

رویکردی سیستماتیک برای تبدیل نمونه های اولیه^۱ openEHR^۲ به هستی شناسی های زبان هستی شناسی وب^۳ با هدف تحقق تبادلی پذیری معناشناختی در سلامت دیجیتال

منا شریف نژاد^۱، حمیدرضا خیّری^۲، منصوره غیاث آبادی فراهانی^۳

۱- دانشگاه آزاد اسلامی اراک، ایران، m.sharifnezhad@iau.ac.ir

۲- گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی خمین، ایران، hamid.khayeri@iau.ac.ir

۳- دانشگاه آزاد اسلامی اراک، ایران، Mansoureh.ghias@iau.ac.ir

چکیده:

این مقاله با تمرکز بر رشد سامانه های سلامت دیجیتال، به بررسی اهمیت بازنمایی رسمی و قابل استنتاج دانش بالینی برای تحقق تبادلی پذیری معناشناختی می پردازد و چارچوب openEHR را به عنوان یکی از رویکردهای کلیدی تحلیل می کند. اگرچه openEHR با ساختار دوسطی و زبان تعریف الگوهای بالینی امکان استفاده مجدد از دانش را فراهم می سازد، محدودیت های آن در محیط های وب معنایی انگیزه ای برای تبدیل سیستماتیک نمونه های اولیه به هستی شناسی های مبتنی بر OWL/RDF^۴ ایجاد کرده است. این مطالعه با تحلیل نظام مند پژوهش های اخیر، نگاشت های صریح میان سازه های openEHR و مؤلفه های وب معنایی را بازنگری کرده و نشان می دهد که هستی شناسی های حاصل ضمن حفظ هم راستایی ساختاری با مدل های مبدأ، کیفیت معناشناختی داده ها و توان استنتاج را به طور قابل توجهی افزایش می دهند. نتایج بیانگر امکان بهره گیری از موتورهای استنتاج برای استخراج دانش ضمنی، انجام پرس و جوهای پیچیده و پشتیبانی تصمیم بالینی هوشمند است و همچنین با طراحی پیمانه ای و سازگار با استانداردهایی نظیر FHIR^۵ و ISO^۶، زمینه مقیاس پذیری، هم راستایی میان استاندارد و توسعه کاربردهای هوش مصنوعی، گراف های دانش و تحلیل های پیش بینی در حوزه سلامت دیجیتال را فراهم می کند.

کلمات کلیدی: openEHR، زبان تعریف الگوهای بالینی، هستی شناسی، تبادلی پذیری معناشناختی، زبان هستی

شناسی وب^۷ RDF، وب معنایی

^۱ Archetype

^۲ چارچوب استاندارد باز پرونده الکترونیک سلامت

^۳ Web Ontology Language

^۴ OWL/RDF به استفاده هم زمان از OWL و RDF در وب معنایی اشاره دارد.

^۵ Fast Healthcare Interoperability Resources

^۶ International Organization for Standardization

^۷ Resource Description Framework



۱. مقدمه

با پیشرفت فناوری‌های سلامت دیجیتال، سامانه‌های پرونده الکترونیک سلامت^۸ به ستون فقرات زیرساخت اطلاعاتی بیمارستان‌ها و مراکز درمانی تبدیل شده‌اند. این سامانه‌ها حجم عظیمی از داده‌های بالینی تولید می‌کنند که نقش حیاتی در پشتیبانی تصمیم‌گیری بالینی، تحقیقات پزشکی و مدیریت سلامت جمعیتی دارند. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در این حوزه، عدم تبادل پذیری معناساختی میان سیستم‌های مختلف است. داده‌ها ممکن است از نظر ساختاری قابل اشتراک باشند، اما تفاوت در معنا و تفسیر مانع استفاده مؤثر از آن‌ها می‌شود.

استاندارد openEHR با ارائه معماری دو سطحی، لایه دانش بالینی و مدل مرجع داده را از یکدیگر جدا می‌کند و امکان تعریف نمونه اولیه‌ها را با استفاده از زبان رسمی زبان تعریف الگوهای بالینی^۹ فراهم می‌سازد. این ساختار ظرفیت بالایی برای رسمی‌سازی و بازاستفاده از دانش بالینی ایجاد می‌کند و توانایی نگهداری استاندارد و یکپارچگی مدل‌های اطلاعات بالینی را دارد. هر نمونه اولیه مجموعه‌ای از کلاس‌ها، روابط و قیود را تعریف می‌کند که نمایانگر ساختار و معنای داده‌های بالینی است. با این حال، استفاده مستقیم از این مدل‌ها در محیط‌های وب معنایی محدودیت‌هایی دارد که شامل ابهام معنایی، ضعف در پشتیبانی استنتاج خودکار و پیچیدگی در یکپارچه‌سازی میان‌سیستمی است.

استانداردهای وب معنایی مانند زبان هستی‌شناسی وب^{۱۰} و RDF^{۱۱} ابزارهای قدرتمندی برای بازنمایی دانش، مدیریت معنا و پشتیبانی استنتاج خودکار فراهم می‌کنند. زبان هستی‌شناسی وب توانایی نمایش روابط پیچیده میان کلاس‌ها و ایجاد مدل‌های قابل استنتاج برای موتور استنتاج‌ها را داراست. ترکیب مدل‌سازی بالینی openEHR با بازنمایی معنایی مبتنی بر زبان هستی‌شناسی وب امکان تبادل پذیری معناساختی واقعی، تحلیل‌های هوشمند و یکپارچه‌سازی داده‌ها را فراهم می‌کند. این ترکیب فراتر از تبادل داده صرف، امکان استنتاج دانش ضمنی و استخراج اطلاعات پیچیده را برای کاربردهای بالینی فراهم می‌آورد.

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تبدیل مدل‌های ساختاری به نمایه‌های هستی‌شناسیک، چالش‌هایی مانند حفظ قیود زبان تعریف الگوهای بالینی، مدیریت پیچیدگی‌های معنایی و سازگاری منطقی با مدل‌های موجود را به همراه دارد. بازنمایی هستی‌شناسیک داده‌های openEHR امکان استخراج دانش ضمنی و انجام پرس‌وجوهای پیچیده با زبان پرس‌وجوی^{۱۲} را فراهم می‌کند و پایه‌ای برای کاربردهای هوش مصنوعی در سلامت ایجاد می‌کند.

ترکیب openEHR و زبان هستی‌شناسی وب زیرساختی برای تبادل پذیری معناساختی، اشتراک دانش و تحلیل هوشمند داده‌ها ایجاد می‌کند. این رویکرد امکان پشتیبانی تصمیم‌های بالینی هوشمند و توسعه سامانه‌های سلامت دیجیتال را فراهم می‌آورد. هدف این تحقیق بررسی یک رویکرد سیستماتیک برای تبدیل نمونه اولیه‌های openEHR به هستی‌شناسی‌های زبان هستی‌شناسی وب و ارتقای تبادل پذیری معناساختی^{۱۳} است.

^۸ Electronic Health Record

^۹ نمونه اولیه Definition Language زبان آنتولوژی وب

^{۱۰} Web Ontology Language

^{۱۱} Resource Description Framework

^{۱۲} SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL)

^{۱۳} تبادل پذیری معناساختی



۲. پیشینه تحقیق

۲.۱ مفهوم هستی شناسی در علوم کامپیوتر

هستی شناسی در علوم کامپیوتر به عنوان "یک مشخصه صریح و رسمی از یک مفهوم سازی مشترک" تعریف می شود. در حوزه سلامت، هستی شناسی ها مفاهیم پزشکی، روابط بین آنها و قوانین حاکم بر این روابط را به صورت رسمی نمایش می دهند.

اجزای اصلی یک هستی شناسی عبارتند از:

کلاس ها مفاهیم یا موجودیت های حوزه را نمایش می دهند.

خصوصیات روابط بین کلاس ها را تعریف می کنند.

خصوصیت اشیاء روابط بین دو کلاس را مشخص می کند.

ویژگی های داده ای خصوصیات داده ای را تعریف می کند.

فرد ها نمونه های خاص از کلاس ها مانند یک بیمار خاص یا یک دارو

محدودیت ها قوانین و محدودیت های منطقی را تعیین می کند.

زبان زبان هستی شناسی وب^{۱۴} و انواع آن

زبان استاندارد برای تعریف هستی شناسی ها در وب معنایی است که توسط کنسرسیوم شبکه جهانی وب^{۱۵}

تعریف شده است زبان هستی شناسی وب بر اساس منطق توصیفی^{۱۶} بنا شده و سه نسخه اصلی دارد:

الف) نسخه سبک زبان هستی شناسی وب ساده ترین نسخه با قابلیت های محدود، مناسب برای سلسله مراتب

ساده و محدودیت های پایه.

ب) منطق توصیفی قدرتمندترین نسخه که هنوز تصمیم پذیر است و اکثر تحقیقات از این نسخه استفاده

می کنند و تعادل خوبی بین قدرت بیانگری و پیچیدگی محاسباتی دارد.

پ) نسخه کامل زبان هستی شناسی وب: قدرتمندترین اما غیر قابل تصمیم، بدون محدودیت در استفاده از

سازه ها. می باشد

دسته بندی کلی استانداردها

این استانداردها را می توان از نظر فلسفه طراحی و هدف اصلی به دو دسته بزرگ تقسیم کرد:

استانداردهای تبادل پیام و سند^{۱۷}

استانداردهای مدل سازی و ذخیره سازی داده^{۱۸}

در نمودار زیر جایگاه هر استاندارد و ارتباط آن با لایه های مختلف نمایش داده شده است.

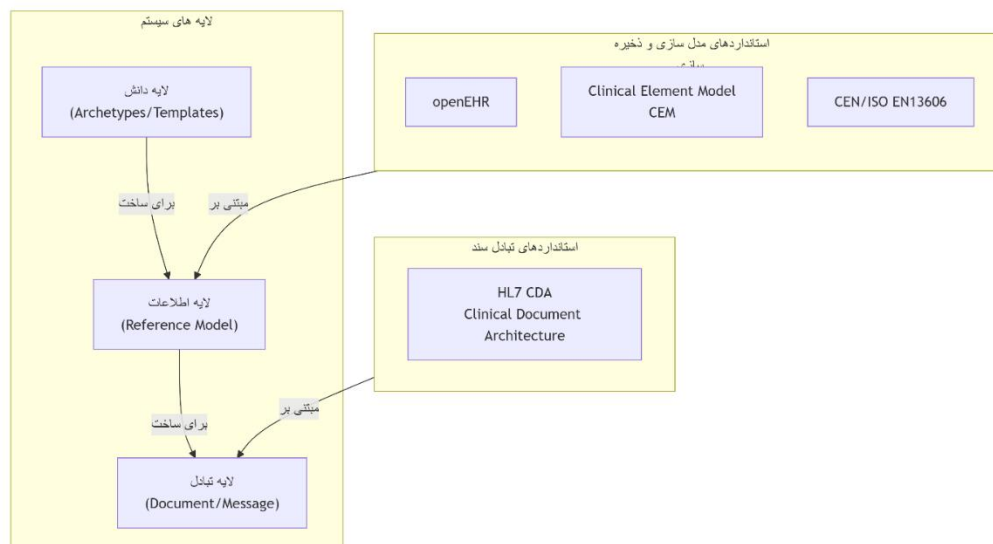
¹⁴ Web Ontology Language

¹⁵ World Wide Web Consortium.(W3C)

¹⁶ Description Logic

¹⁷ Message & Document Exchange

¹⁸ Data Modeling & Storage



شکل (۱): جایگاه هر استاندارد و ارتباط آن با لایه های مختلف

مقایسه استانداردهای رایج در هستی شناسی حوزه سلامت

ویژگی	HL7 CDA	openEHR	CEN/ISO EN13606	CEM
هدف اصلی	تبادل سند	ذخیره سازی و مدیریت داده	تبادل محتوای EHR	مدل سازی مفهومی داده
فلسفه معماری	مدل اطلاعات مرجع از بالا به پایین	مدل دوگانه Reference + نمونه اولیه	مدل دوگانه مشابه openEHR	مدل انتزاعی Instance Constraint
نقش قالب	یک سند نهایی	یک پایگاه داده فعال	یک استاندارد تبادل	یک زبان مدل سازی
انعطاف پذیری	متوسط و توسط الگوها محدود شده	بسیار بالا و به کمک نمونه اولیه	بالا ، مشابه openEHR	بالا ، مستقل از پلتفرم
تمرکز بر معناسناسی	متوسط، از طریق کدگذاری با واژه نامه هایی مانند SNOMED	بالا، معنا در خود نمونه اولیه ها تعبیه شده	بالا	بالا

جدول (۱): مقایسه استانداردهای رایج در هستی شناسی حوزه سلامت



۲-۲ استانداردهای سلامت دیجیتال و نقش معنایی آن‌ها

پژوهش‌های اخیر بر هم‌ترازی و تلفیق استانداردهای سلامت دیجیتال با هدف افزایش تبادل پذیری معناشناختی تمرکز کرده‌اند. استانداردهایی مانند openEHR¹⁹، منابع تبادل پذیر سریع اطلاعات سلامت²⁰ و ISO EN13606²⁰ با معماری دو سطحی و امکان تعریف نمونه اولیه‌ها، پتانسیل بالایی برای تبدیل داده‌های ساختاری به نمایه‌های هستی شناسیک قابل استنتاج دارد [۵]. این ویژگی امکان اشتراک گذاری معناشناختی داده‌ها را فراهم می‌کند. [1,4]

استانداردهای سلامت دیجیتال مجموعه‌ای از چارچوب‌ها، مدل‌ها و قواعد فنی و مفهومی هستند که با هدف یکسان سازی نحوه تولید، ذخیره، تبادل و تفسیر اطلاعات سلامت طراحی شده‌اند. این استانداردها نقش اساسی در توسعه سامانه‌های اطلاعات سلامت، پرونده الکترونیک سلامت و تعامل پذیری بین سامانه‌های مختلف ایفا می‌کنند. از مهم‌ترین استانداردهای سلامت دیجیتال می‌توان به HL7، FHIR، openEHR، DICOM، ICD و SNOMED CT اشاره کرد که هر کدام بخشی از چرخه اطلاعات سلامت را پوشش می‌دهند.

نقش معنایی استانداردهای سلامت دیجیتال به تولدایی آن‌ها در حفظ و انتقال «معنای بالینی داده‌ها» بین سامانه‌های ناهمگون مربوط می‌شود. تعامل پذیری معنایی زمانی محقق می‌شود که اطلاعات مبادله شده نه تنها از نظر ساختار، بلکه از نظر مفهوم نیز به درستی درک و تفسیر شوند. برای دستیابی به این هدف، استانداردها از واژگان و اصطلاحات بالینی کنترل شده، مدل‌های مفهومی و ساختارهای داده مشخص استفاده می‌کنند.

استانداردهایی مانند SNOMED CT و ICD نقش کلیدی در لایه معنایی دارند، زیرا مفاهیم پزشکی را به صورت کدگذاری شده و استاندارد تعریف می‌کنند. در مقابل، استانداردهایی نظیر HL7 FHIR و openEHR با فراهم سازی مدل‌های اطلاعاتی و چارچوب‌های ساخت یافته، امکان پیاده سازی عملی این مفاهیم معنایی را در سامانه‌های نرم افزاری فراهم می‌سازند. ترکیب این استانداردها موجب می‌شود داده‌های بالینی به صورت دقیق، قابل مقایسه و قابل استفاده مجدد ثبت و تبادل شوند.

اهمیت نقش معنایی استانداردهای سلامت دیجیتال در بهبود کیفیت مراقبت، کاهش خطاهای بالینی، پشتیبانی از تصمیم گیری بالینی و تسهیل پژوهش‌های سلامت قابل توجه است. این استانداردها با ایجاد زبان مشترک میان متخصصان بالینی، سامانه‌های اطلاعاتی و سازمان‌های سلامت، زیرساختی ضروری برای تحقق سلامت دیجیتال هوشمند و مبتنی بر داده فراهم می‌کنند.

هم راستایی²¹ SNOMED International با openEHR در سال ۲۰۲۵ نشان می‌دهد که هم راستایی اصطلاحات استاندارد و مدل‌های بالینی فرصت‌های گسترده‌ای برای تبادل پذیری معناشناختی ایجاد کرده است [۲]. تلفیق openEHR با FHIR زیرساخت مؤثری برای تعامل میان سیستم‌های سلامت فراهم می‌کند. [9]

¹⁹ Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR)

²⁰ یک استاندارد بین‌المللی برای تبادل اطلاعات سلامت الکترونیک است

²¹ یک استاندارد بین‌المللی برای اصطلاحات و کدگذاری بالینی است



۲.۳ اصطلاح‌شناسی بالینی و هستی‌شناسی‌های بالینی

اصطلاح‌شناسی بالینی^{۲۲} ها و هستی‌شناسی‌های حرفه‌ای مانند SNOMED CT^{۲۳} و LOINC^{۲۴} ستون‌های تبادل‌پذیری معناشناختی هستند [۴,۱۱]. یکپارچه‌سازی آن‌ها با مدل‌های ساختاری، پوشش مفهومی و توان استنتاج را افزایش می‌دهد [۱۷]. اختلاف دانه‌بندی میان اصطلاح‌شناسی بالینی^{۲۵} ها و نمونه اولیه‌ها نگاشت مستقیم را پیچیده می‌کند [۴,۱۷] و نیازمند روش‌های میانجی مانند مدل‌های میانجی معنایی، تحلیل داده‌های متنی بالینی با استفاده از پردازش زبان طبیعی^{۲۶} و یادگیری ماشین است. [8,14]

۲.۴ تلاش‌های پژوهشی در تبدیل نمونه اولیه به زبان هستی‌شناسی وب

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که حفظ قیود زبان تعریف الگوهای بالینی و تضمین سازگاری معنایی از چالش‌های اصلی در تبدیل به هستی‌شناسی است [۶,۷]. چارچوب‌های هستی‌شناسیک با پشتیبانی موتور استنتاج‌ها توانایی شناسایی روابط ضمنی و استخراج دانش جدید را دارند [۱,۱۴,۱۹]. استفاده از گراف‌های دانش و نمایش برداری عملکرد و دقت تبادل‌پذیری معناشناختی را بهبود می‌بخشد و مفاهیم پیچیده بالینی را بهتر بازنمایی می‌کند. [10,12]

تبدیل نمونه‌های اولیه بالینی به زبان هستی‌شناسی وب یکی از محورهای مهم پژوهشی در حوزه انفورماتیک سلامت و تعامل‌پذیری معنایی محسوب می‌شود. نمونه‌های اولیه که در معماری‌هایی مانند openEHR تعریف می‌شوند، ابزارهایی برای مدل‌سازی دقیق مفاهیم بالینی هستند و دانش بالینی را به صورت ساخت‌یافته و مستقل از پیاده‌سازی فنی نمایش می‌دهند. با این حال، این مدل‌ها به طور مستقیم قابلیت بهره‌برداری در محیط وب معنایی و سامانه‌های مبتنی بر دانش را ندارند، که همین مسئله پژوهشگران را به سمت تبدیل آن‌ها به زبان‌های هستی‌شناسی وب سوق داده است.

در این تلاش‌های پژوهشی، زبان‌هایی مانند OWL و RDF به عنوان ابزارهای اصلی وب معنایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف اصلی از این تبدیل، ایجاد نمایش صریح و قابل استنتاج از مفاهیم، روابط و محدودیت‌های موجود در نمونه‌های اولیه است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که با نگاشت عناصر ساختاری نمونه‌های اولیه به کلاس‌ها، ویژگی‌ها و قیود هستی‌شناسی کی، می‌توان امکان استدلال معنایی، کشف دانش و یکپارچه‌سازی داده‌های ناهمگون را فراهم کرد.

یکی از چالش‌های اصلی در این مسیر، حفظ دقت معنایی و محدودیت‌های بالینی تعریف‌شده در نمونه‌های اولیه است. برخی مطالعات بر ارائه چارچوب‌های نگاشت نیمه‌خودکار تمرکز دارند که بتوانند ساختارهای پیچیده، قیود منطقی و وابستگی‌های مفهومی را بدون از دست رفتن معنا به هستی‌شناسی تبدیل کنند. همچنین، هم‌ترازی هستی‌شناسی‌های حاصل با واژگان بالینی استاندارد مانند نام‌گذاری نظام‌مند پزشکی — اصطلاحات بالینی از دیگر موضوعات مهم پژوهشی به‌شمار می‌رود.

نتایج این تلاش‌ها نشان می‌دهد که تبدیل نمونه‌های اولیه به زبان هستی‌شناسی وب می‌تواند نقش مؤثری در افزایش تعامل‌پذیری معنایی، پشتیبانی از سیستم‌های تصمیم‌یار بالینی و توسعه سامانه‌های هوشمند سلامت ایفا کند. این

²² Terminology

²³ Systematized Nomenclature of Medicine – Clinical Terms

²⁴ Logical Observation Identifiers Names and Codes

²⁵ terminology

²⁶ Natural Language Processing (NLP)

رویکرد، پلی میان مدل سازی بالینی و فناوری های وب معنایی ایجاد کرده و زمینه ساز استفاده پیشرفته تر از داده های سلامت در مقیاس گسترده می شود.

۲.۵ لایه های معماری

معماری لایه ای یکی از رویکردهای بنیادین در طراحی سامانه های اطلاعاتی و نرم افزاری است که با هدف کاهش پیچیدگی، افزایش انعطاف پذیری و بهبود نگهداشت پذیری سیستم ها به کار می رود. در این معماری، سامانه به چند لایه مجزا تقسیم می شود که هر لایه مسئولیت مشخصی داشته و از طریق رابط های تعریف شده با لایه های دیگر تعامل می کند. این جداسازی باعث می شود تغییرات در یک لایه، کمترین تأثیر را بر سایر لایه ها داشته باشد. یکی از متداول ترین انواع معماری لایه ای، معماری سه لایه شامل لایه ارائه، لایه منطق کاربردی و لایه داده است. لایه ارائه مسئول تعامل با کاربر و نمایش اطلاعات است و شامل رابط های کاربری و ابزارهای ورودی و خروجی می شود. لایه منطق کاربردی، قوانین کسب و کار، پردازش ها و تصمیم گیری های اصلی سامانه را مدیریت می کند و نقش واسطه بین لایه ارائه و لایه داده را دارد. لایه داده نیز وظیفه ذخیره، بازیابی و مدیریت داده ها را بر عهده دارد و معمولاً شامل پایگاه های داده و سازوکارهای دسترسی به آن ها است.

در حوزه سامانه های سلامت دیجیتال، معماری لایه ای شکل پیشرفته تری به خود می گیرد. به عنوان مثال، در معماری openEHR از تفکیک لایه مدل مرجع و لایه دانش بالینی استفاده می شود که منجر به جداسازی دانش پزشکی از پیاده سازی فنی می گردد. این رویکرد امکان به روزرسانی دانش بالینی بدون تغییر در زیرساخت نرم افزاری را فراهم می کند. مزایای معماری لایه ای شامل افزایش مقیاس پذیری، سهولت توسعه تیمی، بهبود امنیت و قابلیت آزمون پذیری است. با این حال، طراحی نادرست لایه ها می تواند باعث کاهش کارایی یا افزایش پیچیدگی ارتباطات شود. در مجموع، معماری لایه ای به عنوان یک الگوی ساخت یافته و استاندارد، نقش مهمی در توسعه سامانه های پیچیده و پایدار، به ویژه در حوزه سلامت و سیستم های اطلاعاتی بزرگ، ایفا می کند.

۲.۵.۱ لایه های معماری openEHR

معماری openEHR شامل چهار لایه اصلی است:

الف) مدل مرجع: مدل مرجع، کلاس های پایه ای و عمومی برای ذخیره سازی هر نوع اطلاعات سلامت را فراهم می کند. این مدل شامل پکیج های اصلی زیر است:

- کلاس های مشترک^{۲۷} مانند LOCATABLE، نمونه اولیه D
- ساختارهای داده ای^{۲۸} مانند ITEM_TREE، ITEM_LIST، ITEM_TABLE
- انواع داده ای^{۲۹} مانند DV_TEXT، DV_CODED_TEXT، DV_QUANTITY
- ساختار پرونده الکترونیک شامل ENTRY، SECTION، COMPOSITION
- کلاس های پشتیبانی مانند CODE_PHRASE، TERMINOLOGY_ID

مدل مرجع openEHR در سال ۲۰۲۰ به نسخه ۱.۱ به روزرسانی شد و ویژگی های جدیدی مانند پشتیبانی از اطلاعات ژنومیک و ساختارهای داده ای پیچیده تر را اضافه کرد.

²⁷ Common

²⁸ Data Structures

²⁹ Data Types

(ب) مدل نمونه اولیه : این لایه ساختار و معناشناسی نمونه اولیه را تعریف می کند.
(پ) الگوها : نمونه اولیه مختلف را ترکیب کرده و برای سناریوهای بالینی خاص تخصیص می دهند . آنها محدودیت های بیشتری اعمال کرده و فیلدهای اختیاری را اجباری می کنند.
(ت) لایه اصطلاح شناسی³⁰: این لایه یکپارچه سازی با استاندارد مانند SNOMED CT ، LOINC و ICD را فراهم می کند.

۲.۶ زبان تعریف نمونه اولیه زبان تعریف الگوهای بالینی

زبان تعریف الگوهای بالینی³¹ زبانی رسمی برای تعریف نمونه اولیه است که در سال ۲۰۱۶ به نسخه ۲ ارتقا یافت. نمونه های اولیه با استفاده از ADL ، مفاهیم بالینی مستقل از نرم افزار و پایگاه داده را مدل می کنند و باعث جداسازی دانش بالینی از پیاده سازی فنی می شوند. این ویژگی موجب افزایش قابلیت استفاده مجدد، نگهداشت پذیری و سازگاری سیستم های اطلاعات سلامت می گردد. همچنین، استفاده از اصطلاحات استاندارد پزشکی در نمونه های اولیه، تبادل معنایی دقیق اطلاعات را بین سامانه های مختلف تضمین می کند. ویژگی های کلیدی زبان تعریف الگوهای بالینی عبارتند از:

الف. محدودیت های ساختاری : محدودیت های ساختاری به قواعدی گفته می شود که چارچوب، سازمان دهی و روابط اجزای داده بالینی را مشخص می کنند. این محدودیت ها شامل نوع عناصر، ترتیب آن ها، تعداد تکرار، الزامی یا اختیاری بودن اجزا و نحوه تو در تو شدن ساختارها است و از ناسازگاری داده جلوگیری می کند.

ب. محدودیت های اصطلاح شناسی : محدودیت های اصطلاح شناسی به قیودی گفته می شود که مقادیر داده های بالینی را به مفاهیم مشخص از نظام های واژگانی استاندارد محدود می کنند. این محدودیت ها تعیین می کنند که از چه کدها یا اصطلاحاتی مانند S نام گذاری نظام مند پزشکی یا طبقه بندی بین المللی بیماری ها می توان استفاده کرد و بدین وسیله یکنواختی معنایی و تفسیر صحیح داده ها تضمین می شود.

پ. تخصصی سازی : امکان ایجاد نمونه اولیه تخصصی تر از نمونه اولیه عمومی. به عنوان مثال، نمونه اولیه "فشار خون در بارداری" می تواند از نمونه اولیه عمومی "فشار خون" تخصصی سازی شود.

ج. اسلات ها : نقاط قابل گسترش برای درج نمونه اولیه دیگر

۲.۷ چالش ها و راهکارهای پیش رو

بازنمایی کامل قیود زبان تعریف الگوهای بالینی و پیچیدگی معنایی داده ها چالش اصلی است [۶,۷,۸]. تقسیم هستی شناسی به ماژولار^{۳۲} و زیرهستی شناسی ها باعث افزایش مقیاس پذیری و عملکرد استنتاج می شود [۶,۱۳]. هم راستایی با استانداردهای دیگر و اصطلاح شناسی های گسترده نیز نیازمند طراحی معماری انعطاف پذیر است. [9,18]

۲.۸ پیشرفت های عملی و کاربردی

چارچوب های عملی برای تبدیل نمونه اولیه ها به زبان هستی شناسی وب^{۳۳} کیفیت معناشناسی داده ها را افزایش داده و امکان استخراج روابط ضمنی، پرس وجوهای پیچیده و پشتیبانی تصمیم بالینی هوشمند را فراهم می کنند [۶,۷,۱۵]. ترکیب هستی شناسی ها با گراف های دانش و نمایش برداری امکان توسعه دیجیتال تو این ها و تحلیل های پیش بینی را فراهم می کند. [10,11,12]

³⁰ Terminology

³¹ Archetype Definition Language(ADL)

³² modular

³³ Web Ontology Language(OWL)

۲.۹ جمع بندی پیشینه

تبدیل سیستماتیک نمونه اولیه های openEHR به زبان هستی شناسی وب پایه ای برای ارتقای تبادل پذیری معناشناختی، یکپارچه سازی میان استاندارد و توسعه سامانه های هوشمند سلامت دیجیتال فراهم می کند [۱،۲،۴،۶،۹،۱۹]. چالش هایی همچنان وجود دارند که پژوهش های آینده باید بر مدیریت قیود پیچیده، مقیاس پذیری موتور استنتاج ها و هم راستایی با اصطلاح شناسی ها^{۳۴} تمرکز کنند. [6,8,17,18]

۳. بررسی رویکرد سیستماتیک برای تبدیل نمونه اولیه های openEHR به زبان هستی شناسی وب

جدول مقایسه دو روش کلی بررسی عملکرد سیستماتیک

ویژگی	روش مستقیم	روش غیرمستقیم
تمرکز	روی ساخت و توسعه خود استاندارد	روی استفاده از استاندارد برای یک هدف دیگر
مخاطب	معماران داده سلامت، توسعه دهندگان هسته سیستم ها	پژوهشگران هوش مصنوعی، توسعه دهندگان اپلیکیشن، مهندسان یکپارچه سازی
مهارت مورد نیاز	تسلط عمیق بر مفاهیم openEHR	تسلط بر حوزه هدف
خروجی	نمونه اولیه الگوی جدید، سرور openEHR، ابزار توسعه	مدل هوش مصنوعی، اپلیکیشن، سرویس یکپارچه سازی، همترازی استانداردها

جدول (۲): دو روش کلی بررسی عملکرد سیستماتیک

۳.۱ اهمیت معناشناسی و جایگاه زبان هستی شناسی وب^{۳۵}

تبادل پذیری معناشناختی به معنای توانایی سیستم ها در تبادل و درک داده ها بدون ابهام است. [1,4] زبان هستی شناسی وب امکان نمایش مفاهیم پیچیده، روابط چندلایه و قیود معنایی را فراهم می کند. [6,8] موتور استنتاج ها روابط ضمنی را شناسایی و دانش جدید استخراج می کنند. [14,19]

معناشناسی در سلامت دیجیتال از آن جهت است که داده های بالینی پیچیده، ناهمگون و گسترده هستند و عدم هماهنگی معنایی می تواند منجر به خطاهای پزشکی، تصمیم گیری نادرست و کاهش کیفیت مراقبت شود. تحقق تعامل پذیری معنایی، کاهش ناسازگاری داده ها و ارتقای قابلیت استفاده مجدد اطلاعات تنها از طریق استانداردهای معناشناختی و مدل های مفهومی امکان پذیر است.

³⁴ terminology

³⁵ Web Ontology Language (OWL)

در این زمینه، زبان‌های هستی‌شناسی وب مانند OWL و RDF نقش محوری دارند. این زبان‌ها امکان نمایش صریح مفاهیم، روابط و قیود موجود در داده‌ها را به صورت قابل استنتاج و قابل پردازش توسط ماشین فراهم می‌کنند. با استفاده از هستی‌شناسی های وب، مفاهیم بالینی می‌توانند به کلاس‌ها، ویژگی‌ها و قیود منطقی نگاشت شوند و استدلال‌های خودکار، تشخیص ناسازگاری‌ها و استخراج دانش جدید از داده‌ها ممکن شود.

جایگاه زبان هستی‌شناسی وب در سامانه‌های سلامت دیجیتال بسیار ویژه است، زیرا پل ارتباطی میان دانش بالینی و فناوری‌های پردازش داده‌های هوشمند ایجاد می‌کند. این زبان‌ها امکان توسعه سیستم‌های تصمیم‌یار بالینی، پژوهش‌های سلامت مبتنی بر داده و یکپارچه‌سازی اطلاعات ناهمگون را فراهم می‌سازند. علاوه بر این، استفاده از استانداردهای معنایی موجب ارتقای قابلیت همکاری بین سامانه‌های مختلف، بهبود کیفیت مراقبت و کاهش هزینه‌ها می‌شود.

در مجموع، معناشناسی و زبان هستی‌شناسی وب به‌عنوان زیرساختی حیاتی برای مدیریت دانش بالینی، پشتیبانی از تصمیم‌گیری هوشمند و تحقق سلامت دیجیتال پیشرفته شناخته می‌شوند و نقش کلیدی در ایجاد سامانه‌های یکپارچه و هوشمند دارند.

۳.۲ نگاشت ساختاری و پوشش قیود زبان تعریف الگوهای بالینی

نگاشت ساختاری و پوشش قیود در زبان تعریف الگوهای بالینی نقش محوری در تبدیل مفاهیم بالینی به قالب‌های قابل استفاده در سامانه‌های اطلاعات سلامت دارد. نگاشت ساختاری به معنای تعیین چگونگی سازمان‌دهی و ارتباط عناصر داده‌ای موجود در نمونه‌های اولیه به‌صورت سلسله‌مراتبی و ساخت‌یافته در قالب الگو است. این فرآیند تضمین می‌کند که داده‌های بالینی با حفظ ترتیب، سلسله‌مراتب و روابط منطقی بین عناصر، به درستی در فرم‌ها یا سیستم‌های نرم‌افزاری پیاده‌سازی شوند.

پوشش قیود، بخش دیگری از زبان تعریف الگوهای بالینی است که محدودیت‌های مرتبط با ساختار و محتوا را اعمال می‌کند. این قیود شامل الزامی یا اختیاری بودن داده‌ها، تعداد تکرار عناصر، محدوده مقادیر، نوع داده‌ها و نگاشت به واژگان استاندارد می‌شوند. با اعمال این قیود، هم یکنواختی داده‌ها حفظ می‌شود و هم تفسیر معنایی آن‌ها در سامانه‌های مختلف تضمین می‌گردد.

چالش اصلی، بازنمایی کامل قیود زبان تعریف الگوهای بالینی است [۵،۶]. نگاشت صریح میان کلاس‌ها، روابط و قیود زبان تعریف الگوهای بالینی و محدودیت‌های زبان هستی‌شناسی وب تعریف شد و قیود پیچیده با برچسب‌گذاری‌ها مدیریت شدند [۶،۸].

۳.۳ سازگاری منطقی و استنتاج معنایی

سازگاری منطقی و استنتاج معنایی از مفاهیم بنیادین در مدیریت داده‌های سلامت و طراحی سامانه‌های بالینی پیشرفته هستند. سازگاری منطقی به معنای تضمین عدم وجود تضاد یا ناسازگاری در مجموعه داده‌ها و مدل‌های بالینی است، به‌طوری که تمام قواعد و محدودیت‌های تعریف‌شده در نمونه‌های اولیه یا الگوهای بالینی همزمان قابل اعمال باشند. این سازگاری باعث می‌شود که داده‌ها از نظر منطقی قابل اعتماد بوده و پردازش‌های بعدی مانند تحلیل، گزارش‌گیری و تصمیم‌گیری بالینی مبتنی بر آن‌ها دقیق باشد.

³⁶ Archetype Definition Language



استنتاج معنایی فرآیندی است که طی آن اطلاعات موجود در داده‌ها و روابط تعریف‌شده در مدل‌ها یا هستی‌شناسی‌ها مورد تحلیل قرار گرفته و دانش جدید استخراج می‌شود. با استفاده از زبان‌های هستی‌شناسی وب مانند OWL، مفاهیم بالینی و روابط آن‌ها می‌توانند به صورت قابل پردازش توسط ماشین نمایش داده شوند و سیستم قادر باشد به صورت خودکار نتیجه‌گیری کند، ناسازگاری‌ها را شناسایی کند یا پیشنهادات بالینی ارائه دهد. هستی‌شناسی بررسی شده از نظر منطقی سازگار است و موتور استنتاج‌ها می‌تواند بررسی کند یک دانش جدید را [۶،۱۴]. استفاده از زبان پرس‌وجوی امکان تحلیل‌های پیچیده را فراهم می‌کند. [14,15]

۳.۴ مقیاس‌پذیری و عملکرد

مقیاس‌پذیری به توانایی سامانه در پاسخگویی مؤثر به افزایش حجم داده‌ها، تعداد کاربران یا پیچیدگی پردازش‌ها اشاره دارد، به طوری که با رشد نیازهای عملیاتی، کیفیت خدمات کاهش نیابد. سامانه‌های مقیاس‌پذیر امکان افزودن منابع محاسباتی، گسترش پایگاه داده‌ها و مدیریت بارهای کاری بالا را بدون نیاز به بازطراحی کامل فراهم می‌کنند. عملکرد نشان‌دهنده سرعت و کارایی سامانه در پردازش داده‌ها، واکنش به درخواست کاربران و اجرای عملیات پیچیده است. در حوزه سلامت دیجیتال، عملکرد بالا اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا تصمیم‌گیری بالینی و ارائه مراقبت به موقع به اطلاعات دقیق و به‌هنگام وابسته است. عوامل مؤثر بر عملکرد شامل طراحی ساختاری بهینه، الگوریتم‌های پردازش کارآمد، مدیریت مؤثر پایگاه داده و کاهش تأخیر در تبادل داده‌ها هستند. ارتباط نزدیک میان مقیاس‌پذیری و عملکرد باعث می‌شود که سامانه‌های سلامت بتوانند با رشد حجم داده‌های بالینی، افزایش کاربران و توسعه خدمات دیجیتال، پاسخگوی نیازهای بالینی و پژوهشی باشند. طراحی بهینه این دو ویژگی، تضمین می‌کند که سامانه نه تنها پایدار و قابل اعتماد باشد، بلکه در شرایط عملیاتی شدید نیز کیفیت خدمات و سرعت پردازش را حفظ کند، که برای حفظ امنیت بیمار و بهبود کیفیت مراقبت بالینی حیاتی است. با افزایش حجم داده‌ها، مازول‌بندی و تقسیم هستی‌شناسی به زیرهستی‌شناسی‌ها عملکرد و سرعت پردازش بهبود می‌یابد [۶،۱۳]. ابزارهای بهینه موتور استنتاج‌ها نیز می‌تواند کیفیت عملکرد را بهبود بخشد. [6,10,12]

۳.۵ تطبیق با استانداردها و یکپارچه‌سازی میان‌استانداردی

تطبیق با استانداردها به معنای رعایت چارچوب‌ها، مدل‌های داده و واژگان بالینی مورد تأیید مانند HL7³⁷، FHIR³⁸، openEHR^{۴۰}، SNOMED CT^{۴۱} و ICD⁴¹ است تا داده‌های بالینی به صورت یکپارچه، دقیق و قابل تبادل ثبت شوند. این تطبیق تضمین می‌کند که اطلاعات سلامت در سامانه‌های مختلف با کمترین خطا و ناسازگاری منتقل و تفسیر شوند.

یکپارچه‌سازی میان‌استانداردی فرآیندی است که امکان تعامل و تبادل داده‌ها بین سامانه‌هایی با استانداردهای متفاوت را فراهم می‌کند. با استفاده از نگاشت داده‌ها، هستی‌شناسی‌ها و چارچوب‌های ترجمه معنایی، داده‌های بالینی می‌توانند بدون از دست رفتن معنا و صحت اطلاعات، بین محیط‌های مختلف به اشتراک گذاشته شوند. این رویکرد باعث

³⁷ استاندارد تبادل اطلاعات سلامت سطح هفت

³⁸ چارچوب مبادله سریع اطلاعات سلامت

³⁹ استاندارد مدل‌سازی و ذخیره‌سازی پرونده الکترونیک سلامت

^{۴۰} نام‌گذاری نظام‌مند پزشکی

⁴¹ طبقه‌بندی بین‌المللی بیماری‌ها

افزایش تعامل پذیری، کاهش خطاهای بالینی و تسهیل تصمیم گیری و پژوهش های سلامت مبتنی بر داده می شود، و نقش مهمی در تحقق سلامت دیجیتال یکپارچه ایفا می کند. معماری بررسی شده امکان نگاشت به منابع تبادل پذیر سریع اطلاعات سلامت و سازمان بین المللی استاندارد سازی و یکپارچه سازی با اصطلاح شناسی گسترده را فراهم می کند. [9,18]

۳.۶ مزایای عملی و کاربردی

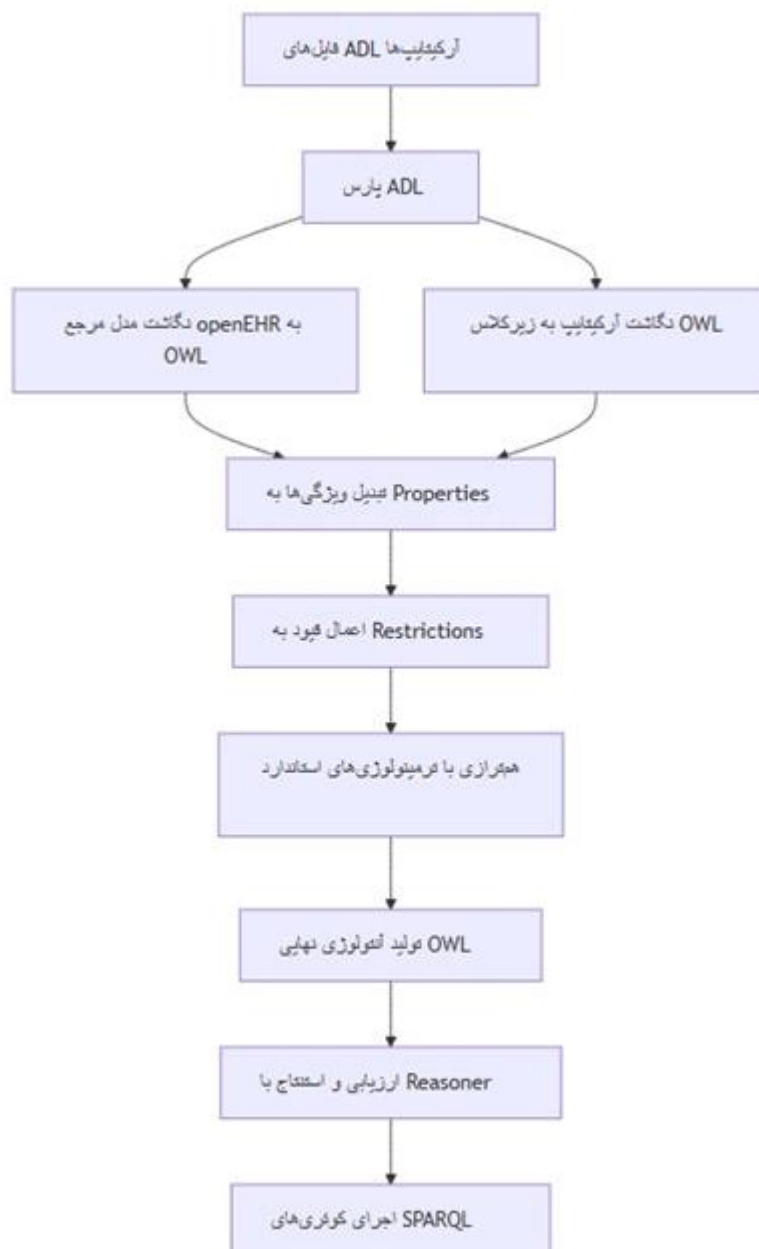
هستی شناسی بررسی شده کیفیت معنا شناسی داده ها را بهبود می بخشد، امکان استنتاج و تحلیل های پیچیده را فراهم می کند [۶،۱۴]. طراحی ماژول موجب مقیاس پذیری و یکپارچه سازی میان استاندارد می شود. [6,13,20]

۳.۷ چشم انداز و کاربردهای آینده

سامانه ها و استانداردهای سلامت دیجیتال شامل بهبود کیفیت مراقبت، افزایش دقت و یکپارچگی داده های بالینی، کاهش خطاهای پزشکی و تسهیل تصمیم گیری بالینی است. استفاده از نمونه های اولیه، الگوهای بالینی و آنتولوژی ها، امکان ثبت، ذخیره و تبادل اطلاعات به صورت ساخت یافته و استاندارد را فراهم می کند. این مزایا علاوه بر پشتیبانی از پژوهش های سلامت مبتنی بر داده، موجب افزایش تعامل پذیری بین سامانه ها، ارتقای بهره وری و کاهش هزینه های عملیاتی می شوند و زیرساختی مطمئن برای توسعه سامانه های هوشمند و مبتنی بر دانش در محیط های بالینی ایجاد می کنند. ترکیب openEHR و زبان هستی شناسی وب زیرساختی برای توسعه سامانه های هوشمند، گراف های دانش و تحلیل های پیش بینی فراهم می کند [۱۰،۱۹،۲۰]. پژوهش های آینده می تواند بر مدیریت قیود پیچیده و مقیاس پذیری تمرکز بیشتری داشته باشند. [6,8,17]

رویکرد سیستماتیک بررسی شده، بازنمایی معنا ساختی داده ها را تقویت، توانایی استنتاج را افزایش و امکان یکپارچه سازی میان استاندارد را فراهم می کند. [6,10,12,19,20]

مراحل اصلی این فرآیند به صورت گرافیکی در شکل زیر نمایش داده شده است:



نمودار (۲): مراحل رویکرد سیستماتیک برای تبدیل نمونه اولیه های openEHR به زبان هستی شناسی وب



۴. نتیجه گیری

با بررسی تحقیق انجام شده مشخص شد که تبدیل سیستماتیک نمونه اولیه های openEHR به هستی شناسی های زبان هستی شناسی وب، ابزاری کارآمد برای تحقق تبادلی پذیر معناساختی در سلامت دیجیتال فراهم می کند. این فرآیند امکان بازنمایی دقیق دانش بالینی و حفظ سازگاری معنایی و ساختاری داده ها را فراهم می آورد و قابلیت استنتاج خودکار را افزایش می دهد. نگاشت صریح میان کلاس ها، روابط و قیود زبان تعریف الگوهای بالینی به مؤلفه های زبان هستی شناسی وب موجب می شود که داده های بالینی به شکل معناساختی غنی و قابل استنتاج تبدیل شوند و قابلیت استخراج دانش ضمنی فراهم گردد.

هستی شناسی بررسی شده توانایی شناسایی روابط پنهان میان مفاهیم بالینی را دارد و امکان استخراج دانش جدید از داده های موجود را فراهم می کند. استفاده از موتور استنتاج ها و پرس و جوهای پیچیده این امکان را ایجاد می کند که تحلیل های چندلایه و بررسی سناریوهای بالینی خاص انجام شود. این قابلیت ها، کاربرد عملی هستی شناسی ها را در محیط های بالینی و سیستم های سلامت دیجیتال هوشمند تضمین می کند.

یکی از مزیت های مهم این تحقیق، کمک گرفتن از طراحی ماژولار هستی شناسی است که با تقسیم بندی به زیرهستی شناسی ها، سعی می کند مقیاس پذیری و عملکرد استنتاج را بهبود بخشد. این تحقیق اجازه می دهد که با افزایش حجم داده های بالینی و تعداد نمونه اولیه ها، پیچیدگی محاسباتی مدیریت شده و سرعت پردازش حفظ شود. علاوه بر این، امکان تطبیق و یکپارچه سازی با استانداردهای دیگر سلامت دیجیتال فراهم شده است، که سطح تبادلی پذیر معناساختی را فراتر از یک مدل منفرد افزایش می دهد.

استفاده از این استاندارد امکان یکپارچه سازی داده های بالینی با استانداردهای متنوع و سیستم های اصطلاحی گسترده را فراهم می آورد و در نتیجه داده ها از نظر معناسازی غنی تر شده و قابلیت بهره برداری در تحلیل های پیشرفته و تصمیم گیری هوشمند افزایش می یابد. این قابلیت ها، زیرساخت لازم برای توسعه سامانه های دیجیتال تواین، تحلیل های پیش بینی و گراف های دانش پزشکی را ایجاد می کند.

چالش هایی مانند مدیریت قیود پیچیده، افزایش حجم داده ها و مقیاس پذیری موتور استنتاج ها همچنان وجود دارند و نیازمند پژوهش های آینده هستند. با این حال، چارچوب بررسی شده پایه ای مستحکم برای ارتقای کیفیت داده های بالینی، افزایش توانمندی استنتاج و توسعه سامانه های هوشمند سلامت دیجیتال فراهم می کند.

بنابراین رویکرد سیستماتیک تبدیل نمونه اولیه های openEHR به زبان هستی شناسی وب، امکان بهره برداری کامل از داده های بالینی را در محیط های هوشمند و میان استاندارد فراهم می کند. این تحقیق، با ارتقای، بهبود تحلیل های بالینی و پشتیبانی تصمیم هوشمند، مسیر توسعه سامانه های سلامت دیجیتال را تسهیل کرده و زمینه کاربرد هوش مصنوعی و تحلیل های پیش بینی را در حوزه سلامت فراهم می سازد.

این مطالعه نشان می دهد که تلفیق openEHR و وب معنایی، به عنوان یک زیرساخت کلیدی، می تواند داده های بالینی را از حالت صرفاً ساختاری به دانش قابل استنتاج تبدیل کند. چنین رویکردی، علاوه بر ارتقای کیفیت داده ها، موجب افزایش بهره وری سامانه های سلامت دیجیتال، تسهیل یکپارچه سازی میان استاندارد و ایجاد ظرفیت های تحلیل پیشرفته می شود.

در نهایت، این تحقیق پایه ای علمی و عملی برای پژوهش های آتی در زمینه بازنمایی معنایی داده های بالینی فراهم می آورد و نشان می دهد که استفاده از هستی شناسی های وب معنایی می تواند نقش محوری در توسعه سامانه های

هوشمند سلامت دیجیتال و تحقق اهداف تبادل پذیری معناساختی ایفا کند. ادامه توسعه و بهبود این رویکرد می تواند به ارتقای تصمیم گیری بالینی، تحلیل داده های جمعیتی و شبیه سازی های پزشکی پیشرفته منجر شود.

منابع:

1. S. Das, How ontology can be used to achieve تبادل پذیری معناساختی in healthcare, European Journal of Public Health, 2022. [OUP Academic](#)
2. SNOMED International, SNOMED International and openEHR collaborate to advance health data interoperability, 2025. [SNOMED International](#)
3. "Electronic Health Record and Semantic Issues Using Fast Healthcare Interoperability Resources: Systematic Mapping Review," PubMed, 2024. [PubMed](#)
4. Fouzia Amar et al., تبادل پذیری معناساختی of Electronic Health Records, JMIR Med Inform, 2024. [medinform.jmir.org](#)
5. openEHR Is FAIR-Enabling by Design, PubMed, 2023. [PubMed](#)
6. Semantic web-based ontology for cardiovascular knowledge representation, BMC Cardiovasc Disord, 2025. [اسپرینگرلینک](#)
7. Analecta Technica Szegedinensia, EHRs alternative approaches of تبادل پذیری معناساختی, 2025. [OUCI](#)
8. A Fuzzy Ontological Model for تبادل پذیری معناساختی, IJRIAS, 2025. [RSIS International](#)
9. FHIRconnect: Towards a seamless integration of openEHR and FHIR, arXiv, 2025. [arXiv](#)
10. Patient Medical Digital Twin semantic framework, arXiv, 2025. [arXiv](#)
11. CSSDH: An Ontology for Social Determinants of Health, arXiv, 2024. [arXiv](#)
12. NIRS: An Ontology for Non-Invasive Respiratory Support in Acute Care, arXiv, 2025. [arXiv](#)
13. Ontology Middleware for Integration of IoT Healthcare Information Systems, MDPI Computers, 2025. [MDPI](#)
14. Using Knowledge Graph Structures for EHR Data تبادل پذیری معناساختی, MDPI Information, 2022. [MDPI](#)
15. Three-layered semantic framework for public health intelligence, J Biomed Semantics, 2025. [SpringerLink](#)
16. Ontology-based framework for integrating biomedical knowledge in Wikidata, Heliyon, 2024. [ScienceDirect](#)
17. Toward Better تبادل پذیری معناساختی of Data Element Repositories in Medicine, JMIR Med Inform, 2024. [medinform.jmir.org](#)
18. Eos and OMOCL: openEHR to OMOP CDM integration, J Biomed Informatics, 2023. [ScienceDirect](#)
19. Ontologies as the semantic bridge between AI and healthcare, Frontiers in Digital Health, 2025. [Frontiers](#)
20. A semantic and ontology-based framework for enhancing interoperability in IoT, Discover Internet of Things, 2025. [اسپرینگرلینک](#)