مقاله مروری

کاربردهای فناوری دوقلوی دیجیتال در حوزه سلامت: یک مرور نظام‌مند

محمدحسین رونقی[1*]، سیدمصطفی قرشی[2]

[1] دانشیار، بخش مدیریت، دانشکده اقتصاد مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

[2] کارشناسی ارشد مدیریت بازرگانی، بخش مدیریت، دانشکده اقتصاد مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

* **نویسنده مسؤول:** محمدحسین رونقی

mh_ronaghi@shirazu.ac.ir

ارجاع: رونقی محمدحسین، قرشی سیدمصطفی. کاربردهای فناوری دوقلوی دیجیتال در حوزه سلامت: یک مرور نظام‌مند. راهبردهای مدیریت در نظام سلامت ۱۴۰۴؛ ۱۰(۳): ۸۷-۱۷۵.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۴

زمینه و هدف: دوقلوی دیجیتال، یک نسخه دیجیتالی از یک شیء، شخص، سیستم یا فرآیند فیزیکی است که در یک محیط مجازی و زمینه‌ای مشابه قرار گرفته است. دوقلوهای دیجیتال می‌توانند به‌عنوان ابزاری قدرتمند با بهینه‌سازی فرآیندها، کارایی نظام سلامت را ارتقا داده و فرصت‌های تازه‌ای برای بهبود مراقبت‌های سلامت فراهم کنند. لذا این مطالعه به ارائه بینشی جامع درباره دوقلوی دیجیتال و بررسی کاربردهای آن درحوزه سلامت پرداخته است.

روش پژوهش: در این مطالعه با جست‌وجوی کلید واژه‌های Digital Twin Technology، Digital Health،Health Systems و Digital Technology مقالات مربوط به سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ از پایگاه‌های علمی معتبر نظیر PubMed، Web of Science، Google Scholar و Scopus جمع آوری و تحلیل گردید. از میان ۸۷ مقاله جمع‌آوری‌شده، ۲۱ مقاله در این مرور وارد و تحلیل شد. در نهایت نیز با بهره‌گیری از رویکرد پریزما، مروری نظامند از ادبیات موجود انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده نشان داد که فناوری دوقلوی دیجیتال می‌تواند در حوزه‌های پزشکی شخصی‌سازی شده، پایش از راه دور، درمان دقیق، تحلیل‌های پیش‌بینی کننده، مداخلات پیش‌گیرانه، بهینه‌سازی عملیات بالینی، آموزش، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مدیریت بیمارستانی و منابع ایفای نقش کند.

نتیجه‌گیری: با وجود شناسایی کاربردهای مختلف دوقلوی دیجیتال در نظام سلامت، این فناوری همچنان جز فناوری‌های نوظهور در سیستم‌های سلامت است. سیاستگزاران حوزه سلامت به خصوص بخش آموزش با سرمایه‌گذاری در پیاده‌سازی فناوری دوقلوی دیجیتال می‌توانند بستر مناسبی جهت یادگیری دوره‌های آموزشی و تسهیل فرایندهای خدماتی پزشکی فراهم کنند.

واژه‌های کلیدی: فناوری تحول آفرین، سیستم سلامت، سلامت دیجیتال، فناوری دیجیتال

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]

[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

مقدمه

طی دهه گذشته، جهان شاهد یک تحول دیجیتال سریع در تقریباً تمام جنبه‌های زندگی انسانی بوده است؛ به‌ویژه در پی همه‌گیری کوید-۱۹ که استفاده از فناوری‌های دیجیتال رشد قابل‌توجهی پیدا کرد (۱،۲)، کسب‌وکارها و ارائه‌دهندگان خدمات ناچار شدند به‌سرعت با این تغییرات دیجیتال سازگار شوند تا بر چالش‌های ناشی از محدودیت‌ها غلبه کرده و در جهانی که پیوسته در حال تغییر است، بقا یابند (۳). بخش سلامت نیز به‌عنوان یک اکوسیستم پیچیده شناخته می‌شود که برای ارائه خدمات و اقدامات درمانی مطمئن، مقرون‌به‌صرفه و با کیفیت بالا، نیازمند عملیات، بهینه‌سازی، مدیریت و کنترل مؤثر و کارآمد است. چالش اصلی آن، ارائه بهترین خدمات ممکن با استفاده از منابع محدود بهداشتی و درمانی است (۴). حوزه سلامت امروز به این نتیجه رسیده که باید چارچوبی بیمارمحور طراحی کند. در آینده، لازم است سیستم سلامت به شیوه‌هایی فکر کند که بتواند بهترین کیفیت درمان را به بیماران ارائه دهد (۵). استفاده از فناوری‌های دیجیتال در صنعت سلامت - تحت عنوان سلامت دیجیتال یا سلامت هوشمند - در سال‌های اخیر افزایش یافته تا مراقبت بیمار را بهبود بخشد، امید به زندگی را افزایش دهد و هزینه‌ها را کاهش دهد. یکی از این فناوری‌ها که پتانسیل تحول جدی در این حوزه را دارد، فناوری دوقلوی دیجیتال (Digital Twin :DT) است (۶).

دوقلوی دیجیتال، مفهومی است که نخستین بار توسط گریوز (۲۰۰۲) به‌عنوان یک «ایده مفهومی» برای مدیریت چرخه عمر محصول معرفی شد. این مفهوم، سه‌گانه‌ای را تعریف می‌کند که شامل ۱) یک سیستم فیزیکی، ۲) بازنمایی مجازی آن، و ۳) جریان اطلاعات دوطرفه‌ای است که این دو همتای فیزیکی و مجازی را به یکدیگر پیوند می‌دهد (۷). موجودیت مجازی مربوط به آن «دوقلوی مجازی» و معادل فیزیکی آن را «دوقلوی فیزیکی» می‌نامند (۸). در تعریفی دیگر دوقلوی دیجیتال شامل ایجاد یک مدل مجازی از یک موجودیت فیزیکی در قالب دیجیتال است تا بتوان رفتارهای آن را شبیه‌سازی کرد، وضعیت جاری را پایش نمود، پیچیدگی‌های داخلی و خارجی را شناسایی کرد، الگوهای غیرعادی را تشخیص داد، عملکرد سیستم را بازتاب داد و روندهای آینده را پیش‌بینی کرد (۹). تفاوت اصلی دوقلوهای دیجیتال با مدل‌های کامپیوتری قدیمی این است که دوقلوها به‌صورت مداوم با شیء واقعی در ارتباط هستند و داده‌های دقیق و به‌روز دریافت می‌کنند (۹،۱۰). البته دوقلوی دیجیتال صرفاً یک مدل دیجیتال متصل به نمونه واقعی از طریق فناوری‌های نوظهور نیست، بلکه یک مدل زنده، هوشمند و در حال تکامل است که می‌تواند فرآیندها را بهینه کرده و با حلقه بازخورد بسته (closed-loop)، به‌طور مداوم وضعیت‌های آینده مانند نقص‌ها، آسیب‌ها و خرابی‌ها را پیش‌بینی کند (۱۱).

دوقلوی دیجیتال تاکنون صنایع مختلف را دگرگون کرده و شرکت‌های بزرگ برای افزایش بهره‌وری و شناسایی سریع‌تر مشکلات از آن استفاده کرده‌اند. حال، حوزه سلامت نیز می‌تواند از این فناوری بهره‌مند شود (۱۲). دوقلوهای دیجیتال، به‌عنوان فناوری تحول‌آفرین در تکامل انقلاب صنعتی چهارم، کاربردهای خود را از حوزه‌های سنتی مانند تولید و خودروسازی به سمت تحول در بخش سلامت گسترش داده‌اند. این فناوری روش‌های پیشرفته‌تر و دقیق‌تری برای ارائه خدمات درمانی فراهم می‌کنند و از طریق ایجاد نسخه‌های دیجیتال بلادرنگ از وضعیت سلامت بیماران، مراقبت‌های اختصاصی‌تری را ممکن می‌سازند (۱۳). ایجاد و پیاده‌سازی موفق دوقلوهای دیجیتال تا حد زیادی به مدل‌سازی دقیق انسان وابسته است، که نیازمند داده‌های جامع در سطح فردی درباره ظاهر، حرکات و داده‌های فیزیولوژیکی است که از منابع مختلفی مانند دستگاه‌های اینترنت اشیا (Internet of Things) جمع‌آوری می‌شوند (۱۴). ویژگی‌هایی همچون پویایی، بلادرنگ بودن و ارتباط دوسویه داده بین شیء فیزیکی و بازنمایی مجازی یا آواتار از کلیدهای اصلی در تمایز دوقلوهای دیجیتال به شمار می‌رود. این ویژگی‌های کلیدی، همراه با پشتیبانی زیرساخت‌های دیجیتال در حال پیشرفت، دوقلوی دیجیتال را قادر می‌سازد که برخی عملکردهای پیچیده را محقق سازد (۱۵،۱۶). ازاین‌رو شرکت‌های بزرگی مانند مایکروسافت، زیمنس و جنرال الکتریک اخیراً راهکارهایی را برای توسعه دوقلوهای دیجیتال برای دستگاه‌ها، فرآیندها، سامانه‌ها و حتی افراد ارائه داده‌اند (۱۷).

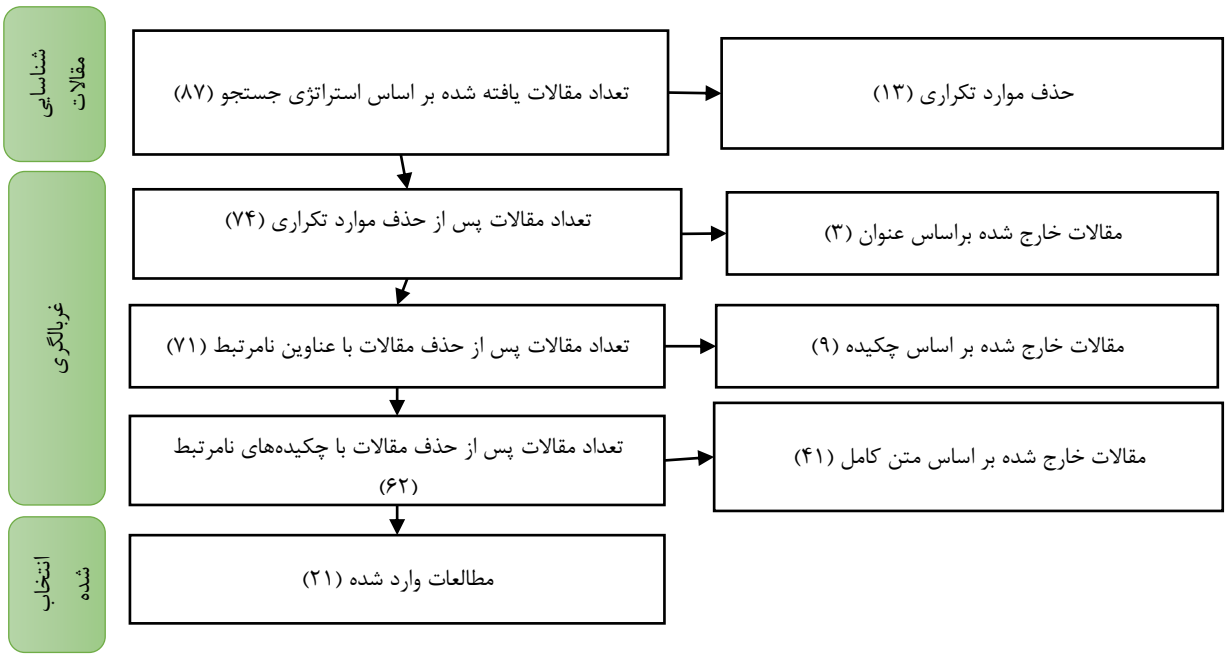
فناوری دوقلوی دیجیتال به‌عنوان نیرویی تحول‌آفرین در سیستم‌های سلامت در حال ظهور است و نحوه ارائه مراقبت از بیماران را دگرگون می‌کند (۱۸). این تحول ازطریق ارتقای

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir
CC BY-NC 4.0
[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]
[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

کیفیت مراقبت از بیماران، امکان تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده، بهینه‌سازی عملیات بالینی و فراهم‌سازی فرصت‌هایی برای آموزش و شبیه‌سازی تحقق می‌یابد (۱۹). دوقلوی دیجیتال با ترکیب فناوری‌های مختلفی همچون اینترنت اشیا، داده‌های کلان (Big Data)، سیستم‌های سایبر-فیزیکی (Cyber-physical systems)، هوش مصنوعی (Artificial Intelligence)و یادگیری ماشین (Machine Learning) می‌تواند ویژگی‌هایی مانند خودکارسازی، کیفیت، بهره‌وری و کارایی را فراهم آورد (۱۷). پیشرفت این فناوری‌ها در کنار دسترسی به طیف گسترده‌ای از داده‌های دقیق و قابل دسترس (از داده‌های بیومتریک و رفتاری گرفته تا بینش‌های عاطفی، شناختی و روان‌شناختی)، منجر به افزایش چشمگیر علاقه‌مندی و پژوهش در زمینه کاربردهای دوقلوی دیجیتال در حوزه سلامت شده است (۲۰). در همین راستا، این مطالعه نخستین مرور نظام‌مند از ادبیات پژوهشی DT در سیستم‌های سلامت را با استفاده از رویکرد پریزما ارائه می‌دهد، روشی که به‌طور گسترده‌ای در تحقیقات سلامت برای مرور نظام‌مند به‌کار گرفته می‌شود. این پژوهش با هدف شناسایی و توصیف ویژگی‌ها و کاربردهای دوقلوی دیجیتال در حوزه سلامت انجام شد.

روش پژوهش

این پژوهش، مروری نظام‌مند با استفاده از رویکرد پریزما از مقالات علمی منتشرشده در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ در حوزه دوقلوهای دیجیتال و کاربردهای آن در حوزه سلامت است. فرآیند جست‌وجو براساس کلید واژه‌های Digital Twin، Technology، Health System، Digital Health و Digital Technology به منظور شناسایی مقالات انگلیسی مرتبط با موضوع پژوهش صورت گرفت. از این رو مجموعاً ۸۷ مقاله انگلیسی از پایگاه‌های علمی PubMed، Web of Science، Google Scholar و Scopus جمع‌آوری گردید. پس از حذف موارد تکراری توسط نرم‌افزار End Note 2025 این عدد به ۷۴ مقاله کاهش یافت. به علت اینکه واژگان کلیدی که مورد جستجو قرار گرفتند طیف وسیع‌تری از موضوعات حوزه سلامت را در بر می‌گرفتند، با بررسی عناوین، چکیده و حذف موارد غیرمرتبط به ۶۲ مقاله دست پیدا کردیم. سپس متن کامل مقالات مورد بررسی قرار گرفت تا تنها مقالاتی که به تعریف و تبیین این فناوری و نیز کاربردها، فرصت‌ها و چالش‌های آن می‌پرداختند، در پژوهش باقی بمانند. در نهایت، از ۲۱ مورد از آن‌ها جهت استخراج و دسته‌بندی مؤلفه‌های اصلی و فرعی کاربردهای فناوری دوقلوی دیجیتال در حوزه سلامت بهره گرفته شد. در شکل ۱ خلاصه‌ای از فرآیند بررسی مطالعات بر اساس نمودار جریان PRISMA 2020 ارائه شده است.



شکل ۱: فرآیند انتخاب مطالعات

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir
CC BY-NC 4.0
[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]
[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

همچنین برای کنترل مفاهیم استخراجی از مقایسه نظر پژوهشگر با یک خبره استفاده شد. جهت ارزیابی میزان توافق بین این دو ارزیاب از شاخص کاپای کوهن استفاده گردید. مقدار شاخص کاپا بین صفر تا یک نوسان دارد. هر چه مقدار این سنجه به عدد یک نزدیک تر باشد نشان می‌دهد که توافق بیشتری بین ارزیابان وجود دارد (۲۱). این شاخص با استفاده از نرم افزار SPSS 27 محاسبه گردید.

یافته‌ها

دوقلوی دیجیتال در مدیریت مراکز درمانی، بهینه‌سازی فرایندهای مراقبتی، شخصی‌سازی درمان‌ها و ارتقاء روند بهبودی بیماران مورد استفاده قرار گرفته است. تأثیر بالقوه این ابزار بر جامعه و سلامت آن بسیار چشمگیر ارزیابی می‌شود (۴). از منظر کاربردی، DT می‌تواند بیماران را به عنوان موجودیت مجازی مستقل مدل‌سازی کند که می‌توان آن‌ها را در محیط‌ها و شرایطی به کار برد که این موجودیت‌ها در حوزه سلامت با هم در ارتباط‌اند. DT هم در سطح بیمار و هم بیمارستان، پتانسیل بالایی برای ارتقای تشخیص و درمان دارد (۲۲,۲۳). با انجام مروی نظام‌مند بر ادبیات موجود و تحلیل دقیق کاربردهای مطرح شده در منابع علمی، مجموعه‌ای از کاربردهای دوقلوی دیجیتال در حوزه سلامت شناسایی و استخراج گردید. این کاربردها در قالب ۷ دسته‌ی اصلی سامان‌دهی شدند تا نمایی جامع از نقش‌های کلیدی این فناوری در نظام سلامت ترسیم شود.

پزشکی شخصی‌سازی شده: در سال‌های اخیر، تقاضا برای راه‌حل‌های مراقبت سلامت شخصی‌سازی‌شده به‌منظور ارتقاء اثربخشی پزشکی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (۱۳). بهره‌گیری از دوقلوهای دیجیتال در مراقبت سلامت می‌تواند شیوه ارائه خدمات درمانی را متحول کند و امکان پزشکی شخصی‌سازی‌شده، کارآمد و مؤثرتر را فراهم آورد (۲۴). پزشکی شخصی‌شده شامل استفاده از اطلاعات دقیق درباره هر فرد برای شناسایی انحرافات از حالت طبیعی است (۲۵). دوقلوهای دیجیتال به ارائه‌دهندگان خدمات درمانی این امکان را می‌دهند که حجم زیادی از داده‌های بیمار را از منابع مختلف نظیر پرونده‌های الکترونیکی سلامت، تجهیزات پوشیدنی و پزشکی، گردآوری و به طور مداوم تحلیل و پایش نمایند تا نشانه‌های اولیه وخامت یا ناهنجاری رو مورد شناسایی قرار دهند (۲۶,۲۷). پلتفرم‌های دوقلوی دیجیتال با بهره‌گیری از اطلاعاتی همچون سوابق پزشکی بیمار، سابقه خانوادگی، داده‌های ژنتیکی، رژیم غذایی، ورزش و تماس با سموم محیطی می‌تواند واکنش‌های فیزیولوژیکی منحصربه‌فرد و شرایط بالینی بیمار را ثبت کرده و گزینه‌های درمانی مختلف را بررسی و اثربخشی احتمالی آن‌ها را ارزیابی کنند (۲۸). ازاین‌رو دیدگاهی جامع از وضعیت بیمار ایجاد می‌شود که به متخصصان سلامت اجازه می‌دهد برنامه‌های درمانی کاملاً شخصی‌سازی‌شده‌ای تدوین نمایند (۵,۱۱).

پایش از راه دور: هنگامی که فردی دچار بیماری می‌شود، دیگر نیاز به حضور فیزیکی متخصصان نیست. فقط کافی است با استفاده از داده‌ها و مدل‌ها، مشاوره تصویری از راه دور انجام شود تا علت بیماری شناسایی یا از آن پیشگیری شود (۱۱). برای مثال دوقلوهای دیجیتال، امکان مدیریت از راه دور بیماران مبتلا به بیماری‌های مزمن و کاهش نیاز به مراجعه مکرر به بیمارستان را فراهم می‌سازد (۵,۱۹). همچنین بیمارانی با فشار خون بالا یا دیابت می‌توانند از دستگاه‌های پوشیدنی استفاده کنند که داده‌های حیاتی و سلامت آن‌ها را به‌طور پیوسته به دوقلوی دیجیتال‌شان ارسال می‌کند که در مواقع بحرانی، سیستم می‌تواند بیمار و/یا پزشک را مطلع ساخته و حتی یک پاسخ اضطراری از پیش تعیین‌شده را فعال کند (۲۸). در نتیجه این امکان فراهم می‌شود تا ارائه‌دهندگان خدمات سلامت، مداخلات پیشگیرانه انجام داده، از بروز عوارض جلوگیری کرده و برنامه‌های درمانی را بهینه‌سازی کنند.

کمک به درمان دقیق: یکی از اهداف ساخت سیستم تشخیص و درمان مبتنی برDT دستیابی به پزشکی دقیق (Precision Medicine) در حوزه‌هایی چون جراحی، داروسازی، ارتوپدی و بیماری‌های همه‌گیر می‌باشد. هسته اصلی این نوع پزشکی، درمان مبتنی بر شخص بیمار است؛ به این معنا که با استفاده از هوش مصنوعی یا فناوری‌های نوین دیگر، به‌طور دقیق علت بیماری شناسایی شده و درمان متناسب با ویژگی‌های خاص هر بیمار ارائه می‌شود (۱۱).

- **جراحی:** تخصص‌های مختلف جراحی، شبیه‌سازی خاص برای هر بیمار را ارزیابی کرده‌اند، از جمله جراحی مغز و اعصاب، جراحی عروق و رادیولوژی مداخله‌ای. برای مثال،

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir
CC BY-NC 4.0
[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]
[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

استفاده از DT در درمان بیماری‌های قلبی‌عروقی در حال گسترش است و علاقه فزاینده‌ای به کاربرد هوش مصنوعی در آن شکل گرفته است (۲۹). قبل از عمل جراحی، DT می‌تواند در طراحی نقشه جراحی کمک کند و جراح با استفاده از نمایش مجازی، طرح عمل را بر روی بدن مجازی بررسی کند. او می‌تواند فرآیند عمل را از زوایا و ماژول‌های مختلف آزمایش کند تا از ایمنی و امکان‌پذیری آن اطمینان یابد و سپس فرآیند را بهینه‌سازی کند. در حین عمل، DT می‌تواند دید جراحی را گسترش داده، نسبت به نقاط کور هشدار دهد، خونریزی پنهان را پیش‌بینی کند و در موقعیت‌های خاص به جراح کمک نماید (۱۱).

- **داروسازی:** داروهایی که در درمان استفاده می‌شوند باید شخصی‌سازی‌شده باشند، چراکه بدن و فیزیولوژی انسان‌ها با یکدیگر متفاوت است. مدل‌های دوقلوی دیجیتال که بر اساس کد ژنتیکی ساخته می‌شوند، می‌توانند ضمن کوتاه سازی فرآیندهای داروسازی، تغییرات در عملکرد بدن را آشکار کرده و به پژوهشگران این امکان را بدهند تا ترکیبات جدید دارویی را با دقت بیشتر و هزینه کمتر ارزیابی کنند (۳۰).

- **ارتوپدی:** با پیشرفت در شبیه‌سازی عددی و دستگاه‌های پوشیدنی، استفاده از دوقلوی دیجیتال برای پایش و تحلیل لحظه‌ای ستون فقرات کمری به یک فناوری پیشرفته‌ی نوظهور و بسیار امیدوارکننده در حوزه بیومکانیک تبدیل شده است. در کاربرد DT در ارتوپدی، توسعه مدل‌های تجربی مبتنی بر فیزیک و مدل‌های عددی مبتنی بر داده از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این مدل‌ها هم‌زمان از مزایای هزینه پایین و یکپارچگی بالا بهره‌مندند (۳۱).

- **بیماری‌های همه‌گیر:** همه‌گیری کووید-۱۹ موجب شکل‌گیری علاقه فراوانی به مدل‌سازی و شبیه‌سازی بیماری‌های عفونی شد. در طول همه‌گیری، یافتن راه‌هایی برای واکسیناسیون بیشتر افراد در زمان کوتاه‌تر، به‌ویژه در شرایط کمبود نیروهای درمانی، ضرورت داشت. پیلاتی و همکاران یک سامانه دوقلوی دیجیتال برای فرآیند واکسیناسیون طراحی کردند و آن را در یک کلینیک آزمایش کردند. این سامانه امکان شبیه‌سازی بلادرنگ بیماران را فراهم کرده و یک مرکز واکسیناسیون پویا ایجاد کرد. در نتیجه یک مدل مجازی می‌تواند برای شناسایی مشکلات و رفع آن‌ها در سیستم واقعی به هنگام شیوع بیماری‌های همه‌گیر اجرا شود و در نتیجه، کارایی فرآیند واکسیناسیون را بهبود بخشد (۳۲).

تحلیل‌های پیش‌بینی کننده و مداخلات پیش گیرانه: یکی از مهم‌ترین مزایای دوقلوهای دیجیتال در سلامت، توانایی آن‌ها در ارائه داده‌ها و تحلیل‌های لحظه‌ای در مسیر مراقبت از بیمار است. از طریق شبیه‌سازی و بهینه‌سازی این مسیرها، دوقلوهای دیجیتال می‌توانند به کاهش خطاهای پزشکی و ارتقاء نتایج درمانی کمک کنند (۲۴). فناوری دوقلوی دیجیتال با تحلیل داده‌های بیماران و استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده و مداخلات پیشگیرانه را تسهیل می‌کند (۳۳). دوقلوهای دیجیتال با تحلیل الگوها، نتایج درمانی و ویژگی‌های بیمار، قادرند مدل‌های پیش‌بینی تولید کرده و سیر بیماری را پیش‌بینی کنند (۳۴). یک دوقلوی دیجیتال پزشکی می‌تواند حالت نرمال را برای هر فرد از طریق بازخورد مستمر اطلاعات بین بیمار و DT او تعریف کند و انحراف از این وضعیت نرمال نشان‌دهنده بیماری است (۲۸). این رویکرد پیش‌گیرانه به مراقبت، به پزشکان اجازه می‌دهد تا قبل از وخامت شرایط، مداخلات زودهنگام انجام دهند، از بروز رویدادهای ناخواسته و بستری‌های غیرضروری جلوگیری کنند و برنامه‌های درمانی را با توجه به پیش‌بینی واکنش بیمار بهینه‌سازی نمایند؛ که در نهایت، ایمنی بیمار و نتایج بلندمدت را بهبود می‌بخشد (۳۵). برای مثال DT می‌تواند پیش از شروع درمان، تأثیرات دوز دارو یا پاسخ وسیله پزشکی را شبیه‌سازی کرده و مشخص کند آیا آن درمان خاص برای بیمار مناسب است یا خیر (۱۱). در موارد بازگشت سرطان به دلیل مقاومت ذاتی تومور یا مقاومت دارویی، پلتفرم‌های DT می‌توانند با پیش‌بینی آغاز مقاومت، درمان‌های جایگزینی را بر اساس ژنوم بیمار پیشنهاد دهند (۲۸). همچنین در موارد بیماری‌های قلبی-عروقی، اختلالات خودایمنی و بیماری‌های عفونی نیز ازطریق پیش‌بینی شناسایی افراد مستعد ابتلا یا در معرض خطر، رد پیوند اندام‌ها و پاسخ‌های بالقوه به داروهای سرکوب‌کننده ایمنی نقش اساسی ایفا می‌نماید (۱۱،۲۸).

بهینه‌سازی عملیات بالینی: فناوری دوقلوی دیجیتال، پتانسیل قابل‌توجهی برای بهینه‌سازی عملیات بالینی در

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir
CC BY-NC 4.0
[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]
[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

سامانه‌های سلامت (۳۶) از طریق یکپارچه‌سازی داده‌های بلادرنگ، تحلیل‌های پیشرفته، و شبیه‌سازی‌های مجازی دارد (۱۸). برای مثال دوقلوهای دیجیتال با ارائه دیدگاهی جامع از جریان کاری بالینی و شناسایی نقاط ناکارآمد و حوزه‌هایی با پتانسیل بهبود، به متخصصان سلامت اجازه می‌دهند تا فرایندها را ساده‌سازی، کارهای تکراری را حذف و بهره‌وری کلی عملیات بالینی را افزایش دهند (۵,۲۶) همچنین تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده و الگوریتم‌های یادگیری ماشین که پیشتر به آن اشاره شد می‌تواند به متخصصان در زمینه، تنظیم برنامه زمان‌بندی نیروی کار، بهینه‌سازی تخصیص تخت‌ها یا بازبرنامه‌ریزی عمل‌ها کمک شایانی رساند (۳۳).

آموزش و شبیه‌سازی: فناوری دوقلوی دیجیتال فرصت‌های ارزشمندی را برای آموزش و شبیه‌سازی در بخش سلامت فراهم می‌کند (۲۶). دوقلوهای دیجیتال می‌توانند سکویی برای شبیه‌سازی انواع رویه‌های پزشکی و پرونده‌های بالینی پیچیده در جهت تمرین و اصلاح تکنیک‌ها و آموزش واکنش اضطراری را برای متخصصان سلامت فراهم کنند (۱۱,۳۷). بنابراین یک دوقلوی دیجیتال پزشکی به‌عنوان نمایشی مجازی، می‌تواند تصمیمات پزشکی و بالینی را پیش از اجرای واقعی، آزمایش کند (۳۸). برای مثال استفاده ازدوقلوی دیجیتال در برنامه‌ریزی و شبیه‌سازی جراحی و همچنین پیش‌بینی نتایج آن (۳۹) باعث تقویت مهارت‌های جراحی، هماهنگی دست و چشم و توانایی‌های تصمیم‌گیری می‌شود و در نهایت به افزایش ایمنی بیمار و بهبود نتایج درمانی می‌انجامد. از سایر شبیه‌سازی‌ها در حیطه سلامت می‌توان جاگذاری کاتتر، لوله‌گذاری تنفسی، روش‌های هدایت‌شده با سونوگرافی، شبیه‌سازی سناریوهای بحرانی مانند ایست قلبی، ضربه‌های شدید یا حوادث با تلفات بالا را نام برد (۱۹).

بهینه‌سازی مدیریت بیمارستانی و منابع: دوقلوهای دیجیتال به مراکز سلامت کمک می‌کنند تا برای بهینه‌سازی طراحی و عملکرد مراکز درمانی، ناکارآمدی‌ها و گلوگاه‌های عملیاتی را در سیستم‌های خود شناسایی کنند (۴۰). همچنین با شبیه‌سازی جریان بیماران، کارکنان و منابع در یک مرکز، این فناوری می‌تواند به افزایش بهره‌وری، کاهش زمان انتظار و ارتقاء رضایت بیماران کمک کند (۲۴). برای مثال جریان ورود و خروج بیماران می‌تواند شبیه‌سازی شده و برای مدیریت بهتر تخت‌ها و پیش‌بینی نقاط ازدحام استفاده شود. همچنین اتاق عمل مجازی می‌تواند درک دقیقی از استفاده تجهیزات، نیازهای تعمیر و نگهداری و جریان کاری پرسنل فراهم کند که در نهایت مزایایی چون بهبود چیدمان، کاهش هزینه‌ها، افزایش رضایت بیماران و تحلیل روندهای عملیاتی را به همراه دارد (۲۸).

در جدول ۱ مؤلفه‌های اصلی و فرعی شناسایی‌شده در زمینه کاربردهای فناوری دوقلوی دیجیتال در نظام سلامت ارائه شده است.

همچنین مقدار ضریب توافق کوهن ۰/۷۶۳ و عدد معنی‌داری ۰/۰۰۱ محاسبه گردید. با توجه به کوچکتر بودن عدد معنی‌داری از ۰/۰۵ فرض استقلال کدهای استخراجی رد می‌شود. پس می‌توان ادعا کرد که استخراج کدها از پایایی مناسبی برخوردار بوده است.

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir
CC BY-NC 4.0
[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]
[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

جدول ۱: مؤلفه‌های اصلی و فرعی در کاربردهای فناوری دوقلوی دیجیتال در نظام سلامت

مولفه اصلی	مولفه فرعی		منابع
پزشکی شخصی‌سازی شده	شناسایی انحرافات از حالت طبیعی		(۲۵)
	گردآوری، تحلیل و پایش داده‌های بیمار		(۲۶)، (۲۷)
	شناسایی نشانه‌های اولیه وخامت یا ناهنجاری		(۲۶)، (۲۷)
	ثبت واکنش‌های‌فیزیولوژیکی منحصربه‌فرد بیمار		(۲۸)
	بررسی شرایط بالینی بیمار و بررسی گزینه‌های درمانی مختلف		(۲۸)
	ارائه دیدگاهی جامع از وضعیت بیمار		(۵)، (۱۷)
پایش از راه دور	کاهش نیاز به حضور فیزیکی متخصصان		(۱۷)
	شناسایی علت بیماری یا پیشگیری از آن		(۱۷)
	مدیریت از راه دور بیماران مبتلا به بیماری‌های مزمن		(۵)، (۱۹)
	پایش مستمر علائم حیاتی بیماران با تجهیزات پوشیدنی		(۲۸)
	اطلاع رسانی هوشمند به بیمار/پزشک در مواقع بحرانی		(۲۸)
	فعال سازی پاسخ اضطراری از پیش تعیین شده		(۲۸)
کمک به درمان دقیق	**جراحی**	شبیه‌سازی اختصاصی جراحی برای هر بیمار	(۲۹)
		طراحی نقشه جراحی قبل از عمل	(۱۷)
		بررسی طرح عمل روی بدن مجازی	(۱۷)
		بهبود تصمیم‌گیری حین عمل	(۱۷)
	داروسازی	توسعه داروهای شخصی‌سازی شده	(۳۰)
		پیش‌بینی و ارزیابی واکنش بدن به داروها	(۳۰)
	ارتوپدی	پایش و تحلیل لحظه‌ای با مدل سازی عددی و تجهیزات پوشیدنی	(۳۱)
	بیماری‌های همه‌گیر	بهینه‌سازی فرآیند واکسیناسیون همگانی	(۳۲)
تحلیل‌های پیش بینی کننده و مداخلات پیش گیرانه	ارائه داده‌ها و تحلیل‌های لحظه‌ای در مسیر مراقبت از بیمار		(۲۴)
	تحلیل داده‌های بیماران با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین		(۳۳)
	ساخت مدل‌های پیش بینی سیر بیماری		(۳۴)
	تعریف وضعیت نرمال اختصاصی برای هر فرد و شناسایی انحراف از آن		(۲۸)
	انجام مداخلات زودهنگام پیش از وخامت شرایط		(۳۵)
	شناسایی افراد مستعد ابتلا به انواع بیماری‌ها		(۱۷)، (۲۸)
بهینه‌سازی عملیات بالینی	یکپارچه‌سازی داده‌های بلادرنگ، تحلیل‌های پیشرفته و شبیه‌سازی‌های مجازی		(۱۸)، (۳۶)
	شناسایی گلوگاه‌ها و نقاط ناکارآمد		(۵)، (۲۶)
	مدیریت هوشمند زمان‌بندی کارکنان و ظرفیت بالینی		(۳۳)
آموزش و شبیه‌سازی	آموزش مهارت‌های بالینی و درمانی		(۱۷)، (۱۹)، (۳۷)
	شبیه‌سازی موقعیت‌های بحرانی		(۱۹)، (۳۷)
	شبیه‌سازی فرآیند درمان پیش از مداخله		(۳۸)، (۳۹)
بهینه‌سازی مدیریت بیمارستانی و منابع	شناسایی ناکارآمدی‌ها و گلوگاه‌های عملیاتی در طراحی و عملکرد مراکز درمانی		(۴۰)
	شبیه‌سازی جریان بیماران، کارکنان و منابع		(۲۴)
	مدیریت هوشمند تخت‌ها و پیش‌بینی نقاط ازدحام در مراکزدرمانی		(۲۸)
	پایش و تحلیل استفاده از تجهیزات و نیازهای تعمیر و نگهداری آن‌ها		(۲۸)

بحث

این مرور نظام‌مند نشان داد که پژوهش در زمینه DT برای سیستم‌های سلامت در سراسر جهان در حال شتاب گرفتن است و زمینه‌های کاربردی متنوعی را در حوزه سلامت پوشش می‌دهد. امروزه این فناوری در صنایع مختلف به‌طور گسترده‌ای به‌کار گرفته می‌شود و با شبیه‌سازی عملکرد و نظارت بر

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]
[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir
CC BY-NC 4.0

سیستم، امکان تحلیل عناصر لحظه‌ای را در محیط واقعی فراهم ساخته و به سازمان‌ها در کشف فرصت‌های نوآوری و بهبود عملکرد کمک می‌کنند (۵،۴۱). DTها محیطی دیجیتال با دقت بالا برای سازمان‌ها فراهم می‌کنند تا بتوانند سناریوهای «چه می‌شود اگر» را درباره نوسانات عملیاتی یا تغییرات احتمالی، بدون ایجاد اختلال در عملیات واقعی دارایی‌های فیزیکی خود، مورد بررسی قرار دهند (۴۲). این قابلیت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که امکان تحلیل سیاست‌ها، شناسایی گلوگاه‌ها و کاهش فعالانه اختلالات عملیاتی احتمالی را فراهم می‌سازد (۷). از مطالعه کاربردهای دوقلوهای دیجیتال می‌توان دریافت که این فناوری پتانسیل بسیار بالایی در متحول سازی نظام سلامت کنونی از طریق ایجاد خدمات سلامت شخصی‌سازی‌شده دارد (۴۳). همچنین توسعه فناوری‌هایی چون کلان‌داده (Big Data)، رایانش ابری، واقعیت مجازی و اینترنت اشیاء (IoT)، زیرساخت فنی لازم را برای کاربرد دوقلوی دیجیتال فراهم کرده و ابزارهای دقیق‌تری در اختیار پزشکان و پژوهشگران قرار داده تا بتوانند فرآیند بروز و پیشرفت بیماری‌ها را مطالعه و تشخیص و درمان را با دقت بیشتری انجام دهند (۱۱). برای مثال دوقلوی دیجیتال به شبیه‌سازی محیط‌های واقعی و تحلیل آن کمک می‌کند و برای دستیابی به نتایج صحیح از الگوریتم‌ها و تحلیل‌های تطبیقی بهره می‌برد. این فناوری با تحلیل داده‌های شخصی فرد، بررسی علائم بیماری، و مقایسه آن‌ها با الگوهای گزارش‌شده می‌تواند تشخیص‌های دقیق‌تری ارائه دهد. همچنین در زمینه فرآیندهای جراحی، امکان دسترسی جامع و دیجیتالی را برای پژوهشگران و متخصصان سلامت فراهم کرده است تا بتوانند مدل‌سازی، شبیه‌سازی، اعتبارسنجی و پیش‌بینی را با هزینه کمتر، دقت بیشتر و عملکرد بالاتر انجام دهند. فناوری دوقلوی دیجیتال هم در مراقبت از بیمار و هم درتحقق مدیریت پایدار و کارآمد مراکزدرمانی کاربرد دارد. با استفاده از DT، سناریوها را می‌توان در محیط مجازی پیش‌بینی و ارزیابی کرد تا در محیط واقعی به‌صورت بهینه اجرا شوند. این موضوع باعث کاهش ریسک و صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌شود. همچنین می‌توان اطلاعات مربوط به روش‌های درمانی و داروها را به مدل‌های DTمنتقل کرد تا اعتبارسنجی انجام شده و گزینه‌های درمانی بهینه‌سازی شوند؛ در نهایت نیز امکان تشخیص زودهنگام یا پیشگیری از بیماری فراهم می‌شود. از طرفی فناوری دوقلوی دیجیتال به کاربردهای اولیه‌ای در پزشکی از جمله در بیماری‌های قلبی-عروقی، ارتوپدی، جراحی، داروسازی و غیره دست یافته است که استفاده موفقیت‌آمیز از این فناوری نوین به حل برخی چالش‌ها کمک کرده است، از جمله پایش لحظه‌ای، تحلیل پویای وضعیت بیماران و درمان دقیق بیماری‌ها که در گذشته با روش‌های سنتی به سختی قابل دستیابی بودند.

به طور کلی پژوهش درباره DTها فرصت‌های فراوانی را برای سیستم‌های سلامت فراهم می‌کند؛ به‌ویژه در مواجهه با کاستی‌های مزمن در بهبود همزمان کیفیت مراقبت از بیمار و رفاه پزشکان (۷) با این حال، این مسئله در عمل به‌مراتب دشوارتر از آن است که در تئوری به نظر می‌رسد. انتظار می‌رود که DT یکی از مهم‌ترین فناوری‌های آینده در پزشکی باشد. گرچه هنوز نسخه کامل DT از کل بدن انسان توسعه نیافته اما پیشرفت‌های چشمگیری در برخی حوزه‌ها، مانند توسعه موفق DTبرای قلب انسان، به‌دست آمده است (۴۴). پیش‌بینی می‌شود که درآینده‌ای نزدیک هر فرد از بدو تولد خود دارای یک DT با چرخه عمر کامل مختص به خود داشته باشد تا داده‌ها جمع‌آوری شده و یک دوقلوی مجازی ایجاد می‌شود که همراه فرد رشد کرده و به‌عنوان سابقه‌ای مادام‌العمر از سلامت و یا بستری برای آزمایش‌های پزشکی عمل کند. دراین صورت امکان پایش لحظه‌ای وضعیت سلامت فرد محقق شده و خود او می‌تواند بر اساس آن، برنامه غذایی، ورزشی و روزانه خود را تنظیم نماید (۱۱).

با این حال، چالش‌ها و موانع بسیاری در استفاده از دوقلوی دیجیتال در حوزه سلامت وجود دارد. از چالش‌های اصلی در ساخت یک دوقلوی دیجیتال پزشکی می‌توان به گردآوری داده‌های کافی برای انجام پیش‌بینی‌های معنی‌دار درباره موجودیت فیزیکی (بیمار) نام برد (۲۸). همچنین نگرانی‌هایی درباره امنیت و حفظ حریم خصوصی وجود دارد، چراکه داده‌های سلامت بسیار حساس بوده و ممکن است سوءاستفاده شوند (۴۵،۴۶). از چالش‌های مهم دیگر، فاصله میان نتایج محاسبه‌شده توسط DT و وضعیت واقعی بیمار است. برای مثال، ممکن است ریسک‌هایی در حین جراحی رخ دهد که در مدل‌سازی پیش‌بینی نشده بودند. از منظر قانونی و اقتصادی

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir
CC BY-NC 4.0
[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]
[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

نیز مراقبت سلامت مبتنی بر DT با چالش‌هایی روبه‌رو است. دولت‌ها و قانون‌گذاران بین‌المللی باید نظارت سخت‌گیرانه‌تری اعمال کرده و استانداردهایی معتبر و متناسب با کشورهای خود تدوین کنند (۴۷). برای مثال، ارائه‌دهندگان خدمات باید به‌روشنی رضایت آگاهانه از کاربران دریافت کرده و برنامه‌های خود برای استفاده ثانویه از داده‌ها را به‌صورت شفاف به ذی‌نفعان اطلاع دهند. در کنار آن، سرمایه‌گذاری بیشتری برای توسعه این فناوری موردنیاز است. واضح است که وجود یک دوقلوی دیجیتال از یک فرد می‌تواند منجر به تبعیض یا مداخله در زندگی واقعی او شود که ممکن است موجب مشکلاتی در کار یا زندگی فرد گردد. علاوه بر این، هزینه بالای مراقبت سلامت مبتنی بر DT ممکن است به نابرابری و بی‌عدالتی منجر شود و شکاف‌های اجتماعی-اقتصادی موجود را تشدید کند. در پایان، هرچند جمع‌آوری داده‌های آنی می‌تواند دقت شبیه‌سازی را افزایش دهد، اما برخی روش‌های تهاجمی برای جمع‌آوری این داده‌ها ممکن است ریسک‌های ذاتی فناوری را نیز افزایش دهند (۱۱). با این وجود درصورتیکه منافع همه ذی‌نفعان توسط پژوهشگران و توسعه‌دهندگان رعایت شود؛ داده‌ها به‌طور مداوم برای رعایت پروتکل‌های امنیتی به‌روزرسانی شوند (۴۸) و کسب‌وکارهایی که قصد استفاده از این فناوری را دارند بتوانند شکاف‌های موجود در جریان داده را مدیریت کرده و داده‌های ناقص را حذف کنند؛ انتظار می‌رود که بسیاری از موانع پیش‌رو برطرف شود. همچنین، شرکت‌ها باید اطمینان حاصل کنند که کارکنان‌شان دانش و ابزارهای لازم برای کار با مدل‌های دوقلوی دیجیتال را در اختیار دارند. در نهایت با عبور موفق از این چالش‌ها، فناوری دوقلوی دیجیتال می‌تواند انقلابی در نظام‌های سلامت ایجاد کند.

در این مرور نظامند تلاش شده است که جنبه‌های مهم و جدید فناوری دوقلوی دیجیتال گردآوری شده و تصویری یکپارچه از کاربردهای در حال گسترش آن در نظام سلامت ارائه گردد؛ موضوعی که پیش‌تر به صورت پراکنده یا محدود در حوزه‌های خاص مورد بررسی قرار گرفته بود. از نقاط قوت این پژوهش می‌توان به گردآوری و تحلیل منسجم و همزمان مطالعات مختلف در جهت استخراج فرصت‌ها و چالش‌های این فناوری اشاره کرد که می‌تواند به عنوان مبنایی قابل‌اتکا برای پژوهش‌های آینده و تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران در حوزه سلامت دیجیتال قرار گیرد. با این حال محدودیتی که باید به آن توجه داشت این است که بیشتر مطالعات موجود هنوز در مراحل اولیه هستند و همین باعث می‌شود تعمیم نتایج به کل نظام سلامت با احتیاط صورت گیرد. بنابراین روشن است که همچنان به مطالعات عمیق و گسترده در این حوزه نیاز داریم. در مجموع می‌توان گفت این مطالعه با روشن ساختن مسیرهای نوآورانه و چالش‌های موجود می‌تواند زمینه‌ساز تحقیقات و اقدامات عملی آینده در راستای به‌کارگیری موثر این فناوری در نظام سلامت باشد. مطالعات آینده نیز می‌توانند با افزودن جنبه‌های دیگر به این مرور، آن را گسترش دهند یا تلاش‌های بیشتری را بر پایه پژوهش‌های موجود برای کاربرد DT در پزشکی انجام دهند. همچنین در این مطالعه، مروری بر کاربردهای این فناوری بر اساس مطالعات پیشین انجام گرفت؛ از همین‌رو جهت متناسب‌سازی کاربردها با شرایط داخل ایران پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده بر اساس نظر خبرگان ایرانی، کاربردها و قابلیت‌های اجرایی فناوری دوقلوی دیجیتال در حوزه سلامت و پزشکی بررسی گردد. با توجه به اهمیت استقرار و به‌کارگیری این فناوری در کشور پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده به مدل‌های استقرار این فناوری با توجه به زیرساخت‌های فناوری حوزه سلامت پرداخته شود.

نتیجه‌گیری

یافته‌ها بیانگر این است که DT می‌تواند در هفت حوزه اصلی شامل پزشکی شخصی‌سازی شده، پایش از راه دور، کمک به درمان دقیق، تحلیل‌های پیش‌بینی کننده و مداخلات پیش‌گیرانه، بهینه‌سازی عملیات بالینی، آموزش و شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مدیریت بیمارستانی و منابع ایفای نقش کند. البته با وجود شناسایی کاربردهای مختلف دوقلوی دیجیتال در نظام سلامت، این فناوری همچنان جز فناوری‌های نوظهور در سیستم‌های سلامت است. سیاستگذاران حوزه سلامت به خصوص بخش آموزش با سرمایه‌گذاری در پیاده‌سازی فناوری دوقلوی دیجیتال می‌توانند بستر مناسبی جهت یادگیری دوره‌های آموزشی و تسهیل فرایندهای خدماتی پزشکی فراهم کنند. همچنین ذکر این نکته ضروری است که پیاده‌سازی این فناوری با چالش‌هایی همچون کمبود داده، امنیت و حفظ حریم خصوصی، فاصله میان مدل و واقعیت، هزینه‌های بالای

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir
CC BY-NC 4.0
[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]
[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

استقرار و نابرابری اجتماعی روبه‌رو است.

ملاحظات اخلاقی

رسم امانتداری در ارائه اطلاعات مطالعات تحت بررسی توسط نویسندگان رعایت شده است. همچنین این مطالعه دارای کد اخلاق IR.US.PSYEDU.REC.1403.108 از کمیته اخلاق دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی دانشگاه شیراز در تاریخ ۱۴۰۳/۱۱/۰۳ است.

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از تمامی افرادی که ایشان را در انجام پژوهش یاری رساندند، تقدیر و تشکر نمایند.

مشارکت نویسندگان

طراحی پژوهش: م ح. ر

جمع آوری داده‌ها: م ح. ر، س م. ق

تحلیل داده‌ها: م ح. ر، س م. ق

نگارش و اصلاح مقاله: م ح. ر، س م. ق

سازمان حمایت کننده

این مطالعه از سوی هیچ سازمانی مورد حمایت مالی قرار نگرفته است.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

References

1) Thiong'o GM, Rutka JT. Digital twin technology: the future of predicting neurological complications of pediatric cancers and their treatment. Frontiers in Oncology 2022; 11: 781499. doi: 10.3389/fonc.2021.781499. PMID: 35127487. PMCID: PMC8807511.
2) Sharma AK, Srivastava MK, Sharma R. Barriers and challenges for digital twin adoption in healthcare supply chain and operations management. Global Business Review 2025: 09721509251314795. doi: 10.1177/09721509251314795.
3) Hassani H, Huang X, Macfeely S. Impactful digital twin in the healthcare revolution. Big Data and Cognitive Computing 2022; 6(3): 83. doi: 10.3390/bdcc6030083.
4) De Oliveira El-Warrak L, Miceli de Farias C. Could digital twins be the next revolution in healthcare?. European Journal of Public Health 2025; 35(1): 19-25. doi: 10.1093/eurpub/ckae191.
5) Haleem A, Javaid M, Singh RP, Suman R. Exploring the revolution in healthcare systems through the applications of digital twin technology. Biomedical Technology 2023; 4: 28-38. doi: 10.1016/j.bmt.2023.02.001.
6) Elayan H, Aloqaily M, Guizani M. Digital twin for intelligent context-aware IoT healthcare systems. IEEE Internet of Things Journal 2021; 8(23): 16749-57. doi: 10.1109/JIOT.2021.3051158.
7) Xames MD, Topcu TG. A systematic literature review of digital twin research for healthcare systems: research trends, gaps, and realization challenges. IEEE Access 2024; 12: 4099-126. doi: 10.1109/ACCES.2023.3349379.
8) Chen J, Yi C, Du H, Niyato D, Kang J, Cai J, et al. A revolution of personalized healthcare: enabling human digital twin with mobile AIGC. IEEE network 2024; 38(6): 234-42. doi: 10.1109/MNET.2024.3366560.
9) Qi Q, Tao F, Hu T, Anwer N, Liu A, Wei Y, et al. Enabling technologies and tools for digital twin. Journal of Manufacturing Systems 2021; 58: 3-21. doi: 10.1016/j.jmsy.2019.10.001.
10) Subramanian B, Kim J, Maray M, Paul A. Digital twin model: a real-time emotion recognition system for personalized healthcare. IEEE Access 2022; 10: 81155-65. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3193941.
11) Sun T, He X, Li Z. Digital twin in healthcare: recent updates and challenges. Digital Health 2023; 9: 1-13. doi: 10.1177/20552076221149651.
12) De Benedictis A, Mazzocca N, Somma A, Strigaro C. Digital twins in healthcare: an architectural proposal and its application in a social distancing case study. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics 2023; 27(10): 5143-54. doi: 10.1109/JBHI.2022.3205506. PMID: 36083955.
13) Roopa M, Venugopal K. Digital twins for cyber-physical healthcare systems: architecture, requirements, systematic analysis and future prospects. IEEE Access 2025; 13: 44963-96. doi: 10.1109/ACCESS.2025.3547991.
14) Chen J, Shi Y, Yi C, Du H, Kang J, Niyato D. Generative AI-driven human digital twin in IoT-healthcare: a comprehensive survey. IEEE Internet of Things Journal 2024; 11(21): 34749 -73. doi: 10.1109/JIOT.2024.3421918.
15) Singh M, Fuenmayor E, Hinchy EP, Qiao Y, Murray N, Devine D. Digital twin: origin to future. Applied System Innovation 2021; 4(2): 36. doi: 10.3390/asi4020036.
16) Liu M, Fang S, Dong H, Xu C. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir
CC BY-NC 4.0

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]
[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

applications. Journal of Manufacturing Systems 2021; 58: 346-61. doi: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017.

17) Machado TM, Berssaneti FT. Literature review of digital twin in healthcare. Heliyon 2023; 9(9): e19390. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19390.

18) Attaran M, Celik BG. Digital twin: benefits, use cases, challenges, and opportunities. Decision Analytics Journal 2023; 6: 100165. doi: 10.1016/j.dajour.2023.100165.

19) Vallée A. Digital twin for healthcare systems. Frontiers in Digital Health 2023; 5: 1253050. doi: 10.3389/fdgth.2023.1253050.

20) Schwartz SM, Wildenhaus K, Bucher A, Byrd B. Digital twins and the emerging science of self: implications for digital health experience design and "small" data. Frontiers in Computer Science 2020; 2: 31. doi: 10.3389/fcomp.2020.00031.

21) Nazarian Jashnabadi J, Ronaghi, MH, Alimohammadlu M, Ebrahimi A, The framework of factors affecting the maturity of business intelligence. Business Intelligence Management Studies 2023; 12(46): 1-39. doi: 10.22054/ims.2023.74305.2346. [Persian]

22) Kamel Boulos MN, Zhang P. Digital twins: from personalised medicine to precision public health. Journal of Personalized Medicine 2021; 11(8): 745. doi: 10.3390/ jpm11080745. PMID: 34442389. PMCID: PMC8401029.

23) Ricci A, Croatti A, Montagna S. Pervasive and connected digital twins—a vision for digital health. IEEE Internet Computing 2022; 26(5): 26-32. doi: 10.1109/MIC.2021.3052039.

24) Aydın Ö, Karaarslan E. OpenAI ChatGPT generated literature review :digital twin in healthcare. Emerging Computer Technologies 2022; 2: 22-31. doi: 10.2139/ssrn.4308687.

25) Garg H. Digital twin technology: revolutionary to improve personalized healthcare. Science Progress and Research 2020; 1(1): 31-4. doi: 10.52152/spr.2020.01.104.

26) Armeni P, Polat I, De Rossi LM, Diaferia L, Meregalli S, Gatti A. Digital twins in healthcare: is it the beginning of a new era of evidence-based medicine? a critical review. Journal of Personalized Medicine 2022; 12(8): 1255. doi: 10.3390/jpm12081255. PMID: 36013204. PMCID: PMC9410074.

27) Volkov I, Radchenko G, Tchernykh A. Digital twins, internet of things and mobile medicine: a review of current platforms to support smart healthcare. Programming and Computer Software 2021; 47(8): 578-90. doi: 10.1134/S0361768821080284. PMCID: PMC8713145.

28) Zhang K, Zhou H-Y, Baptista-Hon DT, Gao Y, Liu X, Oermann E, et al. Concepts and applications of digital twins in healthcare and medicine. Patterns 2024; 5(8): 101028. doi: 10.1016/j.patter.2024.101028.

29) Björnsson B, Borrebaeck C, Elander N, Gasslander T, Gawel DR, Gustafsson M, et al. Digital twins to personalize medicine. Genome Medicine 2020; 12(1): 1-4. doi: 10.1186/s13073-019-0701-3.

30) Erol T, Mendi AF, Doğan D. Digital transformation revolution with digital twin technology. 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT); 2020 Oct 22-24; Istanbul, Turkey. Canada: IEEE Xplore; 2020: 1-7. doi: 10.1109/ISMSIT50672.2020.9254288.

31) Croatti A, Gabellini M, Montagna S, Ricci A. On the integration of agents and digital twins in healthcare. Journal of Medical Systems 2020; 44(9): 161. doi: 10.1007/s10916-020-01623-5. PMID: 32748066. PMCID: PMC7399680.

32) Pilati F, Tronconi R, Nollo G, Heragu SS, Zerzer F. Digital twin of COVID-19 mass vaccination centers. Sustainability 2021; 13(13): 7396. doi: 10.3390/su13137396.

33) Van Dinter R, Tekinerdogan B, Catal C. Predictive maintenance using digital twins: a systematic literature review. Information and Software Technology 2022; 151: 107008. doi: 10.1016/j.infsof.2022.107008.

34) Pascual H, Bruin XM, Alonso A, Cerdà J. A systematic review on human modeling: digging into human digital twin implementations. arXiv preprint arXiv:230203593 2023. doi: 10.48550/arXiv.2302.03593.

35) Erol T, Mendi AF, Doğan D. The digital twin revolution in healthcare. 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT); 2020 Oct 22-24; Istanbul, Turkey. Canada: IEEE Xplore ; 2020: 1-7. doi: 10.1109/ISMSIT50672.2020.9255249.

36) Venkatesh KP, Raza MM, Kvedar JC. Health digital twins as tools for precision medicine: considerations for computation, implementation, and regulation. NPJ Digital Medicine 2022; 5(1): 150. doi: 10.1038/s41746-022-00694-7. PMID: 36138125. PMCID: PMC9500019.

37) Fan C, Zhang C, Yahja A, Mostafavi A. Disaster city digital twin: a vision for integrating artificial and human intelligence for disaster management. International journal of Information Management 2021; 56: 102049. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.102049.

38) Emmert-Streib F, Yli-Harja O. What is a digital twin? experimental design for a data-centric machine

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]

[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir CC BY-NC 4.0

learning perspective in health. International journal of Molecular Sciences 2022; 23(21): 13149. doi: 10.3390/ijms232113149.
39) Ahmed H, Devoto L. The potential of a digital twin in surgery. Surgical Innovation 2021; 28(4): 509-10. doi: 10.1177/1553350620975896. PMID: 33290181. PMCID: PMC8381595.
40) Burattini S, Montagna S, Gentili N, Galardi F, Vespignani R, Zanatto P, et al. A digital twins approach for oncologic pharmaceutical supply chain. IEEE international conference on pervasive computing and communications workshops and other affiliated events (percom workshops); 2024 March 11-15; Biarritz, France. Canada: IEEE Xplore; 2024: 94-9. doi: 10.1109/PerComWorkshops59983.2024.10502569.
41) Zhang J, Li L, Lin G, Fang D, Tai Y, Huang J. Cyber resilience in healthcare digital twin on lung cancer. IEEE Access 2020; 8: 201900-13 .doi: 10.1109/ACCESS.2020.3034324.
42) Botín Sanabria DM, Mihaita AS, Peimbert García RE, Ramírez Moreno MA, Ramírez Mendoza RA, Lozoya Santos JdJ. Digital twin technology challenges and applications: a comprehensive review. Remote Sensing 2022; 14(6): 1335. doi: 10.3390/rs14061335.
43) Huang Ph, Kim Kh, Schermer M .Ethical issues of digital twins for personalized health care service: preliminary mapping study. Journal of Medical Internet Research 2022; 24(1): e33081. doi: 10.2196/33081. PMID: 35099399. PMCID: 8844982.
44) Quiñones JLG, Puzio A. Digital twins for trans people in healthcare: queer, phenomenological and bioethical considerations. Journal of Medical Ethics 2025; 0: 1–8. doi: 10.1136/jme-2024-110403.
45) Akash SS, Ferdous MS. A blockchain based system for healthcare digital twin. IEEE Access 2022; 10: 50523-47. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3173617.
46) Mulder ST, Omidvari AH, Rueten Budde AJ, Huang PH, Kim KH, Bais B, et al. Dynamic digital twin: diagnosis, treatment, prediction, and prevention of disease during the life course. Journal of Medical Internet Research 2022; 24(9): e35675. doi: 10.2196/35675.
47) Ronaghi MH, Hosseini F. Identifying and ranking internet of things services in healthcare sector. Journal of Health Administration (JHA) 2018; 21(73): 106-17. [Persian]
48) Ronaghi, MH. Open-source software migration under sanctions conditions. International Journal of System Assurance Engineering and Management 2021; 12: 1132–45. doi: 10.1007/s13198-021-01329-y.

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]
[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

Published by: Shahid Sadoughi University of Medical Sciences, www.mshsj.ssu.ac.ir
CC BY-NC 4.0

Manage Strat Health Syst

Review Article

Applications of Digital Twin Technology in Healthcare: A Systematic Review

Mohammad Hossein Ronaghi [*1], Seyed Mostafa Ghorashi [2]

[1] Associate Professor, Department of Management, School of Economics Management and Social Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran
[2] MA in Business Management, Department of Management, School of Economics Management and Social Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

* **Corresponding Author:** Mohammad Hossein Ronaghi
mh_ronaghi@shirazu.ac.ir

Citation: Ronaghi MH, Ghorashi SM. Applications of Digital Twin Technology in Healthcare: A Systematic Review. Manage Strat Health Syst 2025; 10(3): 175-87.

Received: June 22, 2025
Revised: November 25, 2025
Accepted: November 25, 2025

Funding: The authors have no support or funding to report.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interest exists.

A B S T R A C T

Background: A Digital Twin (DT) is a digital replica of a physical object, person, system, or process, contextualized in a digital version of its environment. DTs can serve as a powerful tool to optimize processes, enhance the efficiency of healthcare systems, and create new opportunities for improving care delivery. Accordingly, this study aims to provide a comprehensive insight into DT technology and to examine its applications, opportunities, and challenges in the healthcare domain.

Methods: In this study, articles were retrieved by searching the keywords Digital Twin Technology, Health System, Digital Health, and Digital Technology. Relevant studies published between 2020 and 2025 were collected from reputable databases including PubMed, Web of Science, Google Scholar, and Scopus. Out of 87 initially collected articles, 21 were included in this review and analyzed. Finally, following the PRISMA framework, a systematic review of the existing literature was conducted.

Results: The results showed that digital twin technology can play a role in the areas of personalized medicine, remote monitoring, precision medicine, predictive analytics, preventive interventions, clinical operations optimization, training, simulation, and optimization of hospital management and resources.

Conclusion: Despite the identification of various applications of digital twins in the health system, this technology is still an emerging technology in health systems. Health policymakers, especially in the education sector, can provide a suitable platform for learning educational courses and facilitating medical service processes by investing in the implementation of digital twin technology.

Key words: Disruptive Technology, Healthcare Systems, Digital Health, Digital Technology

[Downloaded from mshsj.ssu.ac.ir on 2026-06-26]

[DOI: 10.18502/mshsj.v10i3.20645]

Copyright: © 2025 The Author(s); Published by Shahid Sadoughi University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International license (https://creativecommons. org/licenses/by-nc/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.