

فرآیند کاوی در شبیه سازی فرآیندهای مراقبت های سلامت: یک مرور روایتی ساختارمند بر روندها، موانع و فرصت ها

محسن محمدی^۱

مقاله مروری

چکیده

مقدمه: با پیچیده تر شدن نظام های مراقبت سلامت، بهره گیری از روش های تحلیلی برای بهبود کارایی، کیفیت خدمات، پیامدهای بیماران و تخصیص منابع ضروری شده است. این مقاله ظرفیت تلفیق فرآیند کاوی و شبیه سازی فرآیند را به عنوان دو رویکرد داده محور برای تحلیل، ارزیابی و پشتیبانی از تصمیم گیری در مراقبت سلامت بررسی می کند.

روش بررسی: این مطالعه به روش مروری روایتی-تحلیلی و ساختارمند انجام شد. در این پژوهش، نه تنها مبانی نظری فرآیند کاوی و شبیه سازی فرآیند تبیین شده، بلکه با نقد و سنتز شواهد موجود، چارچوب هم افزای ادغام این دو رویکرد، کاربردهای بالینی، چالش های ساختاری و فرصت های آتی مورد تحلیل انتقادی قرار گرفته است. تمرکز اصلی بر واکاوی نقش فرآیند کاوی در استخراج دانش از داده های رخدادی و ارزیابی انتقادی چگونگی بهره گیری از آن در طراحی و اعتبارسنجی مدل های شبیه سازی است.

یافته ها: یافته ها نشان می دهد فرآیند کاوی با کشف مسیرهای واقعی، شناسایی گلوگاه ها و استخراج پارامترهای تجربی، دقت مدل های شبیه سازی سلامت را افزایش می دهد. شبیه سازی نیز ارزیابی سناریوها، پیش بینی پیامدها و بهینه سازی منابع را ممکن می سازد. تلفیق این دو رویکرد، تصمیم گیری شواهدمحور، کاهش زمان انتظار و بهبود کیفیت خدمات را تقویت می کند.

نتیجه گیری: ادغام فرآیند کاوی و شبیه سازی، چارچوبی مؤثر برای تحلیل و بهبود فرآیندهای پیچیده مراقبت سلامت فراهم می کند. با این حال، کیفیت داده، حریم خصوصی، پیچیدگی جریان های بالینی، موانع فنی و دشواری همکاری سازمانی اجرای آن را محدود می سازد. توسعه چارچوب های استاندارد، داده های باکیفیت، هوش مصنوعی و مطالعات کاربردی، مسیر آینده پژوهش است.

واژه های کلیدی: فرآیند کاوی؛ شبیه سازی فرآیند؛ بهبود فرآیند؛ هوش مصنوعی؛ تجزیه و تحلیل پیش بینی؛ شبیه سازی رویداد گسسته

پیام کلیدی: ترکیب فرآیند کاوی و شبیه سازی می تواند صنعت مراقبت های بهداشتی را به یک سیستم کارآمدتر، مبتنی بر شواهد و متمرکز بر بیمار تبدیل کند.

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۱/۱۰

پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۱۲/۲۰

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۰/۸

ارجاع: محمدی محسن. فرآیند کاوی در شبیه سازی فرآیندهای مراقبت های سلامت: یک مرور روایتی ساختارمند بر روندها، موانع و فرصت ها. مدیریت اطلاعات سلامت ۲۳:۱۴۰۵ (۱): ۵۴-۶۲.

و مبتنی بر داده فرآیند را نشان می دهد، در حالی که شبیه سازی امکان پیش بینی پیامدهای آینده و تصمیم گیری پیش از مداخله را فراهم می کند. تلفیق این دو رویکرد می تواند به ساخت مدل های شبیه سازی داده محور، شناسایی گلوگاه ها، اعتبارسنجی مدل ها و بهبود تصمیم گیری در فرآیندهای مراقبت سلامت کمک کند (۷، ۸).

در میان روش های بهبود فرآیندهای مبتنی بر داده، فرآیند کاوی و شبیه سازی از مهم ترین رویکردها به شمار می روند. فرآیند کاوی با تحلیل داده های ثبت شده در سامانه هایی مانند پرونده های الکترونیک سلامت و سیستم های اطلاعات بیمارستانی، به سازمان ها کمک می کند فرآیندهای واقعی را کشف کرده، میزان انطباق آن ها با مدل های از پیش تعیین شده را ارزیابی کنند و فرصت های بهبود را شناسایی نمایند.

مقدمه

فرآیند کاوی رویکردی داده محور برای کشف، پایش و بهبود فرآیندها بر اساس داده های رخدادی ثبت شده در سامانه های اطلاعاتی است. این رویکرد معمولاً شامل سه قابلیت اصلی کشف فرآیند، بررسی تطابق و بهبود فرآیند بوده و کیفیت داده های رخدادی نقش مهمی در اعتبار نتایج آن دارد (۱، ۲). در مراقبت سلامت، داده های رخدادی می توانند شامل زمان ورود بیمار، تریاژ، ویزیت پزشک، انجام آزمایش، تصویربرداری، بستری، ترخیص یا ارجاع باشند. بر این اساس، فرآیند کاوی قادر است مسیر واقعی حرکت بیماران، گلوگاه های زمانی، انحراف از مسیرهای استاندارد درمانی و تفاوت میان عملکرد واقعی و دستورالعمل های رسمی را آشکار سازد (۳، ۴).

شبیه سازی فرآیند نیز روشی برای بازنمایی رفتار یک سیستم واقعی در قالب مدلی قابل آزمایش است. در مراقبت سلامت، به ویژه شبیه سازی رویداد گسسته، برای تحلیل جریان بیمار، ارزیابی ظرفیت منابع، بررسی زمان انتظار و آزمون سناریوهای بهبود کاربرد گسترده ای دارد (۵، ۶). برای نمونه، در بخش اورژانس می توان اثر افزایش تعداد پزشکان، تغییر تعداد پرستاران تریاژ، افزایش تخت ها یا تغییر ترتیب آزمایش ها را پیش از اجرای واقعی بررسی کرد. بنابراین، فرآیند کاوی وضعیت واقعی

۱. دانشیار، فناوری اطلاعات، گروه کامپیوتر، مجتمع آموزش عالی فنی مهندسی اسفراین، اسفراین، ایران

نویسنده طرف مکاتبه: محسن محمدی، دانشیار، فناوری اطلاعات، گروه کامپیوتر، مجتمع آموزش عالی فنی مهندسی اسفراین، اسفراین، ایران

Email: Mohsen@esfarayen.ac.ir

سلامت ارائه دهد. انتخاب این رویکرد با توجه به ماهیت بین‌رشته‌ای موضوع و تنوع مطالعات موجود در حوزه‌های فرآیندکاوی، شبیه‌سازی، داده‌های رخدادی و مراقبت سلامت انجام شد. در این مرور، آنچه در مسیر انجام کار گزارش می‌شود، شامل مراحل جستجو، غربالگری، انتخاب، استخراج و تحلیل منابع است. به‌منظور شفاف‌سازی فرایند مرور، مراحل اصلی در جدول ۱ ارائه شده است.

برای گردآوری منابع، جستجو در پایگاه‌های Scopus، Web of Science، PubMed، IEEE Xplore، ScienceDirect و Google Scholar انجام شد. همچنین، فهرست منابع مطالعات کلیدی به‌صورت دستی بررسی شد تا منابع مرتبطی که در جستجوی اولیه شناسایی نشده بودند نیز شناسایی شوند. راهبرد جستجو بر پایه ترکیب کلیدواژه‌هایی مانند Process Mining، Healthcare، Clinical، Patient Flow، Pathway، Discrete-Event و Process Simulation طراحی شد. بازه زمانی جستجو مطالعات منتشرشده بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴ را دربر گرفت.

واحد بررسی در این مرور، منابع علمی منتشرشده مرتبط با فرآیندکاوی، شبیه‌سازی، مسیر بیمار، جریان بیمار، گردش کارهای سلامت و تلفیق فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در مراقبت سلامت بود. منابع واردشده شامل مقالات علمی - پژوهشی، مقالات مروری، مقالات کنفرانسی، کتاب‌های تخصصی و فصل‌های کتاب بودند. در مقابل، منابع غیرعلمی مانند وب‌سایت‌های عمومی، گزارش‌های غیررسمی، یادداشت‌های آموزشی و منابع فاقد اطلاعات روش‌شناختی، مفهومی یا تجربی کافی وارد تحلیل نهایی نشدند.

معیارهای ورود شامل منابعی بود که به‌طور مستقیم به فرآیندکاوی در مراقبت سلامت، تحلیل مسیرهای بیمار، بهینه‌سازی گردش کارهای بالینی، شبیه‌سازی فرآیندهای سلامت، به‌ویژه شبیه‌سازی رویدادگسسته، یا تلفیق فرآیندکاوی و شبیه‌سازی پرداخته بودند. همچنین، مطالعات مبتنی بر داده‌های رخدادی، سامانه‌های اطلاعات سلامت، داده‌های اداری یا جریان بیمار که بر فرآیندهای درمانی، بیمارستانی یا مدیریتی تمرکز داشتند، واجد شرایط ورود بودند. معیارهای خروج شامل منابع غیرعلمی، مطالعات نامرتب با سلامت، پژوهش‌های صرفاً فنی یا الگوریتمی بدون کاربرد مشخص در مراقبت سلامت، و منابعی بود که اطلاعات کافی برای استخراج هدف، روش یا یافته‌ها نداشتند.

پس از حذف موارد تکراری، عنوان و چکیده منابع بررسی شد و سپس متن کامل منابع واجد شرایط ارزیابی گردید. اطلاعاتی مانند هدف، نوع منبع، نوع داده، روش فرآیندکاوی، نوع شبیه‌سازی، حوزه کاربرد، یافته‌ها و چالش‌ها استخراج شد. تحلیل یافته‌ها با استفاده از سنتز روایتی انجام گرفت؛ بدین صورت که منابع منتخب بر اساس محورهای موضوعی دسته‌بندی شدند، یافته‌های آن‌ها با یکدیگر مقایسه شد، شباهت‌ها و تفاوت‌ها شناسایی گردید و در نهایت دلالت‌های آن‌ها برای تلفیق فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در مراقبت سلامت تفسیر شد.

اهمیت این روش در آن است که تحلیل فرآیندها را از حالت ذهنی و فرضی به رویکردی عینی و مبتنی بر شواهد تبدیل می‌کند با وجود رشد مطالعات فرآیندکاوی در سلامت و کاربرد گسترده شبیه‌سازی در مدیریت خدمات درمانی، هنوز شکافی مهم در ادبیات پژوهش وجود دارد. بسیاری از مطالعات فرآیندکاوی بر کشف مسیر بیمار، تحلیل انحرافات و شناسایی گلوگاه‌ها تمرکز دارند، در حالی که مطالعات شبیه‌سازی بیشتر به آزمون سناریوهای عملیاتی و تخصیص منابع می‌پردازند. با این حال، ارتباط نظام‌مند میان خروجی‌های فرآیندکاوی و مراحل طراحی، کالیبراسیون، اعتبارسنجی و اجرای مدل‌های شبیه‌سازی هنوز به‌طور کامل تبیین نشده است (۹، ۱۰).

بر این اساس، مسئله اصلی مقاله حاضر آن است که فرآیندکاوی چگونه می‌تواند شبیه‌سازی فرآیندهای مراقبت سلامت را از نظر کشف ساختار واقعی فرآیند، استخراج پارامترهای زمانی، شناسایی گلوگاه‌ها، اعتبارسنجی مدل و ارزیابی سناریوهای بهبود پشتیبانی کند. نوآوری مقاله در ارائه یک مرور روایتی ساختارمند از روندها، کاربردها، موانع و فرصت‌های پژوهشی مربوط به تلفیق فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در مراقبت سلامت است.

از سوی دیگر، شبیه‌سازی فرآیند، به‌ویژه شبیه‌سازی رویداد گسسته، سابقه‌ای طولانی در مراقبت سلامت دارد و برای مدل‌سازی، تحلیل و بهینه‌سازی سیستم‌های پیچیده استفاده می‌شود (۵، ۱۱). این روش به ذی‌نفعان امکان می‌دهد تغییرات پیشنهادی را بدون ایجاد ریسک در دنیای واقعی آزمایش کرده و اثر تغییر پارامترهایی مانند نرخ ورود بیمار، تخصیص منابع و طراحی فرآیند را بر شاخص‌هایی مانند توان عبور بیمار، استفاده از منابع و هزینه‌های مراقبت پیش‌بینی کنند (۳).

ترکیب فرآیندکاوی و شبیه‌سازی می‌تواند دقت و اعتبار مدل‌های شبیه‌سازی را افزایش داده و از تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر در نظام سلامت پشتیبانی کند (۱۶-۱۲). فرآیندکاوی داده‌ها و اطلاعات لازم برای ساخت مدل‌های واقع‌گرایانه و مبتنی بر شواهد را فراهم می‌کند، در حالی که شبیه‌سازی امکان پیش‌بینی پیامدهای تغییرات فرآیندی را پیش از اجرا می‌سازد (۲۰-۱۷). با این حال، ادغام این دو رویکرد با چالش‌هایی همراه است؛ از جمله تفاوت میان ماهیت توصیفی و تشخیصی فرآیندکاوی با قابلیت پیش‌بینی و تجویزی شبیه‌سازی (۲۲ و ۲۱). ضرورت ایجاد چارچوبی منسجم برای اتصال این دو رویکرد (۲۳)، کیفیت متغیر داده‌های سلامت، داده‌های ناقص، ناسازگاری زمان‌بندی‌ها، نبود استاندارد در ثبت رویدادها، محدودیت‌های حریم خصوصی، پیچیدگی مسیرهای بالینی و کمبود ابزارهای استاندارد و یکپارچه (۳). در نهایت، این مقاله با بررسی چالش‌ها و فرصت‌های ادغام فرآیندکاوی و شبیه‌سازی، چارچوبی برای بهره‌برداری مؤثر از این رویکرد در بهبود عملکرد سیستم‌های مراقبت سلامت ارائه می‌دهد (۲۵، ۲۴).

روش بررسی

این مطالعه به‌صورت مرور روایتی ساختارمند انجام شد تا تصویری منسجم و تحلیلی از ادبیات مرتبط با نقش فرآیندکاوی در شبیه‌سازی فرآیندهای مراقبت

جدول ۱. مؤلفه‌های اصلی روش تحقیق

مرحله	توضیح
نوع مطالعه	مرور روایتی تحلیلی
هدف	تحلیل نقش فرآیندکاوی در شبیه‌سازی فرآیندهای مراقبت سلامت
پایگاه‌های جستجو	Google Scholar, ScienceDirect, IEEE Xplore, PubMed, Web of Science, Scopus
کلیدواژه‌ها	.Process Simulation, .Patient Flow, .Clinical Pathway, .Healthcare, .Process Mining, .Discrete-Event Simulation
بازه زمانی	۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴
معیارهای ورود	منابع علمی مرتبط با فرآیندکاوی، شبیه‌سازی، مسیر بیمار، جریان بیمار، گردش کارهای سلامت یا تلفیق فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در مراقبت سلامت
معیارهای خروج	یادداشت‌های فنی/الگوریتمی بدون کاربرد بالینی؛ گزارش‌های غیررسمی؛ متون فاقد متدولوژی شفاف
مراحل انتخاب	حذف موارد تکراری، بررسی عنوان و چکیده، ارزیابی کامل متن و جستجوی دستی در منابع
داده‌های استخراجی	هدف، نوع منبع، نوع داده، روش فرآیندکاوی، نوع شبیه‌سازی، حوزه کاربرد، یافته‌ها و چالش‌ها
روش تحلیل و سنتز	سنتز روایتی شامل دسته‌بندی موضوعی، مقایسه انتقادی و تفسیر دلالت‌ها

یافته‌ها

پیش از ارائه یافته‌ها، فرایند انتخاب مطالعات به صورت خلاصه گزارش شد. در مرحله جستجوی اولیه، تعداد ۶۴ منبع از پایگاه‌های علمی و جستجوی تکمیلی شناسایی شد. پس از حذف موارد تکراری، تعداد ۲۹ منبع برای غربالگری عنوان و چکیده باقی ماند. در ادامه، تعداد ۱۳ منبع به دلیل عدم ارتباط مستقیم با موضوع، تمرکز صرف بر جنبه‌های فنی بدون کاربرد سلامت، یا فقدان اطلاعات کافی حذف

شد. سپس متن کامل منابع واجد شرایط بررسی گردید و در نهایت تعداد ۱۶ مطالعه وارد سنتز نهایی شد.

جدول ۲ ویژگی‌های اصلی مطالعات وارد شده را بر اساس نویسنده، سال، کشور، حوزه کاربرد، نوع فرآیندکاوی و نوع شبیه‌سازی نشان می‌دهد. این جدول با هدف پاسخ به ضرورت شفاف‌سازی ویژگی‌های مطالعات منتخب و فراهم کردن مبنایی برای تحلیل روندها، موانع و فرصت‌ها تنظیم شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های مطالعات وارد شده به مرور

نوع فرآیندکاوی و شبیه‌سازی	حوزه کاربرد	نویسنده و سال	منبع
در محیط‌های درمانی	فرآیندکاوی در سلامت و در محیط‌های درمانی	(Leemans, 2018)	۳
شبیه‌سازی رویداد گسسته	شبیه‌سازی رویداد گسسته در سلامت و توزیع‌های آماری	(Vázquez-Serrano et al., 2021)	۵
شبیه‌سازی رویداد گسسته	مرور شبیه‌سازی رویداد گسسته در محیط‌های سلامت	(Forbus & Berleant, 2022)	۶
فرآیندهای درمانی	تلفیق فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در سلامت	(Dallagassa et al., 2022)	۷
شبیه‌سازی رویداد گسسته	مرور جامع مدل‌سازی شبیه‌سازی رویداد گسسته در سلامت	(Mohammadi, 2022)	۱۱
فرآیندهای درمانی و سازمانی	تحلیل فرآیندهای درمانی و سازمانی	(Bakhtiari, 2025)	۲۶
برای مدل‌سازی خودکار فرآیندهای درمانی	توسعه چارچوب ترکیبی برای مدل‌سازی خودکار شبیه‌سازی در سلامت	(Gorelova et al., 2024)	۲۷
شبیه‌سازی رویداد گسسته	کلینیک کمک باروری و ادغام با سامانه پایش سلامت هوشمند	(Aversano et al., 2025)	۲۸
در تحلیل فرآیندهای درمانی	فرصت‌ها و چالش‌های فرآیندکاوی در سلامت	(Tamburis & Esposito, 2020)	۲۹
نظارت در سلامت بیماران	کاربرد فرآیندکاوی در سلامت	(Mesabbah et al., 2019)	۳۰
نظارت درمانی بیمار	مانیتورینگ مسیرهای بیمار در خدمات سطح دوم سلامت	(Özdoğanlı et al., 2025)	۱۳
فرآیندهای درمانی و بهینه‌سازی	ادغام فرآیندکاوی و یادگیری ماشین برای بهینه‌سازی گردش کار جراحی	(Celik et al., 2025)	۱۴
مراقبت بیماران	بهینه‌سازی مراقبت سپسیس با روش‌های ابتکاری در فرآیندکاوی	(Bakhshi et al., 2023)	۱۵
ردیابی مسیرهای درمانی بیماران	تحلیل زیرجمعیت‌ها در مسیرهای سلامت با فرآیندکاوی	(Naguine et al., 2025)	۱۸
فرآیندهای درمانی و سازمانی	راهنماهای بالینی و فرصت‌های فرآیندکاوی در سلامت	(AlBakary et al., 2022)	۱۹
در تحلیل و بهبود فرآیندهای سلامت	استفاده از فرآیندکاوی در سلامت و استفاده از لاگ‌های رویداد در کشف، تحلیل و بهبود فرآیندهای سلامت	(Sharma et al., 2025)	۲۰

بررسی جدول ۲ نشان می‌دهد که تمرکز زمانی مطالعات عمدتاً به سال‌های اخیر، به‌ویژه از ۲۰۱۸ به بعد، مربوط است؛ امری که با توسعه زیرساخت‌های دیجیتال سلامت، گسترش پرونده الکترونیک سلامت و دسترس‌پذیرتر شدن داده‌های رخدادی هم‌راستا بوده است. از نظر حوزه کاربرد، مطالعات در محیط‌های متنوعی همچون کلینیک باروری، مراقبت سپسیس، گردش کار جراحی، خدمات سطح دوم سلامت و راهنماهای بالینی توزیع شده‌اند و این موضوع نشان می‌دهد که ظرفیت فرآیندکاوی و شبیه‌سازی محدود به یک سطح یا یک خدمت خاص نیست، بلکه می‌تواند در فرایندهای تشخیصی، درمانی، مدیریتی و تصمیم‌یار مورد استفاده قرار گیرد.

بررسی مطالعات منتخب، که خلاصه آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است، نشان داد که ادبیات موجود را می‌توان در سه دسته اصلی طبقه‌بندی کرد: نخست، مطالعات معدودی که به‌صورت مستقیم به پیوند فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در حوزه سلامت پرداخته‌اند؛ دوم، پژوهش‌هایی که به‌طور مستقل از شبیه‌سازی، به‌ویژه شبیه‌سازی رویداد گسسته، برای تحلیل و بهبود فرآیندهای مراقبت سلامت استفاده کرده‌اند؛ و سوم، مطالعاتی که ظرفیت‌ها،

کاربردها و چالش‌های فرآیندکاوی را در این حوزه بررسی کرده‌اند. این الگو نشان می‌دهد که ادبیات موجود هنوز بیش از آنکه واجد چارچوب‌های تلفیقی بالغ و گسترده باشد، حاوی شواهدی پراکنده اما معنادار درباره ظرفیت مکمل این دو رویکرد است. از این‌رو، هدف این مرور نه اثبات فراگیری ادغام مستقیم، بلکه تحلیل روندهای موجود، تبیین شکاف‌های روش‌شناختی، و نشان دادن این نکته است که چگونه یافته‌های حاصل از کاربرد مستقل یا نیمه‌مستقل این دو رویکرد می‌توانند مبنایی برای توسعه چارچوب‌های یکپارچه و داده‌محور در پژوهش‌های آینده فراهم کنند. تحلیل این مطالعات نشان می‌دهد که پژوهش‌های شبیه‌سازی عمدتاً بر ارزیابی سناریوهای عملیاتی، تحلیل جریان بیمار، کاهش زمان انتظار و بهینه‌سازی منابع متمرکز بوده‌اند، در حالی که مطالعات فرآیندکاوی بیشتر به کشف مسیرهای واقعی، شناسایی انحرافات، تحلیل گلوگاه‌ها و چالش‌های داده‌ای و سازمانی پرداخته‌اند. این طبقه‌بندی، ضمن فراهم‌کردن امکان مقایسه نظام‌مند مطالعات، نشان می‌دهد که شکاف اصلی ادبیات در کمبود مدل‌های تلفیقی، استاندارد و قابل‌بازتولید برای استفاده هم‌زمان از فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در مراقبت سلامت است.

جدول ۳. خلاصه مطالعات منتخب مرتبط با فرآیندکاوی، شبیه‌سازی و تلفیق آن‌ها در مراقبت سلامت

دالات برای پژوهش	خلاصه چالش‌ها	خلاصه یافته‌ها	محور اصلی مطالعه	منبع
نشان‌دهنده شکاف پژوهشی در ادغام نظام‌مند دو روش	نبود چارچوب استاندارد و کمبود مطالعات یکپارچه	استفاده از داده‌های واقعی برای افزایش اعتبار مدل‌های شبیه‌سازی	تلفیق فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در سلامت	۷
تأیید نقش عملی فرآیندکاوی در ساخت مدل شبیه‌سازی	نیاز به داده باکیفیت و دشواری تبدیل خروجی‌ها به مدل	استخراج مسیرهای واقعی و پارامترهای لازم برای شبیه‌سازی	مدل‌سازی خودکار شبیه‌سازی سلامت	۳۷
ضرورت استفاده از داده‌های واقعی برای اعتبار مدل	حساسیت بالا به کیفیت داده و فرضیات مدل‌ساز	پیش‌بینی پیامدهای عملیاتی با شبیه‌سازی	شبیه‌سازی رویداد گسسته و توزیع‌های آماری	۵
کاهش اتکا به فرضیات ذهنی از طریق فرآیندکاوی	پیچیدگی محیط سلامت و وابستگی مدل به فرضیات	ارزیابی پیامدهای احتمالی پیش از اجرای مداخله واقعی	مدل‌سازی رویداد گسسته در سلامت	۱۱
نیاز به داده‌های واقعی برای افزایش دقت شبیه‌سازی	دشواری تعمیم مدل‌ها به محیط‌های مختلف	کمک به تصمیم‌گیری درباره ظرفیت و منابع	شبیه‌سازی رویداد گسسته	۶
امکان واقع‌گرایانه‌تر کردن تحلیل با فرآیندکاوی	محدودیت تعمیم نتایج به سایر زمینه‌های درمانی	تحلیل جریان بیمار و ارزیابی عملکرد خدمات	کلینیک باروری و پایش هوشمند	۲۸
ضرورت بلوغ داده‌ای و آمادگی سازمانی	ناهمگونی سامانه‌های اطلاعاتی و کیفیت پایین داده	کشف مسیرهای واقعی و شناسایی انحرافات	فرآیندکاوی در محیط‌های درمانی	۳
فراهم‌سازی پایه مناسب برای شبیه‌سازی داده‌محور	وابستگی به داده‌های قابل استخراج از سامانه‌ها	کشف فرآیند و شناسایی گلوگاه‌ها	تحلیل فرآیندهای درمانی	۲۶
تبیین موانع اجرای رویکرد ترکیبی	موانع فنی، سازمانی و تفسیری	شفاف‌سازی فرآیندها و بهبود عملکرد	فرصت‌ها و چالش‌های فرآیندکاوی	۲۹
نشان‌دهنده توسعه کمتر ادغام با شبیه‌سازی	تمرکز بیشتر بر فرآیندکاوی مستقل	تحلیل داده‌محور فرآیندهای سلامت	کاربرد فرآیندکاوی در سلامت	۳۰
ایجاد ساختار واقعی فرآیند برای مدل شبیه‌سازی	تنوع رفتار بیماران و دشواری تفسیر مسیرها	پایش و کشف مسیرهای واقعی بیماران	خدمات سطح دوم سلامت	۱۳
پشتیبانی از تصمیم‌گیری با روش‌های تحلیلی پیشرفته	چالش تفسیرپذیری مدل‌های یادگیری ماشین	بهینه‌سازی با داده‌های پرونده الکترونیک	گردش کار جراحی	۱۴
شناسایی گلوگاه‌های بحرانی برای آزمون در شبیه‌سازی	ناهمگونی بالینی و پیچیدگی مسیرهای سپسیس	شناسایی فرصت‌های بهبود در مسیر درمانی	بهینه‌سازی مراقبت سپسیس	۱۵
ضرورت لحاظ ناهمگونی بیماران در شبیه‌سازی	احتمال سوگیری در تفسیر تفاوت‌ها	بررسی تفاوت‌های فرآیندی میان زیرگروه‌های بیمار	تحلیل زیرجمعیت‌ها	۱۸
اعتبارسنجی مسیرهای شبیه‌سازی بر اساس استانداردها	دشواری تبدیل راهنماها به مدل اجرایی	تحلیل انطباق فرآیندها با راهنماهای بالینی	راهنماهای بالینی	۲۴
مبنای نظری برای تولید ورودی‌های شبیه‌سازی	تمرکز مستقل بر فرآیندکاوی	توضیح کشف، تحلیل و بهبود فرآیندها با لاگ رخداد	کاربرد لاگ‌های رویداد	۲۰

پیچیدگی مسیرهای درمانی، تنوع رفتار بیماران، دشواری تبدیل خروجی های فرآیند کاوی به مدل های اجرایی شبیه سازی، نبود چارچوب های استاندارد و چالش اعتبارسنجی و تفسیرپذیری مدل هاست. موانع سازمانی نیز به مقاومت در برابر تغییر، کمبود تخصص تحلیلی، فاصله میان تیم های بالینی و تحلیل گران داده و محدودیت آمادگی سازمانی مربوط می شود. در نهایت، موانع قانونی و حریم خصوصی مانند محرمانگی داده های بیماران، محدودیت دسترسی به داده های بالینی و الزامات اخلاقی، به ویژه در مطالعات مبتنی بر داده های چندمنبعی، نقش محدودکننده دارند. با وجود این چالش ها، مطالعات فرصت های مهمی را نیز نشان می دهند. نخست، حرکت به سوی تصمیم گیری بالادنگ و مبتنی بر داده که با بهبود کیفیت لاگ ها و اتصال سامانه ها امکان پایش مستمر و آزمون سریع مداخلات را فراهم می کند. دوم، ادغام فرآیند کاوی و شبیه سازی با هوش مصنوعی که می تواند در پیش بینی تأخیرها، شناسایی بیماران پرخطر، تشخیص مسیرهای ناکار و پیشنهاد راهکارهای بهینه مؤثر باشد. سوم، بهینه سازی تخصیص منابع از طریق بررسی سناریوهای مختلف تخصیص تخت، نیروی انسانی، تجهیزات و ظرفیت عملیاتی پیش از اجرا. چهارم، توسعه چارچوب های یکپارچه، استاندارد و قابل بازتولید برای افزایش اعتبار، مقایسه پذیری و کاربردپذیری نتایج. پنجم، تقویت همکاری میان رشته ای میان متخصصان بالینی، مدیران، تحلیل گران داده و پژوهشگران شبیه سازی که می تواند کیفیت داده ها و میزان استفاده عملی از یافته ها را افزایش دهد.

بحث

شواهد بررسی شده نشان می دهد که مسئله اصلی در این حوزه، نه فقدان ابزارهای تحلیلی، بلکه نبود پیوندی منسجم و قابل کاربست میان فرآیند کاوی و شبیه سازی در محیط های واقعی سلامت است. اگرچه هر یک از این دو رویکرد به صورت مستقل توسعه یافته اند، ادغام آن ها هنوز در بسیاری از موارد به سطح یک چارچوب عملیاتی استاندارد و قابل بازتولید نرسیده است (۷، ۱۳). این وضعیت را می توان با تفاوت در منطق کاربردی این دو حوزه توضیح داد: فرآیند کاوی بر کشف رفتار واقعی فرآیندها بر پایه داده های رخدادی متمرکز است، در حالی که شبیه سازی برای ارزیابی سناریوهای مداخله و پیش بینی پیامدهای تغییر پیش از اجرا به کار می رود. از این منظر، چالش اصلی نه در خود ابزارها، بلکه در چگونگی برقراری ارتباط نظام مند میان «کشف واقعیت موجود» و «آزمون سناریوهای بهبود» قرار دارد. محدود بودن مطالعاتی که به طور مستقیم این دو رویکرد را به یکدیگر پیوند داده اند، خود بازتابی از وضعیت گذار این حوزه است، نه صرفاً یک خلأ کمی در ادبیات. به نظر می رسد یکی از دلایل اصلی این وضعیت آن باشد که تبدیل داده های خام سلامت به ورودی های معتبر برای تحلیل فرآیند و سپس انتقال این دانش به مدل های شبیه سازی، در عمل با پیچیدگی های فراوان همراه است (۳، ۷، ۱۳، ۱۵). در بسیاری از محیط های درمانی، داده ها هرچند به صورت گسترده تولید می شوند، اما از نظر کیفیت، کامل بودن، همگنی و قابلیت پیوند برای استفاده تحلیلی ترکیبی آماده

تحلیل جدول ۳ نشان می دهد که مطالعات شبیه سازی در حوزه سلامت عمدتاً بر ارزیابی سناریوهای عملیاتی، تحلیل جریان بیمار، کاهش زمان انتظار، پیش بینی پیامد مداخلات و بهینه سازی منابع متمرکز بوده اند. به ویژه در منابع ۵، ۶ و ۱۱، شبیه سازی رویداد گسسته به عنوان ابزاری برای بررسی اثر تغییرات مدیریتی و بالینی پیش از اجرای واقعی معرفی شده است. با این حال، کارایی این رویکرد به کیفیت داده های ورودی، فرض مدل و قابلیت تعمیم آن به محیط های مختلف وابسته است. در مقابل، مطالعات فرآیند کاوی بیشتر بر کشف مسیرهای واقعی بیماران، شناسایی انحراف از مسیرهای استاندارد، تحلیل گلوگاه ها و چالش های داده ای و سازمانی تمرکز داشته اند. منابع ۳، ۱۲، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۴، ۲۷ و ۲۹ نشان می دهند که فرآیند کاوی می تواند شناخت دقیق تری از رفتار واقعی فرآیندهای درمانی فراهم کند و داده های رخدادی را به مبنایی برای تحلیل و بهبود تبدیل سازد. با این حال، این رویکرد نیز با مشکلاتی مانند کیفیت پایین لاگ ها، ناهمگونی سامانه های اطلاعات سلامت، دشواری تفسیر مسیرهای پیچیده و محدودیت های سازمانی روبه رو است. در این میان، مطالعاتی که به تلفیق مستقیم فرآیند کاوی و شبیه سازی پرداخته اند، به ویژه منابع ۷ و ۱۳، اهمیت پیوند این دو رویکرد را برجسته می کنند. در این مطالعات، فرآیند کاوی برای استخراج مسیرهای واقعی، توالی فعالیت ها و پارامترهای لازم مدل شبیه سازی به کار رفته و شبیه سازی نیز امکان آزمون سناریوهای بهبود و ارزیابی سیاست های جایگزین را فراهم ساخته است. بنابراین، شکاف اصلی ادبیات نه در نبود کاربرد مستقل هر یک از این دو رویکرد، بلکه در کمبود چارچوب های تلفیقی، استاندارد و قابل بازتولید برای اتصال نظام مند خروجی های فرآیند کاوی به مدل های شبیه سازی است.

از منظر روندها، نخستین نکته، افزایش توجه به کاربرد فرآیند کاوی و شبیه سازی در سلامت به ویژه پس از سال ۲۰۱۸ است؛ روندی که با توسعه سامانه های اطلاعات سلامت، پرونده الکترونیک و نیاز به تصمیم گیری داده محور مرتبط است. از نظر حوزه کاربرد، مطالعات محیط های متنوعی مانند کلینیک باروری، مراقبت سپسیس، گردش کار جراحی، خدمات سطح دوم سلامت، تحلیل زیرجمعیت های بیمار و ارزیابی انطباق با راهنماهای بالینی را پوشش می دهند و نشان می دهند که این رویکردها محدود به یک بخش خاص نیستند. از نظر کاربردی، چهار محور اصلی دیده می شود: مدیریت جریان بیمار، بهینه سازی منابع، کاهش زمان انتظار و طراحی و ارزیابی سناریوهای تصمیم گیری. از نظر فناوریانه نیز فرآیند کاوی و شبیه سازی رویداد گسسته دو رویکرد غالب هستند، هرچند مفاهیمی مانند دوقلوی دیجیتال و شبیه سازی عامل مبنا نیز به عنوان مسیرهای نوظهور مطرح شده اند.

در بخش موانع، یافته ها چهار دسته اصلی را نشان می دهند: موانع داده ای، فنی، سازمانی و قانونی/حریم خصوصی. موانع داده ای شامل کیفیت پایین لاگ های رخداد، ثبت ناقص داده ها، ناهمگونی سامانه ها و دشواری استخراج داده های معتبر از سیستم های بالینی است که می تواند اعتبار نتایج را کاهش دهد. موانع فنی شامل

نیستند. به همین دلیل، فاصله معناداری میان ظرفیت نظری تلفیق این دو رویکرد و تحقق عملی آن در نظام سلامت مشاهده می‌شود.

غلبه شبیه‌سازی رویداد گسسته در مطالعات این حوزه را نیز می‌توان با ماهیت مسائل عملیاتی مراقبت سلامت تبیین کرد. بخش مهمی از چالش‌های مدیریتی در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی—از جمله زمان انتظار، ازدحام، جریان بیمار، ظرفیت تخت و تخصیص منابع—ماهیتی دارند که با منطق شبیه‌سازی رویداد گسسته سازگار است (۵، ۶، ۱۱، ۱۴). در مقابل، زمانی که هدف، فهم مسیرهای واقعی اجرای فرآیند، شناسایی انحراف از رویه‌های رسمی، یا آشکارسازی گلوگاه‌های پنهان باشد، فرآیندکاوی نقش برجسته‌تری پیدا می‌کند (۳، ۱۲، ۱۵، ۱۷). بنابراین، رابطه این دو رویکرد را می‌توان رابطه‌ای مکمل دانست: فرآیندکاوی تصویر واقع‌بینانه‌تری از آنچه در عمل رخ می‌دهد فراهم می‌کند و شبیه‌سازی امکان می‌دهد که پیامدهای سناریوهای مختلف بر همان مبنای ارزیابی شود.

در عین حال، موانع موجود نشان می‌دهد که مسئله تلفیق فرآیندکاوی و شبیه‌سازی صرفاً فنی نیست. بخشی از این دشواری‌ها به ضعف کیفیت لاگ‌های رخدادی، داده‌های ناقص، ناهمگونی سامانه‌های اطلاعاتی و دشواری تبدیل خروجی‌های فرآیندکاوی به پارامترهای قابل استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی مربوط می‌شود (۳، ۷، ۱۳، ۱۵). اما در سطحی عمیق‌تر، این چالش‌ها با مسائل سازمانی و نهادی نیز پیوند خورده‌اند؛ از جمله کمبود تخصص تحلیلی، مقاومت در برابر تغییر و محدودیت‌های حقوقی و اخلاقی مرتبط با داده‌های بالینی. بر این اساس، توسعه این حوزه نیازمند نگاهی فراتر از ابزار و الگوریتم است و باید زیرساخت داده، آمادگی سازمانی و همکاری میان‌رشته‌ای را نیز دربر گیرد.

از منظر آینده‌پژوهانه، ظرفیت این حوزه زمانی بالفعل‌تر می‌شود که داده‌های رخدادی بتوانند به‌صورت مستمر و با کیفیت مناسب در چرخه تحلیل قرار گیرند. در چنین شرایطی، فرآیندکاوی می‌تواند تصویری پویاتر و دقیق‌تر از رفتار واقعی فرآیندهای سلامت ارائه دهد و شبیه‌سازی نیز بر همان پایه، سناریوهای جایگزین را با واقع‌گرایی بیشتری ارزیابی کند (۵، ۶، ۱۱، ۱۴). در نتیجه، حرکت به‌سوی تصمیم‌یارهای داده‌محور، بهینه‌سازی هوشمند منابع و حتی توسعه دوقلوهای دیجیتال در سلامت، نه یک جهش صرفاً فناورانه، بلکه امتداد منطقی بلوغ تدریجی این پیوند تحلیلی خواهد بود.

بر پایه تفسیر و جمع‌بندی مطالعات مرور شده، می‌توان یک الگوی پیشنهادی برای تبیین نحوه ارتباط فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در مراقبت سلامت مطرح کرد. این الگو به‌عنوان برداشت تحلیلی نویسندگان از شواهد موجود ارائه می‌شود، نه به‌عنوان چارچوبی که مستقیماً از همه مطالعات استخراج شده باشد. در این الگو، سطح نخست «داده و کشف» است که در آن داده‌های رخدادی برای شناسایی مسیرهای واقعی، توالی فعالیت‌ها، گلوگاه‌ها و انحرافات به‌کار گرفته می‌شوند. سطح دوم «مدل‌سازی و ارزیابی» است که در آن یافته‌های حاصل از فرآیندکاوی می‌توانند مبنایی برای تغذیه مدل‌های شبیه‌سازی، به‌ویژه شبیه‌سازی رویداد گسسته، و ارزیابی

سناریوهای مختلف فراهم کنند. سطح سوم «تصمیم و بهبود» است که در آن نتایج حاصل می‌تواند در کاهش زمان انتظار، بهینه‌سازی منابع، بهبود جریان بیمار و ارتقای کارایی فرآیندهای مراقبتی مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس، به نظر می‌رسد این دو رویکرد ظرفیت مکملی برای تحلیل و بهبود فرآیندهای سلامت دارند، هرچند تحقق عملی این ظرفیت همچنان به کیفیت داده‌ها، توسعه چارچوب‌های استاندارد و آمادگی سازمانی وابسته است (۷، ۱۳، ۱۵).

در نهایت، تفسیر نتایج این مطالعه باید با توجه به محدودیت‌های آن انجام شود. محدود بودن تعداد مطالعات وارده شده، گزارش‌نشدن دقیق برخی ویژگی‌ها مانند جزئیات فنی ابزارها یا زمینه اجرایی مطالعات در بعضی منابع، و ناهمگونی محیط‌های بالینی، تعمیم‌پذیری نتایج را با احتیاط همراه می‌سازد. با وجود این، مرور حاضر نشان می‌دهد که پیوند فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در سلامت دارای ظرفیت قابل‌توجهی است، اما برای تبدیل این ظرفیت به چارچوب‌های عملیاتی و پایدار، هنوز به پژوهش‌های منسجم‌تر، گزارش‌دهی دقیق‌تر و مدل‌های قابل‌بازتولید نیاز است.

نتیجه‌گیری

هدف این مطالعه، بررسی نقش فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در تحلیل و بهبود فرآیندهای مراقبت سلامت و تبیین ظرفیت تلفیق این دو رویکرد بود. پیام اصلی مطالعه آن است که فرآیندکاوی و شبیه‌سازی دو روش مکمل هستند؛ فرآیندکاوی با استخراج مسیرهای واقعی، شناسایی انحراف‌ها و آشکارسازی گلوگاه‌ها، تصویری داده‌محور از وضعیت موجود ارائه می‌دهد، در حالی که شبیه‌سازی امکان آزمون سناریوهای اصلاحی، ارزیابی ظرفیت منابع، تحلیل زمان انتظار و پیش‌بینی پیامدهای تغییرات را پیش از اجرای واقعی فراهم می‌کند. بنابراین، ادغام این دو رویکرد می‌تواند مبنایی قوی‌تر برای تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد در نظام سلامت ایجاد کند.

در مجموع، نتایج نشان داد که با وجود ظرفیت بالای این رویکرد تلفیقی، کاربرد آن در مطالعات موجود هنوز محدود، پراکنده و فاقد چارچوب‌های استاندارد است. چالش‌هایی مانند کیفیت ناکافی داده‌های رویدادی، ناهمگونی سامانه‌های اطلاعات سلامت، ملاحظات حریم خصوصی، پیچیدگی جریان‌های کاری بالینی و نبود چارچوب‌های قابل‌بازتولید، اجرای گسترده آن را دشوار کرده‌اند. از این‌رو، موفقیت این رویکرد به توسعه زیرساخت‌های داده‌ای، همکاری میان متخصصان بالینی و تحلیل‌گران داده، اعتبارسنجی دقیق مدل‌ها و تفسیرپذیری نتایج برای مدیران سلامت وابسته است.

از نظر علمی و کاربردی، این مطالعه نشان می‌دهد که چارچوب‌های ترکیبی فرآیندکاوی و شبیه‌سازی می‌توانند شکاف میان «شناخت وضعیت موجود» و «آزمون مداخلات بهبود» را کاهش دهند. این رویکرد در محیط‌هایی مانند اورژانس، کلینیک‌ها، بخش‌های بستری و سایر واحدهای دارای محدودیت منابع، امکان شناسایی نقاط ناکارآمد، آزمون ایمن سناریوهای اصلاحی و انتخاب مداخله مناسب را فراهم می‌سازد و می‌تواند به کاهش زمان انتظار، بهبود تخصیص منابع، افزایش کارایی و ارتقای کیفیت خدمات منجر شود.

تشکر و قدردانی

برای انجام مطالعه حاضر که بصورت مستقل انجام شده، از کلیه افرادی که همکاری نموده‌اند تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

تضاد منافع

در انجام پژوهش حاضر، نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافع‌ای نداشتند.

پیشنهادهای

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌ها بر توسعه چارچوب‌های استاندارد و قابل‌بازتولید، استفاده از داده‌های واقعی و چندمرکزی، مقایسه این رویکرد با روش‌های سنتی، ارزیابی پیامدهای بالینی و اقتصادی، و بهره‌گیری از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین تمرکز کنند تا زمینه کاربرد گسترده‌تر و اثربخش‌تر فرآیندکاوی و شبیه‌سازی در نظام سلامت فراهم شود.

References

- Salas E, Arias M, Aguirre S, Rojas E. Combining process mining and process simulation in healthcare: A literature review. *IEEE Access*. 2024;18:12:172562-80. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3501157
- van der Aalst WMP. *Process mining: data science in action*. 2nd ed. Berlin: Springer; 2016. DOI: 10.1007/978-3-662-49851-4
- Leemans SJ. *Robust Process Mining with Guarantees*. In *BPM Dissertation/Demos/Industry*; 2018, 46-50.
- Martin D, Berrueto Fernández C, Gento Municio AM. Systematic review of discrete event simulation in healthcare and statistics distributions. *Applied Sciences*. 2025;11:15(4):1861. DOI: 10.3390/app15041861
- Vázquez-Serrano JI, Peimbert-García RE, Cárdenas-Barrón LE. Discrete-event simulation modeling in healthcare: a comprehensive review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;22:18(22):12262. DOI: 10.3390/ijerph182212262
- Forbus JJ, Berleant D. Discrete-event simulation in healthcare settings: a review. *Modelling*. 2022;14:3(4):417-33. DOI: 10.3390/modelling3040027
- Dallagassa MR, dos Santos Garcia C, Scalabrin EE, Ioshii SO, Carvalho DR. Opportunities and challenges for applying process mining in healthcare: a systematic mapping study. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2022;13(1):165-82. DOI: 10.1007/s12652-021-02805-4
- van der Aalst WM, Carmona J, editors. *Process mining handbook*. Springer Nature; 2022. DOI: 10.1007/978-3-031-08848-3
- Mohammadi M. Improving the quality of business process event logs using unsupervised method. *Iranian Journal of Information Processing and Management*. 2025;40(Special Issue 3). DOI: 10.22034/jipm.2025.2018045.1469
- Rinderle-Ma S, Stertz F, Mangler J, Pauker F. Process mining—discovery, conformance, and enhancement of manufacturing processes. In: *Digital transformation: core technologies and emerging topics from a computer science perspective*. Springer, 2023, 363-383. DOI: 10.1007/978-3-662-65004-2_15
- Mohammadi M. Process mining in healthcare information system analysis: a commentary. *Health Information Management*. 2022;18(6):291-295. DOI: 10.22122/him.v18i1.4461
- Salehi M, Khayami R, Akbari R, Mirmozaffari M. An Integrated Predictive Impact-Enhanced Process Mining Framework for Strategic Oncology Workflow Optimization: Case Study in Iran. *Bioengineering*. 2025;24:12(12):1288. DOI: 10.3390/bioengineering12121288
- Özdağoglu G, Damar M, Erenay FS, Turhan Damar H, Himmetoğlu O, Pinto AD. Monitoring patient pathways at a secondary healthcare services through process mining via Fuzzy Miner. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2025;27:25(1):199. DOI: 10.1186/s12911-025-03016-5
- Celik U, Korkmaz A, Stoyanov I. Integrating Process Mining and Machine Learning for Surgical Workflow Optimization: A Real-World Analysis Using the MOVER EHR Dataset. *Applied Sciences*. 2025;14:15(20):11014. DOI: 10.3390/app152011014
- Bakhshi A, Hassannayebi E, Sadeghi AH. Optimizing sepsis care through heuristics methods in process mining: a trajectory analysis. *Healthcare Analytics*. 2023;1:3. DOI: 10.1016/j.health.2023.100187
- Santos A, Leal GC, Balancieri R. Process mining in healthcare: a tertiary study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2025;14:25(1):306. DOI: 10.1186/s12911-025-02967-z
- Bosson-Rieutort D, Langford-Avelar A, Duc J, Dalmas B. Healthcare trajectories of aging individuals during their last year of life: application of process mining methods to administrative health databases. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2025;25(1):58. DOI: 10.1186/s12911-025-02898-9
- Naguine P, Arachchige JJ, Bemthuis RH, Bukhsh FA. Process Mining for Demographic Insights: A Subpopulation Analysis in Healthcare Pathways. In: *27th International Conference on Enterprise Information Systems*, 2025. 267-277. DOI: 10.5220/0013289800003929
- AlBakary WA, Sedky AA, Abdelmoez W. Interactive bottleneck detection in data driven business process simulation in healthcare: Egyptian case study. In: *2022 32nd International Conference on Computer Theory and Applications (ICCTA)*; 2022. 234-240. DOI: 10.1109/ICCTA58027.2022.10206287
- Sharma P, Kumar S, Falor T, Dabral O, Upadhyay A, Gupta R, Singh Andotra V. Leveraging Process Mining for Enhanced Efficiency and Precision in Healthcare. In: *Generative Artificial Intelligence for Biomedical and Smart Health Informatics*. 2025. 471-488. DOI: 10.3390/healthcare13080941
- Rosa A, Massaro A. Process mining organization (PMO) modeling and healthcare processes. *Knowledge*. 2023;22:3(4):662-78. DOI: 10.3390/knowledge3040034
- Rosa A, Massaro A. Process mining organization (PMO) based on machine learning decision making for prevention of chronic diseases. *Eng*. 2024;5:5(1):282-300. DOI: 10.3390/eng5010016
- Al-Badameh H, Arif A. A Systematic Review of Process Mining in Healthcare. In: *2025 International Conference on New Trends in Computing Sciences (ICTCS)*; 2025 16. p. 485-492. IEEE. DOI: 10.1109/ICTCS65341.2025.10989313

24. Gatta R, Vallati M, Fernández-Llatas C, Martinez-Millana A, Orini S, Sacchi L, Lenkiewicz J, Marcos M, Munoz-Gama J, Cuendet M, De Bari B. Clinical guidelines: a crossroad of many research areas. Challenges and opportunities in process mining for healthcare. In: International Conference on Business Process Management; 2019 545-556. DOI: 10.1007/978-3-030-26643-1_32
25. Mohammadi M. Comparative Process Mining for Identifying the Critical Activities in Sepsis Trajectories. Healthcare Technology Letters. 2025;12(1). DOI: 10.1049/htl2.70010
26. Bakhtiari M. Utilizing process mining in quality management: A case study in radiation oncology. PLOS Digital Health. 2025 15;4(5):e0000647. DOI: 10.1371/journal.pdig.0000647
27. Gorelova A, Meliá S, Gadzhimusieva D. A discrete event simulation of patient flow in an assisted reproduction clinic with the integration of a smart health monitoring system. IEEE Access. 2024 21;12:46304-18. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3379934
28. Aversano L, Iammarino M, Madau A, Pirlo G, Semeraro G. Process mining applications in healthcare: a systematic literature review. PeerJ Computer Science. 2025 28;11:e2613. DOI: 10.7717/peerj-cs.2613
29. Tamburis O, Esposito C. Process mining as support to simulation modeling: A hospital-based case study. Simulation Modelling Practice and Theory. 2020 1;104:102149. DOI: 10.1016/j.simpat.2020.102149
30. Mesabbah M, Abo-Hamad W, McKeever S. A hybrid process mining framework for automated simulation modelling for healthcare. 2019 Conference (WSC); 2019. 1094-1102. DOI: 10.1109/WSC40007.2019.9004895

Process Mining in Healthcare Process Simulation: A Structured Narrative Review of Trends, Barriers, and Opportunities

Mohsen Mohammadi¹

Original Article

Abstract

Introduction: As healthcare systems become increasingly complex, the adoption of analytical approaches has become essential to improve operational efficiency, service quality, patient outcomes, and resource allocation. This study explores the potential of integrating process mining and process simulation as two data-driven methodologies for healthcare analysis, evaluation, and decision support.

Methods: This study was conducted using a structured narrative-analytical review approach. Beyond explaining the theoretical foundations of process mining and process simulation, this research critically analyzes the synergistic framework of their integration, clinical applications, structural challenges, and future opportunities through a critical synthesis of existing evidence. The primary focus is on examining the role of process mining in extracting knowledge from event data and critically evaluating its utilization in designing and validating simulation models.

Results: The findings indicate that process mining enhances the accuracy of healthcare simulation models by discovering real-world pathways, identifying bottlenecks, and extracting empirical parameters. Conversely, simulation enables scenario evaluation, outcome prediction, and resource optimization. The integration of these two approaches reinforces evidence-based decision-making, reduces waiting times, and enhances service quality.

Conclusion: The integration of process mining and simulation provides an effective framework for analyzing and improving complex healthcare processes. However, data quality issues, privacy concerns, clinical workflow complexity, technical barriers, and organizational collaboration challenges limit its widespread implementation. Developing standardized frameworks, ensuring high-quality data, leveraging artificial intelligence, and conducting applied empirical studies represent key directions for future research.

Keywords: Process Mining; Process Simulation; Process Improvement; Artificial Intelligence; Predictive Analytics; Discrete Event Simulation

Received: 29 Dec; 2025

Accepted: 11 Mar; 2025

Published: 30 Mar; 2026

Citation: Mohammadi M. **Process Mining in Healthcare Process Simulation: A Structured Narrative Review of Trends, Barriers, and Opportunities.** Health Inf Manage 2026; 23(1):54-62.

This article resulted from PhD thesis with ethical code IR.IAU.CTB.REC.1402.008

1. Associate Professor, Information Technology, Computer Department, Esfarayen Technical and Engineering Higher Education Complex, Esfarayen, Iran.
Corresponding Author: Mohsen Mohammadi; Associate Professor, Information Technology, Computer Department, Esfarayen Technical and Engineering Higher Education Complex, Esfarayen, Iran. Email: mohsen@esfarayen.ac.ir