرک به‌کاررفته در این زخم‌پوش‌ها نور است. در اکثر تحقیقات از نور مرئی تا نزدیک به فروسرخ (۱۰۰۰-۴۰۰ نانومتر) استفاده شده است. علت آن‌را می‌توان سمیت‌زایی حداقل و نفوذپذیری بالا به بافت دانست. در مقابل اما؛ نشر UV کمترین طرفدار را داشته است از این جهت که ریسک آسیب‌زایی آن بالا و حلالیت موادی که توسط آن فعال خواهند شد، پایین درنظر گرفته شده است.

به‌طورکلی این زخم‌پوش‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند: ۱) آن‌هایی که به‌واسطه نور، ایجاد حرارت کرده و باکتری‌ها را از بین می‌برند؛ ۲) آن‌هایی که با استفاده از نور، تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) می‌کنند و ۳) آن‌هایی که تحت تحریک نور، داروهای بارگذاری‌شده را رهاسازی می‌کنند[۴۹-۵۱].

دما، دومین محرکی است که هیدروژل‌ها به آن پاسخ می‌دهند به‌طوری که در دمای پایین به فرم متراکم و غلیظ درآمده تا به‌راحتی قابل‌تزریق باشند و سپس در محیط زخم با افزایش دما به حالت رقیق در می‌آیند. رقیق‌شدن آن‌ها را به همه نقاط شکاف می‌رساند و باعث رهاسازی داروها در بستر زخم می‌شود[۵۲و۵۳]. pH محیط زخم از دیگر فاکتورهای مهم در بررسی وضعیت زخم است. پوست در حالت سالم pH نزدیک به خنثی (فیزیولوژیک) دارد؛ اما هنگام ایجاد زخم بر اثر عواملی ازجمله عفونت، مقداری اسیدی‌تر شده و به حدود ۵/۵-۴/۵ خواهد رسید. براین مبنا پچ‌های هیدروژلی طوری طراحی شده‌اند تا صرفا در

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]



شکل ۳: شماتیک ساختار و نحوه عملکرد زخم‌پوش هوشمند حساس به pH[۲۱].

شرایط اسیدی داروهای بارگذاری‌شده را رها کنند[۵۴و۵۵].

گروه دیگری از زخم‌پوش‌های هوشمند حساس به غلظت گلوکزند. افزایش گلوکز، یکی از موانع مهم ترمیم زخم است که موجب اختلال در ترمیم زخم‌های دیابتی می‌گردد. افتراق بین شرایط دیابتی و نرمال زخم‌پوش را قادر می‌سازد تا صرفا در موارد نیاز، داروهایی مثل انسولین را رها کنند تا غلظت گلوکز را کاهش دهد[۵۶]. اندازه‌گیری فراورده‌های متابولیکی ازجمله اسید اوریک در زخم نیز می‌تواند در روند درمان مهم باشد. میزان اسید اوریک با شدت و میزان عفونت در زخم مرتبط است. کاسال و همکاران در یک پژوهش توانسته‌اند با طراحی یک سنسور هوشمند، میزان اسید اوریک را از روی هیدروژن پروکسید تولیدی از اسید اوریک در حضور انزیم اوریکاز اندازه بگیرند[۵۷و۵۸].

ROS، مواد شیمیایی مشتق از اکسیژن با فعالیت بالا را می‌توان به‌عنوان واپسین فاکتور ایجاد پاسخ در هیدروژل معرفی نمود. ROS در مقادیر کم باعث حذف باکتری‌ها و فراخوانی سیستم ایمنی می‌گردد. در مقابل مقادیر بیشتر از حد آن می‌تواند مانع رگ‌زایی گردد؛ لذا نیاز است تا زخم‌پوش‌ها نسبت به این مسئله با دقت بالا عمل کرده و نسبت به ایجاد تعادل در میزان ROS به طور هوشمند عمل کنند (شکل ۳)[۵۹و۶۰].

طراحی دارو

طراحی یا یافتن موادی که بتوان به‌عنوان دارو از آن‌ها در فرایند درمان استفاده کرد، همواره چالش مهمی در حوزه درمان بوده است. ازجمله در حوزه ترمیم زخم، وقت و هزینه بسیاری صرف می‌شود تا به داروهای مؤثر برسیم. هوش مصنوعی می‌تواند کاوشگر خوبی در این زمینه باشد. الگوریتم‌های هوش مصنوعی قادرند با بررسی سریع پایگاه‌های داده و شبیه‌سازی واکنش‌ها مواد دارویی را کشف و ارائه نمایند. کندی و همکاران نمونه‌ای از این کاربرد را به نمایش گذاشته‌اند. مدل هوش مصنوعی که آن‌ها به‌کاربرده‌اند بر پایه یادگیری عمیق توانست پپتیدی آمینواسیدی باتوالی HGPVEMPYTLLYPSSK و نام pep_RTE62G را از گونه نخودفرنگی (Pisum Sativum) شناسایی کند؛ با این ادعا که خواص ترمیمی پوستی خواهد داشت. سپس بررسی‌های آزمایشگاهی تأیید کردند که این پپتید خاصیت القای تکثیر و مهاجرت سلول‌های کراتینوسایت و نیز تحریک ترشح ECM را دارد[۶۱].

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

کاربرد هوش مصنوعی در آموزش پزشکی

آموزش پزشکی باکیفیت به نوبه خود نقش مهمی در ارتقای کیفیت درمان ایفا می‌کند. ابزارهای مبتنی‌بر هوش مصنوعی امروزه قادرند تحولی چشمگیر در ساختار آموزشی به‌وجود آورده و کادر درمانی به مراتب توانمندتر و مجرب‌تری به نظام سلامت ارائه دهند. این ابزارها که شامل ربات‌ها، ابزارهای مکالمه هوشمند، ابزارهای بررسی خودکار و ... هستند، به دانشجویان، آموزشی دقیق، دائماً در دسترس، شخصی‌سازی‌شده و با محوریت تجربه‌افزایی دانشجو عرضه می‌کنند. حال دانشجویان فرصت این را دارند که آموزشی متناسب با سطح دانش خود داشته باشند، بازخورد آنی دریافت کنند، با ضعف‌ها و قوت‌های خود آشنا شوند و پیشنهاداتی برای رفع ضعف‌ها دریافت کنند. همچنین، آموزش‌دهندگان نیز می‌توانند از این امکان بهره برده، روش‌های آموزشی خود را برحسب نیاز ارتقا داده و به‌روز باشند[۶۲و۶۳]. پزشکان و پرستاران زیادی در دنیا از هوش مصنوعی در آموزش دانشجویان استفاده می‌کنند؛ زیرا معتقدند هوش مصنوعی قادر است شبیه‌سازی‌هایی دقیق از محیط کار بالینی برای دانشجویان فراهم آورد. این امر، دانشجویان را قادر می‌سازد تا در شرایطی امن و تحت کنترل، دانش و مهارت‌های خود را ارتقا دهند[۶۴و۶۵].

در کنار قابلیت‌های هوش مصنوعی به‌تنهایی، با ظهور و گسترش سایر تکنولوژی‌ها مانند واقعیت مجازی (virtual Reality) و واقعیت افزوده (Augmented Reality) نیز می‌توان در ترکیب با هوش مصنوعی امکانات ویژه‌ای پدید آورد. به‌عنوان مثال با استفاده از واقعیت مجازی می‌توان سناریوهای بالینی مانند انواع زخم‌ها را برای دانشجویان به‌طوری بسیار مشابه با واقعیت شبیه‌سازی کرد[۶۶-۶۸].

هوش مصنوعی؛ ایده تا کاربرد

بدیهی است که هدف غایی این مدل‌ها استفاده از آن‌ها در سطح تجاری و در بالین است ازاین‌رو، در کنار تحقیقات پایه‌ای مربوط به توسعه الگوریتم‌ها و مدل‌های هوش مصنوعی، بخشی از پژوهش‌ها باید معطوف به توسعه نرم‌افزاری و سخت‌افزاری این ابزارها تا حد کاربردی باشد. مدل‌های هوش مصنوعی برای ایجاد ارتباط با جهان حقیقی نیازمند ابزارهایی فیزیکی‌اند تا داده‌های موردنیاز خود را به‌واسطه آن‌ها جمع‌آوری کنند. این ابزارها عبارتند از دوربین‌ها، سنسورها، لامپ‌ها و دیودهای لیزری و ...[۶۹].

تا به امروز بسیاری از مدل‌های ارائه‌شده به نرم‌افزارهای کاربردی تبدیل و ارائه شده‌اند که اغلب آن‌ها در کامپیوتر اجرا می‌شوند. با این حال برخی از آن‌ها در بستر اندروید، iOS یا تحت وب قابل‌استفاده هستند. به‌عنوان مثال نرم‌افزار Foot Snap و MOWA به‌ترتیب در iOS و اندروید قابل‌اجرا هستند و تنها با داشتن تلفن هوشمند می‌توان از آن‌ها بهره گرفت[۷۰].

علی‌رغم پیچیدگی‌های لازم برای عملکرد مطلوب، یک ابزار برای کاربرد گسترده باید قابلیت به‌کارگیری آسان برای بیماران و کادر درمان را داشته باشد. هر ابزار کمکی، حتی درصورت مفیدبودن، اگر مورد استقبال عموم قرار نگیرد به‌راحتی کنار گذاشته خواهد شد. بخشی از مطالعه بالینی برکت، جانسون و همکاران به این موضوع می‌پردازد. آن‌ها در کنار مسائل درمانی، اظهارات کادر بالینی و بیماران را نیز مورد تحقیق قرار داده‌اند. طبق نتایج این نظر سنجی که درباره نرم‌افزار TA ـ یک نرم‌افزار کمک بالینی ـ کادر درمان و بیماران عموماً نمرات بالایی را ازنظر راحتی یادگیری، زمان لازم برای ارسال تصویر، افزایش ارتباط با بیمار، تداوم و پیوستگی روند درمان به آن داده‌اند. اگرچه مواجهه با فناوری جدید به‌ویژه برای بیماران قطعاً چالش‌برانگیز خواهد بود؛ اما به‌طورکلی می‌توان میزان رضایت از این پدیده را رضایت‌بخش دانست[۷۱].

چالش‌ها

علی‌رغم مزایای عنوان‌شده، هوش مصنوعی کماکان راه طولانی تا کاربردی‌شدن در سطح گسترده در پیش

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

دارد. تحقیقات معرفی‌شده عموماً در شرایط کنترل‌شده آزمایشی صورت گرفته‌اند و مشخص نیست در شرایط حقیقی چه نتایجی حاصل شوند. ازطرفی دقت این ابزارها همچنان مورد بحث است. مثلاً بیشتر تحقیقات برای بررسی توان تشخیص لبه زخم، از زخم‌های با لبه منظم استفاده کرده‌اند؛ حال آنکه اندازه‌گیری زخم‌های نامنظم چالشی مضاعف در پی دارد. هم‌چنین پایگاه‌های داده این مدل‌ها نیاز به توسعه بیشتری دارند. هرچه داده‌های در اختیار آن‌ها افزایش یابند احتمال خطای سیستم به حداقل نزدیک شده و اطمینان به نتایج بالا می‌رود. نهایتاً هوش مصنوعی در بسیاری از مدل‌های ارائه‌شده بخشی از فرایندها توسط انسان انجام می‌شوند که در برخی موارد می‌توان محدودیت ایجاد کند.

با گسترش روزافزون بیماران دارای زخم و نیاز به توسعه روش‌های درمانی، هوش مصنوعی به میزان مناسبی موردبررسی قرار گرفته است. مدل‌های مختلف هوش مصنوعی ازجمله یادگیری ماشینی و یادگیری عمیق در تحقیقات مختلف به‌کارگرفته شده‌اند. محققین تلاش کرده‌اند تا با گسترش مدل‌های هوش مصنوعی روشی ابداع کنند که به‌واسطه آن فرایند درمان را از راه دور و به‌صورت نیمه‌خودکار یا حتی تمام خودکار پیش برند. نرم‌افزارهای مختلفی طراحی شده‌اند که جای خالی پرستار در کنار بیماران بستری در منزل را تا حدود زیادی پر خواهند کرد. این نرم‌افزارها، زخم را مشاهده و تجزیه و تحلیل کرده و توصیه‌های درمانی مداوم متناسب با هر فرد ارائه می‌دهند. با توجه به کمبود کادر درمان و سختی اعزام حضوری پرستار و هزینه‌هایی که شامل حال بیمار و کادر درمان می‌شوند، وجود چنین امکانی بسیار مفید فایده خواهد بود.

برخی دیگر از هوش مصنوعی بهره گرفته‌اند تا ساختار آموزش پزشکی را غنی نمایند. آموزش از راه دور، به‌طور دائم همراه دانشجویان و شخصی‌سازی شده بر پایه نیازهای هریک از آنان، آورده‌ای است که این گروه از محققین ارائه داده‌اند. همچنین به‌عنوان یک دستیار، هوش مصنوعی می‌تواند به اساتید این حوزه نیز یاری رساند. علاوه‌بر تشخیص و آموزش، از این ابزار در مداخله درمانی هوشمند نیز استفاده شده است. ابزارهایی نظیر زخم‌پوش‌های هوشمند طراحی شده‌اند که با استفاده از سنسورها و نرم‌افزارهای هوشمند دارورسانی هوشمند انجام می‌دهند. این مسئله در کوتاه‌شدن روند درمان و کاهش هزینه‌ها حائز اهمیت است. مصرف بی‌رویه دارو در روش‌های سنتی نه‌تنها میزان قابل‌توجهی از دارو را هدر می‌دهد، بلکه تجویز نامتناسب آن با نیاز زخم می‌تواند نتیجه سوء در پی داشته باشد. به‌علاوه به روش انسانی نمی‌توان مکرراً زخم را مورد ارزیابی قرار داد و تجویزها بر این اساس، کلی و ثابت خواهند بود.

درنهایت عده‌ای مدل‌های هوش مصنوعی را با ابزارهای فیزیکی تلفیق نموده‌اند تا یک ساختار کاربردی به‌وجود آورند. هوش مصنوعی برای ارتباط مؤثر با جهان حقیقی نیاز به ابزارهایی دارد تا داده‌های موردنیاز را در اختیارش قرار دهند. تبدیل مدل‌های ریاضی به ابزارهای قابل‌استفاده عمومی را می‌توان آخرین مرحله در ارائه این روش‌ها به جامعه دانست. محققین تا حدود قابل‌قبولی امیدوارکننده عمل کرده‌اند به‌طوری که رواج این ابزارهای مبتنی‌بر هوش مصنوعی را می‌توان در آینده نزدیک در سطح جامعه پزشکی و در دسترس بیماران، متصور بود.

با این وجود، این موضوع نیازمند بررسی‌های بیشتری تا مرحله کاربردی است. پژوهشگران می‌بایست تلاش کنند تا دقت و صحت این روش‌ها را ارتقا دهند و آزمون‌ها را در سطوح حقیقی‌تر و گسترده‌تری انجام دهند. آن‌ها هم‌چنین می‌توانند از تلفیق مدل‌های مختلف هوش مصنوعی یا حتی تلفیق روش‌های سنتی و مدل‌های هوش مصنوعی به نتایج جالب‌تری برسند و به‌طور روزافزون نظام سلامت را ارتقا دهند.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

References

1. Guest JF, Fuller GW, Vowden P. Cohort study evaluating the burden of wounds to the uk's national heal th service in 2017/2018: Update from 2012/2013. BMJ Open 2020;10.
2. Sen CK, Gordillo GM, Roy S. Human skin wounds: A major and snowballing threat to public health and the economy. Wound repair and regeneration. Nature 2009;17:763-71.
3. Lu SH, Samandari M, Li C. Multimodal sensing and therapeutic systems for wound healing and manag ement: A review. Sensor Actuator Rep. 2022;4.
4. Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine. metabolism 2017;69:S36-S40.
5. Gupta R, Goldstone L, Eisen S. Towards an ai-based objective prognostic model for quantifying wound h ealing. J Biomed Health Inform 2023;28:666-77.
6. D RJ, L C-L, S G-C. Artificial intelligence methods for diagnostic and decision-making ass istance in chronic wounds: A systematic review. J Med Syst 2025;49:1-39.
7. Athanasopoulou K, Daneva GN, Adamopoulos PG. Artificial intelligence: The milestone in modern biomedical research. BioMed Informatics 2022;2:727-44.
8. Morris MX, Fiocco D, Caneva T. Current and future applications of artificial intelligence in surgery: Implications for clinical practice and research. Front Surg 2024;11.
9. Patel NP, Granick MS. Wound education: American medical students are inadequately trained in wound care. Ann Plast Surg 2007;59:53-55.
10. Sürme Y, Kartın PT, Çürük GN. Knowledge and practices of nurses regarding wound healing. J Peri Anesthesia Nursing 2018;33:471-78.
11. Khalil H, Cullen M, Chambers H. Elements affecting wound healing time: An evidence based analysis. Wound Repair Regen 2015;23:550-56.
12. Ganesan O, Morris MX, Guo L. A review of artificial intelligence in wound care. Art Int Surg 2024;4:364-75.
13. Yazdanpanah L, Shahbazian H, Nazari I. Incidence and risk factors of diabetic foot ulcer: A population-based diabetic foot cohort (adfc study)- two-year follow-up study. Int J Endocrinol 2018;2018.
14. Goyal M, Reeves ND, Davison AK. Dfunet: Convolutional neural networks for diabetic foot ulcer classifi cation. Trans Emerg Top Comput Intell 2018;4:728-39.
15. Zoppo G, Marrone F, Pittarello M. Ai technology for remote clinical assessment and monitoring. J Wound Care 2020;29:692-706.
16. Chairat S, Chaichulee S, Dissaneewate T. Ai-assisted assessment of wound tissue with automatic color and measur ement calibration on images taken with a smartphone. Healthcare 2023;11.
17. Kavitha I, Suganthi SS, Ramakrishnan S, editors. Analysis of chronic wound images using factorization based segmentatio n and machine learning methods2017.
18. Kaile K, Leiva K, Mahadevan J. Low-cost smartphone based imaging device to detect subsurface tissue o xygenation of wounds. Optic Biophotonic Low-Res Setting 2019; 10869:62-65.
19. Guadagnin R, S NR, Santana LA. An image mining based approach to detect pressure ulcer stage. Pattern Recogn Image 2014;24:292-96.
20. Anisuzzaman DM, Patel Y, Rostami B. Multi-modal wound classification using wound image and location by dee p neural network. Sci Rep 2022;12.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

21. Ahsan M, Naz S, Ahmad R. A deep learning approach for diabetic foot ulcer classification and re cognition. Information 2023;14.
22. Rao KN, Rao PS, Rao AA. Sobel edge detection method to identify and quantify the risk factors for diabetic foot ulcers. Int J Inf Technol Comput Sci 2013;5.
23. Kumar US, Sudharsan NM. Enhancement techniques for abnormality detection using thermal image. J Engin 2018;2018:279-83.
24. Fauzi MFA, Khansa I, Catignani K. Computerized segmentation and measurement of chronic wound images. Comput Biol Med 2015;60:74-85.
25. Filko D, Antonić D, Huljev D, editors. Wita-application for wound analysis and management The 12th IEEE International Conference on e-Health Networking, Applications and Services 2010.
26. Bowling FL, King L, Paterson JA. Remote assessment of diabetic foot ulcers using a novel wound imaging system. Wound Rep Regenerat 2011;19:25-30.
27. Wannous H, Lucas Y, Treuillet S. Enhanced assessment of the wound-healing process by accurate multiview tissue classification. IEEE Trans Med Imag 2010;30:315-26.
28. Chang MC, Yu T, Luo J. Multimodal sensor system for pressure ulcer wound assessment and care. IEEE Trans Industr Inform 2017;14:1186-96.
29. Barone S, Paoli A, Razionale AV. Assessment of chronic wounds by three-dimensional optical imaging base d on integrating geometrical, chromatic, and thermal data. Proc Inst Mech Eng H 2011;225:181-93.
30. Wang Y, Ajjan R, Freeman A. Volumetric quantification of wound healing by machine learning and opt ical coherence tomography in adults with type 2 diabetes: The gc-sheal d rct. Rxiv, 2021-06.
31. Topaz M, Lai K, Dowding D. Automated identification of wound information in clinical notes of pat ients with heart diseases: Developing and validating a natural languag e processing application. Int J Nurs Stud 2016;64:25-31.
32. Ngo QC, Ogrin R, Kumar DK. Computerised prediction of healing for venous leg ulcers. Sci Rep 2022;12.
33. Chen CL, Chiang SC, Hung LP. Applying aiot image recognition for prognosis of wound healing in long -term care residential facility. Wireless Networks 2024;30:6523-36.
34. Mohammed HT, Corcoran K, Lavergne K. Clinical, operational, and economic benefits of a digitally enabled wo und care program in home health: Quasi-experimental, pre-post comparat ive study. JMIR Nurs 2025;8.
35. Azizi A. Designing of artificial intelligence model-free controller based on ou tput error to control wound healing process. Biosens J 2017;6.
36. Oldenburg J, Maletzki L, Strohbach A, et al. Methodology for comprehensive cell-level analysis of wound healing exp eriments using artificial intelligence. 2020.
37. Doğru D, Özdemir GD, Özdemir MA. An automated in vitro wound healing microscopy image analysis approach utilizing u-net-based deep learning methodology. BMC Med Imaging 2024;24.
38. Deng WJ, Wang LF, Dong L. Lc wireless sensitive pressure sensors with microstructured pdms diele ctric layers for wound monitoring. IEEE Sens J 2018;18:4886-92.
39. Danilovich I, Moshkin V, Reimche A, editors. Video monitoring over anti-decubitus protocol execution with a deep neural network to prevent pressure ulcer 2021: Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc; 2021:1384-87.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

40. Ni TF, Wang JL, Chen CK. Can a prolonged healing pressure injury be benefited by using an ai ma ttress? A case study. BMC Geriatr 2024;24.
41. Dhivya S, Padma SVV, E. Wound dressings–a review. Biomed 2015;5:22.
42. Fan X, Tan BH, Li Z. Control of pla stereoisomers-based polyurethane elastomers as highly e fficient shape memory materials. ACS Sustain Chem Eng 2017;5:1217-27.
43. Weller CD, Team V, Sussman G. First-line interactive wound dressing update: A comprehensive review o f the evidence. Front Pharmacol 2020;11.
44. Zhu H, Qiang JMJ, Wang CG. Flexible polymeric patch based nanotherapeutics against non-cancer the rapy. Bioact Mater 2022;18:471-91.
45. Zheng J, Oh XY, Ye E. Self-healing polymer design from dynamic b–o bonds to their emerging a pplications. Mater Chem Front 2023;7:381-404.
46. Farahani M, Shafiee A. Wound healing: From passive to smart dressings. Adv Healthc Mater 2021;10.
47. Kalasin S, Sangnuang P, Surareungchai W. Intelligent wearable sensors interconnected with advanced wound dressi ng bandages for contactless chronic skin monitoring: Artificial intell igence for predicting tissue regeneration. Anal Chem 2022;94:6842-52.
48. Chen T, Guestrin C, editors. Xgboost: A scalable tree boosting system2016.
49. Zhang X, Chen G, Liu Y. Black phosphorus-loaded separable microneedles as responsive oxygen de livery carriers for wound healing. ACS Nano 2020;14:5901-08.
50. Fan X, Luo Z, Chen Y. Oxygen self-supplied enzyme nanogels for tumor targeting with amplifie d synergistic starvation and photodynamic therapy. Acta Biomater 2022;142:274-83.
51. Soo XYD, Png ZM, Wang X. Rapid uv-curable form-stable polyethylene-glycol-based phase change ma terial. ACS Appl Polym Mater 2022;4:2747-56.
52. He W, Ma Y, Gao X. Application of poly (n-isopropylacrylamide) as thermosensitive smart m aterials. Journal of Physics: Conference Series 2020;1676.
53. Nilforoushzadeh MA, Khodadadi Yazdi M, Baradaran Ghavami S. Mesenchymal stem cell spheroids embedded in an injectable thermosensit ive hydrogel: An in situ drug formation platform for accelerated wound healing. ACS Biomater Sci Eng 2020;6:5096-109.
54. Albright V, Zhuk I, Wang Y. Self-defensive antibiotic-loaded layer-by-layer coatings: Imaging of l ocalized bacterial acidification and ph-triggering of antibiotic relea se. Acta Biomater 2017;61:66-74.
55. Chua MH, Soo XYD, Goh WP. Thioxanthylium cations: Highly reversible hydrochromic mate-rials with tunable color and moisture sensitivity. Chem Europ J 2022;280
56. Zhao L, Niu L, Liang H. Ph and glucose dual-responsive injectable hydrogels with insulin and f ibroblasts as bioactive dressings for diabetic wound healing. ACS Appl Mater Interfaces 2017;9:37563-74.
57. Kassal P, Kim J, Kumar R. Smart bandage with wireless connectivity for uric acid biosensing as a n indicator of wound status. Electrochem commun 2015;56:6-10.
58. RoyChoudhury S, Umasankar Y, Jaller J. Continuous monitoring of wound healing using a wearable enzymatic uric acid biosensor. J Electrochem Soc 2018;165.
59. Kim YE, Kim J. Ros-scavenging therapeutic hydrogels for modulation of the inflammator y response. ACS Appl Mater Interfaces 2021;14:23002-21.
60. P LT, Y L, Dl T. In situ forming and reactive oxygen species-scavenging gelatin hydroge ls for enhancing wound healing efficacy. Acta Biomater 2020;103:142-52.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

61. Kennedy K, Cal R, Casey R. The anti-ageing effects of a natural peptide discovered by artificial intelligence. Int J Cosmet Sci 2020;42:388-98.

62. Chiu TKF, Xia Q, Zhou X. Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. Comput Educ Artif Intell 2023;4:100118.

63. Jc DG. The state of artificial intelligence in nursing education: Past, prese nt, and future directions. Int J Environ Res Public Health MDPI 2023;20.

64. Preiksaitis C, Rose C. Opportunities, challenges, and future directions of generative artific ial intelligence in medical education: Scoping review. JMIR Med Educ 2023;9:e48785.

65. Mirchi N, Bissonnette V, Yilmaz R. The virtual operative assistant: An explainable artificial intelligenc e tool for simulation-based training in surgery and medicine. PLoS One 2020;15.

66. Luo C. Unlocking medical potentials: An in-depth investigation of augmented r eality technology in medicine. Commun Humanit Res 2024;27:126-30.

67. Metaverse ME. Ar, machine learning & ai in orthopaedics? J Orthopaedic Surg 2023;31.

68. Encarnação R, Manuel T, Palheira H. Artificial intelligence in wound care education: Protocol for a scopin g review. Nurs Rep 2024;14:627-40.

69. Hazenberg CEVB, Bus SA, Kottink AIR. Telemedical home-monitoring of diabetic foot disease using photographi c foot imaging–a feasibility study. J Telemed Telecare 2012;18:32-36.

70. Anisuzzaman DM, Wang C, Rostami B. Image-based artificial intelligence in wound assessment: A systematic review. Adv Wound Care 2022;11:687-709.

71. Barakat-Johnson M, Jones A, Burger M. Reshaping wound care: Evaluation of an artificial intelligence app to improve wound assessment and management amid the covid-19 pandemic. Int Wound J 2022;19:1561-77.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]

Applications of artificial intelligence in wound management: a review

Alireza Sadeghi Moghaddam Bijari[1]
Hoda Keshmiri Neghab[2]*
Mohammadhasan Soheilifar[2]

1. Institute of Biochemistry and Biophysics, Tehran university, Tehran, Iran
2. Department of Medical Laser, Yara Institute of Medical Laser Research Center, ACECR, Tehran, Iran

Received: Oct 02, 2025
Accepted: Nov 24, 2025
Pages: 197-211

The treatment of wounds has historically been a significant challenge in medicine, incurring substantial financial and emotional costs for both governments and patients. Consequently, researchers have continuously sought novel methods to enhance the wound healing process. In recent years, with the advancements in computer science and the emergence of Artificial Intelligence (AI), many professional fields, including medical sciences, have undergone transformations. There has been a general effort to utilize AI as an assistant or even a human replacement in certain processes. In the field of wound care, the application of AI-based tools is expected to improve the speed and accuracy of the treatment system, leading to faster wound healing and better outcomes for patients.

AI has been presented in various models, each operating on different datasets and employed in diverse research studies. Both software and hardware tools based on AI have been designed and introduced in several investigations. Their performance has been evaluated at various levels, from laboratory to clinical settings, and their efficacy has been demonstrated.

Based on the findings, it can be stated that AI can provide effective assistance to clinical and research staff in the diagnostic, therapeutic, and educational processes of wound treatment. In some cases, it may even reduce the need for direct clinical staff involvement for patients.

Keywords: wound healing, artificial intelligence, telemedicine, medical education

Corresponding Author:
Hoda Keshmiri Neghab

No.17, Vahid Nazari Ave, Palestine Ave, Enghelab Ave, Tehran, Iran
Email: hodakeshmiri@ut.ac.ir

Conflict of interest: None to declare

Copyright © 2025 Published by Tehran University of Medical Sciences.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-04-08]