

مقاله مروری

پتانسیل ابزارهای مختلف هوش مصنوعی در تشخیص زودهنگام اپیدمی‌ها: ارزیابی تطبیقی

سامانه‌های بین‌المللی و راهکارهای بومی‌سازی با استفاده از یک مطالعه مروری

سید علی موسوی^۱، قباد مرادی^۲، میثم آشناس جامی^۱، الهام نوری^۱، عاطفه زاهدی^۱، یوسف مرادی^۳

۱- گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

۲- استاد اپیدمیولوژی، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت پژوهشکده توسعه سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

۳- دانشیار اپیدمیولوژی، مرکز تحقیقات سلامت سنجی و ارزشیابی، پژوهشکده توسعه سلامت دانشگاه علوم پزشکی کردستان، سنندج، ایران

DOI: [10.18502/ijre.v22i2.22728](https://doi.org/10.18502/ijre.v22i2.22728)

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۴/۰۸	مقدمه و اهداف: هوش مصنوعی (AI) در سال‌های اخیر به‌عنوان یک فناوری تحول‌آفرین در نظام مراقبت بیماری‌ها مطرح شده و ظرفیت قابل‌توجهی برای ارتقای تشخیص زودهنگام طغیان‌ها فراهم کرده است. این مطالعه با رویکرد مرور منابع علمی، با هدف شناسایی، مقایسه و ارزیابی تطبیقی ابزارهای بین‌المللی مبتنی بر هوش مصنوعی و بررسی امکان بومی‌سازی آن‌ها در نظام سلامت ایران انجام شد.
تاریخ پذیرش ۱۴۰۵/۰۵/۰۷	روش کار: منابع علمی و گزارش‌های ملی و بین‌المللی با تمرکز بر سامانه‌های فعال هشدار زودهنگام جست‌وجو و استخراج شدند. ابزارها بر اساس نوع داده‌های ورودی، روش تحلیل، سرعت تشخیص، قابلیت ادغام با سامانه‌های ملی و الزامات زیرساختی ارزیابی شدند.
نویسنده رابط یوسف مرادی	یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد که با وجود سامانه‌های الکترونیک ثبت داده‌های سلامت (سیب، سینا، ناب)، فقدان یک بستر یکپارچه ملی با قابلیت پردازش بلادرنگ و تحلیل هوشمند همچنان یک چالش اساسی است. در میان ابزارهای بررسی‌شده، HealthMap به دلیل اتکا بر داده‌های آزاد، معماری انعطاف‌پذیر و قابلیت انطباق با زیرساخت‌های موجود، به‌عنوان الگوی مناسب‌تری برای توسعه سامانه‌های ملی پیشنهاد می‌شود. همچنین، بیماری‌هایی مانند سل، HIV، کووید-۱۹ و آنفلوآنزا، به دلیل برخورداری از نظام مراقبت ساختاریافته‌تر، گزینه‌های مناسب برای اجرای پایلوت‌های ملی تشخیص زودهنگام هستند.
ایمیل نویسنده رابط yousefmoradi211@yahoo.com	نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه بر ضرورت انطباق فناوری‌های هوش مصنوعی با نیازهای بومی، ظرفیت‌های داده‌ای و الزامات اپیدمیولوژیک کشور تأکید دارد و نشان می‌دهد توسعه یک سامانه هشدار زودهنگام هوشمند می‌تواند نقش مهمی در ارتقای کارایی نظام مراقبت بیماری‌ها ایفا کند.
نشانی نویسنده رابط گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان، بلوار پاسداران، سنندج، ایران. کدپستی ۶۶۱۸۶۳۴۶۸۳	
واژگان کلیدی: هوش مصنوعی، مراقبت، طغیان بیماری‌ها	

مقدمه

اپیدمی بیماری‌های نوظهور و بازپدید، امروزه از بزرگترین تهدیدات برای امنیت بهداشت عمومی در همه‌ی کشورهای دنیا از جمله کشورهای منطقه مدیترانه شرقی محسوب می‌شوند (۱) اغلب این اپیدمی‌ها دارای الگوهای منظم و جرخه‌ای هستند (۲)، که فراوانی آن در سه دهه گذشته افزایش چشمگیری نیز داشته است و پیش‌بینی می‌شود که این افزایش ادامه یابد (۳). پاسخ سریع و مؤثر به طغیان‌ها برای محافظت از سلامت

عمومی و به حداقل رساندن گسترش بیماری حیاتی است

(۴). این امر تا حد زیادی به کارآمدی نظام‌های مراقبت بهداشت عمومی وابسته است، یک نظام مراقبت چابک می‌تواند از تشدید یک طغیان در سطح محلی جلوگیری کرده و به طور بالقوه مانع از یک پاندمی شود. با وجود پیشرفت‌های فراوان در زمینه نظام‌های مراقبت، دستاوردهای کنونی برای مقابله مؤثر با تهدیدات فزاینده بیماری‌های عفونی کافی نبوده و نیازمند بروزرسانی و سازگاری مداوم سیستم‌های مراقبت در تمام سطوح

انجام شد. در این راستا، ضمن بررسی ویژگی‌ها، نقاط قوت و محدودیت‌های ابزارهای جهانی، راهکارهایی برای انتخاب و استقرار سامانه‌های مناسب در کشور ارائه می‌شود تا امکان توسعه یک چارچوب عملیاتی سازگار با شرایط اپیدمیولوژیک و زیرساخت‌های داده‌ای ایران فراهم گردد.

روش کار

این پژوهش یک مطالعه مروری است که با هدف توصیف و تحلیل ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی در تشخیص زودهنگام طغیان بیماری‌های عفونی انجام شد. در این نوع مطالعه، تمرکز بر ترکیب مفهومی و تحلیل انتقادی شواهد موجود بود و بر اجرای یک فرایند نظام‌مند و جستجوی دقیق منابع اطلاعاتی بین‌المللی تمرکز نداشته است.

راهبرد جست‌وجو

برای گردآوری شواهد، جست‌وجوی هدفمند در پایگاه‌های PubMed و Google Scholar انجام شد. کلیدواژه‌ها بر اساس مفاهیم اصلی پژوهش شامل هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، تشخیص طغیان، و بیماری‌های عفونی انتخاب شدند. در مرورهای روایتی، هدف از جست‌وجو شناسایی منابع مرتبط و معتبر است، نه پوشش کامل و جامع همه شواهد موجود؛ بنابراین، راهبرد جست‌وجو به صورت انعطاف‌پذیر و متناسب با دامنه موضوع تنظیم شد.

انتخاب منابع

انتخاب منابع بر اساس تناسب محتوایی با هدف مطالعه و ارائه اطلاعات کاربردی درباره ابزارها انجام شد. مقالاتی که صرفاً جنبه نظری داشتند یا فاقد گزارش عملیاتی درباره ساختار ابزار، نوع داده‌های ورودی، الگوریتم‌ها یا تجربه‌های اجرایی بودند، کنار گذاشته شدند. در نهایت،

جامعه می‌باشد (۵). هوش مصنوعی^۱ با ارائه یک رویکرد نوین، پتانسیل دگرگون‌سازی تشخیص طغیان بیماری در نظام مراقبت بهداشت عمومی را دارد (۶). این فناوری با تحلیل منابع قابل دسترس به صورت آزاد^۲، به‌ویژه در مناطقی که زیرساخت‌های مراقبت سلامت سنتی با محدودیت مواجه‌اند، قادر است اطلاعات اپیدمیولوژیک حیاتی را استخراج کرده و از طریق شناسایی زودهنگام نشانه‌های اولیه شیوع، اقدامات کنترلی و پیشگیرانه در برابر بیماری‌های عفونی را به‌طور مؤثری هدایت کند (۷). امروزه ابزارهای فراوانی در دنیا با تکیه بر هوش مصنوعی به جمع‌آوری، تجزیه و تحلیل داده‌های مرتبط با سلامت می‌پردازند. سامانه هشدار زودهنگام اپی‌واچ^۳ با بهره‌گیری از هوش مصنوعی و تحلیل منابع قابل دسترس به صورت آزاد، توانست در سال ۲۰۲۳ از طریق مقایسه الگوی موارد بیماری و بررسی شبه‌آنفلوآنزا با داده‌های سال گذشته، پیش از اعلام رسمی نهادهای بهداشتی، وقوع اپیدمی را شناسایی و گزارش کند (۸). BrewAI یکی دیگر از ابزارهای پلتفرم‌های یادگیری ماشین خودکار است که قادر است با دنبال کردن چهار مرحله (جمع‌آوری داده، انتخاب داده، مدل‌سازی، و ارزیابی مدل) یک مدل خودکار یادگیری ماشین برای شناسایی اپیدمی طراحی کند (۹). با وجود معرفی گسترده سامانه‌های هشدار زودهنگام و پایش بیماری‌های عفونی در مطالعات پیشین، تاکنون ارزیابی جامعی که این ابزارها را با شاخص‌ها، زیرساخت‌ها و نیازهای نظام سلامت ایران تطبیق دهد، ارائه نشده است. این مطالعه با هدف مرور، تحلیل تطبیقی و ارزیابی قابلیت بومی‌سازی سامانه‌های هشدار زودهنگام مبتنی بر هوش مصنوعی

^۱ Artificial Intelligence

^۲ Open-Sources Data

^۳ Epiwatch

۱۳ منبع که بیشترین ارتباط را با هدف پژوهش داشتند، برای تحلیل انتخاب شدند. این انتخاب بر مبنای قضاوت تخصصی پژوهشگران و با رویکردی متناسب با ماهیت مرورهای روایتی انجام گرفت.

استخراج و تحلیل داده‌ها

اطلاعات کلیدی هر ابزار شامل نوع سامانه، الگوریتم‌های مورد استفاده، منابع داده، پوشش جغرافیایی، سرعت هشداردهی، مزایا و محدودیت‌ها استخراج شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از رویکرد تحلیل محتوای کیفی انجام شد. در این فرایند، متن کامل منابع چندین بار مطالعه شد تا مفاهیم اصلی، الگوهای مشترک و تفاوت‌های میان ابزارها شناسایی شود. سپس داده‌ها در قالب مقوله‌های از پیش تعیین‌شده طبقه‌بندی و با رویکرد مقایسه‌ای و تطبیقی تحلیل شدند. این رویکرد امکان ارائه یک جمع‌بندی تحلیلی و مبتنی بر شواهد را فراهم ساخت که مبنای بحث و نتیجه‌گیری پژوهش قرار گرفت.

یافته‌ها

با توجه به اهمیت فزاینده شناسایی زودهنگام اپیدمی‌ها، در این مطالعه ابتدا به بررسی ۹ سامانه شناخته‌شده و بین‌المللی مبتنی بر هوش مصنوعی شامل: Epiwatch، ProMED، BrewAI، EWARS، BlueDot، HealthMap، MedCoder، EDS-HAT و Google Trends پرداخته شد. در ادامه با توجه ویژگی‌های نظام مراقبت بیماری‌ها در ایران و چالش‌ها و فرصت‌های موجود (۱۰، ۱۱)، دو راهکار و پیشنهاد مطرح گردیده است. این ابزارها با هدف پیش‌بینی و مدیریت همه‌گیری‌ها طراحی شده‌اند و از داده‌های متنوعی همچون گزارش‌های بالینی، سوابق آزمایشگاهی، شبکه‌های اجتماعی و جستجوهای اینترنتی بهره می‌گیرند تا به تصمیم‌گیری‌های به‌موقع در حوزه سلامت عمومی

کمک کنند. یافته‌ها نشان می‌دهد عملکرد این سامانه‌ها به شدت تحت تأثیر کیفیت داده، دامنه جغرافیایی پوشش و شفافیت الگوریتم‌ها قرار دارد. به‌عنوان نمونه، HealthMap و BlueDot به دلیل هشداردهی تقریباً بلادرنگ و پوشش وسیع داده‌ای، عملکرد بالاتری دارند (۱۲)، در حالی که ابزارهایی مانند EWARS بیشتر برای سازمان‌ها یا مناطق خاص طراحی شده‌اند (۱۳).

برای مقایسه این سامانه‌ها، تحلیل توصیفی بر پایه معیارهایی چون دسترسی به داده، توان تحلیلی، سرعت شناسایی، مقیاس‌پذیری، و قابلیت یکپارچگی با نظام سلامت کشورها انجام شد. در مقایسه ابزارهای نظارت بر بیماری‌های عفونی و اپیدمی‌ها، سیستم‌هایی مانند Promed (تاسیس ۱۹۹۴ در آمریکا) با تمرکز بر گزارش‌های تخصصی کارشناسان و اعتبار بالا اما سرعت پایین، در مقابل ابزارهای نوین هوش مصنوعی محور مانند BlueDot (۲۰۱۳ کانادا) که با ترکیب داده‌های پروازها، اخبار محلی و آب‌وهوا، هشدارهای زودهنگام و دقیق پیش از سازمان جهانی بهداشت ارائه می‌دهد، اما هزینه بالا دارد، تفاوت چشمگیری نشان می‌دهند. Epiwatch (۲۰۱۶ استرالیا) با الگوریتم‌های نوآورانه و سرعت متوسط در منطقه آسیا-اقیانوسیه، HealthMap (۲۰۰۶ آمریکا) با منابع باز و رایگان اما نیاز به اعتبارسنجی، و Google Trends (۲۰۰۸ جهانی) با دسترسی سریع اما داده‌های خام و غیراپیدمیولوژیک، گزینه‌های عمومی‌تری هستند؛ در حالی که Brew AI (۲۰۲۱ فرضی) بر پیش‌بینی سریع با داده‌های تاریخی و محیطی تأکید دارد ولی به زیرساخت قوی نیاز دارد. ابزارهای تخصصی‌تر مانند MedCoder (۲۰۲۲ آمریکا) و EDS-HAT (۲۰۲۱ آمریکا) بر کدگذاری بالینی و شناسایی عفونت‌های بیمارستانی با دقت بالا تمرکز دارند اما

محدود به محیط‌های محلی یا سازمانی هستند، و EWARS (WHO ۲۰۱۲) در شرایط بحران با ورود دستی داده‌ها، کند، اما دقیق عمل می‌کند و دسترسی محدودی دارد. این تنوع نشان‌دهنده تکامل از رویکردهای سنتی گزارش‌محور به سیستم‌های پیش‌بینی‌کننده مبتنی بر هوش مصنوعی است، هرچند محدودیت‌هایی مانند هزینه، یکپارچگی و نیاز به داده‌های ساختارمند همچنان چالش‌برانگیز باقی مانده‌اند. خلاصه‌ای از این مقایسه در جدول شماره ۱ ارائه شده است. مرور انجام‌شده نشان داد

که هرچند سامانه‌هایی مانند HealthMap دارای مزایای فنی و گستره پوشش بالایی هستند، بهره‌گیری موثر از آن‌ها در ایران نیازمند تطبیق با زبان، ساختار داده، منابع داخلی و الزامات اجرایی کشور است. بر این اساس، چارچوبی پیشنهادی ارائه شد که با ترکیب قابلیت‌های سامانه‌های جهانی و داده‌های بومی، امکان استقرار یک سامانه هشدار زودهنگام سازگار با شرایط اپیدمیولوژیک و زیرساختی ایران را فراهم می‌سازد.

جدول شماره ۱- مقایسه ساختاری سامانه‌های هوش مصنوعی در شناسایی و کنترل به هنگام بروز اپیدمی بیماری‌ها

نام نرم افزار	مکان و زمان تاسیس اولیه	هدف اصلی	نوع داده ورودی	زبان و پوشش جهانی	سرعت هشدار	مزایا	محدودیت
Epiwatch (۱۴)	استرالیا- ۲۰۱۶	پایش سریع با هوش مصنوعی	داده‌های اپیدمیولوژیک + یادگیری ماشین	آسیا و اقیانوسیه - انگلیسی	متوسط به بالا	الگوریتم‌های نوآورانه	عدم یکپارچگی با سیستم ملی
Promed (۱۷-۱۵)	امریکا - انجمن جهانی بیماری‌های عفونی (ISID) - ۱۹۹۴	گزارش موارد توسط خبرگان	گزارش‌های رسمی و غیر رسمی	جهانی - انگلیسی	پایین و گزارش محور	اعتبار تخصصی بالا - شبکه خبرگان جهانی	کندی در اطلاع رسانی
Brew AI (۱۸)	موسسه تحلیل بیماری‌های نوپدید (Hypothetical) ۲۰۲۱	پیش‌بینی سریع رویدادها به‌ویژه در پروژه‌های تحقیقاتی	داده‌های محیطی، اپیدمیولوژیک و سوابق تاریخی	انگلیسی	نسبتاً سریع - وابسته به نوع داده	تطبیق‌پذیری و قدرت پیش‌بینی بالا	نیاز به زیرساخت قوی و داده‌های ساختار یافته
Google trend (۱۹)	جهانی - ۲۰۰۸	پیش‌بینی نسبی - بیشتر برای تحلیل‌های رفتاری و روانشناسی در جمعیت	کلیه داده‌های بستر گوگل	جهانی	بسیار سریع و نادقیق	دسترسی آزاد و سرعت عمل در اخذ داده	داده‌های خام و بدون تحلیل اپیدمیولوژی
BlueDot (۲۰)	کانادا - ۲۰۱۳	هشدار زودهنگام جهانی	داده‌های کلیه پروازها- داده‌های جمعیتی و آب و هوایی - اخبارهای محلی	چند زبانه	بسیار بالا و پیش از WHO	دقت بالا، پیش‌بینی زودهنگام و ترکیب داده‌های متنوع	هزینه بالا و نیاز به داده‌های گسترده
HealthMap (۲۱)	امریکا - ۲۰۰۶	پایش بیماری‌ها با استفاده از منابع دیجیتال	اخبار، شبکه‌های اجتماعی و منابع اپیدمیولوژیک	جهانی - انگلیسی	بالا	منابع باز، رایگان و قابل فهم عمومی	نیاز به اعتبارسنجی و عدم قطعیت منبع

MedCoder (۲۲)	امریکا - ۲۰۲۲	انجام فرآیند کدگذاری بالینی با دقت و سرعت بالا	پرونده‌های پزشکی الکترونیک	ملی - امریکا	آنی و صرفاً درون سازمانی	دقت بالا در کد ساختارهای کدگذاری	صرفاً محدود به ساختارهای کد دار
EDS-HAT (۲۳)	امریکا - ۲۰۲۱	شناسایی سریع عفونت‌های بیمارستانی	ترکیب داده‌های بالینی و توالی یابی ژنوم	محلی (در بیمارستان‌ها)	آنی	دقت در کنترل عفونت	هزینه بالای توالی یابی ژنوم
EWARS (۲۴)	سازمان جهانی بهداشت - ۲۰۱۲	پایش هشدار اپیدمی‌ها در شرایط بحران	ورود داده توسط کارشناس به صورت دستی	WHO, CDC	کند و دقیق	دارای نسخه in a box در بستر موبایل و آفلاین	دسترسی محدود

بحث

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، با وجود تفاوت‌های ساختاری و اهداف توسعه، همگی در جهت ارتقای ظرفیت نظام‌های سلامت برای تشخیص زودهنگام طغیان‌ها و پایش روند بیماری‌های عفونی عمل می‌کنند. تفاوت اصلی این ابزارها در نوع داده‌های ورودی، گستره پوشش، سرعت هشداردهی و میزان شفافیت الگوریتم‌هاست. سامانه‌هایی مانند Epiwatch، BlueDot، HealthMap و با اتکا بر داده‌های چندمنبعی شامل گزارش‌های رسمی، اخبار دیجیتال، شبکه‌های اجتماعی و شاخص‌های محیطی، توانسته‌اند حساسیت بالایی در شناسایی الگوهای غیرعادی ایجاد کنند (۴، ۱۲، ۱۹). این ویژگی، امکان تحلیل بلادرنگ و شناسایی سریع‌تر طغیان‌ها را فراهم می‌سازد، هرچند وابستگی به داده‌های حجیم و نیاز به زیرساخت استاندارد، چالش‌های مهمی در کشورهای در حال توسعه ایجاد می‌کند. در مقابل، ابزارهایی مانند MedCoder و EWARS که عمدتاً بر داده‌های ساختاریافته و رسمی تکیه دارند، از انعطاف‌پذیری کمتری برخوردارند اما در محیط‌های کنترل‌شده دقت بالاتری ارائه می‌دهند (۲۲). از نظر سرعت هشداردهی، BlueDot و HealthMap در میان سریع‌ترین سامانه‌ها قرار می‌گیرند و نمونه بارز آن، شناسایی زودهنگام کووید-۱۹ توسط BlueDot پیش از اعلام رسمی سازمان جهانی بهداشت است (۴، ۱۲، ۱۹، ۲۰). این در حالی

است که سامانه‌هایی مانند ProMED که مبتنی بر گزارش‌های انسانی و مشارکت داوطلبانه هستند، اگرچه از نظر تفسیرپذیری و اعتبار تخصصی جایگاه بالایی دارند، اما به دلیل ماهیت گزارش‌محور، سرعت هشداردهی پایین‌تری دارند (۱۵-۱۷). در سطح تحلیل نیز تفاوت‌های قابل توجهی مشاهده می‌شود. ابزارهایی مانند BrewAI و EDS-HAT با ارائه قابلیت‌هایی همچون مدل‌سازی انتقال بیماری، پیش‌بینی روند اپیدمی و پیشنهاد مداخلات، فراتر از هشداردهی اولیه عمل می‌کنند و می‌توانند در سطوح مدیریتی و سیاست‌گذاری نقش مهمی ایفا کنند (۱۸، ۲۲). در مقابل، Google Trends با وجود سادگی و ماهیت غیرپزشکی داده‌ها، در محیط‌های فاقد داده‌های ساختاریافته می‌تواند به‌عنوان شاخص کمکی برای پایش روند بیماری‌ها مورد استفاده قرار گیرد (۱۸).

یکی از چالش‌های مهم در برخی سامانه‌های پیشرفته‌تر مانند BlueDot و BrewAI، عدم شفافیت کامل الگوریتم‌ها است که می‌تواند اعتماد نهادهای سیاست‌گذار را کاهش دهد (۱۸، ۲۰). در مقابل، سامانه‌هایی مانند ProMED و Epiwatch به دلیل دخالت انسانی در تحلیل، از تفسیرپذیری بیشتری برخوردارند (۱۳، ۱۵-۱۷). این موضوع اهمیت توازن میان سرعت پردازش خودکار و قابلیت تفسیر انسانی را برجسته می‌کند؛ موضوعی که در ادبیات جهانی نیز به‌عنوان یکی از چالش‌های کلیدی سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی

موارد، انتقال داده‌ها به صورت دستی انجام می‌شود. حتی در مواردی که از سامانه‌های الکترونیک استفاده می‌شود، نبود یکپارچگی میان سیب، ناب و سینا موجب ایجاد جزیره‌های اطلاعاتی شده و امکان تحلیل منسجم و بلادرنگ را محدود می‌کند. داده‌های جمع‌آوری شده نیز اغلب فاقد ساختار مناسب برای تحلیل خودکار هستند و نبود ابزارهای پردازش داده‌های حجیم و مدل‌های یادگیری ماشین باعث شده است که پیش‌بینی روند بیماری‌ها همچنان متکی بر قضاوت فردی باشد و با تأخیر همراه شود.

در کنار این چالش‌ها، کمبود نیروی متخصص در حوزه هوش مصنوعی سلامت و محدودیت دسترسی به پلتفرم‌های بین‌المللی نیز موانع مهمی در مسیر توسعه سامانه‌های هوشمند هشدار زودهنگام محسوب می‌شوند. این وضعیت نشان می‌دهد که برای ارتقای کارایی نظام مراقبت، صرفاً تقویت زیرساخت‌های فنی کافی نیست، بلکه نیاز به بازطراحی ساختار داده، استانداردسازی فرایندها و توسعه ظرفیت انسانی وجود دارد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پیاده‌سازی چارچوب پیشنهادی بومی‌سازی شده می‌تواند بخش مهمی از این چالش‌ها را برطرف کند. یکپارچه‌سازی داده‌های چندمنبعی شامل داده‌های مراقبت، شاخص‌های محیطی و داده‌های رفتاری آنلاین، همراه با تحلیل ترکیبی مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین و قواعد اپیدمیولوژیک، قادر است حساسیت و سرعت شناسایی طغیان‌ها را به‌طور چشمگیری افزایش دهد. افزودن لایه اعتبارسنجی انسانی و خودکار و ارائه خروجی‌های هشداردهی هدفمند به سطوح مختلف تصمیم‌گیری، ضمن کاهش هشدارهای کاذب، ظرفیت پاسخ به‌موقع و هماهنگ در سطوح استانی و ملی را ارتقا می‌دهد. این چارچوب نه تنها از زیرساخت‌ها و داده‌های موجود کشور بهره‌برداری می‌کند، بلکه مسیر مشخصی برای توسعه یک سامانه هشداردهی پایدار، قابل اعتماد و سازگار با شرایط بومی فراهم می‌سازد (نمودار شماره ۱).

مطرح شده است. در ارتباط با نظام مراقبت بیماری‌ها در ایران، یافته‌ها نشان می‌دهد که اگرچه کشور در برخی حوزه‌ها مانند سل و HIV دارای ساختارهای ثبت نسبتاً قوی و مبتنی بر داده‌های قابل اعتماد است (۲۳)، اما چالش‌های مهمی همچون جزیره‌ای بودن سامانه‌ها، تأخیر در گزارش‌دهی، کیفیت پایین داده‌ها، نبود تحلیل بهنگام و فقدان سیستم هشدار مؤثر همچنان پابرجاست. سامانه‌های سیب، ناب و سینا بخش قابل توجهی از داده‌های بهداشتی را ثبت می‌کنند، اما عدم یکپارچگی میان آن‌ها و نبود استانداردهای ساختاری برای تحلیل خودکار، مانع بهره‌گیری مؤثر از ظرفیت‌های موجود شده است. علاوه بر این، کمبود نیروی متخصص در حوزه هوش مصنوعی سلامت و محدودیت دسترسی به پلتفرم‌های بین‌المللی، چالش‌های دیگری هستند که باید مورد توجه قرار گیرند.

ویژگی‌های نظام مراقبت بیماری‌ها در ایران (نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و چالش‌ها):

بررسی وضعیت نظام مراقبت بیماری‌ها در ایران نشان می‌دهد که کشور در برخی حوزه‌های بهداشت عمومی، به‌ویژه در کنترل بیماری‌های واگیر، از جمله سل و عفونت HIV، دارای ساختارهای ثبت نسبتاً قوی و مبتنی بر داده‌های قابل اعتماد است (۲۵). همچنین، بخش قابل توجهی از فعالیت‌های بهداشتی از طریق سامانه‌های الکترونیک سیب، ناب و سینا ثبت می‌شود و برخی بیماری‌ها نیز در قالب نظام مراقبت سندرومیک از بیمارستان‌ها به صورت آنلاین گزارش می‌گردند. با وجود این نقاط قوت، نظام مراقبت همچنان با چالش‌های ساختاری و عملکردی مواجه است که کارایی آن را در تشخیص زودهنگام طغیان‌ها محدود می‌کند.

یکی از چالش‌های اصلی، عدم پوشش کامل موارد بیماری و تأخیر در گزارش‌دهی است که موجب کاهش حساسیت نظام مراقبت می‌شود (۲۶). علاوه بر این، بسیاری از مراکز مراقبت اولیه هنوز به سامانه‌های الکترونیک یکپارچه و به‌روز متصل نیستند و در برخی

مؤلفه	توضیحات
ورودی‌های داده	داده‌های نظام مراقبت بیماری‌ها (HIS) و سامانه‌های آزمایشگاهی وزارت بهداشت، گزارش‌های بیمارستانی و مراکز بهداشت، داده‌های محیطی (آب‌وهوا، آلودگی هوا)، جستجوهای اینترنتی، گزارش‌های محلی
پردازش و تحلیل	الگوریتم ترکیبی یادگیری ماشین و مدل‌های مبتنی بر قواعد اپیدمیولوژیک ایران، تحلیل روندهای تاریخی، تشخیص ناهنجاری‌ها، و مدل‌سازی پیش‌بینی طغیان با در نظر گرفتن ویژگی‌های فصلی و جغرافیایی
اعتبارسنجی و تفسیر	بازبینی خودکار و انسانی توسط تیم اپیدمیولوژی وزارت بهداشت، فیلتر کردن سیگنال‌های کاذب، ارزیابی حساسیت و ویژگی مدل
خروجی و هشداردهی	داشبورد بومی به زبان فارسی، گزارش‌های استانی و ملی، اعلان هشدار به مراکز بهداشت، نهادهای تصمیم‌گیر، و سیستم پیامک یا اپلیکیشن برای اطلاع‌رسانی سریع
الزامات پیاده‌سازی	زیرساخت سرور و پایگاه داده امن در داخل کشور، آموزش نیروی انسانی، تدوین پروتکل‌های قانونی و حریم خصوصی، یکپارچه‌سازی با سیستم‌های موجود
مزایای پیشنهادی	افزایش سرعت شناسایی طغیان، بهبود هماهنگی بین استان‌ها و وزارتخانه، کاهش وابستگی به منابع خارجی، امکان استفاده از زبان فارسی و داده‌های بومی
محدودیت‌ها و چالش‌ها	نیاز به دسترسی آزاد به داده‌های با کیفیت، لزوم همکاری بین‌بخشی، سرمایه‌گذاری اولیه در زیرساخت و آموزش، مدیریت امنیت داده‌ها

چارچوب پیشنهادی بومی

نمودار شماره ۱- چارچوب پیشنهادی بومی‌سازی سامانه هشدار زودهنگام بیماری‌ها در ایران: مؤلفه‌ها، فرایندها و الزامات اجرایی

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به پیچیدگی‌های موجود در نظام مراقبت بیماری‌ها در ایران و نیاز روزافزون به بهره‌گیری از فناوری‌های نوین برای ثبت، تحلیل و تفسیر داده‌ها، استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند نقش مهمی در ارتقای توان کشور برای تشخیص زودهنگام طغیان‌ها و اجرای مداخلات به‌موقع ایفا کند. بررسی تطبیقی سامانه‌های بین‌المللی نشان داد که هیچ ابزار واحدی قادر به پاسخ‌گویی کامل به نیازهای نظام

سلامت نیست، اما ترکیب نقاط قوت سامانه‌های مختلف می‌تواند مبنای طراحی یک مدل بومی کارآمد باشد. در این میان، HealthMap به دلیل سرعت پردازش، گستره وسیع داده، سادگی رابط کاربری و وجود لایه راستی‌آزمایی انسانی، الگویی مناسب برای کشور محسوب می‌شود. بهره‌گیری از چنین الگویی مستلزم بازطراحی نظام مراقبت بر اساس زیرساختی یکپارچه و قابل اتصال به داده‌های محیطی، اقلیمی و رفتاری است؛ زیرساختی که از ابتدا امکان اجرای الگوریتم‌های یادگیری

هوش مصنوعی، همراه با یکپارچه‌سازی داده‌ها و تقویت زیرساخت‌های تحلیلی، می‌تواند نقطه عطفی در ارتقای نظام مراقبت بیماری‌ها در ایران باشد. این مسیر نه تنها امکان تشخیص سریع‌تر و دقیق‌تر طغیان‌ها را فراهم می‌کند، بلکه زمینه‌ساز تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد و پاسخ هماهنگ در سطوح مختلف نظام سلامت خواهد بود.

تشکر و قدردانی

تیم پژوهش بر خود لازم می‌داند از همکاری صمیمانه گروه اپیدمیولوژی و آمارزیستی و کارشناس محترم کتابداری دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی کردستان تقدیر نماید.

ماشین و تحلیل پیش‌بینانه را فراهم سازد و در عین حال با چارچوب‌های قانونی و اخلاقی کشور سازگار باشد.

اجرای مطالعات پایلوت بر بیماری‌های دارای نظام مراقبت یکپارچه‌تر

بهره‌گیری از بیماری‌هایی که نظام مراقبت آن‌ها ساختاریافته‌تر است، مانند سل با سامانه جامع و برخط، می‌تواند نقطه شروع مناسبی باشد. در گام بعد، عفونت‌های HIV، کووید-۱۹ و آنفلوانزا نیز به‌عنوان گزینه‌های مناسب برای اجرای پایلوت مطرح می‌شوند. این رویکرد علاوه بر استفاده از مزایای تشخیص زودهنگام مبتنی بر هوش مصنوعی، امکان شناسایی چالش‌ها و موانع اجرایی را در مراحل اولیه فراهم می‌سازد. به‌طور کلی، یافته‌های این مطالعه تأکید می‌کند که ترکیب ظرفیت‌های موجود در کشور با قابلیت‌های

References

1. WHO. Disease outbreaks [Available from: <https://www.emro.who.int/health-topics/disease-outbreaks/index.html>.
2. Tapak L, Shirmohammadi-Khorram N, Hamidi O, Maryanaji Z. Predicting the frequency of human brucellosis using climatic indices by three data mining techniques of radial basis function, multilayer perceptron and nearest neighbor: a comparative study. *Iranian Journal of Epidemiology*. 2018;14(2):153-65.
3. Houlihan CF, Whitworth JA. Outbreak science: recent progress in the detection and response to outbreaks of infectious diseases. *Clinical medicine (London, England)*. 2019;19(2):140-4.
4. Rajendran R, Chitrapady S, Tejashree MU, Haritha K, Balakrishnan JM, Nair S, et al. Antimicrobial stewardship programs in primary and secondary care settings in India: current challenges, facilitators, perceptions, and impact - a scoping review. *BMC Infectious Diseases*. 2025;25(1):1539.
5. Peh R, Namara G, Oyebanji O, Ihekweazu CJIDEP, Response. Surveillance, outbreak detection, and early warning. 2025.
6. Rahimkhani M, Gilani M. Utilizing Machine Learning to Predict Antimicrobial Resistance in Bacteria. *Iranian Journal of Epidemiology*. 2024;20(1):65-8.
7. Alfardan A, Alharbi R, Alrammaal W, Alharbi F, Almotairi M, Almutairi M, et al. The role of artificial intelligence in predicting disease outbreaks: A multidisciplinary approach. *International journal of health sciences*. 2024;8:1556-66.
8. Quigley DA, Honeyman MD, Stone MH, Dawson DR, MacIntyre PCR. EPIWATCH, an artificial intelligence early-warning system as a valuable tool in outbreak surveillance. *International Journal of Infectious Diseases*. 2025;152:107579.
9. Karami M. Application of Artificial Intelligence and Innovative Technology in Public Health Surveillance and Early Warning of Epidemics. *irje*. 2024;20(3):211-4.
10. Tabrizi JS, Pourasghar F, Nikjoo RG. Status of Iran's primary health care system in terms of health systems control knobs: a review article. *Iranian Journal of Public Health*. 2017;46(9):1156-64.
11. Olyaeemanesh A, Behzadifar M, Mousavinejhad N, Behzadifar M, Heydarvand S, Azari S, et al. Iran's health system transformation plan: a SWOT analysis. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*. 2018;32:9-16.
12. Participatory epidemiology: harnessing the HealthMap platform for community-based disease outbreak monitoring [Internet]. Massachusetts Institute of Technology; 2010.
13. Multidisciplinary development of a proposed early warning and automated response system (EWARS) for epidemic prevention [Internet]. Citeseer; 2010.
14. Kpozehouen EB, et al "Using open-source intelligence to detect early signals of COVID-19 in China: descriptive study." *JMIR public health and surveillance*. (2020);6.3(e18939).
15. Debela M, Kebeta ND, Begosaw AM, Okello G, Azage M. Bagasse dust exposure and chronic respiratory symptoms among workers in the Metehara and Wonji sugar factories in Ethiopia: a longitudinal study design. *BMJ Open Respiratory Research*. 2023;10(1):e001234.
16. Rocha DC, et al. Use of ProMED as a Surveillance System for Emerging and Re-Emerging Infectious Diseases in Brazil from 2015 to 2020. *Viruses*. 2025;17(1):93.

17. Bhatia S, et al. Using digital surveillance tools for near real-time mapping of the risk of infectious disease spread. *NPJ Digital Medicine*. 2021;4(1):73.
18. Zhang T, et al. Use of automated machine learning for an outbreak risk prediction tool. *Informatics in Medicine Unlocked*. 2022;34:101121.
19. Rea S, et al. Monitoring Influenza Activity in the United States Using Google Flu Trends. *PLOS ONE*. 2011;6(9)(e24985).
20. Wired. An AI Epidemiologist Sent the First Warnings of the Wuhan Virus. 2020 [Available from: <https://www.wired.com/story/ai-epidemiologist-wuhan-public-health-warnings>].
21. Freifeld CC, Mandl KD, Reis BY, Brownstein JS. HealthMap: global infectious disease monitoring through automated classification and visualization of Internet media reports. *J Am Med Inform Assoc*. 2008;15(2):150-7.
22. Das Baksi K, Soba E, Higgins JJ, Saini R, Wood J, Cook J, Scott J, Pudota N, Weninger T, Bowen E, Bhattacharya S. MedCodER: A Generative AI Assistant for Medical Coding. *arXiv e-prints*. 2024 Sep:arXiv-2409.
23. Sundermann AJ, et al. Whole-genome sequencing surveillance and machine learning of the electronic health record for enhanced healthcare outbreak detection. *Clinical Infectious Diseases* 2022;75(3):476-82.
24. Ogundiran O, Onyiah A, Thomas C, Oyefabi A, Ugochukwu U, Owili C, et al. A review of the performance of the early warning alert and response system (EWARS) in conflict-affected Borno State, Nigeria: a five-year descriptive analysis. *Conflict and Health*. 2025;19(1):66.
25. Heidebrecht CL, Tugwell, P. S., Wells, G. A., & Engel, M. E. . Tuberculosis surveillance in Cape Town, South Africa: an evaluation. *The International journal of tuberculosis and lung disease*. 2011;15(7):912-8.
26. HabibiSaravi R, Khankeh, H., Azar, A., & Ghasemihamedani, F. Communicable diseases surveillance system in Iran: Strengths and weaknesses 30 years following its implementation. *Health in Emergencies and Disasters Quarterly*. 2019;5(1):25-36.

Review Article

The Potential of Artificial Intelligence Tools in Early Detection of Epidemics: A Comparative Evaluation of International Systems and Localization Strategies Through A Narrative Review

Seyed Ali Mousavi¹, Ghobad Moradi², Meysam Abshenas Jami¹, Elham Nouri¹, Atefeh Zahedi¹, Yousef Moradi³

1- Department of Epidemiology and Biostatistics, School of Medicine, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

2- Professor of Epidemiology, Social Determinants of Health Research Center, Health Development Research Institute, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

3- Associate Professor of Epidemiology, Health Metrics and Evaluation Research Center, Research Institute for Health Development, Kurdistan University of Medical Sciences, Sanandaj, Iran

DOI: [10.18502/ijre.v22i2.22728](https://doi.org/10.18502/ijre.v22i2.22728)

Article Information

Received

29 June 2025

Accepted

29 July 2026

Corresponding author

Yousef Moradi

Corresponding author E-mail

yousefmoradi211@yahoo.com

Keywords:

Artificial intelligence,
Surveillance, Disease
outbreaks

Abstract

Background and Objectives: Artificial intelligence (AI) has emerged in recent years as a transformative technology in disease surveillance systems and has considerable potential to improve the early detection of disease outbreaks. This narrative review was conducted with the aim of identifying, comparing, and comparatively evaluating international AI-based surveillance tools, as well as examining the possibility of their localization and adaptation to Iran's health system.

Methods: Scientific publications and national and international reports focusing on active early warning systems were searched and reviewed. The identified tools were evaluated based on their data sources, analytical methods, detection timeliness, interoperability with national surveillance systems, and infrastructure requirements.

Results: The findings showed that despite the availability of electronic health data systems in Iran, including SIB, Sina, and NAB, the absence of an integrated national platform capable of intelligent real-time data processing remains a major challenge. Among the evaluated tools, HealthMap was identified as a more suitable model for developing national surveillance systems because of its reliance on open data, flexible architecture, and compatibility with existing infrastructures. Furthermore, diseases with more structured surveillance systems in Iran, including tuberculosis, HIV infection, COVID-19, and influenza, are recommended as appropriate candidates for pilot implementation of national early detection systems.

Conclusion: The findings highlight the importance of aligning artificial intelligence technologies with local needs, data capacities, and the epidemiological requirements of the country. They also indicate that the development of an intelligent early warning system could play a significant role in improving the performance of Iran's disease surveillance system.

Copyright © 2026 The Authors. Published by Tehran University of Medical Sciences.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.