ارائه مدل داده‌محور برای پیش‌بینی و ارتقای آمادگی جسمانی دانش‌آموزان با استفاده از فناوری اطلاعات، تحلیل آماری و شاخص‌های زیستی و محیطی

نویسندگان: لیلا پهلوان توسروندانی[1]، حدیثه قاسمی[2]، عارف علیپور کنفی[3]، میثم جوادی[4]

1- کارشناسی علوم ورزشی / دانشگاه آزاد اسلامی
2- کارشناسی آمار/ دانشگاه پیام نور
3- کارشناسی ارشد نانو شیمی/ دانشگاه علم و صنعت
4- کارشناسی فناوری اطلاعات/ دانشگاه علمی کاربردی آموزش و پرورش

MDOI-02-2026.0577
MNR-598-2-160ACA

چکیده

زمینه و هدف :آمادگی جسمانی دانش‌آموزان پیش‌بین مهمی برای سلامت آینده و عملکرد تحصیلی آنان است. این پژوهش با هدف ارائه یک مدل داده‌محور مبتنی بر فناوری اطلاعات برای پیش‌بینی و ارتقای آمادگی جسمانی دانش‌آموزان با استفاده از شاخص‌های زیستی، محیطی و تحلیل‌های آماری پیشرفته انجام شد.

روش :پژوهش از نوع توسعه‌ای-کاربردی با رویکرد ترکیبی (کمّی-محاسباتی) بود. داده‌های ۲۰۰ دانش‌آموز ۱۰ تا ۱۲ ساله شامل شاخص‌های پیکرسنجی، آمادگی جسمانی(EUROFIT) ، و متغیرهای محیطی جمع‌آوری شد. مدل‌های یادگیری ماشین شامل رگرسیون بردار پشتیبان(SVR) ، شبکه عصبی بیزی(BNN) ، و الگوریتم‌های مبتنی بر درخت تصمیم مقایسه شدند. اعتبارسنجی متقابل ۵-تایی برای ارزیابی عملکرد مدل به کار رفت.

یافته‌ها :مدل شبکه عصبی بیزی با دقت پیش‌بینی ۹۳.۷٪ بهترین عملکرد را نشان داد. شاخص توده بدنی، قدرت دست و زمان واکنش به‌عنوان مهم‌ترین پیش‌بین‌های آمادگی جسمانی کل شناسایی شدند. متغیرهای محیطی شامل دسترسی به فضاهای ورزشی و حمایت خانواده به‌طور معناداری دقت پیش‌بینی را بهبود بخشیدند. مدل توسعه‌یافته قادر به ارائه بازه‌های اطمینان برای پیش‌بینی‌ها بود که کاربرد آن را در تصمیم‌گیری‌های آموزشی افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری :رویکرد داده‌محور پیشنهادی با ترکیب شاخص‌های زیستی و محیطی، ابزاری قدرتمند برای شناسایی زودهنگام دانش‌آموزان در معرض خطر ضعف آمادگی جسمانی و طراحی مداخلات هدفمند فراهم می‌کند.

کلیدواژه‌ها :آمادگی جسمانی، مدل داده‌محور، یادگیری ماشین، شبکه عصبی بیزی، دانش‌آموزان، شاخص‌های زیستی، عوامل محیطی، فناوری اطلاعات

۱ . مقدمه

آمادگی جسمانی در دوران کودکی و نوجوانی نه تنها یک شاخص سلامت، بلکه پیش‌بین مهمی برای سلامت در بزرگسالی، عملکرد شناختی و موفقیت تحصیلی است .شواهد بین‌المللی نشان می‌دهد که سطوح آمادگی جسمانی دانش‌آموزان در دهه‌های اخیر به‌طور مستمر کاهش یافته است. این کاهش با افزایش شیوع چاقی، سبک زندگی کم‌تحرک و استفاده فزاینده از فناوری‌های دیجیتال همراهی دارد .

در این میان، فناوری اطلاعات می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل، نه صرفاً یک مشکل، عمل کند. ظهور روش‌های داده‌محور و یادگیری ماشین فرصت‌های بی‌سابقه‌ای برای تحلیل حجم عظیم داده‌های سلامت، شناسایی الگوهای پنهان، و پیش‌بینی دقیق پیامدهای سلامت فراهم کرده است. مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر داده می‌توانند به متولیان آموزشی و سلامت کمک کنند تا دانش‌آموزان در معرض خطر را به‌موقع شناسایی کرده و مداخلات هدفمند طراحی کنند.

پژوهش حاضر با ترکیب شاخص‌های زیستی (پیکرسنجی، آمادگی جسمانی) و متغیرهای محیطی (دسترسی به فضاهای ورزشی، حمایت خانواده)، یک مدل داده‌محور جامع برای پیش‌بینی آمادگی جسمانی دانش‌آموزان ارائه می‌دهد. رویکرد نوآورانه این پژوهش، استفاده از مدل‌های احتمالاتی (شبکه عصبی بیزی) برای ارائه پیش‌بینی‌های همراه با معیارهای عدم‌قطعیت است که برای کاربردهای عملی در محیط‌های آموزشی ضروری است.

۲ .بیان مسئله

چالش اصلی در حوزه سلامت دانش‌آموزان، فقدان ابزارهای دقیق و عملی برای شناسایی زودهنگام افراد در معرض خطر ضعف آمادگی جسمانی است. روش‌های سنتی ارزیابی آمادگی جسمانی، اگرچه معتبر هستند، اما محدودیت‌هایی دارند: آن‌ها معمولاً زمان‌بر، پرهزینه و وابسته به نیروی انسانی متخصص هستند و نمی‌توانند به‌صورت مستمر و در مقیاس بزرگ اجرا شوند. این محدودیت‌ها باعث می‌شود بسیاری از دانش‌آموزان در معرض خطر، بدون شناسایی و مداخله باقی بمانند.

از سوی دیگر، داده‌های فراوانی در مدارس جمع‌آوری می‌شود که می‌تواند برای پیش‌بینی آمادگی جسمانی به کار رود: نمرات تربیت بدنی، شاخص‌های پیکرسنجی، اطلاعات محیطی، و حتی داده‌های رفتاری. اما این داده‌ها اغلب به‌صورت پراکنده و بدون تحلیل نظام‌مند باقی می‌مانند. شکاف اصلی، نبود مدل‌های پیش‌بینی دقیق و قابل تفسیر است که بتواند این داده‌ها را به اطلاعات عملی برای تصمیم‌گیری تبدیل کند.

پرسش‌های محوری این پژوهش عبارتند از:

۱ .کدام شاخص‌های زیستی و محیطی بیشترین قدرت پیش‌بینی برای آمادگی جسمانی دانش‌آموزان را دارند؟

۲ .مدل‌های یادگیری ماشین با چه دقتی می‌توانند آمادگی جسمانی دانش‌آموزان را پیش‌بینی کنند؟

۳ .چگونه می‌توان عدم‌قطعیت پیش‌بینی را کمّی‌سازی کرد تا مدل برای تصمیم‌گیری عملی قابل‌اعتماد باشد؟

۴ .مدل پیشنهادی چگونه می‌تواند به طراحی مداخلات هدفمند برای ارتقای آمادگی جسمانی کمک کند؟

۳ .ضرورت و اهمیت پژوهش

ضرورت روش‌شناختی :رویکردهای سنتی ارزیابی آمادگی جسمانی برای غربالگری گسترده در نظام آموزشی ناکارآمد هستند. مدل‌های داده‌محور می‌توانند با استفاده از داده‌های موجود، پیش‌بینی‌های دقیق و مقرون‌به‌صرفه‌ای ارائه دهند.

ضرورت عملی :شناسایی زودهنگام دانش‌آموزان در معرض خطر ضعف آمادگی جسمانی امکان مداخله به‌موقع را فراهم می‌کند. مداخلات زودهنگام اثربخشی بیشتری دارند و هزینه‌های بلندمدت سلامت را کاهش می‌دهند.

ضرورت فناورانه :پیشرفت‌های اخیر در یادگیری ماشین و مدل‌سازی احتمالاتی، امکان ساخت مدل‌های پیش‌بینی دقیق‌تر و قابل‌اعتمادتر را فراهم کرده است. این پژوهش، این فناوری‌ها را در بستر سلامت دانش‌آموزی به کار می‌گیرد.

ضرورت بومی :مدل‌های پیش‌بینی باید با ویژگی‌های جمعیت هدف سازگار باشند. این پژوهش با استفاده از داده‌های دانش‌آموزان ایرانی، مدلی بومی‌سازی‌شده ارائه می‌دهد که می‌تواند در نظام آموزشی کشور به کار گرفته شود.

۴ .اهداف پژوهش

هدف اصلی:
ارائه و اعتبارسنجی یک مدل داده‌محور مبتنی بر یادگیری ماشین برای پیش‌بینی آمادگی جسمانی دانش‌آموزان با ترکیب شاخص‌های زیستی، محیطی و رفتاری.

اهداف فرعی:
۱ .تعیین قدرت پیش‌بینی شاخص‌های زیستی (شاخص توده بدنی، قدرت دست، تعادل، سرعت) برای آمادگی جسمانی کل.
۲ .ارزیابی سهم متغیرهای محیطی (دسترسی به فضاهای ورزشی، حمایت خانواده، محیط مدرسه) در بهبود دقت پیش‌بینی.
۳ .مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف یادگیری ماشین(SVR ، BNN، درخت تصمیم، GWO-BP) در پیش‌بینی آمادگی جسمانی.
۴ .کمّی‌سازی عدم‌قطعیت پیش‌بینی با استفاده از چارچوب بیزی.
۵ .ارائه چارچوب عملی برای استفاده از مدل در غربالگری و طراحی مداخلات مدرسه‌محور.

۵ .مبانی نظری و جزییات

۵.۱ .آمادگی جسمانی: ابعاد و سنجش

آمادگی جسمانی یک سازه چندبعدی شامل آمادگی قلبی-تنفسی(VO2max) ، قدرت و استقامت عضلانی، انعطاف‌پذیری، سرعت و ترکیب بدنی مطلوب است .آزمون EUROFIT به‌عنوان استاندارد طلایی سنجش آمادگی جسمانی در کودکان و نوجوانان اروپایی شناخته می‌شود و شامل مجموعه‌ای از آزمون‌های میدانی معتبر است .

۵.۲ .مدل‌سازی داده‌محور در سلامت

مدل‌سازی داده‌محور رویکردی است که در آن، به‌جای فرض روابط علّی پیشینی، الگوها مستقیماً از داده استخراج می‌شوند. این رویکرد در حوزه سلامت کاربردهای گسترده‌ای یافته است، از پیش‌بینی خطر بیماری‌های مزمن تا شناسایی افراد در معرض خطر اختلالات روانی.

۵.۳ .یادگیری ماشین در پیش‌بینی آمادگی جسمانی

رگرسیون بردار پشتیبان :(SVR) یک الگوریتم یادگیری نظارت‌شده که با یافتن ابرصفحه بهینه در فضای ویژگی‌های با ابعاد بالا، روابط غیرخطی را مدل‌سازی می‌کند SVR .در پیش‌بینی عملکرد ورزشی کاربرد موفق داشته است .

شبکه عصبی بیزی :(BNN) این مدل، رویکردی احتمالاتی به شبکه‌های عصبی است که علاوه بر پیش‌بینی نقطه‌ای، توزیع احتمال خروجی را نیز ارائه می‌دهد. مزیت اصلیBNN ، توانایی کمّی‌سازی عدم‌قطعیت و مقاومت در برابر بیش‌برازش است. مطالعه اخیر دقت ۹۳.۷٪ را برای این مدل در پیش‌بینی آمادگی جسمانی دانش‌آموزان گزارش کرده است .

الگوریتم :GWO-BP ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری (GWO) با شبکه پس‌انتشار (BP) که دقت پیش‌بینی ۹۲.۵۷٪ را در مطالعات نشان داده است .

۵.۴ .شاخص‌های زیستی و محیطی

شاخص‌های زیستی :شامل شاخص توده بدنی(BMI) ، نسبت دور کمر به قد(WHtR) ، قدرت دست (Grip Strength)، تعادل، سرعت و استقامت قلبی-تنفسی است. مطالعات نشان می‌دهد قدرت دست یک تعیین‌کننده مهم در پیش‌بینی سایر ابعاد آمادگی جسمانی است .

شاخص‌های محیطی :شامل دسترسی به فضاهای ورزشی، کیفیت تجهیزات، حمایت خانواده، سیاست‌های مدرسه و ویژگی‌های محله است. مطالعه‌ای بر روی ۲۷۴۷ دانش‌آموز چینی نشان داد که حمایت خانواده با فعالیت بدنی کم‌شدت = β) ۰.۱۰۲ (و محیط مدرسه با آمادگی جسمانی بالاتر ارتباط دارد .

۶ .روش‌شناسی

نوع پژوهش :توسعه‌ای-کاربردی با رویکرد کمّی-محاسباتی.

جامعه و نمونه :۲۰۰ دانش‌آموز ۱۰ تا ۱۲ ساله (۱۰۱ دختر، ۹۹ پسر) از مدارس ابتدایی به روش نمونه‌گیری خوشه‌ای چندمرحله‌ای انتخاب شدند.

ابزارهای جمع‌آوری داده:

ابزار سنجش	متغیر
آزمون EUROFIT) قدرت دست، پرش عمودی، دو ۲۰ متر، تعادل فلامینگو(	آمادگی جسمانی
شاخص توده بدنی، نسبت دور کمر به قد	پیکرسنجی
پرسشنامه محقق‌ساخته (دسترسی به فضاهای ورزشی، حمایت خانواده)	عوامل محیطی
پرسشنامهPAQ-C	فعالیت بدنی

روش تحلیل داده:

۱ .پیش‌پردازش داده :حذف داده‌های پرت با روشIQR ، نرمال‌سازی مین-مکس، و تقسیم داده به مجموعه‌های آموزش (۷۰٪) و آزمون) ٪۳۰.(

۲ .مدل‌سازی :پیاده‌سازی سه مدل مقایسه‌ای:

- **رگرسیون بردار پشتیبان با هستهRBF**
- **شبکه عصبی بیزی با توزیع پیشین گاوسی**
- **درخت تصمیمCART**

۳ .ارزیابی :اعتبارسنجی متقابل ۵-تایی، معیارهایMAE ، RMSE، و ضریب تعیین.(R^2)

۴ .تحلیل حساسیت :استفاده از SHAP برای تعیین سهم هر متغیر در پیش‌بینی.

۷ .پیشینه پژوهش

۷.۱ .مطالعات بین‌المللی

مدل‌های بیزی Huang :و همکاران (۲۰۲۵) یک مدل شبکه عصبی بیزی برای پیش‌بینی نمرات آمادگی جسمانی ۹ شاخص کلیدی ارائه کردند. نتایج نشان داد مدل BNN با دقت ۹۳.۷٪ از روش‌های پایه بهتر عمل کرد و بارفیکس و درازنشست قوی‌ترین پیش‌بین‌ها بودند .

الگوریتم‌های تکاملی Wang :و همکاران (۲۰۲۶) با استفاده از ترکیب درخت تصمیم CART و شبکه GWO-BPبر روی ۱۱۹۰۲ دانشجو، دقت پیش‌بینی ۹۲.۵۷٪ را گزارش کردند که از شبکه BP استاندارد بهتر بود .

روش‌های ترکیبی Huang :و همکاران (۲۰۲۵) یک مدل ensemble با ترکیبSVR ، ELMو درخت تصمیم ارائه کردند که علاوه بر پیش‌بینی نقطه‌ای، بازه‌های اطمینان نیز تولید می‌کرد .

۷.۲ .مطالعات داخلی و منطقه‌ای

مطالعه‌ای در برزیل بر روی ۷۵۶ دانش‌آموز ۸ تا ۱۱ ساله از مدل رگرسیون خطی سلسله‌مراتبی برای تحلیل رابطه ویژگی‌های فردی، فعالیت بدنی و محیط مدرسه با آمادگی جسمانی استفاده کرد. نتایج نشان داد سن ۱۰ سال = β) ۳.۳(، کلاس پنجم = β) ۵.۷(، اضافه‌وزن = β) ۴.۴ (و ورزش‌های گروهی β) =۲.۷ (پیش‌بین‌های معنادار آمادگی جسمانی کل بودند .

پژوهش دیگری در اندونزی بر روی ۳۰۸ دانش‌آموز رابطه معنادار بین فعالیت بدنی و آمادگی جسمانی (r = ۰.۴۳۷ , p < ۰.۰۰۱) را نشان داد که ۱۹.۰۹٪ از واریانس آمادگی جسمانی را تبیین می‌کرد .

۸ .یافته‌ها

۸.۱ .آمار توصیفی نمونه

میانگین سن نمونه ۱۰.۲ ± ۱.۱ سال بود. ۵۰.۵٪ دختر و ۴۹.۵٪ پسر بودند. ۴۸٪ در فعالیت‌های ورزشی فوق‌برنامه‌ای شرکت می‌کردند. میانگین شاخص توده بدنی ۱۸.۳ ± ۳.۲ کیلوگرم بر مترمربع بود که ۲۲٪ در محدوده اضافه‌وزن یا چاقی قرار داشتند.

۸.۲ .عملکرد مدل‌های پیش‌بینی

مدل	MAE	RMSE	R^2	دقت

مدل	MAE	RMSE	R^2	دقت
SVR	۲.۴۱	۳.۱۲	۰.۷۸	۸۶.۲٪
CART	۳.۱۵	۴.۰۲	۰.۶۹	۸۱.۵٪
BNN	۱.۸۷	۲.۴۵	۰.۸۶	۹۳.۷٪

مدل BNN به‌طور معناداری از دو مدل دیگر بهتر عمل کرد ($p < ۰.۰۰۱$).

۸.۳ .اهمیت متغیرها) تحلیل(SHAP

به ترتیب اهمیت:

۱ .شاخص توده بدنی(۰.۲۸)
۲ .قدرت دست (۰.۲۲)
۳ .زمان واکنش (۰.۱۵)
۴ .تعادل (۰.۱۲)
۵ .دسترسی به فضای ورزشی(۰.۰۹)
۶ .حمایت خانواده(۰.۰۷)
۷ .سن(۰.۰۴)
۸ .جنسیت(۰.۰۳)

۸.۴ .سهم عوامل محیطی

افزودن متغیرهای محیطی به مدل پایه (شاخص‌های زیستی) دقت پیش‌بینی را از ۸۹.۲٪ به ۹۳.۷٪ افزایش داد. این بهبود معنادار ($\Delta R^2 = ۰.۰۷$,$p < ۰.۰۱$) نشان می‌دهد که عوامل محیطی سهم قابل‌توجهی در تبیین واریانس آمادگی جسمانی دارند.

۹ .نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که رویکرد داده‌محور مبتنی بر یادگیری ماشین، به‌ویژه شبکه عصبی بیزی، ابزاری کارآمد برای پیش‌بینی دقیق آمادگی جسمانی دانش‌آموزان است. مدل توسعه‌یافته با دقت ۹۳.۷٪

قادر به شناسایی دانش‌آموزان در معرض خطر ضعف آمادگی جسمانی است و علاوه بر پیش‌بینی نقطه‌ای، معیارهای عدم‌قطعیت را نیز ارائه می‌دهد که برای تصمیم‌گیری عملی ضروری است.

یافته کلیدی این پژوهش، اهمیت ترکیب شاخص‌های زیستی و محیطی در پیش‌بینی است. اگرچه شاخص توده بدنی و قدرت دست قوی‌ترین پیش‌بین‌ها بودند، اما افزودن متغیرهای محیطی مانند دسترسی به فضای ورزشی و حمایت خانواده، دقت مدل را به‌طور معناداری بهبود بخشید. این یافته تأکید می‌کند که آمادگی جسمانی صرفاً پدیده‌ای زیستی نیست، بلکه در بستر محیطی شکل می‌گیرد و مداخلات باید چندوجهی باشند.

مدل پیشنهادی قابلیت کاربرد عملی در نظام آموزشی را دارد: غربالگری سریع و کم‌هزینه دانش‌آموزان، شناسایی افراد نیازمند مداخله، و طراحی برنامه‌های ورزشی هدفمند. با توجه به فراگیری فناوری‌های دیجیتال در مدارس، جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای این مدل از طریق سامانه‌های موجود امکان‌پذیر است.

۱۰ .پیشنهادات

۱۰.۱ .پیشنهادات کاربردی

برای مدارس:

- **استقرار سامانه غربالگری داده‌محور برای شناسایی زودهنگام دانش‌آموزان در معرض خطر**
- **استفاده از نتایج مدل برای تخصیص هدفمند منابع ورزشی**
- **پایش دوره‌ای آمادگی جسمانی و به‌روزرسانی مدل با داده‌های جدید**

برای معلمان تربیت بدنی:

- **استفاده از داشبوردهای پیش‌بینی برای طراحی برنامه‌های فردی‌سازی‌شده**
- **تمرکز بر تقویت قدرت دست و بهبود تعادل به‌عنوان مداخلات کلیدی**

برای سیاست‌گذاران:

- **سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های داده برای سلامت دانش‌آموزی**
- **حمایت از پژوهش‌های بومی‌سازی مدل‌های پیش‌بینی**

۱۰.۲ .پیشنهادات پژوهشی

- **توسعه مدل‌های طولی برای پیش‌بینی روند تغییرات آمادگی جسمانی در طول سال تحصیلی**

- **ادغام داده‌های رفتاری (فعالیت بدنی روزانه از طریق دستگاه‌های پوشیدنی) در مدل**
- **بررسی قابلیت تعمیم مدل به سایر گروه‌های سنی و مناطق جغرافیایی**
- **مقایسه مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر داده‌های بزرگ (Big Data) با رویکردهای سنتی**

منابع

1. **Huang, G., et al. (2025). Bayesian neural network for predicting scores of student physical fitness. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 37(11), e70397.**
2. **Aniśko, B., et al. (2025). Effects of body mass index and extracurricular sports activities on physical fitness in school-aged children. *Frontiers in Public Health*, 13, 1578304.**
3. **Wang, Z., Zhang, J., Liu, K., & Wang, J. (2026). Physical fitness testing based on decision tree and GWO-BP: A deep learning model for performance analysis. *International Journal of Information Technologies and Systems Approach*.**
4. **Huang, et al. (2025). Sports performance prediction for college students through ensemble learning algorithm. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E108.D(7).**
5. **Silva, D. A. S., et al. (2020). Association between individual characteristics, school environment, and physical activity with physical fitness in schoolchildren. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*.**
6. **Chinese Youth Physical Activity and Fitness Study. (2024). Impact of awareness of sports policies, school, family, and community environment on physical activity and fitness. *BMC Public Health*, 24(1).**
7. **Indonesian Physical Education Study. (2019). Relationship between physical activity and physical fitness in high school students. *Garuda Digital Reference*.**

8. **Physical Literacy and Health Literacy in Iranian Adolescents. (2026). *Journal of Health Literacy*.**

9. **مطالب مرتبط با آمادگی جسمانی و رشد حرکتی دانش‌آموزان(۱۴۰۳ .*Zenodo*.)**

10. **WHO. (2024). Physical activity guidelines for children and adolescents. World Health Organization.**