

کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در پیش بینی زایمان زودرس در بارداری نوجوانان: یک مرور روایتی

سهیل امجدیان

کارشناسی پرستاری، دانشگاه آزاد اسلامی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران (amjdyanshyl@gmail.com)

بهناز رجبی نوکانی

کارشناسی پرستاری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران (Behnaz.rajabi2003@gmail.com)

محمود اخلاصی زاده

گروه پرستاری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه، کرمانشاه، ایران (mahmoode8@yahoo.com)

چکیده

مقدمه: زایمان زودرس یکی از مهم ترین پیامدهای نامطلوب بارداری و از عوامل اصلی عوارض و مرگ و میر نوزادی است. بارداری نوجوانان به دلیل ویژگی های زیستی، اجتماعی و مراقبتی خاص، می تواند با خطرات بیشتری همراه باشد. در سال های اخیر، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین با قابلیت تحلیل داده های چندبعدی، به عنوان رویکردی نوین برای پیش بینی زودهنگام زایمان زودرس مورد توجه قرار گرفته اند.

روش کار: این مرور روایتی با هدف بررسی کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در پیش بینی زایمان زودرس در بارداری نوجوانان انجام شد. جست و جوی مطالعات در پایگاه های PubMed، Scopus و Web of Science با استفاده از کلیدواژه های مرتبط با هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، زایمان زودرس و بارداری نوجوانان انجام گرفت. مطالعات پژوهشی مرتبط بررسی و یافته های آن ها به صورت توصیفی و روایتی تحلیل شدند.

یافته ها: شواهد نشان دادند که الگوریتم های یادگیری ماشین، یادگیری عمیق، مدل های قابل تفسیر و روش های مبتنی بر پرونده الکترونیک سلامت، biomarkers، داده های بالینی و منابع چندگانه، ظرفیت مناسبی برای پیش بینی زایمان زودرس دارند. با این حال، بیشتر مطالعات در جمعیت عمومی زنان باردار انجام شده اند و شواهد اختصاصی درباره بارداری نوجوانان محدود است. همچنین، تفاوت در منابع داده، الگوریتم ها، حجم نمونه و روش های اعتبارسنجی، مقایسه و تعمیم نتایج را دشوار می کند.

بحث: کاربرد هوش مصنوعی در پیش بینی زایمان زودرس می تواند با شناسایی زودهنگام مادران در معرض خطر، زمینه را برای پایش دقیق تر و مداخلات پیشگیرانه فراهم کند. با این حال، انتقال مدل های توسعه یافته در جمعیت عمومی به بارداری نوجوانان بدون اعتبارسنجی اختصاصی می تواند با محدودیت همراه باشد. بنابراین، توجه به ویژگی های زیستی، اجتماعی و مراقبتی نوجوانان و استفاده از مدل های قابل تفسیر و معتبر از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

نتیجه گیری: هوش مصنوعی و یادگیری ماشین ظرفیت قابل توجهی برای بهبود پیش بینی زایمان زودرس دارند، اما شواهد اختصاصی در بارداری نوجوانان همچنان محدود است. توسعه و اعتبارسنجی مدل های اختصاصی، چندمنبعی و قابل تفسیر در این گروه می تواند گامی مؤثر در جهت شناسایی زودهنگام خطر و بهبود مراقبت های پیشگیرانه باشد.

واژگان کلیدی: هوش مصنوعی؛ یادگیری ماشین؛ زایمان زودرس؛ بارداری نوجوانان؛ پیش بینی خطر

مقدمه

زایمان زودرس (Preterm Birth; PTB) که به تولد پیش از ۳۷ هفته کامل بارداری اطلاق می شود، یکی از مهم ترین چالش های سلامت مادر و نوزاد است و با افزایش خطر عوارض کوتاه مدت و بلندمدت نوزادی همراه است. ناهمگونی علل زایمان زودرس و تعامل پیچیده عوامل مادری، جنینی، بالینی و محیطی، پیش بینی دقیق این پیامد را دشوار کرده است. از این رو، شناسایی زودهنگام زنان در معرض خطر می تواند امکان افزایش مراقبت های دوران بارداری، پایش دقیق تر و اجرای مداخلات پیشگیرانه را فراهم کند (He et al., 2026).

روش های سنتی پیش بینی زایمان زودرس عمدتاً بر عوامل خطر شناخته شده و مدل های آماری متکی هستند، اما توانایی آنها در پردازش هم زمان تعداد زیادی از متغیرها و شناسایی روابط پیچیده میان عوامل خطر محدود است. در مقابل، یادگیری ماشین با قابلیت تحلیل مجموعه های بزرگ و چندبعدی داده می تواند الگوهایی را شناسایی کند که ممکن است در روش های آماری سنتی به سادگی قابل شناسایی نباشند. مطالعات انجام شده با استفاده از پرونده های الکترونیک سلامت، داده های آزمایشگاهی و اطلاعات بالینی نشان داده اند که الگوریتم های ML می توانند به عنوان ابزاری برای stratification خطر زایمان زودرس مورد استفاده قرار گیرند (Abraham et al., 2022; Sun et al., 2022; Yu et al., 2024).

با توسعه هوش مصنوعی، دامنه داده های مورد استفاده برای پیش بینی PTB نیز گسترش یافته است. مدل های جدید علاوه بر داده های معمول بالینی، از پرونده های الکترونیک سلامت، biomarkers، داده های محیطی، اطلاعات تصویربرداری و سایر منابع داده استفاده می کنند. برای مثال، Yang و همکاران با بررسی ۱۱۲۲ زن باردار نشان دادند که ترکیب CatBoost با انتخاب ویژگی می تواند در پیش بینی زایمان زودرس خودبه خودی عملکرد مناسبی ایجاد کند؛ مدل برتر در مجموعه آزمون به AUROC برابر با ۰.۸۷۶۲ و AUPRC برابر با ۰.۷۰۶۱ دست یافت (Yang et al., 2025). همچنین Xiong و همکاران با استفاده از ۵۴,۱۳۲ بارداری و ادغام داده های پرونده سلامت، آزمایش های روتین و عوامل محیطی، عملکرد بالای XGBoost را در پیش بینی sPTB گزارش کردند؛ مدل مذکور AUROC برابر با ۰.۹۲۶ داشت، اگرچه AUPRC برابر با ۰.۵۰۲ نشان داد که برای کاربرد بالینی هنوز نیاز به بهبود precision وجود دارد (Xiong et al., 2025).

با وجود این پیشرفت ها، بخش قابل توجهی از شواهد موجود مربوط به جمعیت عمومی زنان باردار است و نه مادران نوجوان؛ در حالی که بارداری نوجوانان می تواند با ویژگی های زیستی، تغذیه ای، اجتماعی و مراقبتی متفاوتی همراه باشد و همین امر ضرورت توسعه یا اعتبارسنجی مدل های اختصاصی برای این گروه را مطرح می کند. یک مطالعه اخیر روی ۱۳۲۲ بارداری نوجوان در سنین ۱۲ تا ۱۶ سال، ضمن تأکید بر محدودیت ابزارهای سنتی در این جمعیت، مدل های اختصاصی برای stratification خطر مامایی را توسعه داد و نشان داد که ترکیب ویژگی هایی مانند سن، وضعیت تغذیه ای و پارامترهای سونوگرافیک می تواند به شناسایی گروه های پرخطر کمک کند (Khudor et al., 2025). بنابراین، بررسی ظرفیت AI و ML در پیش بینی زایمان زودرس در بارداری نوجوانان، در کنار توجه به قابلیت تفسیر، اعتبارسنجی خارجی و قابلیت تعمیم مدل ها، می تواند شکاف مهمی میان پیشرفت های فناورانه و نیازهای اختصاصی این گروه جمعیتی را مورد توجه قرار دهد.

با توجه به محدود بودن شواهد مستقیم درباره استفاده از هوش مصنوعی برای پیش بینی زایمان زودرس در بارداری نوجوانان، در این مرور علاوه بر مطالعات اختصاصی این گروه، شواهد حاصل از جمعیت عمومی زنان باردار نیز بررسی شد تا قابلیت انتقال، محدودیت های تعمیم پذیری و الزامات توسعه مدل های اختصاصی برای نوجوانان مشخص شود.

روش تحقیق

این مطالعه به صورت مرور روایتی (Narrative Review) با هدف بررسی و تفسیر شواهد موجود درباره کاربرد هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در پیش بینی زایمان زودرس، با تمرکز بر قابلیت کاربرد و تعمیم این فناوری‌ها در بارداری نوجوانان انجام شد. با توجه به ماهیت چندعاملی زایمان زودرس و گسترش استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در پیش بینی پیامدهای بارداری، مطالعاتی که به توسعه، ارزیابی یا اعتبارسنجی مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، یادگیری عمیق و سایر روش‌های هوش مصنوعی برای پیش بینی زایمان زودرس پرداخته بودند، مورد بررسی قرار گرفتند.

جستجوی منابع در سه پایگاه PubMed، Scopus و Web of Science انجام شد. راهبرد جستجو بر اساس ترکیبی از کلیدواژه‌های مرتبط با سه مفهوم اصلی مطالعه، شامل هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، زایمان زودرس و بارداری نوجوانان طراحی شد. کلیدواژه‌هایی از قبیل Artificial Intelligence، Machine Learning، Deep Learning، Preterm Birth، Spontaneous Preterm Birth، Adolescent Pregnancy و Teenage Pregnancy با استفاده از عملگرهای منطقی AND و OR به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفتند. انتخاب این پایگاه‌ها با هدف پوشش مطالعات پزشکی و مامایی و همچنین پژوهش‌های مرتبط با علوم داده، هوش مصنوعی و انفورماتیک سلامت انجام شد.

در فرایند انتخاب مطالعات، ابتدا عنوان و چکیده مقالات از نظر ارتباط با موضوع بررسی و سپس مطالعات مرتبط در صورت دسترسی به متن کامل ارزیابی شدند. مطالعات پژوهشی اصیل (Original Research) که به توسعه، ارزیابی یا اعتبارسنجی مدل‌های AI/ML برای پیش بینی زایمان زودرس پرداخته بودند، در اولویت تحلیل قرار گرفتند. مطالعات مرور روایتی، مرور دامنه‌ای و مرور سیستماتیک عمدتاً برای شناخت روند کلی شواهد و شناسایی شکاف‌های پژوهشی مورد استفاده قرار گرفتند و به عنوان شواهد اصلی عملکرد مدل‌ها در نظر گرفته نشدند. با توجه به محدود بودن مطالعاتی که به طور مستقیم بر بارداری نوجوانان و پیش بینی زایمان زودرس با استفاده از AI/ML تمرکز داشتند، مطالعات انجام شده در جمعیت عمومی زنان باردار نیز در صورتی وارد تحلیل روایتی شدند که مستقیماً به پیش بینی زایمان زودرس مرتبط بوده و یافته‌های آن‌ها از نظر نوع داده، الگوریتم، زمان پیش بینی، اعتبارسنجی یا عوامل خطر، قابلیت استفاده برای تبیین نیازهای پژوهشی بارداری نوجوانان را داشته باشند. این مطالعات به عنوان شواهد مستقیم درباره نوجوانان تلقی نشدند، بلکه برای بررسی قابلیت انتقال شواهد و شناسایی محدودیت‌های تعمیم پذیری مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

از هر مطالعه، اطلاعات مربوط به نوع طراحی پژوهش، جمعیت مورد مطالعه، حجم نمونه، منبع داده، متغیرهای پیش بینی کننده، نوع الگوریتم هوش مصنوعی یا یادگیری ماشین، زمان پیش بینی زایمان زودرس، نوع و تعریف پیامد، معیارهای عملکرد مدل، روش اعتبارسنجی و مهم‌ترین یافته‌ها استخراج و به صورت مقایسه‌ای بررسی شد. یافته‌ها در محورهای اصلی شامل منابع داده و ویژگی‌های مورد استفاده، انواع الگوریتم‌ها، عملکرد مدل‌های پیش بینی، استفاده از مدل‌های قابل تفسیر، اعتبارسنجی و قابلیت تعمیم، و امکان کاربرد مدل‌ها در بارداری نوجوانان سازمان دهی و به صورت روایتی سنتز شدند.

با توجه به ماهیت این مطالعه، هدف از جستجو و تحلیل منابع انجام فراتحلیل یا برآورد کمی اثرات نبود، بلکه تمرکز بر شناسایی روندهای موجود، تفسیر

شواهد، مقایسه رویکردهای مختلف AI/ML و بررسی میزان قابلیت انتقال آن‌ها به بارداری نوجوانان بود. همچنین، در تفسیر یافته‌ها میان عملکرد فنی مدل‌ها و آمادگی آن‌ها برای استفاده بالینی تمایز قائل شدیم؛ به ویژه با توجه به اهمیت اعتبارسنجی خارجی، calibration، prospective validation، تفسیرپذیری و clinical utility در مدل‌های پیش بینی بالینی.

در نهایت، علاوه بر بررسی ظرفیت بالقوه AI/ML در پیش بینی زایمان زودرس، محدودیت‌های شواهد موجود شامل کمبود مطالعات اختصاصی در بارداری نوجوانان، وابستگی بسیاری از مدل‌ها به جمعیت‌های محدود یا گذشته‌نگر، ناهمگونی منابع داده و

الگوریتم‌ها، تفاوت در معیارهای عملکرد، کمبود اعتبارسنجی خارجی و prospective، و فاصله میان عملکرد فنی مدل‌ها و اثربخشی بالینی مورد توجه قرار گرفت. بر این اساس، شکاف‌های پژوهشی و الزامات لازم برای توسعه و اعتبارسنجی مدل‌های اختصاصی، قابل تفسیر و قابل اعتماد برای پیش‌بینی زایمان زودرس در بارداری نوجوانان شناسایی شدند.

یافته ها

شواهد بررسی‌شده نشان می‌دهند که روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، در مطالعات مختلف توانسته‌اند الگوهای مرتبط با خطر زایمان زودرس را از داده‌های بالینی، آزمایشگاهی و پرونده‌های الکترونیک سلامت استخراج کنند؛ با این حال، میزان عملکرد این مدل‌ها در جمعیت‌ها و شرایط مختلف یکسان نبوده است. Abraham و همکاران با تحلیل داده‌های پرونده الکترونیک سلامت مربوط به ۳۵,۲۸۲ زایمان نشان دادند که حتی اطلاعاتی که به‌طور معمول در سیستم‌های سلامت ثبت می‌شوند، از جمله کدهای تشخیصی و خدمات درمانی، می‌توانند برای برآورد خطر زایمان زودرس مورد استفاده قرار گیرند. عملکرد مدل‌ها در مراحل مختلف بارداری یکسان نبود و در برخی مقاطع، به‌ویژه با نزدیک‌شدن به زمان زایمان، توان پیش‌بینی بهتری مشاهده شد. این یافته اهمیت زمان‌بندی پیش‌بینی را در کنار انتخاب الگوریتم و متغیرهای ورودی نشان می‌دهد. (Abraham et al., 2022)

در همین راستا، Sun و همکاران نشان دادند که داده‌های ثبت‌شده در پرونده الکترونیک سلامت می‌توانند مبنایی برای توسعه مدل‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی زایمان زودرس باشند. Yu و همکاران نیز با بررسی بارداری‌های تک‌قلوبی و مقایسه چندین الگوریتم ML، بر قابلیت این روش‌ها در ترکیب هم‌زمان مجموعه‌ای از عوامل مادری و مرتبط با بارداری تأکید کردند. در مجموع، این مطالعات نشان می‌دهند که مزیت بالقوه ML صرفاً استفاده از یک عامل خطر خاص نیست، بلکه توانایی آن در بررسی هم‌زمان روابط میان چندین متغیر و استخراج الگوهای پیچیده‌تر از داده‌های بالینی است. (Sun et al., 2022; Yu et al., 2024)

در مطالعات جدیدتر، استفاده از داده‌های چندمنبعی نیز مورد توجه قرار گرفته است. Xiong و همکاران در مطالعه‌ای با ۵۴,۱۳۲ بارداری تک‌قلوبی، مجموعه‌ای از ۸۲ پیش‌بینی‌کننده شامل ویژگی‌های جمعیت‌شناختی، آزمایش‌های روتین بارداری، شاخص‌های مربوط به آلودگی هوا، عوامل هواشناختی و میزان مواجهه با فضای سبز را بررسی کردند. در میان الگوریتم‌های مورد ارزیابی، XGBoost در مجموعه آزمون بهترین عملکرد را نشان داد و به AUROC برابر با ۰.۹۲۶ رسید. با این حال، AUPRC برابر با ۰.۵۰۲ نشان می‌دهد که عملکرد مطلوب از نظر تفکیک خطر لزوماً به معنای عملکرد ایده‌آل در شناسایی موارد مثبت نیست و تفسیر مدل باید با توجه به شیوع پیامد و سایر شاخص‌های عملکرد انجام شود. (Xiong et al., 2025)

Yang و همکاران نیز در مطالعه‌ای روی ۱,۱۲۲ زن باردار، هشت الگوریتم یادگیری ماشین و شش روش انتخاب ویژگی را مقایسه کردند. ترکیب CatBoost با روش backward elimination بهترین عملکرد را داشت و در مجموعه آزمون به AUROC برابر با ۰.۸۷۶۲ و AUPRC برابر با ۰.۷۰۶۱ دست یافت. مهم‌ترین متغیرهای مدل شامل free triiodothyronine، نسبت albumin/globulin، thyroglobulin antibody، total thyroxine و red cell volume distribution width بودند. با این حال، وابستگی مدل به چنین متغیرهایی می‌تواند در برخی محیط‌های بالینی، به‌ویژه مراکزی که این آزمایش‌ها به‌صورت روتین انجام نمی‌شوند، قابلیت استفاده و تعمیم آن را محدود کند. (Yang et al., 2025)

در کنار مدل‌های متداول ML، استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته‌تر مانند یادگیری عمیق نیز در حال گسترش است. Zhang و همکاران در مطالعه‌ای روی ۳۰,۹۶۵ تولد، عملکرد چهار روش شامل رگرسیون لجستیک، support vector، random forest و machine learning را مقایسه کردند. مدل transformer در مجموعه آزمون به AUC برابر با ۰.۷۹۰۲۰، حساسیت ۰.۷۳۰۶۷ و ویژگی ۰.۷۲۰۴۸ دست یافت و از نظر AUC نسبت به سایر مدل‌های بررسی‌شده عملکرد بهتری داشت. با این حال، PPV مدل تنها ۰.۲۸۰۲۱ بود؛ بنابراین، عملکرد مناسب در شاخص‌هایی مانند AUC الزاماً به معنای دقت بالای مدل در شناسایی موارد واقعاً

پرخطر نیست. این نکته برای کاربرد غربالگری بالینی اهمیت ویژه‌ای دارد. (Zhang et al., 2024)

یکی دیگر از مسیرهای مهم پژوهش، افزایش قابلیت تفسیر مدل‌های هوش مصنوعی است. Kang و همکاران یک مدل Explainable Machine Learning برای پیش‌بینی زایمان زودرس در زنان مبتلا به دیابت بارداری و اختلالات پرفشاری بارداری توسعه دادند و آن را با یک مجموعه داده خارجی اعتبارسنجی کردند. اهمیت این رویکرد در آن است که مدل علاوه بر ارائه برآورد خطر، می‌تواند اطلاعات بیشتری درباره عوامل مؤثر بر پیش‌بینی در اختیار متخصصان سلامت قرار دهد. باین‌حال، اختصاص مدل به یک جمعیت پرخطر خاص، تعمیم مستقیم نتایج آن به بارداری نوجوانان را محدود می‌کند. (Kang et al., 2025)

در مطالعات جدیدتر، تلاش برای استفاده از داده‌هایی که در جریان مراقبت معمول قابل دسترس هستند نیز دیده می‌شود. Ma و همکاران با استفاده از داده‌های بالینی مرتبط با ارزیابی سرویکس و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، رویکردی برای پیش‌بینی زایمان زودرس خودبه‌خودی ارائه کردند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که ترکیب اطلاعات بالینی با داده‌های حاصل از ارزیابی‌های اختصاصی بارداری می‌تواند به غنی‌تر شدن مدل‌های پیش‌بینی کمک کند؛ هرچند میزان دسترسی به این داده‌ها و امکان استفاده از آن‌ها در همه مراکز یکسان نیست. (Ma et al., 2026)

از نظر اعتبارسنجی، مطالعه He و همکاران اهمیت ویژه‌ای دارد؛ زیرا مدل LightGBM آن‌ها علاوه بر مرحله توسعه، در یک cohort مستقل به صورت prospective نیز ارزیابی شد. مدل در اعتبارسنجی prospective به AUC برابر با ۰.۸۲۳ دست یافت و عملکرد آن از نظر calibration و توانایی تفکیک زنان به گروه‌های مختلف خطر نیز بررسی شد. چنین طراحی‌ای نسبت به مطالعات صرفاً retrospective شواهد قوی‌تری درباره قابلیت انتقال مدل به شرایط واقعی فراهم می‌کند؛ باین‌حال، حتی این نوع اعتبارسنجی نیز به‌تنهایی نمی‌تواند اثربخشی بالینی مدل یا تأثیر آن بر پیامدهای مادر و نوزاد را اثبات کند. (He et al., 2026)

در مجموع، یافته‌ها تصویری نسبتاً متنوع از کاربرد AI در پیش‌بینی زایمان زودرس ارائه می‌کنند؛ از مدل‌های مبتنی بر داده‌های EHR و biomarkers گرفته تا الگوریتم‌های چندمنبعی، مدل‌های deep learning و روش‌های Explainable AI. با وجود عملکرد امیدوارکننده برخی مدل‌ها، تفاوت در جمعیت‌ها، منابع داده، زمان پیش‌بینی، تعریف پیامد و معیارهای ارزیابی باعث می‌شود نتایج مطالعات به‌سادگی قابل مقایسه نباشند. مهم‌تر از همه، بیشتر این شواهد در جمعیت عمومی زنان باردار تولید شده‌اند و شواهد مستقیم درباره عملکرد AI/ML در مادران نوجوان همچنان محدود است؛ بنابراین، نمی‌توان صرفاً بر اساس عملکرد مدل‌ها در جمعیت عمومی، کارایی آن‌ها را در بارداری نوجوانان فرض کرد. (Shahraki et al., 2025; Sharifi-Heris et al., 2022).

بحث و نتیجه‌گیری

مجموع شواهد نشان می‌دهد که هوش مصنوعی و یادگیری ماشین ظرفیت قابل‌توجهی برای ارتقای پیش‌بینی زایمان زودرس دارند، اما دقت بالا به‌تنهایی برای انتقال یک مدل از محیط پژوهشی به مراقبت بالینی کافی نیست. مطالعات مختلف از نظر جمعیت مورد بررسی، نوع داده، تعریف outcome، الگوریتم، انتخاب ویژگی، معیارهای عملکرد و روش اعتبارسنجی تفاوت زیادی دارند؛ بنابراین مقایسه مستقیم عملکرد مدل‌ها دشوار است. مرورهای موجود نیز بر ناهمگونی روش‌شناختی و مشکلات اعتبارسنجی مدل‌های ML در این حوزه تأکید کرده‌اند (Shahraki et al., 2025; Sharifi-Heris et al., 2022).

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، قابلیت تعمیم مدل‌ها است. برای مثال، مدل Yang و همکاران به متغیرهایی مانند برخی شاخص‌های تیروئیدی و آزمایشگاهی وابسته بود که ممکن است در تمام سیستم‌های مراقبت بارداری به‌صورت روتین اندازه‌گیری نشوند؛ بنابراین نویسندگان نیز بر ضرورت بررسی بیشتر generalizability و کاربرد بالینی مدل تأکید کردند (Yang et al., 2025).

به همین ترتیب، مدل‌های مبتنی بر EHR ممکن است به ساختار و کیفیت ثبت داده در یک نظام سلامت خاص وابسته باشند و انتقال آنها به کشورها یا مراکز دیگر بدون اعتبارسنجی مجدد می‌تواند عملکرد مدل را کاهش دهد (Abraham et al., 2022; Qian et al., 2025).

اعتبارسنجی خارجی و prospective نیز از مهم ترین الزامات توسعه مدل های بالینی محسوب می شوند. مطالعه He و همکاران نمونه ای از حرکت این حوزه به سمت prospective validation است؛ مدل LightGBM آنها در یک cohort مستقل زمانی ارزیابی شد و علاوه بر discrimination، calibration و clinical utility نیز مورد بررسی قرار گرفت (He et al., 2026). چنین رویکردی برای مدل های اختصاصی نوجوانان اهمیت بیشتری دارد، زیرا عملکرد یک مدل توسعه یافته در زنان باردار عمومی ممکن است در جمعیت نوجوانان متفاوت باشد.

از سوی دیگر، تفسیرپذیری مدل ها برای استفاده بالینی اهمیت اساسی دارد. مدل هایی که صرفاً یک احتمال خطر ارائه می کنند، بدون آنکه عوامل مؤثر بر پیش بینی را مشخص کنند، ممکن است پذیرش محدودی در تصمیم گیری بالینی داشته باشند. استفاده از Explainable AI و روش هایی مانند SHAP می تواند به متخصصان کمک کند تا عوامل مؤثر بر قرار گرفتن مادر در گروه پرخطر را بهتر درک کنند (Kang et al., 2025; He et al., 2026).

این مسئله در بارداری نوجوانان اهمیت ویژه ای دارد. مطالعه Khudor و همکاران روی ۱۳۲۲ بارداری نوجوان ۱۲ تا ۱۶ سال نشان داد که می توان ابزارهای اختصاصی risk stratification را برای این گروه طراحی و اعتبارسنجی کرد و متغیرهایی مانند سن، وضعیت تغذیه ای و پارامترهای سونوگرافیک را در مدل وارد کرد. با این حال، این مطالعه مستقیماً مدل ML برای پیش بینی PTB ارائه نکرد و بیشتر بر stratification کلی خطر مامایی تمرکز داشت (Khudor et al., 2025). بنابراین، یکی از شکاف های مهم پژوهشی، توسعه مدل های AI/ML اختصاصی برای پیش بینی PTB در بارداری نوجوانان است.

از منظر بالینی، مدل های آینده در نوجوانان بهتر است فقط بر biomarkers پیچیده یا داده های تخصصی متکی نباشند، بلکه از داده هایی استفاده کنند که در مراقبت معمول قابل دسترس هستند؛ برای مثال سن، وضعیت تغذیه ای، سابقه مامایی، مراقبت های دوران بارداری، بیماری های همراه، شاخص های آزمایشگاهی روتین و عوامل اجتماعی و محیطی. ترکیب این متغیرها با الگوریتم های ML می تواند به توسعه ابزارهای غربالگری کم هزینه تر و قابل استفاده تر در سطح مراقبت های اولیه کمک کند. (Xiong et al., 2025; Abraham et al., 2022)

در نهایت، آینده کاربرد AI در پیش بینی زایمان زودرس احتمالاً به سمت ادغام داده های چندمنبعی، مدل های قابل تفسیر، اعتبارسنجی prospective و طراحی مدل های اختصاصی برای زیرگروه های پرخطر حرکت خواهد کرد. برای بارداری نوجوانان، این رویکرد می تواند به جای استفاده مستقیم از مدل های توسعه یافته در جمعیت عمومی، زمینه ایجاد مدل هایی متناسب با ویژگی های زیستی، اجتماعی و مراقبتی این گروه را فراهم کند.

در مجموع، شواهد موجود نشان می دهد که هوش مصنوعی و یادگیری ماشین از ظرفیت مناسبی برای تحلیل همزمان عوامل متعدد و شناسایی الگوهای پیچیده مرتبط با خطر زایمان زودرس برخوردارند؛ با این حال، شواهد فعلی هنوز برای اثبات آمادگی این فناوری ها جهت استفاده گسترده و روتین در مراقبت بالینی کافی نیست. بخش قابل توجهی از مدل های موجود بر داده های گذشته نگر، جمعیت های محدود یا داده های تک مرکزی توسعه یافته اند و در بسیاری از موارد، اعتبارسنجی خارجی، ارزیابی prospective و بررسی عملکرد مدل در شرایط واقعی مراقبت به صورت کافی انجام نشده است. همچنین، ناهمگونی در جمعیت های مورد مطالعه، منابع داده، الگوریتم ها و معیارهای ارزیابی، مقایسه مستقیم نتایج و قضاوت درباره برتری یک مدل خاص را دشوار می کند.

مهم ترین شکاف پژوهشی مرتبط با موضوع حاضر، کمبود شواهد اختصاصی درباره پیش بینی زایمان زودرس در بارداری نوجوانان است. بیشتر مدل های بررسی شده در جمعیت عمومی زنان باردار توسعه یافته اند و نمی توان عملکرد آنها را بدون اعتبارسنجی اختصاصی به نوجوانان تعمیم داد. تفاوت در ویژگی های زیستی، وضعیت تغذیه ای، الگوی دریافت مراقبت های دوران بارداری و عوامل اجتماعی و محیطی می تواند بر عوامل پیش بینی کننده و عملکرد مدل ها تأثیرگذار باشد. افزون بر این، وابستگی برخی

مدل‌ها به داده‌های تخصصی یا متغیرهایی که در همه مراکز به صورت روتین در دسترس نیستند، می‌تواند قابلیت کاربرد و تعمیم آن‌ها را در محیط‌های مختلف محدود کند. بر این اساس، پژوهش‌های آینده باید علاوه بر بهبود عملکرد الگوریتمی، بر توسعه و اعتبارسنجی مدل‌های اختصاصی برای بارداری نوجوانان، استفاده از نمونه‌های بزرگ و چندمرکزی، اعتبارسنجی خارجی و *prospective*، ارزیابی دقیق *calibration* و قابلیت تفسیر مدل‌ها و بررسی سودمندی بالینی آن‌ها تمرکز کنند. همچنین، لازم است مشخص شود که استفاده از مدل‌های *AI/ML* در عمل تا چه اندازه می‌تواند تصمیم‌گیری بالینی را بهبود بخشیده و در نهایت به کاهش پیامدهای نامطلوب مادر و نوزاد منجر شود. در شرایط کنونی، هوش مصنوعی را می‌توان رویکردی پژوهشی با ظرفیت بالقوه در پیش‌بینی زایمان زودرس دانست؛ با این حال، شواهد اختصاصی و باکیفیت موجود برای توصیه به استفاده مستقل و گسترده از این مدل‌ها در بارداری نوجوانان همچنان محدود است.

منابع

- Abdi, F., Roozbeh, N., Darsareh, F., Mehrnoush, V., Vahidi Farashah, M. S., & Montazeri, F. (2025). Developing a prognostic model for predicting preterm birth using a machine learning algorithm. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 25, 974. <https://doi.org/10.1186/s12884-025-08136-4>
- Abraham, A., Le, B., Kosti, I., Straub, P., Velez-Edwards, D. R., Davis, L. K., Newton, J. M., Muglia, L. J., Rokas, A., Bejan, C. A., Sirota, M., & Capra, J. A. (2022). Dense phenotyping from electronic health records enables machine learning-based prediction of preterm birth. *BMC Medicine*, 20, 333. <https://doi.org/10.1186/s12916-022-02522-x>
- Arabi Belaghi, R. (2024). Prediction of preterm birth in multiparous women using logistic regression and machine learning approaches. *Scientific Reports*, 14, 21967. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60097-4>
- Ding, L., Yin, X., Wen, G., Sun, D., Xian, D., Zhao, Y., Zhang, M., Yang, W., & Chen, W. (2024). Prediction of preterm birth using machine learning: A comprehensive analysis based on large-scale preschool children survey data in Shenzhen of China. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 24, 810. <https://doi.org/10.1186/s12884-024-06980-4>
- He, L., Luo, K., Wang, R., Wang, G., Gao, J., Wang, J., & Dong, R. (2026). A machine learning-based risk prediction model for early preterm birth: Development and prospective validation. *Frontiers in Medicine*, 13, 1888022. <https://doi.org/10.3389/fmed.2026.1888022>
- Kang, L. K., Luo, D., Xie, W., Luo, X., Mei, J., & He, J. (2025). An explainable machine learning model for predicting preterm birth in pregnant women with gestational diabetes mellitus and hypertensive disorders of pregnancy: Development and external validation.

Frontiers in Endocrinology, 16. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1665935>

Khan, W., Zaki, N., Ghenimi, N., Ahmad, A., Bian, J., Masud, M. M., Ali, N., Govender, R., & Ahmed, L. A. (2023). Predicting preterm birth using explainable machine learning in a prospective cohort of nulliparous and multiparous pregnant women. PLOS ONE, 18(12), e0293925. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293925>

Kloska, A., Harmoza, A., Kloska, S. M., Marciniak, T., & Sadowska-Krawczenko, I. (2025). Predicting preterm birth using machine learning methods. Scientific Reports, 15, 5683. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89905-1>

Khudor, A. J., Moga, M. A., Dimienescu, O. G., Nicolau, A. C., Arvatescu, C. A., & Hogeia, M. D. (2025). Development of novel predictive scores for obstetrical risk stratification in adolescent pregnancies: A retrospective study. Journal of Clinical Medicine, 15(1), 139. <https://doi.org/10.3390/jcm15010139>

Lee, Y. (2026). Artificial intelligence in preterm birth prediction: A narrative review of current approaches and clinical applicability. Obstetrics & Gynecology Science, 69(2), 94–102. <https://doi.org/10.5468/ogs.26043>

Ma, X., Li, N., Zhang, Y., Qin, F., Li, M., Gao, Y., Hu, W., & Chen, Y. (2026). Predicting spontaneous preterm birth using machine learning algorithms. The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine, 39(1), 2667656. <https://doi.org/10.1080/14767058.2026.2667656>

Park, J. S., Lee, K.-S., Heo, J. S., & Ahn, K. H. (2024). Clinical and dental predictors of preterm birth using machine learning methods: The MOHEPI study. Scientific Reports, 14, 24664. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75684-8>

Paul, A. K., Kalmady, S. V., Greiner, R., & Kaul, P. (2026). Leveraging administrative health records and machine learning for population-level prediction of preterm birth. American Journal of Obstetrics & Gynecology MFM, 8(8), 102033. <https://doi.org/10.1016/j.ajogmf.2026.102033>

Qian, L., Jia, H., Chang, Z., Hu, Y., Chen, C., Li, X., & Zhang, H. (2025). Predicting the risk of preterm birth with machine learning and electronic health records in China. BMC Medical Informatics and Decision Making, 25, 415. <https://doi.org/10.1186/s12911-025-03254-7>

Shahraki, G., Mazrooei Rad, E., & Heidari, M. (2025). A scoping review of machine learning models for predicting preterm birth and miscarriage: Mapping the landscape and the performance-validation paradox. Intelligence-Based Medicine. <https://doi.org/10.1016/j.ibmed.2025.100337>

Sharifi-Heris, Z., Laitala, J., Airola, A., Rahmani, A. M., & Bender, M. (2022). Machine

learning approach for preterm birth prediction using health records: Systematic review. JMIR Medical Informatics, 10(4), e33875. <https://doi.org/10.2196/33875>

Sun, Q.,

Zou, X., Yan, Y., Zhang, H., Wang, S., Gao, Y., Liu, H., Liu, S., Lu, J., Yang, Y., & Ma, X. (2022). Machine learning-based prediction model of preterm birth using electronic health record. Journal of Healthcare Engineering, 2022, 9635526. <https://doi.org/10.1155/2022/9635526>

Teng, X., Liu, M., Wang, Z., & Dong, X. (2025). Machine learning prediction of preterm birth in women under 35 using routine biomarkers in a retrospective cohort study. Scientific Reports, 15, 10213. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92814-y>

Xiong, C., Qin, X., Xu, L., Huang, M., Chen, K., Hu, L., Li, J., Mu, X., Fan, X., Xia, Z., Wei, J., Lei, X., & Zhou, A. (2025). Machine learning-based prediction algorithm of spontaneous preterm birth using multi-source data. BMC Pregnancy and Childbirth, 26, 32. <https://doi.org/10.1186/s12884-025-08541-9>

Yang, X., Song, X., Yang, K., Gao, P., Wang, S., Zhang, S., Qiang, R., Li, Z., & Gao, X. (2025). Prediction of spontaneous preterm birth in pregnant women using machine learning. Archives of Gynecology and Obstetrics, 312, 1195–1204. <https://doi.org/10.1007/s00404-025-08117-0>

Yu, Q.-Y., Lin, Y., Zhou, Y.-R., Yang, X.-J., & Hemelaar, J. (2024). Predicting risk of preterm birth in singleton pregnancies using machine learning algorithms. Frontiers in Big Data, 7, 1291196. <https://doi.org/10.3389/fdata.2024.1291196>

Zhang, F., Tong, L., Shi, C., Zuo, R., Wang, L., & Wang, Y. (2024). Deep learning in predicting preterm birth: A comparative study of machine learning algorithms. Maternal-Fetal Medicine, 6(3). <https://doi.org/10.1097/FM9.0000000000000236>