

ماهنگار اپیدمیولوژی و جامعه

گروه اپیدمیولوژی دانشکده بهداشت و ایمنی | دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

در این شماره می‌خوانید

- ♦ باورهای غلط در مورد واکسیناسیون کودکان و راهکارهای اصلاح آن
- ♦ افزایش جهانی بار سرطان و نابرابری
- ♦ آینده استفاده از داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی و ابزارهای دیجیتال در تحلیل اپیدمیولوژیک رویدادهای سلامت؛ فرصت‌ها و چالش‌ها
- ♦ مقدمه‌ای بر تلفیق داده‌ها (Data fusion) در اپیدمیولوژی ژئوزنتیک

همکاران (به ترتیب حروف الفبا)

امیرحسین بیجاری، معصومه جعفری، علیرضا خرم، سامان رحیمی تنیانی، یکتا رحیمی، حسن غریب‌نواز، فرزاد ملکی، احمد مهری و آزاده نوحی سیاهرودی
زیر نظر اساتید: دکتر یدالله محرابی، دکتر سعید هاشمی نظری، دکتر کورش اعتماد، دکتر منوچهر کرمی، دکتر محمدحسین پناهی و دکتر محمود حاجی‌پور

باورهای غلط در مورد واکسیناسیون کودکان و راهکارهای اصلاح آن

جایگاه و اهمیت واکسیناسیون

افراد تحت پوشش ایمن سازی نسبت به هر خدمت بهداشتی یا اجتماعی دیگر بیشتر می باشند و واکسیناسیون یک جزء حیاتی از مراقبت های بهداشتی اولیه محسوب می شود. این اقدام به نفع افراد، جوامع، کشورها و کل جهان است و به سه طریق یک سرمایه گذاری در آینده به شمار می رود.



نجات جان انسان ها و حفاظت از سلامت جمعیت ها

واکسیناسیون با کاهش چشمگیر مرگ و میر ناشی از بیماری های عفونی و جلوگیری از ناتوانی هایی که رشد و تکامل شناختی کودکان را مختل می کنند، نقش حیاتی در بقای کودکان و شکوفایی کامل آن ها دارد؛ به طوری که بین سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷، نرخ مرگ و میر کودکان زیر ۵ سال تا ۲۴٪ به دلیل واکسیناسیون کاهش یافته است. فواید واکسن صرفاً به کودکان محدود نمی شود، بلکه با پیشگیری از سرطان های مرتبط با عفونت و حفاظت از افراد مسن و آسیب پذیر، به آن ها امکان زندگی طولانی تر و سالم تر می دهد و خطر انتقال بیماری در جامعه را کاهش می دهد.

افزایش بهره وری و تاب آوری کشورها

ایمن سازی شالوده یک جمعیت سالم و مولد است. پیشگیری از عفونت ها، فشار بر سیستم های بهداشتی را کاهش می دهد و یک جمعیت سالم تر، جمعیت بهره ورتر خواهد بود. کودکانی که در برابر بیماری های عفونی محافظت می شوند، دستاوردهای آموزشی بهتری دارند و سهم بیشتری در توسعه و شکوفایی ملی ایفا می کنند.

مهار طغیان بیماری ها کاری پرهزینه و مختل کننده است. طغیان ها می توانند برنامه های بهداشت عمومی، خدمات بالینی و نظام های سلامت را تحت الشعاع قرار داده و عمیقاً مختل کنند. همچنین ممکن است اثرات نامطلوبی بر سفر، تجارت و توسعه کلی داشته باشند. برای بیماری های فصلی مانند آنفلونزا، هزینه های درمان و از دست رفتن بهره وری به طور مکرر تحمیل می شوند.

ایجاد جهانی ایمن تر، سالم تر و پررونق تر

واکسن ها جزء حیاتی مبارزه با بیماری های عفونی نوپدید و بازپدید هستند. عوامل بیماری زا محدود به مرزهای ملی نیستند جابه جایی افراد در سطح محلی و بین المللی می تواند عفونت ها را به سرعت گسترش دهد. پیشگیری از عفونت از طریق ایمن سازی نه تنها مردم را در برابر عفونت های مقاوم به دارو محافظت می کند، بلکه انتشار آن ها و نیاز به استفاده از آنتی بیوتیک ها را کاهش می دهد و بدین ترتیب به مبارزه با مقاومت آنتی بیوتیکی کمک می کند. ایمن سازی و مراقبت بیماری ها از ظرفیت های اصلی مورد نیاز در مقررات بین المللی سلامت (۲۰۰۵) هستند، زیرا به تقویت سامانه های سلامت بادوام و مقاوم برای مقابله با طغیان بیماری های عفونی، خطرات بهداشتی و فوریت ها یاری می رسانند. ایمن سازی نقشی حیاتی در تحقق اهداف توسعه پایدار (SDG) و به طور خاص SDG3 یعنی "تضمین سلامت و رفاه برای همه در همه سنین" ایفا می کند و همچنین به طور مستقیم یا غیرمستقیم به تحقق ۱۳ هدف توسعه پایدار دیگر نیز کمک می نماید.

آمارهای جهانی و کشوری در مورد واکسیناسیون و اثربخشی آن ها در پیشگیری از بیماری ها

شرح وضعیت پوشش واکسیناسیون ایران

عملکرد ایران در برنامه های واکسیناسیون کودکان بسیار چشمگیر است و در بسیاری از موارد، پوشش دهی بسیار بالاتر از میانگین جهانی قرار دارد.

عملکرد ایران در پوشش واکسن هایی که جزو برنامه واکسیناسیون کشوری نوزادان است مانند سه گانه (DTP3)، هیپاتیت B (HepB3)، واکسن هموفیلوس آنفلوانزا تیپ B (Hib3)، واکسن فلج اطفال (Pol3) و واکسن سرخک (MCV1) استثنایی می باشد.

حوزه سلامت عمومی بسیار حیاتی است. به برخی از این باورهای غلط در ادامه اشاره می‌شود.

واکسن سه‌گانه (MMR) و اوتیسم

نگرانی مبنی بر این که واکسن سرخک، اوریون، و سرخچه (MMR) می‌تواند باعث اوتیسم شود، برای بیش از دو دهه ادامه داشته است و همین امر باعث تحقیقات علمی گسترده و با کیفیت بالا شده‌است. ابزارهای نیرومند اپیدمیولوژیک، با بررسی داده‌های میلیون‌ها نفر، به نتایج قاطعی در رد این فرضیه دست یافته‌اند.

در مطالعه کوهورت ملی دانمارک که با استفاده از سیستم ثبت ملی سلامت دانمارک، داده‌های بیش از ۵۳۷,۰۰۰ کودک را با دقت بالا پیگیری کرد، شواهد آماری عدم وجود تفاوت در خطر بروز اوتیسم را میان کودکان واکسینه‌شده و واکسینه‌نشده تأیید کرد.

مرور سیستماتیک کاکرین برای ارزیابی ایمنی MMR، ۱۳۸ مطالعه شامل بیش از ۲۳ میلیون شرکت‌کننده را مورد ارزیابی قرار داد و به‌طور قطعی اعلام کرد که هیچ مدرکی دال بر وجود ارتباط یافت نشده‌است. در حالی که شواهد گسترده‌ای در مورد ایمنی واکسن‌ها و نبود ارتباط آن‌ها با اوتیسم وجود دارد، این باور غلط همچنان بر والدین کودکان مبتلا به اوتیسم و عموم مردم تأثیر می‌گذارد و نرخ امتناع از واکسیناسیون را افزایش می‌دهد. بخش بزرگی از بی‌اعتمادی نسبت به واکسن‌ها ریشه در ماهیت اجباری آن دارد، بدون آن که توضیحی قابل فهم و دقیق درباره دلایل بروز اوتیسم برای عموم مردم ارائه شود (۱).

نگرانی‌ها در مورد ترکیبات واکسن: مثال تیمروسال

نگرانی‌های عمومی در مورد ایمنی واکسن اغلب بر ترکیبات خاص متمرکز بوده‌است. فرضیه ارتباط تیمروسال (یک نگهدارنده مبتنی بر جیوه که زمانی در برخی واکسن‌های چند دوز استفاده می‌شد) با اختلالات عصبی-رشدی، همزمان با بحث MMR-اوتیسم پدیدار شد و اغلب با آن درهم آمیخته می‌شد.

در سال ۲۰۰۱، مؤسسه پزشکی (IOM) که اکنون آکادمی ملی پزشکی نامیده می‌شود، ارزیابی جامعی را در مورد این موضوع انجام داد. کمیته تخصصی بر اساس شواهد موجود در آن زمان به یک نتیجه‌گیری دوگانه رسید:

رابطه علی: شواهد برای «پذیرش یا رد رابطه علی» بین مواجهه با تیمروسال از طریق واکسن و اختلالات عصبی-رشدی مانند اوتیسم، ناکافی بود. این نشان‌دهنده ماهیت محدود و غیرقطعی داده‌های موجود بود.

- واکسن سه‌گانه (DTP3- دیفتیری، کزاز، سیاه‌سرفه): پوشش DTP3 در ایران ۹۸٪ (بر اساس داده‌های ۲۰۲۴) است که ۱۱.۴۴٪ بالاتر از میانگین جهانی (۸۶.۵۶٪) است.
- واکسن سرخک (MCV1 و MCV2): ایران در واکسیناسیون سرخک، پوشش ۹۹٪ را برای هر دو دوز اول (MCV1) و دوز دوم (MCV2) حفظ کرده‌است. این ارقام به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از میانگین جهانی (به‌ترتیب ۸۵.۹۰٪ و ۷۷.۴۱٪) هستند. پوشش بالای MCV2 برای دستیابی به حذف کامل سرخک، حیاتی است.
- حفاظت در برابر کزاز نوزادی (PAB): پوشش PAB در ایران نیز ۹۷٪ و قوی است، اگرچه میانگین جهانی (۸۸.۴۰٪) در مقایسه با سایر دسته‌ها، به این رقم نزدیک‌تر است.



با این حال درصد پوشش سایر واکسن‌ها به‌طور دقیق مشخص نیست. در حالی که عملکرد در واکسن‌های فوق عالی است، همچنان در برخی حوزه‌ها از جمله واکسن ویروس پاپیلومای انسانی (HPV) شکاف‌هایی دیده می‌شود. داده‌های مربوط به پوشش HPV در ایران در تخمین‌های ۲۰۲۴، در دسترس نیست. میانگین جهانی در گروه هدف اولیه، ۵۶.۷۹٪ است. فقدان داده یا برنامه مستقر شده در این زمینه، حوزه‌ای برای توسعه بالقوه در مقایسه با میانگین جهانی را نشان می‌دهد.

باورهای غلط در مورد واکسیناسیون

باورهای غلط در مورد واکسیناسیون، مستقیماً سلامت برنامه‌های بهداشت عمومی جهانی را تهدید می‌کند. به همین دلیل، ارتباطات واضح و مبتنی بر شواهد برای ترویج تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در

این استراتژی‌های هدفمند، آموزش عمومی را فراهم می‌کنند که می‌تواند متناسب با نگرانی‌های خاص تنظیم شود، برای مثال، اطلاعات ایمنی واکسن‌های دوران کودکی و کووید-۱۹. این آموزش همچنین باید بر توضیح ایمن‌سازی، واکسیناسیون، سازوکار عملکرد واکسن‌ها و مزایای واکسن‌ها در پیشگیری از بیماری‌ها تأکید کند. استفاده از کمپین‌های چندرسانه‌ای مانند رادیو، تلویزیون، رسانه‌های اجتماعی و پلتفرم‌های مکتوب می‌تواند بسته به مخاطب هدف به زبان‌های مناسبی تطبیق داده شود (۳).

استراتژی ارتباطی مؤثر

این استراتژی باید اطلاعات متعادل و واضحی ارائه دهد تا اعتماد بیشتر عمومی را ایجاد کند. این پیام باید توسط متخصصان حوزه سلامت و واکسیناسیون، از جمله مقامات علمی، بالینی و کارشناسان بهداشت عمومی ارائه شود. ارتباطاتی که با احزاب سیاسی خاص یا توضیحات مذهبی همراه است باید به‌طور جدی مورد اجتناب قرار گیرد (۳).

تضمین محیط مناسب

این راهبرد نیازمند مشارکت مؤثر دولت، جامعه مدنی، رهبران مذهبی و رسانه‌ها است. بااطمینان از اجرای کارآمد برنامه واکسیناسیون، نگرش مثبت عمومی به‌حداکثر می‌رسد. به‌عنوان مثال، واکسیناسیون می‌تواند در ساعات عصر یا آخر هفته‌ها ارائه شود و مکان‌هایی مانند عبادتگاه‌ها می‌توانند برای جوامعی که نسبت به دولت بی‌اعتماد هستند، احساس آشنایی و اطمینان ایجاد کنند. ارائه خدمات حمل‌ونقل به جوامعی که در فاصله زیاد از مراکز واکسیناسیون قرار دارند، می‌تواند برای افرادی که واکسیناسیون را به‌عنوان گزینه‌ای قابل‌دسترس در نظر نگرفته‌اند، راه‌حلی فراهم کند. علاوه بر این، وجود پلتفرم‌های آنلاین قابل‌دسترس برای دریافت‌کنندگان واکسن و کارکنان مراقبت‌های بهداشتی می‌تواند بازخورد مثبت کاربران را افزایش داده و برنامه واکسیناسیون را تقویت کند. از جمله مواردی که می‌توان در استفاده از پلتفرم‌های آنلاین در نظر گرفت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱) درک الگوهای استفاده از رسانه‌های اجتماعی می‌تواند فرصتی برای مداخلات هدفمند فراهم کند.
- ۲) پتانسیل قوی برای تقویت دیدگاه‌های قطبی‌شده از طریق رسانه‌های اجتماعی وجود دارد، که این خود فرصتی برای هدف قرار دادن اطلاعات غلط (Misinformation) ایجاد می‌کند.

توجیه‌پذیری بیولوژیک: این فرضیه «از نظر بیولوژیکی قابل توجیه» تلقی شد. این نتیجه‌گیری براساس شواهد مستقیم نبود، بلکه بر اساس «تشابه با متیل جیوه» (یک سم عصبی که مطالعات بیشتری روی آن انجام شده است) صورت گرفت. نکته حیاتی برای شفاف‌سازی و درک این بحث تاریخی ضروری است: واکسن (MMR) هرگز حاوی تیمروسال نبوده است. بنابراین، یافته‌های IOM در مورد تیمروسال، مستقیماً به پروفایل ایمنی خود واکسن MMR قابل تعمیم نیست.

تأثیر باورهای غلط در مورد واکسیناسیون بر جامعه و نظام سلامت

سوءبرداشت‌ها و تردید به واکسن‌ها باعث کاهش پوشش واکسیناسیون می‌شود و این امر مستقیماً منجر به بازگشت بیماری‌های قابل پیشگیری، از دست‌رفتن وضعیت حذف بیماری‌هایی مانند سرخک، افزایش فشار بر نظام سلامت، و زیان‌های اجتماعی و اقتصادی گسترده می‌گردد. این باورهای غلط اعتماد به واکسیناسیون را به‌طور کلی تضعیف می‌کند و پوشش و پذیرش واکسیناسیون را کاهش می‌دهد (۲). برخی از این اثرات در ادامه توضیح داده شده است.

اثرات اپیدمیولوژیک:

کاهش پوشش منجر به شیوع مجدد بیماری‌ها می‌شود (مانند سرخک و سیاه‌سرفه).
افت واکسیناسیون باعث از دست‌رفتن وضعیت حذف بیماری در کشورها شده است.

افزایش سن بیماران منجر به شدت بیشتر بیماری‌ها می‌شود.

اثرات بر نظام سلامت:

افزایش بستری و هزینه‌های بیمارستانی.
فشار مالی ناشی از اقدامات اضطراری (مانند کمپین‌های واکسیناسیون).

افزایش نیاز به نظارت آزمایشگاهی و اپیدمیولوژیک.
نیاز به کمپین‌های جبرانی برای بازگرداندن پوشش از دست‌رفته.

اثرات بر سیاست‌های بهداشت عمومی:

عقب‌ماندگی در اهداف حذف جهانی بیماری‌ها.
چالش بین سیاست‌های اجباری و اعتمادسازی عمومی.
راهبردهای اصلاح سوءبرداشت‌ها در جامعه و نقش مردم و نظام سلامت

تبلیغات آموزش واکسن

رویکردهای نوآورانه برای مشارکت جامعه بهره‌برداری شود؛ انجام این کار باعث افزایش فهم نگرانی‌های خاص و تشویق به ارتباطی می‌شود که به نیازهای آن‌ها پاسخ می‌دهد، که ممکن است با نیازهای جمعیت عمومی متفاوت باشد. ارتباط باید مبتنی بر شواهد، مناسب از نظر فرهنگی و متناسب با موقعیت‌های فردی در خصوص تردید نسبت به واکسن باشد (۵).



علاوه بر موارد بالا نحوه ارتباط‌گیری نیز می‌تواند روی نتیجه پیام تاثیر بگذارد. در مطالعه مویر گوسه و همکاران تأثیر پیام طنزآمیز (در مقایسه با پیام غیرطنزآمیز) درباره اهمیت واکسن سرخک، سرخجه و اوریون را بر تردید والدین نسبت به واکسن بررسی کردند. نتایج نشان‌داد که در مقایسه با پیام جدی‌تر، پیام طنزآمیز واکنش منفی را کاهش داده و موجب افزایش درک شدت بیماری سرخک شد، که در نتیجه تردید نسبت به واکسیناسیون را کاهش داد (۶).

منابع

1. Gabis LV, Attia OL, Goldman M, Barak N, Tefera P, Shefer S, et al. The myth of vaccination and autism spectrum. *European Journal of Paediatric Neurology*. 2022;36:151-8.
2. Noor A, Tehsin A, Mehreen A, Khatoon A, Maqbool K, Imran M, et al. Vaccination and Immunization: Myths, Facts and Controversies.
3. Opoku A, Adjei TAA, Owusu NA. Strategies for Correcting Misinformation about Vaccination and Increasing Coverage: Relevance for Health Education. *British Journal of Healthcare and Medical Research*. 2025;12(04):309-16.
4. Manga MM, Fowotade A, Modibbo ZI, Madhivhandila M, Ndao T, Abayomi O, et al. Misconceptions leading to human papillomavirus vaccination hesitancy in Nigeria: Findings from a modified Delphi panel with stakeholders

(۳) انتظار می‌رود متخصصان حوزه واکسن از برخی پلتفرم‌های رسانه‌های اجتماعی برای ترویج اهمیت واکسن در پیشگیری از بیماری‌ها، اصلاح اطلاعات نادرست درباره واکسن‌ها، آموزش، ترویج رفتارهای سالم و تسهیل ارتباط میان افراد و متخصصان مراقبت‌های بهداشتی و ارتقای پوشش واکسیناسیون استفاده کنند.

(۴) استفاده از رسانه‌های اجتماعی برای درک احساسات عمومی امکان اجرای مداخلات سفارشی و هدفمند، متناسب با دیدگاه‌های فعلی مردم را فراهم می‌کند.

(۵) باتوجه به این‌که رویدادهای خاص احساسات مردم را در مورد واکسیناسیون برمی‌انگیزند، بسیار حیاتی است که دولت‌ها به‌سرعت و در واکنش به رویدادهای بهداشت عمومی، سیاست‌های واکسیناسیون را تنظیم کنند تا از طریق نظارت پویا بر احساسات عمومی، واکسیناسیون گسترده را ترویج دهند (۳).



آموزش و سواد سلامت

گنجاندن آموزش ایمن‌سازی در برنامه‌های درسی مدارس: تحقیقات نشان داده‌است که برنامه‌های آموزشی جامع می‌توانند به‌طور قابل توجهی دانش و پذیرش واکسن را بهبود بخشند. ادغام این کمپین‌ها در برنامه‌های درسی موجود مدارس و استفاده از پلتفرم‌های رسانه‌های اجتماعی می‌تواند راهبردهای مؤثری برای دستیابی به گروه سنی هدف (۹-۱۴ سال) و مراقبان آن‌ها باشد (۴).

مشارکت جامعه

برای ایجاد اعتماد در جوامع محروم‌شده، باید نگرانی‌های آن‌ها را به رسمیت شناخته و به آن‌ها پرداخته شود، نه این‌که نادیده گرفته شوند. اهمیت دارد که جمعیت‌های آسیب‌پذیر در اولویت قرارگیرند و از



of the immunization ecosystem. Vaccine: X. 2025;27:100729.

5. Goje O, Kapoor A. Meeting the challenge of vaccine hesitancy. Cleveland Clinic Journal of Medicine. 2024;91(9 suppl 1):S50.
6. Moyer-Gusé E, Robinson MJ, McKnight J. The Role of Humor in Messaging about the MMR Vaccine. Journal of Health Communication. 2018;23(6):514-22.

افزایش جهانی بار سرطان و نابرابری

خانواده آن‌هاست و هدف آن درمان سرطان نیست. این نوع مراقبت در جاهایی که بیماران در مراحل پیشرفته قرار دارند اهمیت ویژه دارد. بیش از ۹۰٪ بیماران مراحل پیشرفته می‌توانند از مراقبت تسکینی مناسب بهره‌مند شوند. براساس آمارهای پایگاه داده ای آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان در سال ۲۰۲۲، سه نوع سرطان اصلی در جهان شامل سرطان‌های ریه، پستان و کولورکتال می‌باشد. داده‌ها برگرفته از ۱۸۵ کشور و ۳۶ نوع سرطان می‌باشد و نشان می‌دهد که ۱۰ نوع سرطان حدود دو سوم موارد جدید و مرگ و میرها را در سال ۲۰۲۲ تشکیل داده‌اند. سرطان ریه با ۲.۵ میلیون مورد جدید شایع‌ترین سرطان بود (۱۲.۴٪ کل موارد جدید). سرطان پستان (در زنان) دومین رتبه را داشت (۲.۳ میلیون مورد، ۱۱.۶٪) و سپس سرطان کولورکتال (۱.۹ میلیون مورد، ۹.۶٪)، پروستات (۱.۵ میلیون مورد، ۷.۳٪) و معده (۹۷۰ هزار مورد، ۴.۹٪) قرار گرفتند.

در ارتباط با مرگ و میر ناشی از سرطان، سرطان ریه نیز عامل اصلی مرگ به‌دلیل سرطان بود (۱.۸ میلیون مرگ، ۱۸.۷٪ کل مرگ‌ها) و پس از آن سرطان کولورکتال (۹۰۰ هزار مرگ، ۹.۳٪)، کبد (۷۶۰ هزار مرگ، ۷.۸٪)، پستان (۶۷۰ هزار مرگ، ۶.۹٪) و معده (۶۶۰ هزار مرگ، ۶.۸٪) قرار داشتند. بازگشت سرطان ریه به‌عنوان شایع‌ترین سرطان احتمالاً با مصرف مداوم تنباکو در آسیا مرتبط است. در خصوص شیوع و مرگ و میر به‌دلیل سرطان، تفاوت‌هایی نیز بین جنسیت بیماران مشاهده‌شد. در زنان، شایع‌ترین سرطان و عامل اصلی مرگ، سرطان پستان بود، در حالی‌که در مردان، سرطان ریه پیش‌تاز بود. سرطان پستان در ۱۵۷ کشور از ۱۸۵ کشور، شایع‌ترین سرطان در زنان بود. سرطان دهانه رحم هشتمین سرطان شایع و نهمین علت مرگ ناشی از سرطان بود (۶۶۱ هزار مورد جدید و ۳۴۸ هزار مرگ) و در ۲۵ کشور شایع‌ترین سرطان زنان است که بسیاری از آن‌ها در آفریقا و جنوب صحرای آفریقا قرار دارند. با گسترش طرح سازمان جهانی بهداشت برای حذف سرطان دهانه رحم، این سرطان به‌عنوان یک مشکل بهداشتی عمومی قابل کنترل است.

شایع‌ترین سرطان‌ها در ایران:

بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان و سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۲۲ در ایران، در مجموع ۱۳۷ هزار ایرانی در سال گذشته (۲۰۲۱) برای نخستین‌بار با سرطان تشخیص داده‌شده‌اند.

سرطان همچنان یک چالش بزرگ در بهداشت عمومی جهان است. عوامل متعدد از جمله سالمندشدن جمعیت، رفتارهای ناسالم، عفونت‌ها و مواجهه‌های محیطی در افزایش بار بیماری سرطان نقش دارند. افراد، خانواده‌ها و نظام‌های سلامت بیش از پیش تحت تأثیر پیامدهای احساسی، روانی-اجتماعی و فشار مالی ناشی از سرطان قرار می‌گیرند. بیشتر کشورها با دسترسی نابرابر به خدمات پیشگیری، تشخیص، درمان و مراقبت‌های سرطان مواجه‌اند که همواره طبقات محروم و گروه‌های خاص جمعیتی را بیشتر تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. باوجود پیشرفت‌های قابل‌توجه در درمان و تشخیص زودهنگام، شکاف قابل‌توجهی میان نیاز بیماران و ظرفیت نظام‌های سلامت وجود دارد. گزارش‌های بین‌المللی نشان می‌دهد بسیاری از کشورها، به‌ویژه کشورهای با درآمد متوسط و کم، هنوز منابع کافی برای پیشگیری، غربالگری، درمان و مراقبت‌های تسکینی را تأمین نکرده‌اند. نابرابری در دسترسی به خدمات تشخیصی پیشرفته، داروهای نوین سرطان و مراقبت‌های حمایتی، پیامدهای قابل‌پیشگیری بسیاری را به بیماران تحمیل می‌کند و بار اقتصادی سیستم‌های سلامت را تشدید می‌نماید.

آمارهای جهانی سرطان:

برآوردهای سازمان جهانی بهداشت و آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان بر اساس بهترین منابع داده موجود در سال ۲۰۲۲ نشان‌دهنده افزایش بار سرطان، تأثیر نامتناسب آن بر جمعیت‌های کم‌برخوردار و نیاز فوری به رفع نابرابری‌ها در مراقبت‌های سرطانی در سراسر جهان است. در سال ۲۰۲۲، حدود ۲۰ میلیون مورد جدید سرطان و ۹.۷ میلیون مرگ ناشی از سرطان گزارش شد. تعداد افرادی که تا ۵ سال پس از تشخیص سرطان زنده مانده بودند، ۵۳.۵ میلیون نفر تخمین زده‌شد. حدود ۱ نفر از هر ۵ نفر در طول زندگی خود به سرطان مبتلا می‌شوند و تقریباً ۱ نفر از هر ۹ مرد و ۱ نفر از هر ۱۲ زن از این بیماری می‌میرند. نظرسنجی جهانی سازمان جهانی بهداشت درباره پوشش همگانی سلامت و سرطان نشان‌داد که تنها ۳۹٪ از کشورهای شرکت‌کننده اصول اولیه مدیریت سرطان را به‌عنوان بخشی از خدمات بهداشتی پایه خود تحت‌پوشش مالی و بیمه‌ای قرار داده‌اند. تنها ۲۸٪ از کشورهای شرکت‌کننده مراقبت برای افرادی که به مراقبت تسکینی نیاز دارند، را پوشش می‌دهند. مراقبت تسکینی برای تسکین علایم و درد و بهبود کیفیت زندگی بیماران و

این سرطان‌ها در صورت تشخیص سریع، قابل درمان یا کنترل هستند.

نابرابری بار سرطان:

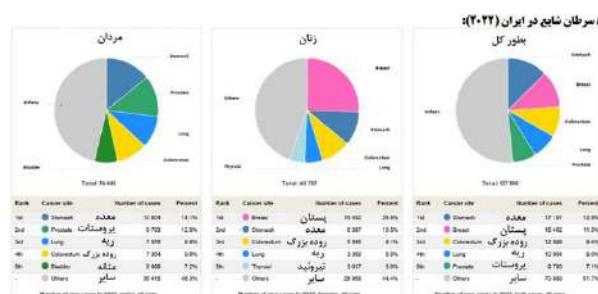
کشورهای کم‌درآمد و متوسط همراه با افزایش شیوع عوامل خطری که با توسعه اقتصادی مرتبط هستند (مانند سیگار، رژیم غذایی ناسالم، مصرف الکل، چاقی، فعالیت بدنی ناکافی و کاهش باروری) با افزایش چشمگیر بروز سرطان ریه، کولورکتال و پستان روبه‌رو هستند؛ هرچند سرطان‌های مرتبط با عفونت‌ها (مانند سرطان دهانه رحم) همچنان شایع‌اند. کاهش بار سرطان نیازمند ترکیبی از مداخلات سلامت عمومی و نظام سلامت است. بین ۳۰ تا ۵۰ درصد مرگ‌های ناشی از سرطان با اصلاح عوامل خطر محیطی، رفتاری و عفونی قابل پیشگیری هستند. سرطان در صورت تشخیص زودهنگام بیشتر به درمان مؤثر پاسخ می‌دهد. بهبود غربالگری، تشخیص زودهنگام و اطمینان از درمان سریع شانس بقا را افزایش می‌دهد. همچنین حمایت‌های روانی-اجتماعی و مراقبت‌های تسکینی که بر بهبود کیفیت زندگی بیماران و خانواده‌های آنان تمرکز دارد، بخش اساسی مراقبت سرطان است.

در حالی که نابرابری‌های اجتماعی همه مراحل مراقبت سرطان—از پیشگیری و تشخیص تا درمان و مراقبت تسکینی—را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توان بار سرطان را با اجرای راهبردهای اثبات‌شده پیشگیری و کنترل سرطان متناسب با منابع موجود کاهش داد. این راهبردها شامل سیاست‌های سلامت‌محور، کنترل دخانیات، واکسیناسیون (HBV و HPV) غربالگری و تشخیص زودهنگام است. مرگ‌ومیر ناشی از سرطان در بسیاری از کشورهای کم‌درآمد به دلیل بقای پایین‌تر بیماران بیشتر است. بیش از ۹۰٪ جمعیت در کشورهای کم‌درآمد و متوسط به مراقبت‌های جراحی ایمن و به‌موقع دسترسی ندارند؛ همچنین ۲۳ کشور با درآمد کم‌متوسط و جمعیت بیش از یک میلیون نفر (عمدتاً در آفریقای زیر صحرای) هیچ دسترسی به رادیوتراپی ندارند.

برآوردهای جهانی نشان‌دهنده نابرابری چشمگیر بار سرطان باتوجه‌به توسعه انسانی است، به‌ویژه برای سرطان پستان. در کشورهای با شاخص توسعه انسانی بسیار بالا، ۱ نفر از هر ۱۲ زن در طول زندگی خود به سرطان پستان مبتلا می‌شود و ۱ نفر از هر ۷۱ زن می‌میرد. در کشورهای با شاخص توسعه انسانی پایین، تنها ۱ نفر از هر ۲۷ زن مبتلا می‌شود، اما ۱ نفر از هر ۴۸ زن می‌میرد. همچنین سازمان جهانی بهداشت نشان‌داد که در کشورهای با درآمد بالا، خدمات

همچنین این بیماری مرگ ۸۷ هزار نفر را در کشور رقم‌زده‌است؛ آماري که نشان می‌دهد سرطان همچنان یکی از مهم‌ترین چالش‌های نظام سلامت ایران است. بر اساس این گزارش، خطر ابتلا به سرطان تا قبل از سن ۷۵ سالگی برای هر فرد ایرانی حدود ۱۵.۵ درصد است؛ یعنی تقریباً از هر هفت نفر یک نفر ممکن است در طول زندگی دچار سرطان شود. در سال ۲۰۲۲، در مجموع بیشترین مرگ‌های ناشی از سرطان در ایران به‌ترتیب مربوط به سرطان معده، سرطان ریه و سرطان روده بزرگ بوده است. نرخ استانداردشده مرگ ناشی از سرطان در کشور ۹۶.۵ مورد به ازای هر ۱۰۰ هزارنفر گزارش شده است. این گزارش همچنین اعلام می‌کند که بیش از ۳۵۷ هزار ایرانی در پنج سال گذشته تشخیص سرطان داشته‌اند و اکنون با این بیماری زندگی می‌کنند؛ موضوعی که اهمیت خدمات حمایتی و تسهیل دسترسی بیماران به درمان را برجسته می‌کند.

در شکل زیر اطلاعات مربوط به سرطان‌های شایع در ایران در سال ۲۰۲۲ آورده شده است.



در مجموع، سرطان معده (۱۲.۵٪)، پستان (۱۱.۳٪)، روده بزرگ (۹.۴٪)، ریه (۸٪) و پروستات (۷.۱٪) جزء سرطان‌های شایع و بیش از ۵۱.۷٪ موارد شامل سایر سرطان‌هاست. داده‌ها نشان می‌دهد که الگوی ابتلا به سرطان‌ها در میان مردان و زنان متفاوت بود؛ به‌طوری‌که در مردان ۵ سرطان شایع شامل سرطان‌های معده (۱۴.۱٪)، پروستات (۱۲.۸٪)، ریه (۹.۹٪)، روده بزرگ (۹.۶٪) و مثانه (۷.۲٪) بودند و بیش از ۴۶.۳٪ موارد به سایر سرطان‌ها اختصاص داشت. در زنان نیز سرطان‌های پستان (۲۵.۵٪)، معده (۱۰.۵٪)، روده بزرگ (۹.۱٪)، ریه (۵.۵٪) و تیروئید (۵٪)، به‌ترتیب پنج سرطان شایع بوده است. همچنین بیش از ۴۴.۴٪ موارد مربوط به سایر سرطان‌هاست. افزایش موارد ابتلا و مرگ ناشی از سرطان در ایران نشان می‌دهد که ضرورت برنامه‌ریزی برای پیشگیری، تغییر سبک زندگی، ارتقای غربالگری و تشخیص زودهنگام بیش از گذشته احساس می‌شود. متخصصان تاکید می‌کنند که بخش قابل‌توجهی از



کشورهای با درآمد بالا متمرکز هستند، در حالی که ۶۳ کشور هیچ کارآزمایی ثبت شده‌ای ندارند. سرطان‌هایی که بیشترین مرگ‌ومیر را در کشورهای با درآمد کم و متوسط ایجاد می‌کنند—مانند سرطان کبد، دهانه رحم و معده—از کم‌مطالعه‌ترین سرطان‌ها هستند. پژوهش‌ها همچنین به‌طور نامتناسبی بر داروهای جدید متمرکز شده‌اند، در حالی که جراحی، پرتودرمانی، تشخیص و مراقبت تسکینی کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند.

پیش‌بینی افزایش بار سرطان تا سال ۲۰۵۰:

تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۳۵ میلیون مورد جدید سرطان پیش‌بینی می‌شود که ۷۷٪ افزایش نسبت به سال ۲۰۲۲ است. رشد بار جهانی سرطان ناشی از افزایش سن و جمعیت و تغییرات در مواجهه با عوامل خطر مانند تنباکو، الکل، چاقی و آلودگی هوا است. در کشورهای با شاخص توسعه انسانی بالا، بیشترین افزایش مطلق پیش‌بینی می‌شود (۴/۸+ میلیون مورد جدید). با این حال، بیشترین افزایش نسبی در کشورهای با شاخص توسعه انسانی پایین (۱۴۲٪) و متوسط (۹۹٪) است و مرگ و میر نیز تقریباً دو برابر خواهد شد. سازمان جهانی بهداشت و آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان تأکید می‌کنند که دسترسی به مراقبت‌های سرطان نباید وابسته به محل زندگی افراد باشد و نیازمند سرمایه‌گذاری و اراده سیاسی برای برابری در مراقبت‌ها است.

در خاتمه باید بدانیم:

انتقال اپیدمیولوژیک به سمت بیماری‌های غیرواگیر باعث شده است که سرطان در بسیاری از کشورها به اصلی‌ترین علت مرگ‌ومیر تبدیل شود. افزایش شیوع عوامل خطری چون چاقی، مصرف دخانیات، آلودگی هوا، رژیم‌های غذایی ناسالم و کم‌تحركی، نقش مهمی در روند روبه‌رشد این بیماری ایفا می‌کند. در چنین شرایطی، سرمایه‌گذاری هدفمند در برنامه‌های پیشگیری اولیه، ارتقای آگاهی عمومی، توسعه ظرفیت‌های غربالگری و تقویت نظام مراقبت‌های یکپارچه سرطان بیش از پیش ضرورت دارد. در مجموع، شواهد علمی نشان می‌دهد که مقابله مؤثر با، بار روبه‌رشد سرطان نیازمند رویکردی جامع است که ابعاد جمعیت‌شناختی، اجتماعی-اقتصادی و ساختاری نظام سلامت را در نظر بگیرد. گسترش زیرساخت‌های درمانی، تقویت نیروی انسانی متخصص، بهبود پوشش بیمه‌ای و ایجاد برنامه‌های ملی کنترل سرطان می‌تواند به کاهش نابرابری‌ها و مدیریت مؤثر این بحران جهانی کمک کند.

مرتبط با سرطان ریه ۷-۴ برابر بیشتر پوشش داده می‌شوند و پوشش خدمات پرتودرمانی به‌طور متوسط چهار برابر بیشتر است. بیشترین نابرابری مربوط به پیوند سلول‌های بنیادی بود که ۱۲ برابر بیشتر در کشورهای با درآمد بالا پوشش داده می‌شود.

سرطان دهانه رحم همچنان علت اصلی مرگ ناشی از سرطان در زنان در ۲۹ کشور واقع در آفریقای زیر صحرا است. در بسیاری از این کشورها، کمتر از ۱۰٪ زنان ۳۰-۴۹ ساله غربالگری شده‌اند، در حالی که این میزان در بیشتر کشورهای غربی بیش از ۸۰٪ است. پوشش واکسن بسیار مؤثر HPV نیز اختلاف زیادی دارد: از ۳٪ در آسیای مرکزی و جنوبی تا ۸۶٪ در استرالیا و نیوزیلند.

در میان بزرگسالان جوان، بروز سرطان کولورکتال در بسیاری از کشورهای پردرآمد رو به افزایش است، در حالی که در بزرگسالان مسن‌تر، به دلیل کاهش مصرف سیگار و انجام غربالگری، روند کاهشی دارد. این افزایش احتمالاً تا حدی با همه‌گیری چاقی و مصرف رژیم غذایی ناسالم مرتبط است. هر سال حدود ۴۰۰٬۰۰۰ کودک و نوجوان به سرطان مبتلا می‌شوند، اما نرخ بقا در اغلب کشورهای با درآمد کم و متوسط کمتر از ۳۰٪ است؛ در حالی که این رقم در کشورهای با درآمد بالا بیش از ۸۰٪ می‌باشد. یکی از موانع اصلی، نبود داروهای مناسب سن کودکان است. کودکان مبتلا به سرطان اغلب مجبور به استفاده از فرمولاسیون‌های بزرگسالان هستند که مصرف آن‌ها دشوار یا غیرعملی است و منجر به دوزدهی نادرست و افزایش خطرات درمانی می‌شود. هر کودک مبتلا به سرطان سزاوار داروهای است که ایمن، مؤثر و متناسب با سن او باشد.

پوشش همگانی سلامت تضمین می‌کند که همه افراد بدون فشار مالی به خدمات باکیفیت دسترسی داشته باشند. اما در سال ۲۰۲۱، حدود ۴.۵ میلیارد نفر (۵۷٪ جمعیت جهان) هنوز از پوشش کامل خدمات ضروری محروم بودند. اجرای یک مجموعه خدمات ضروری سرطان در قالب پوشش همگانی سلامت می‌تواند بیش از ۷ میلیون زندگی را تا سال ۲۰۳۰ نجات دهد.

سازمان جهانی بهداشت تحلیل جدیدی منتشر کرده است که شکاف‌های مهم در تلاش‌های جهانی پژوهش و توسعه مرتبط با سرطان را آشکار می‌کند. این گزارش نشان می‌دهد که باوجود پیشرفت‌های سریع در تحقیقات بالینی، سرمایه‌گذاری و نوآوری اغلب با بزرگ‌ترین نیازهای بهداشت عمومی هم‌راستا نیستند و در نتیجه، بسیاری از جمعیت‌های آسیب‌پذیر جهان همچنان عقب می‌مانند. داده‌ها نشان می‌دهند که کارآزمایی‌های بالینی سرطان همچنان در

منابع

1. <https://www.who.int/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services>
2. chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/populations/364-iran-islamic-republic-of-fact-sheet.pdf
3. <https://www.who.int/news/item/22-09-2025-who-publishes-new-r-d-landscape-analyses-highlighting-gaps-and-inequities-in-cancer-research>
4. <https://www.who.int/news/item/06-11-2025-who-sets-new-global-standard-for-child-friendly-cancer-drugs--paving-way-for-industry-innovation>
5. <https://pressroom.cancer.org/2025-06-25-New-ACS-Cancer-Atlas-Global-Report-Shows-Nearly-Half-of-Cancer-Mortality-Worldwide-Attributable-to-Potentially-Modifiable-Risk-Factors>

آینده استفاده از داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی و ابزارهای دیجیتال در تحلیل اپیدمیولوژیک رویدادهای سلامت؛ فرصت‌ها و چالش‌ها

۱-۲. اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب^۲

نظارت بر RNA ویروسی در فاضلاب امکان هشدار زودهنگام شیوع بیماری را فراهم کرده‌است؛ در مطالعه‌ای، سطح SARS-CoV-2 در فاضلاب با چند روز تأخیر نسبت به بستری‌ها همبستگی داشت (۱). مرورهای سیستماتیک جدید نیز نشان می‌دهند که WBE نه تنها برای ویروس‌ها قابل استفاده است، بلکه می‌تواند عوامل بیماری‌زای دیگر و مقاومت آنتی‌بیوتیکی را رصد کند (۴).

۱-۳. پایش محیطی و اقلیمی

داده‌های ماهواره‌ای شامل دما، رطوبت، بارندگی و پوشش گیاهی، وقتی در تحلیل اپیدمیولوژیک به کار می‌روند، الگوهای انتقال بیماری‌های ناقل‌دار را توضیح می‌دهند، به‌ویژه در بیماری‌هایی مثل تب‌دنگی یا مالاریا (۵). برای مثال مطالعه‌ای در ۱۲ منطقه‌ی اتیوپی گزارش کرد که متغیرهای ماهواره‌ای مانند بارش، دمای سطح زمین، شاخص‌های پوشش گیاهی و تبخیر با تأخیر زمانی ۱ تا ۳ ماه همبستگی معنی‌دار با موارد مالاریا داشتند و افزودن این متغیرها به مدل‌های سری‌زمانی دقت پیش‌بینی را بهبود بخشید (۶).

۲. مدل‌سازی و پیش‌بینی

۲-۱. پیش‌بینی با هوش مصنوعی

الگوریتم‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی عمیق، LSTM^۴ و XGBoost^۵ روی داده‌های بالینی توانسته‌اند پیش‌بینی موارد بستری، مرگ‌ومیر و روند کلی اپیدمی‌ها را بهبود دهند (۱،۳). مطالعه‌ای در ایالات متحده آمریکا در ۲۰۱۹، با استفاده از داده‌های پرونده الکترونیک سلامت و شبکه عصبی LSTM، مرگ‌ومیر در بیماران مبتلا به زوال عقل را پیش‌بینی کرد (۷).

۲-۲. شبیه‌سازی مبتنی بر عامل^۶

مدل‌های مبتنی بر عامل، امکان شبیه‌سازی دقیق رفتار انسان‌ها، تماس‌های اجتماعی و اثر مداخلات مانند تعطیلی مدارس یا واکسیناسیون هدفمند را فراهم می‌کنند. این رویکرد در مرورهای

در دهه‌ی اخیر، پیشرفت‌های شتابان در فناوری‌های دیجیتال، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و افزایش توان محاسباتی، چشم‌انداز اپیدمیولوژی را به‌طور بنیادین دگرگون کرده‌اند. این تغییرات در کنار گسترش منابع داده‌ای، نظیر سوابق سلامت الکترونیک، داده‌های ژنومی، اطلاعات محیطی، شبکه‌های اجتماعی و دستگاه‌های اینترنت اشیا، امکان تحلیل بسیار دقیق‌تر، بلا درنگ و پیش‌بینی‌محور رویدادهای سلامت را فراهم می‌کنند. (۱-۳) در ادامه به مهم‌ترین موارد کاربرد آن در اپیدمیولوژی به همراه مثال‌های عینی پرداخته می‌شود.



۱. پایش و مراقبت اپیدمیولوژیک مبتنی بر داده‌های بزرگ^۱

۱-۱. پایش سنتینل و غیربالینی^۲

تحلیل داده‌های اینترنتی مانند جست‌وجوی گوگل و فعالیت در شبکه‌های اجتماعی، همراه با داده‌های اپلیکیشن سلامت، امکان شناسایی سریع‌تر تغییرات در الگوی علایم بیماری را به‌عنوان مکمل سیستم‌های سنتی نظارت، فراهم می‌کنند. (۴) برای مثال، استفاده از اپلیکیشن‌های خوداظهاری علائم کووید ۱۹ موفقیت‌آمیز بوده و داده‌های آن به پیش‌بینی موج‌های بیماری و رصد مناطق با خطر بالا کمک کرده‌اند. (۲،۳)

Long Short-Term Memory4
eXtreme Gradient Boosting5
Agent-Based Modeling ۶

Big Data-Based Epidemiological Surveillance and Monitoring^۱
Sentinel and Non-Clinical Surveillance^۲
Wastewater-Based Epidemiolog(WBE)^۳

شبکه عصبی عمیق روی داده‌های EHR بیماران دیابتی، ریسک ابتلا به نارسایی قلبی را پیش‌بینی کرده‌اند (۱۲).

۴-۲. یادگیری فدریتد^{۱۳}

استفاده از یادگیری فدریتد در داده‌های بالینی به اپیدمیولوژیست‌ها اجازه می‌دهد مدل‌هایی بدون نیاز به اشتراک‌گذاری داده خام بین بیمارستان‌ها، که می‌تواند حفظ حریم خصوصی را تضمین کند، بسازند (۱۰، ۱۱). در مطالعه‌ای در چند بیمارستان چین، پژوهشگران با استفاده از یادگیری فدریتد روی داده‌های بالینی، مدل پیش‌بینی ریسک بیماران را بدون اشتراک‌گذاری داده‌های خام توسعه دادند و همزمان حریم خصوصی بیماران را حفظ کردند (۱۳).

۴-۳. تحلیل متن^{۱۴}

تحلیل متون نوت‌های بالینی با استفاده از پردازش زبان طبیعی و یادگیری عمیق، می‌تواند اطلاعات مهمی نظیر علائم اولیه، تغییرات روند بیماری و نقاط خطر را استخراج کند (۱۴). پژوهشگران طی مطالعه‌ای در ایالات متحده در ۲۰۲۲، با استفاده از مدل زبان عمیق توانستند علائم بالینی بیماران کووید-۱۹ را از متون نوت بالینی و شبکه‌های اجتماعی استخراج کنند (۱۵).

۵. اپیدمیولوژی رفتاری و اجتماعی

تحلیل داده‌های شبکه‌های اجتماعی در زمان همه‌گیری نشان داد که موج‌های اینفودمیک^{۱۵} می‌تواند رفتار جمعیتی در برابر واکسن یا مداخلات سلامت را تغییر دهد (۱۶). در مطالعه‌ای در اروپا و آمریکا در سال ۲۰۲۰ تحلیل داده‌های شبکه‌های اجتماعی نشان داد که موج‌های اینفودمیک می‌تواند رفتار جمعیتی نسبت به واکسن و مداخلات سلامت را تحت تأثیر قرار دهد (۱۷).

۶. ترکیب داده ژنوم فردی با محیطی

ترکیب داده‌های ژنتیکی افراد با داده‌های محیطی (مثل اقلیم، جمعیت، تحرک) به شناسایی جمعیت‌های حساس‌تر به بیماری کمک می‌کند و امکان پیشگیری هدفمند را فراهم می‌آورد (۵، ۱۰). در یک مطالعه در برزیل در سال ۲۰۱۸، ترکیب داده‌های ژنتیکی و ویروس با اطلاعات محیطی و جمعیتی به شناسایی جمعیت‌ها و مناطق حساس

آخر به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای طراحی سیاست‌های اپیدمیولوژیک شناخته شده‌است (۴). مطالعه‌ای در ایرلند در ۲۰۲۱ با استفاده از مدل ترکیبی عامل‌محور و معادله‌ای نشان داد که تعطیلی مدرسه‌ها، به‌ویژه در شهرهای با درجه مرکزی بالا، می‌تواند به‌طور قابل توجهی شیوع سرخک را کاهش دهد (۸).

۳. تحلیل انتقال و زنجیره‌های اپیدمی

۳-۱. تحلیل داده‌های تحرک^۷

داده‌های موبایل، GPS و حمل‌ونقل عمومی به ما کمک می‌کنند مسیرهای انتشار بیماری را شناسایی کنیم و نقاط فوق‌انتقال^۸ را مدل‌سازی کنیم. به‌خصوص در مدل‌هایی که سیاست‌هایی مانند فاصله‌گذاری یا محدودیت سفر را شبیه‌سازی می‌کنند (۵). در مطالعه‌ای در ایتالی در سال ۲۰۲۲، محققان از داده‌های جابه‌جایی بین سلول‌های شبکه موبایل برای مدل‌سازی الگوهای حرکت انسان استفاده کردند و نشان دادند که جابه‌جایی‌های روزانه و بین نواحی پرجمعیت و مناطق مرزی می‌تواند نقش مهمی در انتقال مالاریا داشته باشد (۹).

۳-۲. اپیدمیولوژی ژنومیک^۹

توالی‌یابی ژنومی پاتوژن‌ها عملکردی کلیدی در ردیابی جهش‌ها، شناسایی سویه‌های جدید و تحلیل مسیر ورود عوامل بیماری‌زا دارد. پلتفرمی مانند پلتفرم تحلیل و ردیابی ژنوم ویروس‌ها به‌صورت بلا درنگ^{۱۰} امکان رصد زمان واقعی تغییرات ژنتیکی را فراهم می‌کند (۱۰). همچنین، مطالعات ژنومیک نشان داده‌اند که ترکیب داده ژنومی با داده‌های اپیدمیولوژیک به‌گونه‌ای استراتژیک برای کنترل شیوع مؤثر است (۱۱).

۴. تحلیل داده‌های بالینی و پرونده الکترونیک سلامت^{۱۱}

۴-۱. استخراج الگوهای بیماری^{۱۲}

مدل‌های عمیق بر پایه EHR می‌توانند الگوهای پنهانی از تشدید بیماری یا عوارض را پیش‌بینی کرده و بیماران پرخطر را با دقت بالا شناسایی کنند (۱). در مطالعه‌ای، پژوهشگران در ایتالیا با استفاده از

Disease Pattern Extraction^{۱۲}
Federated Learning^{۱۳}
Clinical NLP^{۱۴}
Infodemic^{۱۵}

Mobility Data Analysis^۷
superspreading events^۸
Genomic Epidemiology^۹
Nextstrain^{۱۰}
Electronic Health Record (EHR)^{۱۱}



۹-۱. مدل سازی بار بیماری

تحلیل بار بیماری (DALY، QALY) بر مبنای مدل های پیش بینی و داده های بزرگ می تواند تصمیم گیری هزینه اثر بخش در سیاست سلامت را بهینه کند (۴).



۹-۲. تصمیم گیری پشتیبانی شده با AI

هوش مصنوعی می تواند سناریوهای مختلف اپیدمی را مدل سازی کرده و سیاست گذاری را بر اساس نتایج پیش بینی شده هدایت کند (۵،۶).

مسیر حرکت اپیدمیولوژی به سوی آینده پیش بینی گر

اپیدمیولوژی در دهه های آینده وارد دوره ای خواهد شد که در آن، داده ها نه تنها برای توصیف وضعیت سلامت، بلکه برای پیش بینی، پیشگیری و واکنش بلادرنگ به تهدیدات زیستی به کار خواهند رفت. همگرایی هوش مصنوعی، شبکه های حسگری توزیع شده، مدل های مولد زیستی و ژنومیک لحظه ای، اپیدمیولوژی آینده را به سیستمی خودآموز، پیش بینی گر و واکنش ساز تبدیل خواهد کرد (۲۲). چشم انداز پیش رو نشان می دهد که همه گیری ها قبل از ظهور بالینی شناسایی می شوند، انتقال بیماری پیش از وقوع مدل سازی می گردد و مداخلات به صورت کاملاً شخصی و هدفمند طراحی و اجرا می شود (۲۳-۲۵).

برخی از شگفتی های مورد انتظار در آینده در این حوزه به شرح ذیل می باشد:

۱. سیستم های نظارت خودمختار فوق پیش بینی گر^{۲۰}

در آینده، شبکه های حسگری مبتنی بر ماهواره ها، ساعت های هوشمند نسل پنجم، ربات های محیطی و داده های زیستی لحظه ای، سیستم های نظارتی کاملاً خودکار ایجاد خواهند کرد. این مدل های

به تب زرد کمک کرد و امکان پیشگیری هدفمند و واکسیناسیون منطقه ای را فراهم آورد (۱۸).

۷. اپیدمیولوژی مبتنی بر اینترنت اشیا^{۱۶}

دستگاه های پوشیدنی مانند ساعت هوشمند، داده هایی مانند ضربان قلب، دمای بدن، فعالیت بدنی را فراهم می آورند که می تواند تغییرات فیزیولوژیک پیش از ظهور علائم بیماری را نشان دهد (۱۹). در مطالعه ای در ایالات متحده، محققان با استفاده از دستگاه پوشیدنی مچی غیرتهاجمی و تعیین ضربان قلب، تغییرپذیری ضربان قلب و تنفس نشان دادند که می توان عفونت تنفسی ویروسی مثل آنفلوآنزا را قبل از ظهور علائم شناسایی کرد (۲۰).

۸. استفاده از ابزارهای دیجیتال در پاسخ به اپیدمی

۸-۱. سیستم های هشدار سریع

ترکیب داده های اپلیکیشن، فاضلاب و تحرک در داشبوردهای بلادرنگ می تواند سیستم های هشدار اولیه برای موج های بیماری را بهبود دهد. (۱،۴).

۸-۲. ردیابی تماس دیجیتال^{۱۷}

استفاده از GPS یا بلوتوث در اپها، امکان شناسایی زنجیره های انتقال پنهان را به سیاست گذاران می دهد و می تواند اثربخشی مداخلات را افزایش دهد (۵).

۸-۳. واکسیناسیون هوشمند^{۱۸}

طراحی استراتژی های واکسیناسیون بر اساس داده ریسک جمعیتی^{۱۹} (ترکیبی از داده تحرک، ژنوم، جمعیت) می تواند اثربخشی برنامه واکسیناسیون را ارتقاء دهد (۵). مطالعه در سال ۲۰۱۶ با ترکیب داده های حرکت جمعیت، ژنوم ویروس و داده های جمعیتی به طراحی استراتژی های واکسیناسیون هدفمند و عادلانه کمک کرد و اثربخشی برنامه های واکسیناسیون را افزایش داد (۲۱).

۹. اولویت گذاری منابع و سیاست گذاری مبتنی بر داده

Population Risk^{۱۹}

Autonomous Predictive Surveillance²⁰

Internet of Things(IOT)^{۱۶}

Digital Contact Tracing^{۱۷}

Smart Vaccination^{۱۸}

سناریوهای مداخله (قرنطینه، واکسن، درمان) را به صورت لحظه‌ای رتبه‌بندی کنند.

این فرآیندها سرعت واکنش جهانی را ده‌ها برابر افزایش می‌دهد (۲۷).

۵. اپیدمیولوژی اجتماعی-دیجیتال آینده^{۲۴}

در دهه‌های آینده، سیستم‌های AI توانایی تحلیل هم‌زمان اطلاعات زیستی، اجتماعی، رفتاری و دیجیتال را خواهند داشت. این سامانه‌ها قادرند:

رفتار جمعیت در واکنش به سیاست‌ها را پیش‌بینی کنند.

الگوهای انتشار اطلاعات غلط را قبل از تبدیل به بحران شناسایی کنند.

پیام‌های سلامت عمومی را به‌صورت شخصی برای هر فرد بهینه‌سازی کنند.

به این ترتیب، مدیریت اپیدمی فقط علمی زیستی نیست بلکه رفتاری و اطلاعاتی نیز خواهد بود (۲۸).

۶. اپیدمیولوژی فوق‌دقیق و شخصی‌سازی شده^{۲۵}

در آینده، اپیدمیولوژی به سطحی از دقت خواهد رسید که بتواند:

ریسک هر فرد را از ترکیب ژنوم، اپی‌ژنوم، میکروبیوم و محیط زیست محاسبه کند.

افراد ابرپخش‌کننده بالقوه^{۲۶} را قبل از وقوع رفتار خطرناک شناسایی کند.

مداخلات هدفمند را با دقت میکرومتری برای جمعیت‌های کوچک طراحی کند.

بنابراین اپیدمیولوژی از حالتی «جمعیت‌محور» به «فردمحور» تغییر خواهد کرد (۲۹).

۷. شبکه جهانی سنسورهای زیستی محیطی^{۲۷}

در آینده‌ی نزدیک، شبکه‌ای جهانی از حس‌گرهای مولکولی، رباتیک و نانوبیولوژیک در هوا، آب، خاک و فضا نصب خواهد شد. این شبکه می‌تواند:

انتشار میکروب‌ها را تقریباً در لحظه تشخیص دهد.

ورود تهدیدات زیستی به کشورها را رصد کند.

پایداری پاتوژن‌ها در اکوسیستم‌های مختلف را مدل‌سازی کند.

AI پیشرفته، الگوهای پنهان در داده‌ها را هفته‌ها قبل از افزایش موارد بالینی تشخیص می‌دهند. برای مثال، الگوریتم‌های یادگیری ژرف می‌توانند انحراف‌های بسیار کوچک در پویایی زیستی جمعیت را به‌عنوان سیگنال‌های آغازین اپیدمی شناسایی کنند، چیزی که در سیستم‌های فعلی غیرممکن است (۳۳).

۲. مدل‌های شبیه‌سازی جمعیتی با دوقلوهای دیجیتال^{۲۱}

دوقلوهای دیجیتال آینده، نسخه‌های مجازی از جمعیت‌ها خواهند بود که رفتار زیستی، محیطی و اجتماعی آن‌ها را به‌طور لحظه‌ای بازسازی می‌کنند. در این مدل‌ها:

داده‌های ژنتیکی، رفتاری، محیطی و تحرک در یک مدل پیوسته ادغام می‌شود.

همه‌گیری‌ها قبل از وقوع در دنیای مجازی آزمایش می‌شوند.

سیاست‌گذاران می‌توانند ببینند اگر سیاست X یا واکسن Y اجرا شود، چه اتفاقی خواهد افتاد؟

این تحول، اشتباه در تصمیم‌گیری اپیدمیولوژیک را به‌طور چشمگیر کاهش خواهد داد (۲۴).

۳. هوش مصنوعی مولد برای پیش‌بینی تکامل پاتوژن‌ها

هوش مصنوعی مولد زیستی^{۲۲} می‌تواند پیش‌پیش‌جهش‌های آینده‌ی ویروس‌ها، مسیر فرار ایمنی، و پایداری محیطی پاتوژن‌ها را مدل‌سازی کند.

این سیستم‌ها قادر خواهند بود:

توالی‌های ژنتیکی احتمالی آینده‌ی پاتوژن را پیش‌بینی کنند.

میزان انتقال‌پذیری جهش‌های فرضی را مدل‌سازی کنند.

واکنش سیستم ایمنی به این جهش‌ها را شبیه‌سازی کنند.

این توانایی به معنای پیشگیری از اپیدمی قبل از تولد آن است (۲۶).

۴. واکسن‌سازی و مداخلات هوشمند فوق‌سریع^{۲۳}

در آینده، AI نه‌تنها اپیدمی‌ها را پیش‌بینی می‌کند، بلکه راه‌حل مناسب را هم طراحی می‌کند. پلتفرم‌های زیستی مبتنی بر مدل‌های مولد می‌توانند:

واکسن اختصاصی هر سویه را در چند ساعت طراحی کنند.

پروتئین‌ها و پپتیدهایی با بیشترین کارایی خنثی‌سازی تولید کنند.

۲. خصوصیت پذیری و شفافیت مدل‌ها

بسیاری از مدل‌های AI، به خصوص یادگیری عمیق، ذاتاً «جعبه‌سیاه» هستند؛ یعنی دلیل دقیق گرفتن یک پیش‌بینی مشخص برای انسان دشوار است. این باعث می‌شود سیاست‌گذار یا اپیدمیولوژیست نتواند منطق تصمیم را به راحتی ارزیابی کند (۳۵،۳۶).

۳. حریم خصوصی و امنیت داده

اتصال داده‌های متعدد (پرونده‌های الکترونیک سلامت، داده پوشیدنی، ژنوم) برای تحلیل قوی‌تر، بسیار مفید است، اما هم‌زمان ریسک بازشناسی دوباره افراد^{۳۱} را افزایش می‌دهد (۳۵،۳۷).



۴. زیرساخت ناکافی و سرمایه انسانی

سیستم‌های سلامت عمومی در برخی کشورها به زیرساخت محاسباتی کافی مجهز نیستند تا داده‌های بسیار بزرگ و پردازش AI را به شکلی پایدار پشتیبانی کنند (۳۴،۳۸).

۵. حکمرانی داده و چارچوب‌های قانونی

نبود چهارچوب‌های داده‌ای جهانی درباره مالکیت داده، اشتراک‌گذاری و مسئولیت می‌تواند سوءاستفاده یا محرومیت برخی کشورها از مزایای AI را به همراه داشته باشد (۳۹،۴۰).

۶. شکاف دیجیتال

دسترسی نابرابر به فناوری دیجیتال می‌تواند باعث شود که گروه‌های محروم کمتر تحت نظارت یا پیش‌بینی مبتنی بر داده قرار بگیرند و از مزایای اپیدمیولوژی مدرن بی‌بهره بمانند (۴۱).

این شبکه، معادل یک «سیستم هشدار جهانی زلزله»، اما برای پاتوژن‌ها است (۳۰).

۸. مدیریت اپیدمی مبتنی بر سناریوهای هوش مصنوعی^{۲۸}

مراکز فرماندهی اپیدمی آینده، با استفاده از AI قادر خواهند بود: صدها سناریوی همه‌گیری را در یک ثانیه شبیه‌سازی کنند. پیامدهای اقتصادی-سلامتی را هم‌زمان مدل‌سازی کنند. بهترین سیاست با بیشترین اثربخشی و کمترین هزینه را انتخاب کنند. این رویکرد تصمیم‌گیری اپیدمیولوژیک را از «واکنشی» به «پیش‌بینی کننده» تبدیل خواهد کرد (۳۱).

۹. اپیدمیولوژی سیاره‌ای^{۲۹}

در آینده، اپیدمیولوژی نه تنها سلامت انسان، بلکه سلامت حیوانات، محیط‌زیست و اقلیم را در قالب یکپارچه^{۳۰} کنترل خواهد کرد. مدل‌های AI، ارتباط تغییرات اقلیمی، مهاجرت حیوانات، تحولات زیست محیطی و تکامل پاتوژن‌ها را به صورت پیوسته تحلیل و پیش‌بینی خواهند کرد (۳۲).

چالش‌های آینده‌نگر در اپیدمیولوژی دیجیتال

داده‌های بزرگ و هوش مصنوعی افق‌های نوینی در اپیدمیولوژی گشوده‌اند، اما این مسیر هم‌زمان با فرصت‌ها، پر از چالش‌های پیچیده و هیجان‌انگیز است. از سوگیری‌های پنهان در الگوریتم‌ها و جعبه‌سیاه مدل‌ها گرفته تا نگرانی‌های حریم خصوصی، زیرساخت ناکافی و شکاف دیجیتال، هر کدام می‌توانند هم دقت و هم عدالت سیستم‌های سلامت را به آزمون بگذارند. در ادامه به توضیح بیشتر این چالش‌ها پرداخته می‌شود.

۱. مساوات و سوگیری الگوریتمی

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها این است که داده‌هایی که برای آموزش مدل‌های AI جمع‌آوری می‌شوند، ممکن است نمایانگر کامل جمعیت نباشند (مثلاً اقلیت‌های نژادی، گروه‌های کم‌درآمد، مناطق روستایی). این عدم توازن در داده‌ها می‌تواند منجر به مدل‌هایی شود که برای برخی گروه‌ها پیش‌بینی ضعیف‌تری دارند یا تصمیم‌های بهداشتی ناعادلانه اتخاذ می‌کنند (۳۳،۳۴).

3. Menni C, Valdes AM, Freidin MB, et al. Real-time tracking of self-reported symptoms to predict potential COVID-19. *Nat Med.* 2020;26(7):1037-1040. DOI:10.1038/s41591-020-0916-2
4. Shakeri Hossein Abad Z, Kline A, Sultana M, et al. Digital public health surveillance: a systematic scoping review. *NPJ Digit Med.* 2021;4:41. DOI:10.1038/s41746-021-00407-6
5. Chang S, Pierson E, Koh PW, et al. Mobility network models of COVID-19 explain inequities and inform reopening. *Nature.* 2021;589(7840):82-87. DOI:10.1038/s41586-020-2923-3
6. Midekisa, A., Senay, G., Henebry, G. M., Semuniguse, P. & Wimberly, M. C. (2012). *Remote sensing-based time series models for malaria early warning in the highlands of Ethiopia. Malaria Journal*, 11, 165.
7. Wang L, Sha L, Lakin JR, Bynum J, Bates DW, Hong P, Zhou L. Development and validation of a deep learning algorithm for mortality prediction in selecting patients with dementia for earlier palliative care interventions. *JAMA Network Open.* 2019;2(7):e196972. doi:10.1001/jamanetworkopen.2019.6972
8. Hunter E, Mac Namee B, Kelleher J. Using a hybrid agent-based and equation based model to test school closure policies during a measles outbreak. *BMC Public Health.* 2021;21:10513. doi:10.1186/s12889-021-10513-5
9. Haileselassie W, Getnet A, Solomon H, Deressa W, Yan G, Parker DM, et al. Mobile phone handover data for measuring and analysing human population mobility in Western Ethiopia: implication for malaria disease epidemiology and elimination efforts. *Malar J.* 2022;21:323. doi:10.1186/s12936-022-04337-w
10. Wang L, Sha L, Lakin JR, Bynum J, Bates DW, Hong P, Zhou L. Development and validation of a deep learning algorithm for mortality prediction in selecting patients with dementia for earlier palliative care interventions. **JAMA Netw Open**. 2019;2(7):e196972. doi:10.1001/jamanetworkopen.2019.6972 ([jamanetwork.com][1])
11. https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2737901?utm_source=chatgpt.com
"Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Mortality Prediction in Selecting Patients With Dementia for Earlier Palliative Care Interventions | Artificial Intelligence | JAMA Network Open | JAMA Network"
12. Gandin I, Emdin M, Spizzichino L, et al. Deep-learning-based prognostic modeling for incident heart failure in patients with diabetes using electronic health records: a retrospective cohort study. *Cardiovasc Diabetol.* 2023;22:164. doi:10.1186/s12933-023-01852-6
13. Xu Z, Yang H, Zhan Y, et al. Federated learning for privacy-preserving clinical risk prediction. *NPJ Digital Medicine.* 2022;5:80. doi:10.1038/s41746-022-00621-4

۷. اعتماد عمومی و پذیرش اجتماعی

استفاده از داده حساس سلامت برای نظارت اپیدمی ممکن است به ترس از نظارت دولت یا شرکت‌های خصوصی منجر شود. سولاتی پیرامون رضایت آگاهانه و شفافیت استفاده از داده‌ها مطرح می‌شود (۳۵،۳۶).

۸. مسئولیت پذیری و پاسخگویی

وقتی تصمیم‌گیری به کمک AI انجام می‌شود، بررسی خطاها و تبعات ناخواسته نیازمند مکانیسم پاسخگویی واضح است؛ اما مشخص نیست چه کسی مسئول است: تیم فنی، تصمیم‌گیرندگان یا سیاست‌گذاران (۳۶،۳۷).

۹. پایداری و نگهداری سیستم‌های AI

مدل‌های AI نیاز به آپدیت مداوم دارند. اگر پشتیبانی فنی یا بودجه کافی نباشد، ابزار پیشرفته ممکن است ناکارآمد شود و اعتماد عمومی کاهش یابد (۳۸).

۱۰. اطمینان از کارایی و تفسیر علمی

پیش‌بینی‌های AI باید با شواهد اپیدمیولوژیک کلاسیک تطبیق داده شوند. در غیر این صورت، پیامدهای سیاسی و سلامت عمومی می‌تواند جدی باشد (۳۴،۳۷).

در جمع‌بندی، می‌توان گفت که همگرایی داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی و ابزارهای دیجیتال، اپیدمیولوژی را در آستانه دگرگونی بنیادین قرار داده است. بهره‌برداری هوشمندانه و مسئولانه از این ظرفیت‌ها، می‌تواند نظام‌های سلامت را از رویکرد واکنشی به رویکرد پیش‌بینی‌گر و پیشگیرنده تبدیل کند. با این حال، تضمین عدالت، شفافیت، امنیت داده و اعتماد عمومی، پیش‌نیازهای غیرقابل چشم‌پوشی این مسیر تحول هستند. آینده اپیدمیولوژی زمانی شکوفا خواهد شد که نوآوری فناوریانه و اصول اخلاقی در کنار یکدیگر پیش بروند.

منابع

1. Peccia J, Zulli A, Brackney DE, et al. Measurement of SARS-CoV-2 RNA in wastewater tracks community infection dynamics. *Nat Biotechnol.* 2020;38(10):1164-1167. DOI:10.1038/s41587-020-0684-z
2. Drew DA, Nguyen LH, Steves CJ, et al. Rapid implementation of mobile technology for real-time epidemiology of COVID-19. *Science.* 2020;368(6498):1362-1367. DOI:10.1126/science.abc0473

26. Peccia J, Zulli A, Brackney DE, Grubaugh ND, Kaplan EH, Casanovas-Massana A, Ko AI, Malik AA, Wang D, Wang M, Warren JL. Measurement of SARS-CoV-2 RNA in wastewater tracks community infection dynamics. *Nature biotechnology*. 2020 Oct;38(10):1164-7.OECD. Digital health and global data integration. Paris; 2023.
27. Gardy JL, Loman NJ. Towards a genomics-informed, real-time, global pathogen surveillance system. *Nature Reviews Genetics*. 2018 Jan;19(1):9-20.UNESCO. Managing infodemics in the digital age: guidance for 2030. Paris; 2023.
28. UNESCO. Managing infodemics in the digital age: guidance for 2030. Paris: UNESCO; 2023.
29. Chen Y, Zhao L. AI-driven precision epidemiology: emerging opportunities for individualized risk prediction. *J Digit Health Forecast*. 2024;12(2):115-13
30. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA). Biological sensing and anticipatory analytics program report. Arlington (VA): DARPA; 2022.
31. OECD. Digital health transformation and global data integration. Paris: OECD; 2023.
32. RAND Corporation. Future public health scenarios 2040: modeling challenges and strategic guidance. Santa Monica (CA): RAND; 2023.
33. Couture L, Roy M, Dez J, Tremblay M, Bélisle-Pipon J-C. Ethical Issues Raised by Artificial Intelligence and Big Data in Population Health: A Scoping Review. *Population Health Journal*. 2025.
34. BMC Public Health. Priorities for Successful Use of Artificial Intelligence by Public Health Organizations: A Literature Review. *BMC Public Health*. 2022.
35. BMC Medical Ethics. Privacy and Artificial Intelligence: Challenges for Protecting Health Information in a New Era. *BMC Med Ethics*. 2021.
36. Ethox Centre. Ethical Challenges in the Use of AI for Infectious Disease Epidemiology. *Ethox Centre Blog*. 2024.
37. Brookings Institution. Health and AI: Advancing Responsible and Ethical AI for All Communities. *Brookings*. 2024.
38. Palaniappan L, Papagiannidis S, et al. Ethical, Legal, and Data Governance Models for Big Data Analytics in Immune Disease Health Equity. *Frontiers in Data Science*. 2025.
39. Frontiers Public Health. Digital Divide, Data Governance and Algorithmic Bias in Public Health AI. *Front Public Health*. 2025.
40. BMC Medical Informatics & Decision Making. Examining Inclusivity: The Use of AI and Diverse Populations in Health and Social Care. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2025.
41. Zhang SY, Singh MM. Privacy Risks in Health Big Data: A Systematic Literature Review. *Health Data Security Journal*. 2025.
14. Alam MU, Rahmani R. FedSepsis: Federated multi-modal deep learning for early detection of sepsis from EHR. *Sensors (Basel)*. 2023;23(2):970. DOI:10.3390/s23020970
15. Luo X, Gandhi P, Storey S, Huang K. A deep language model for symptom extraction from clinical text and its application to extract COVID-19 symptoms from social media. *IEEE journal of biomedical and health informatics*. 2021 Oct 27;26(4):1737-48.
16. Soltan AA, Thakur A, Yang J, Chauhan A, D'Cruz LG, Dickson P, Soltan MA, Thickett DR, Eyre DW, Zhu T, Clifton DA. A scalable federated learning solution for secondary care using low-cost microcomputing: privacy-preserving development and evaluation of a COVID-19 screening test in UK hospitals. *The Lancet Digital Health*. 2024 Feb 1;6(2):e93-104.
17. Cinelli M, Quattrocioni W, Galeazzi A, Valensise CM, Brugnoli E, Schmidt AL, Zola P, Zollo F, Scala A. The COVID-19 social media infodemic. *Scientific reports*. 2020 Oct 6;10(1):16598.
18. Faria NR, Kraemer MU, Hill SC, Góes de Jesus J, Aguiar RD, Iani FC, Xavier J, Quick J, du Plessis L, Dellicour S, Thézé J. Genomic and epidemiological monitoring of yellow fever virus transmission potential. *Science*. 2018 Aug 31;361(6405):894-9.
19. Wu S, Roberts K, Du J, et al. Deep learning in clinical natural language processing: a methodical review. *J Am Med Inform Assoc*. 2020;27(3):457-470. DOI:10.1093/jamia/ocz200
20. Grzesiak E, Bent B, McClain MT, Woods CW, Tsalik EL, Nicholson BP, Veldman T, Burke TW, Gardener Z, Bergstrom E, Turner RB. Assessment of the feasibility of using noninvasive wearable biometric monitoring sensors to detect influenza and the common cold before symptom onset. *JAMA network open*. 2021 Sep 1;4(9):e2128534-.
21. Wesolowski A, Buckee CO, Engø-Monsen K, Metcalf CJ. Connecting mobility to infectious diseases: the promise and limits of mobile phone data. *The Journal of infectious diseases*. 2016 Dec 1;214(suppl_4):S414-20.
22. World Health Organization. Future surveillance for epidemic and pandemic diseases: a 2023 perspective. World Health Organization; 2023 Dec 11.National Science Foundation. AI for pandemic preparedness. Washington (DC): NSF; 2022.
23. Abd Elaziz M, Al-qaness MA, Dahou A, Al-Betar MA, Mohamed MM, El-Shinawi M, Ali A, Ewees AA. Digital twins in healthcare: Applications, technologies, simulations, and future trends. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*. 2024 Nov;14(6):e1559.
24. *Digital twins for population health*. Washington (DC): National Academy of Medicine; 2021. Available from Gardy JL, Loman NJ. Genomics-informed global surveillance. *Nat Rev Genet*. 2022;23(6):341-57.
25. DARPA. Bio-sensing and predictive analytics program. Arlington (VA); 2022.

مقدمه‌ای بر تلفیق داده‌ها (Data fusion) در اپیدمیولوژی ژئوژنتیک

تلفیق داده‌ها (Data Fusion)

جمع‌آوری داده‌های چندمنبعی

در رویکرد تلفیقی مورد بحث، ابتدا داده‌های سه‌گانه اصلی به دست می‌آیند:

داده‌های ژنتیکی: شامل جمع‌آوری اطلاعات مربوط به ساختار ژنتیکی افراد، تعیین سطح تنوع ژنتیکی و ساختار زیر جمعیت‌های ژنتیکی مخاطب پژوهش می‌باشد.

داده‌های محیطی: شامل اطلاعات مربوط به ویژگی‌های محیطی مانند کیفیت هوا، آلودگی، تغییرات اقلیمی، پوشش گیاهی و ویژگی‌های اقلیمی نواحی می‌شود.

داده‌های جغرافیایی: به وسیله سامانه‌های GIS قابل دسترسی بوده که شامل مختصات مکانی، نقشه‌های توزیع جغرافیایی و سایر داده‌های مربوط به ساختار فضایی مناطق است.

این داده‌ها از مراجع مختلف دولتی، دانشگاهی و پژوهشی گردآوری و با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی یکپارچه می‌شوند. به عنوان مثال، داده‌های سرطان و بیماری‌های قلبی که دارای الگوهای مکانی خاصی هستند، می‌توانند به صورت لایه‌های اطلاعاتی بر روی نقشه‌های GIS قرار داده شوند تا الگوهای افزایش یا کاهش شیوع به دقت بررسی شوند.

مدل‌های تحلیلی و آماری

برای مدل‌سازی تعاملات بین داده‌های ژنتیکی، محیطی و جغرافیایی از مدلی چندلایه استفاده می‌شود. یکی از مدل‌های مؤثر در این زمینه، مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) است که به وسیله معادله زیر بیان می‌شود:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i)x_{ik} + \varepsilon_i$$

در این معادله،

y_i نشان‌دهنده نرخ بیماری در نقطه i

$\beta_0(u_i, v_i)$ پارامترهای متغیر با مکان (u_i, v_i) هستند

x_{ik} داده‌های مربوط به لایه‌های ژنتیکی یا محیطی می‌باشند

ε_i میزان خطا را نشان می‌دهد.

تحقیقات اپیدمیولوژی مدرن به منظور کنترل و پیشگیری از شیوع بیماری‌های واگیر نیازمند برخوردی چندجانبه و تلفیقی از اطلاعات مختلف است. تلفیق داده‌ها از منابع مختلف همچون سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مطالعات ژنتیکی و داده‌های محیطی، به پژوهشگران این امکان را می‌دهد تا تعاملات پیچیده بین ژنتیک فردی و عوامل محیطی را بررسی کنند و به درک عمیق‌تری از دلایل پراکندگی نواحی شیوع بیماری دست‌یابند.

اپیدمیولوژی ژئوژنتیک

اپیدمیولوژی ژئوژنتیک، روشی نوین برای تحلیل بیماران و شیوع بیماری است که با استفاده از داده‌های ژنتیکی، جغرافیایی و محیطی سعی در کشف الگوهای پنهان در توزیع بیماری‌های پیچیده مانند سرطان، بیماری‌های قلبی و اختلالات روانی دارد. در این رویکرد، علاوه بر بررسی اثرات فاکتورهای ژنتیکی، تأثیر عوامل محیطی نیز به عنوان ریشه اصلی تفاوت‌های مکانی در شیوع بیماری در نظر گرفته می‌شود.

سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)

سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی ابزارهایی تخصصی برای تحلیل داده‌های مکانی هستند که می‌توانند لایه‌های متعددی از داده‌ها، از جمله داده‌های ژنتیکی، محیطی و بیماری‌شناسی را یکپارچه کنند. به کمک GIS، پژوهشگران قادرند تا الگوهای پراکندگی بیماری و همبستگی آن‌ها با ویژگی‌های محیطی و ژنتیکی را با دقت بالا شناسایی کنند.

تلفیق داده‌های جنبه‌های مختلف

تلفیق داده‌های به دست آمده از مطالعات ژنتیکی، محیطی و جغرافیایی، راهکار مناسبی برای افزایش قدرت تبیین تفاوت‌های مشاهده شده در شیوع بیماری‌ها محسوب می‌شود. پژوهشگران با استفاده از روش‌هایی مانند رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) قادرند تا اثرات محیطی عوامل مختلف بر بروز بیماری را به طور دقیق ترکیب و مدل‌سازی کنند. این روش‌ها به تفکیک دقیق تر تعاملات پیچیده بین ژن‌ها و محیط، به خصوص در سطوح مختلف جغرافیایی مانند نواحی شهری و روستایی کمک می‌کنند.

جدول ۱ مراحل کلیدی برای تلفیق و تحلیل داده‌های چندمنبعی را به تفصیل بیان می‌کند.

مزایای رویکرد تلفیقی

تبیین دقیق‌تر الگوهای شیوع:

استفاده از چندین منبع داده اجازه می‌دهد تا عوامل تأثیرگذار بر شیوع بیماری به‌صورت دقیق‌تر شناسایی و مدل‌سازی شوند. این امر به تعیین دقیق‌تر منشأ بیماری و مسیرهای انتشار آن کمک می‌کند.

تشخیص زودهنگام مناطق حساس:

تلفیق داده‌های ژنتیکی و محیطی می‌تواند به شناسایی مناطق حساس به بیماری کمک کند. این گروه‌ها ممکن است با توجه به ترکیب ژنتیکی خاص و شرایط محیطی، در معرض خطر بیشتری قرار داشته باشند.

بهبود سیاست‌های بهداشتی:

نتایج حاصل از این روش می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در تعیین اولویت‌های بهداشتی و تخصیص منابع کمک کند. برنامه‌های پیشگیرانه و آموزشی می‌توانند بر اساس الگوهای مکانی و ژنتیکی تنظیم شوند تا کارایی آن‌ها افزایش یابد.

چالش‌های رویکرد تلفیقی

هماهنگی و استانداردسازی داده‌ها: یکی از چالش‌های اصلی در تلفیق داده‌های چندمنبعی، تفاوت در مقیاس‌ها، فرمت و نحوه جمع‌آوری داده‌ها بین منابع مختلف است. استانداردسازی و پیش‌پردازش داده‌ها از ضروریات این فرآیند به شمار می‌آید.

پیچیدگی مدل‌های تحلیلی: استفاده از مدل‌های تحلیلی پیشرفته مانند رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی و مدل‌های بیزی نیازمند تخصص بالا در آمار و محاسبات است، که ممکن است برای پژوهشگران غیرمتخصص چالش‌برانگیز باشد.

روش‌های آماری دیگر نیز از جمله استفاده از مدل‌های بیزی، شبکه‌های عصبی، و الگوریتم‌های یادگیری عمیق وجود دارند که به‌منظور تحلیل پیچیدگی‌های بیشتر و استخراج الگوهای مخفی داده‌ها به کار گرفته می‌شوند.

تلفیق لایه‌های داده‌ای

تلفیق داده‌های به‌دست آمده نیازمند استفاده از رویکردی سیستماتیک است که مراحل زیر را شامل می‌شود:



دیگرام ۱: نمایش تصویری فرایند تلفیق داده‌ها

دیگرام ۱ فرایند تلفیق داده‌های جغرافیایی، محیطی و ژنتیکی را نشان می‌دهد. در این دیگرام گام‌های کلیدی در فرایند تحلیل تلفیقی از جمع‌آوری داده تا تفسیر نهایی نتایج نشان داده‌شده است.

مرحله	توضیحات	مثال‌های کاربردی
۱- جمع‌آوری داده	گردآوری داده‌های ژنتیکی، محیطی و جغرافیایی از منابع معتبر	استفاده از داده‌های GIS و ثبت نمونه‌های ژنتیکی در مراکز بهداشتی
۲- پیش‌پردازش داده	پاک‌سازی و نوع‌بندی داده‌ها بر اساس نیاز مدل	حذف داده‌های ناقص و ناهماهنگ، استانداردسازی مقیاس‌های اندازه‌گیری
۳- تحلیل آماری	به‌کارگیری مدل‌های رگرسیونی و بیزی برای تعیین اثرگذاری متغیرها	مدل‌سازی نرخ بیماری با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی
۴- تفسیر نتایج	استخراج الگوهای ژنتیکی و محیطی مؤثر بر شیوع بیماری	شناسایی مناطق با خطر بالای شیوع بیماری به‌واسطه تعاملات ژن-محیط

جدول ۱: مراحل تلفیق داده‌ها در پژوهش اپیدمیولوژی ژئوژنتیک

مسائل حریم خصوصی: در جمع‌آوری داده‌های ژنتیکی و محیطی، حفظ حریم خصوصی افراد بسیار اهمیت دارد. استفاده از داده‌های مکانی و اطلاعات حساس می‌تواند خطراتی مانند شناسایی غیرمجاز افراد یا سوء استفاده از داده‌ها را به همراه داشته باشد.

کاربردهای عملی در سیاست‌گذاری بهداشتی

نتایج حاصل از تلفیق داده‌های ژنتیکی، محیطی و جغرافیایی می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در طراحی نقشه‌های سلامتی عمومی کمک کند. برخی از کاربردهای عملی عبارتند از:

تعیین دقیق‌تر منابع شیوع بیماری و مسیرهای انتقال آن
اجرای برنامه‌های مقابله‌ای و پیشگیرانه در مناطق با ریسک بالا
تخصیص منابع به مراکز بهداشتی بر اساس شواهد علمی مستند
به‌دست‌آمده از تحلیل‌های تلفیقی
طراحی کمپین‌های آگاهی‌رسانی بهداشتی متناسب با شرایط جغرافیایی و ژنتیکی جوامع

منابع

1. Sloan CD, Duell EJ, Shi X, Irwin R, Andrew AS, Williams SM, Moore JH. Ecogeographic genetic epidemiology. Genetic Epidemiology: The Official Publication of the International Genetic Epidemiology Society. 2009 May;33(4):281-9.
2. Soleimani M, Ayyoubzadeh SM, Jalilvand A, Ghazisaeedi M. Exploring the geospatial epidemiology of breast cancer in Iran: identifying significant risk factors and spatial patterns for evidence-based prevention strategies. BMC cancer. 2023 Dec 11;23(1):1219.
3. Martin BT, Zbinden ZD, Douglas ME, Douglas MR, Chafin TK. GeoGenIE: a deep learning approach to predict geographic provenance of biodiversity samples from genomic SNPs. Bioinformatics Advances. 2025;5(1):vbaf250.
4. Nuckols JR, Ward MH, Jarup L. Using geographic information systems for exposure assessment in environmental epidemiology studies. Environmental health perspectives. 2004 Jun;112(9):1007-15.
5. Motsinger-Reif AA, Reif DM, Akhtari FS, House JS, Campbell CR, Messier KP, Fargo DC, Bowen TA, Nadadur SS, Schmitt CP, Pettibone KG. Gene-environment interactions within a precision environmental health framework. Cell Genomics. 2024 Jul 10;4(7).