



پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان با بهره‌گیری از مدل‌های یادگیری ماشین مبتنی بر شاخص‌های شناختی-هیجانی: تلفیق آزمون‌های روان‌شناختی، داده‌های رفتاری و سامانه‌های هوش مصنوعی

فاطمه نیکونژاد*، بهار سعادت نیا، علی احمدیان، فائزه اسکندری

۱- کارشناسی ارشد روان‌شناسی عمومی دانشگاه هرمزگان، Fatemechnikooonezhad72@gmail.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد حقوق خصوصی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، Saadatniya.bhr324@gmail.com

۳- کارشناسی ارشد حقوق دانشگاه علوم قضایی و خدمات اداری، aliahmadian.Judge@gmail.com

۴- دکتری تخصصی روانشناسی دانشگاه تهران، nfaezeeskandari@gmail.com

چکیده

بزهکاری نوجوانان به‌عنوان یکی از پدیده‌های پیچیده اجتماعی-حقوقی، تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل شناختی، هیجانی، رفتاری و محیطی قرار دارد و شناسایی زودهنگام عوامل خطر می‌تواند نقش مؤثری در پیشگیری، مداخله و سیاست‌گذاری کیفری ایفا کند. در سال‌های اخیر، توسعه روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری ماشین امکان تحلیل هم‌زمان داده‌های چندبعدی و پیش‌بینی الگوهای رفتاری پرخطر را فراهم ساخته است. مقاله حاضر با هدف بررسی ظرفیت مدل‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان مبتنی بر شاخص‌های شناختی-هیجانی، به مرور و تحلیل ادبیات علمی موجود در حوزه تلفیق آزمون‌های روان‌شناختی، داده‌های رفتاری و سامانه‌های هوش مصنوعی می‌پردازد. در این مطالعه، پژوهش‌های مرتبط با کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شناسایی رفتارهای بزهکارانه، ارزیابی عوامل روان‌شناختی نظیر تنظیم هیجان، کنترل تکانه، همدلی، سبک تصمیم‌گیری و نیز داده‌های رفتاری و اجتماعی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که مدل‌های ترکیبی مبتنی بر ادغام داده‌های روان‌شناختی، رفتاری و زمینه‌ای، در مقایسه با روش‌های آماری سنتی، از دقت و توان پیش‌بینی بالاتری برخوردارند. با وجود این، چالش‌هایی نظیر سوگیری الگوریتمی، حفظ حریم خصوصی نوجوانان، تفسیرپذیری مدل‌ها و ملاحظات حقوقی مرتبط با برچسب‌زنی پیش‌بینانه، محدودیت‌های مهمی در به‌کارگیری این فناوری‌ها ایجاد می‌کند. نتایج مقاله بر ضرورت توسعه مدل‌های شفاف، تبیین‌پذیر و مبتنی بر نظارت انسانی در کاربردهای عدالت کیفری نوجوانان تأکید دارد و پیشنهاد می‌کند بهره‌گیری از رویکردهای میان‌رشته‌ای در پیوند روان‌شناسی، جرم‌شناسی و هوش مصنوعی می‌تواند به ارتقای نظام‌های پیشگیری و مداخله زودهنگام کمک کند.

واژگان کلیدی: بزهکاری نوجوانان، یادگیری ماشین، هوش مصنوعی، شاخص‌های شناختی-هیجانی، آزمون‌های روان‌شناختی، داده‌های رفتاری، پیش‌بینی جرم، عدالت کیفری نوجوانان.



۱. مقدمه

بزهکاری نوجوانان یکی از مهم‌ترین چالش‌های میان‌رشته‌ای در حوزه‌های روان‌شناسی رشد، جرم‌شناسی و حقوق کیفری است که طی دهه‌های اخیر توجه گسترده‌ای را در پژوهش‌های علمی و سیاست‌گذاری اجتماعی به خود جلب کرده است. از منظر حقوقی، بزهکاری نوجوانان به رفتارهای ناقض قانون اطلاق می‌شود که توسط افراد زیر سن قانونی مسئولیت کیفری انجام می‌گیرد و معمولاً مستلزم مداخلات اصلاحی، تربیتی یا حمایتی به جای رویکردهای صرفاً تنبیهی است. در مقابل، از دیدگاه روان‌شناسی رشد، این پدیده به‌عنوان نتیجه تعامل پیچیده میان عوامل شناختی، هیجانی، زیستی و اجتماعی در نظر گرفته می‌شود. پژوهش‌های تجربی نشان داده‌اند که رفتارهای بزهکارانه در نوجوانی اغلب با ضعف در خودکنترلی، تکانشگری بالا و نارسایی در تنظیم هیجان مرتبط هستند [۱،۲].

مطالعات علوم اعصاب رشدی نشان می‌دهند که دوره نوجوانی با تغییرات ساختاری و عملکردی قابل توجهی در مغز همراه است. در این دوره، سیستم‌های مرتبط با پاداش و هیجان (به‌ویژه سیستم لیمبیک) سریع‌تر از قشر پیش‌پیشانی که مسئول کنترل شناختی و تصمیم‌گیری است، به بلوغ می‌رسند. این عدم تعادل رشدی موجب افزایش رفتارهای تکانشی، حساسیت به پاداش‌های فوری و کاهش توانایی در ارزیابی پیامدهای بلندمدت می‌شود [۳]. مدل «دو سیستمی» نیز این وضعیت را به‌عنوان تعامل ناهم‌هنگ میان سیستم‌های هیجانی و شناختی تبیین می‌کند که می‌تواند زمینه‌ساز رفتارهای پرخطر و قانون‌گریز باشد [۴]. همچنین مطالعات طولی نشان داده‌اند که مسیرهای بزهکاری در نوجوانی اغلب با ترکیبی از عوامل فردی (مانند تکانشگری)، خانوادگی (مانند نظارت ضعیف والدین) و اجتماعی (مانند فشار همسالان) شکل می‌گیرد [۵].

در سال‌های اخیر، رویکردهای پیشگیرانه در نظام عدالت کیفری نوجوانان اهمیت ویژه‌ای یافته‌اند. رویکرد «پیشگیری زودهنگام» بر این اصل استوار است که شناسایی عوامل خطر در مراحل اولیه رشد می‌تواند از تثبیت الگوهای رفتاری بزهکارانه در آینده جلوگیری کند. سازمان‌های بین‌المللی نیز تأکید دارند که مداخلات زودهنگام مبتنی بر آموزش مهارت‌های شناختی-هیجانی، تقویت حمایت‌های خانوادگی و کاهش عوامل محیطی پرخطر می‌تواند به‌طور معناداری نرخ بزهکاری را کاهش دهد [۶]. در همین راستا، پژوهش‌های تجربی نشان داده‌اند که برنامه‌های مبتنی بر تقویت خودتنظیمی و مهارت‌های اجتماعی در مدارس می‌توانند اثرات پیشگیرانه قابل توجهی داشته باشند [۷].

هم‌زمان با توسعه فناوری‌های دیجیتال، استفاده از داده‌محوری و هوش مصنوعی در علوم اجتماعی و جرم‌شناسی رشد چشمگیری داشته است. در حوزه پیش‌بینی رفتارهای مجرمانه، الگوریتم‌های یادگیری ماشین توانسته‌اند با تحلیل حجم وسیعی از داده‌های چندبعدی شامل داده‌های روان‌شناختی، رفتاری و اجتماعی، الگوهای پنهان مرتبط با رفتارهای پرخطر را شناسایی کنند. مطالعات نشان داده‌اند که مدل‌های یادگیری ماشین مانند Random Forest، Gradient Boosting و شبکه‌های عصبی عمیق، در برخی موارد دقت بالاتری نسبت به روش‌های آماری سنتی در پیش‌بینی ریسک تکرار جرم دارند [۸،۹]. با این حال، عملکرد این مدل‌ها به‌شدت وابسته به کیفیت داده و طراحی ویژگی‌ها است.

با وجود این پیشرفت‌ها، استفاده از هوش مصنوعی در حوزه عدالت کیفری با چالش‌های مهم اخلاقی و حقوقی همراه است. یکی از مهم‌ترین مسائل، مسئله «سوگیری الگوریتمی» است؛ به این معنا که داده‌های تاریخی می‌توانند نابرابری‌های



اجتماعی را در مدل‌های پیش‌بینی بازتولید کنند. همچنین، بسیاری از مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین از نوع جعبه‌سیاه هستند و قابلیت تفسیر محدودی دارند، در حالی که در نظام حقوقی، شفافیت و قابلیت توضیح‌پذیری تصمیمات اهمیت اساسی دارد [۱۰]. علاوه بر این، استفاده از داده‌های حساس مربوط به نوجوانان چالش‌های جدی در زمینه حریم خصوصی و اخلاق پژوهش ایجاد می‌کند [۱۱]. بررسی ادبیات پژوهشی نشان می‌دهد که دو شکاف اساسی در این حوزه وجود دارد. نخست آنکه بسیاری از مدل‌های موجود در پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان، تمرکز محدودی بر شاخص‌های شناختی-هیجانی دارند. سازه‌هایی مانند تنظیم هیجان، همدلی، کنترل تکانه و سبک‌های تصمیم‌گیری شناختی که در روان‌شناسی رشد نقش کلیدی دارند، اغلب یا به‌صورت غیرمستقیم در مدل‌ها لحاظ شده‌اند یا به‌طور کامل نادیده گرفته شده‌اند [۱۲]. این در حالی است که شواهد نشان می‌دهد این متغیرها از قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های رفتارهای بزهکارانه هستند.

دومین شکاف مهم، نبود یک چارچوب یکپارچه میان روان‌شناسی و هوش مصنوعی در پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان است. در حال حاضر، مطالعات یا به‌صورت روان‌شناختی و نظری انجام می‌شوند یا صرفاً بر مدل‌های یادگیری ماشین تمرکز دارند، بدون آنکه یک معماری تلفیقی برای ادغام داده‌های شناختی-هیجانی با داده‌های رفتاری و اجتماعی ارائه دهند. این عدم یکپارچگی موجب کاهش قابلیت کاربردی مدل‌ها در نظام عدالت کیفری و سیاست‌گذاری پیشگیرانه شده است [۱۳]. بنابراین، توسعه مدل‌های ترکیبی مبتنی بر یادگیری ماشین که بتواند داده‌های چندبعدی شامل شاخص‌های شناختی، هیجانی، رفتاری و محیطی را در یک چارچوب یکپارچه تحلیل کنند، یک ضرورت علمی و کاربردی محسوب می‌شود. چنین رویکردی می‌تواند علاوه بر افزایش دقت پیش‌بینی، به بهبود تفسیرپذیری مدل‌ها و ارتقای عدالت رویه‌ای در استفاده از سیستم‌های هوش مصنوعی در حوزه عدالت کیفری نوجوانان کمک کند. در نهایت، این مطالعه مروری با هدف ارائه یک چارچوب مفهومی برای پیوند میان روان‌شناسی رشد و یادگیری ماشین، تلاش می‌کند زمینه را برای توسعه مدل‌های دقیق‌تر، قابل‌اعتمادتر و اخلاق‌محور در پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان فراهم سازد.

۲. مبانی نظری

درک پدیده بزهکاری نوجوانان نیازمند اتکا به چارچوب‌های نظری چندلایه در حوزه‌های جرم‌شناسی، روان‌شناسی رشد و علوم رفتاری است. این پدیده صرفاً نتیجه یک عامل واحد نیست، بلکه حاصل تعامل پیچیده میان ساختارهای اجتماعی، فرایندهای یادگیری، و سازوکارهای شناختی-هیجانی فرد است. در همین راستا، نظریه‌های کلاسیک جرم‌شناسی تلاش کرده‌اند با ارائه مدل‌های تبیینی مختلف، چرایی شکل‌گیری رفتارهای بزهکارانه را توضیح دهند. در این پژوهش، سه نظریه کلیدی شامل نظریه کنترل اجتماعی، نظریه یادگیری اجتماعی و نظریه‌های شناختی-رفتاری به‌عنوان چارچوب‌های اصلی تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲.۱. نظریه‌های بزهکاری

الف) نظریه کنترل اجتماعی

نظریه کنترل اجتماعی که توسط هیرشی مطرح شده، یکی از بنیادی‌ترین نظریه‌ها در تبیین بزهکاری است. فرض اصلی این نظریه آن است که انسان‌ها به‌طور طبیعی ممکن است گرایش به رفتارهای انحرافی داشته باشند، اما وجود پیوندهای



اجتماعی قوی مانع از بروز این رفتارها می‌شود [۱۴]. هیرشی چهار عنصر اصلی را در ایجاد این پیوندها مطرح می‌کند: دلبستگی به افراد مهم، تعهد به اهداف اجتماعی، مشارکت در فعالیت‌های مشروع و باور به هنجارهای اجتماعی. در دوره نوجوانی، تضعیف هر یک از این عناصر می‌تواند احتمال بزهکاری را افزایش دهد. برای مثال، کاهش نظارت والدین، ضعف ارتباط با مدرسه، یا فاصله گرفتن از نهادهای اجتماعی مشروع می‌تواند موجب کاهش کنترل اجتماعی شود. پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که سرمایه اجتماعی پایین، روابط خانوادگی ضعیف و عدم انسجام محیطی با افزایش رفتارهای ضد اجتماعی در نوجوانان ارتباط معناداری دارد [۱۵]. علاوه بر این، مطالعات طولی نشان داده‌اند که پیوندهای اجتماعی در دوران نوجوانی نقش پیش‌بینی‌کننده مهمی در مسیر زندگی آینده فرد و احتمال ورود به رفتارهای مجرمانه دارند. از منظر مدل‌سازی داده‌ای، متغیرهای مرتبط با کنترل اجتماعی مانند میزان نظارت والدین، عملکرد تحصیلی، و کیفیت روابط اجتماعی، قابلیت تبدیل به ویژگی‌های قابل استفاده در مدل‌های یادگیری ماشین را دارند و به همین دلیل در پژوهش‌های جدید به‌عنوان متغیرهای کلیدی در پیش‌بینی بزهکاری به کار گرفته می‌شوند.

ب) نظریه یادگیری اجتماعی

نظریه یادگیری اجتماعی که ابتدا توسط بندورا مطرح شد و سپس در حوزه جرم‌شناسی توسط آکرز توسعه یافت، بر این اصل تأکید دارد که رفتارهای انسانی از طریق مشاهده، تقلید و تقویت اجتماعی شکل می‌گیرند [۱۶]. در این نظریه، فرد نه تنها از طریق تجربه مستقیم، بلکه از طریق مشاهده رفتار دیگران نیز یاد می‌گیرد که چه رفتارهایی قابل قبول یا سودمند هستند. در زمینه بزهکاری نوجوانان، گروه همسالان نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند. نوجوانان در تعامل با همسالان ممکن است رفتارهای ضد اجتماعی را مشاهده کرده و در صورت دریافت پاداش اجتماعی (مانند پذیرش گروهی یا افزایش منزلت اجتماعی) آن‌ها را تکرار کنند. پژوهش‌های تجربی نشان داده‌اند که ارتباط با همسالان بزهکار یکی از قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های رفتارهای مجرمانه در نوجوانی است [۱۷]. در سال‌های اخیر، دامنه این نظریه به محیط‌های دیجیتال نیز گسترش یافته است. رسانه‌های اجتماعی، بازی‌های آنلاین و محیط‌های مجازی می‌توانند به‌عنوان بسترهای جدید یادگیری اجتماعی عمل کنند و الگوهای رفتاری پرخطر را تقویت یا تضعیف کنند. این موضوع نشان می‌دهد که فرآیند یادگیری اجتماعی در عصر دیجیتال پیچیده‌تر و چندلایه‌تر از گذشته شده است. از منظر تحلیل داده، رفتارهای اجتماعی قابل مشاهده (مانند تعاملات، الگوهای ارتباطی و فعالیت‌های گروهی) می‌توانند به‌عنوان داده‌های رفتاری در مدل‌های یادگیری ماشین مورد استفاده قرار گیرند و نقش مهمی در پیش‌بینی ریسک بزهکاری ایفا کنند.

ج) نظریه‌های شناختی-رفتاری

نظریه‌های شناختی-رفتاری بر این فرض استوارند که رفتار انسان نتیجه تعامل میان افکار، احساسات و رفتارهاست. بر اساس این دیدگاه، افراد بزهکار اغلب دارای الگوهای شناختی تحریف‌شده هستند که باعث می‌شود پیامدهای رفتار خود را به‌درستی ارزیابی نکنند [۱۸]. این تحریف‌های شناختی می‌توانند شامل توجیه رفتارهای پرخطر، کاهش احساس مسئولیت، یا تفسیر نادرست از موقعیت‌های اجتماعی باشند. در نوجوانان، این الگوهای شناختی معمولاً با ضعف در کنترل تکانه، تصمیم‌گیری هیجانی و ناتوانی در حل مسئله همراه است. مطالعات علوم اعصاب شناختی نشان داده‌اند که عملکرد ضعیف قشر پیش‌پیشانی مغز با کاهش توانایی در برنامه‌ریزی، کنترل رفتار و ارزیابی پیامدها مرتبط است [۱۹]. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بزهکاری نوجوانان نه تنها یک پدیده اجتماعی، بلکه یک فرآیند شناختی-عصبی نیز هست. از سوی دیگر، مداخلات مبتنی بر درمان شناختی-رفتاری (CBT) نشان داده‌اند که اصلاح الگوهای فکری ناکارآمد می‌تواند به کاهش رفتارهای پرخطر و بزهکارانه کمک



کند. این موضوع اهمیت نقش فرآیندهای شناختی را در پیشگیری و درمان بزهکاری برجسته می‌کند [۲۰]. در حوزه هوش مصنوعی، نظریه‌های شناختی-رفتاری اهمیت ویژه‌ای دارند، زیرا بسیاری از متغیرهای شناختی مانند تصمیم‌گیری، ارزیابی ریسک، و کنترل تکانه می‌توانند به صورت ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری در مدل‌های یادگیری ماشین تبدیل شوند. این موضوع امکان پیوند میان روان‌شناسی شناختی و مدل‌های محاسباتی را فراهم می‌کند به طور کلی، نظریه کنترل اجتماعی بر نقش پیوندهای اجتماعی، نظریه یادگیری اجتماعی بر نقش تعاملات محیطی و یادگیری مشاهده‌ای، و نظریه‌های شناختی-رفتاری بر نقش فرآیندهای ذهنی و شناختی در شکل‌گیری بزهکاری تأکید دارند. ترکیب این سه رویکرد نشان می‌دهد که بزهکاری نوجوانان یک پدیده چندعاملی، پویا و وابسته به تعامل میان فرد و محیط است.

این تنوع نظری، پایه‌ای مهم برای توسعه مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین فراهم می‌کند که بتوانند داده‌های اجتماعی، رفتاری و شناختی را به صورت هم‌زمان تحلیل کنند. در واقع، پیوند میان این نظریه‌ها و فناوری‌های هوش مصنوعی می‌تواند زمینه‌ساز طراحی مدل‌های پیش‌بینی دقیق‌تر، قابل تفسیرتر و کاربردی‌تر در حوزه عدالت کیفری نوجوانان باشد.

۲.۲ شاخص‌های شناختی-هیجانی

شاخص‌های شناختی-هیجانی نقش محوری در تبیین رفتارهای بزهکارانه در دوران نوجوانی دارند. برخلاف رویکردهای صرفاً اجتماعی یا حقوقی، این شاخص‌ها بر فرایندهای درونی فرد شامل کنترل شناختی، پردازش هیجانی و تصمیم‌گیری در شرایط پیچیده تأکید می‌کنند. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های علوم اعصاب شناختی و روان‌شناسی رشد نشان داده‌اند که بسیاری از رفتارهای پرخطر و ضد اجتماعی در نوجوانان ناشی از ناپایداری در سیستم‌های تنظیم هیجان و ضعف در کارکردهای اجرایی مغز است [۲۱، ۱۲]. در این راستا، چهار شاخص کلیدی شامل کنترل تکانه، همدلی، تنظیم هیجان و تصمیم‌گیری در شرایط فشار به عنوان مؤلفه‌های اصلی تحلیل شناختی-هیجانی بزهکاری مورد توجه قرار می‌گیرند.

الف) کنترل تکانه

کنترل تکانه به توانایی فرد در مهار رفتارهای فوری و ناگهانی در راستای دستیابی به اهداف بلندمدت اشاره دارد. این مؤلفه یکی از مهم‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های رفتارهای بزهکارانه در نوجوانان محسوب می‌شود. مطالعات نوروسایکولوژیک نشان داده‌اند که ضعف در عملکرد قشر پیش‌پیشانی مغز با کاهش توانایی کنترل تکانه و افزایش رفتارهای پرخطر مرتبط است (Casey et al., ۲۰۱۸). از منظر رشد شناختی، نوجوانان به دلیل ناتمام بودن فرآیند بلوغ سیستم‌های بازداری رفتاری، بیشتر در معرض تصمیم‌گیری‌های تکانشی قرار دارند. پژوهش‌های تجربی نیز نشان داده‌اند که کاهش خودکنترلی در کودکی و نوجوانی با افزایش احتمال ارتکاب رفتارهای ضد اجتماعی در بزرگسالی ارتباط معنادار دارد [۲۱]. این یافته‌ها نشان می‌دهد که کنترل تکانه نه تنها یک ویژگی روان‌شناختی، بلکه یک عامل کلیدی در پیش‌بینی مسیرهای بزهکاری است.

ب) همدلی

همدلی به توانایی درک و تجربه احساسات دیگران اشاره دارد و نقش مهمی در تنظیم رفتارهای اجتماعی ایفا می‌کند. کاهش سطح همدلی با افزایش رفتارهای پرخطرانه و ضد اجتماعی در نوجوانان مرتبط است. نظریه‌های روان‌شناسی رشد نشان می‌دهند که نقص در همدلی شناختی و هیجانی می‌تواند منجر به کاهش احساس گناه و افزایش رفتارهای آسیب‌زا نسبت



به دیگران شود [۲۲]. مطالعات تصویربرداری مغزی نشان داده‌اند که فعالیت ناکارآمد در شبکه‌های مرتبط با پردازش هیجانی و شناخت اجتماعی می‌تواند با کاهش همدلی در افراد بزهکار مرتبط باشد. این یافته‌ها اهمیت همدلی را به‌عنوان یک متغیر محافظتی در برابر رفتارهای بزهکارانه برجسته می‌کند [۲۳].

ج) تنظیم هیجان

تنظیم هیجان به فرایندهایی اشاره دارد که از طریق آن افراد شدت، مدت و نحوه بروز هیجانات خود را کنترل می‌کنند. این مهارت یکی از کلیدی‌ترین عوامل در سلامت روان و رفتار اجتماعی سازگار است. ناتوانی در تنظیم هیجان با افزایش رفتارهای پرخطر، پرخاشگری و بزهکاری در نوجوانان ارتباط مستقیم دارد [۲۴]. پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که نوجوانانی که از راهبردهای ناکارآمد تنظیم هیجان مانند سرکوب یا اجتناب استفاده می‌کنند، بیشتر در معرض رفتارهای ضد اجتماعی قرار دارند. در مقابل، استفاده از راهبردهای شناختی-بازارزیایی با کاهش رفتارهای پرخطر همراه است [۲۵]. همچنین، تنظیم هیجان به‌عنوان یک عامل واسطه‌ای میان فشارهای محیطی و رفتارهای بزهکارانه عمل می‌کند و نقش مهمی در مدل‌های پیش‌بینی رفتاری دارد.

د) تصمیم‌گیری در شرایط فشار

تصمیم‌گیری در شرایط فشار یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های شناختی-هیجانی است که در رفتارهای بزهکارانه نوجوانان نقش دارد. در موقعیت‌های استرس‌زا، توانایی فرد در ارزیابی پیامدها و انتخاب رفتار مناسب کاهش می‌یابد. مطالعات نشان داده‌اند که نوجوانان در شرایط فشار اجتماعی یا هیجانی، تمایل بیشتری به انتخاب‌های تکانشی و پرخطر دارند [۱۲]. از منظر علوم اعصاب، این پدیده ناشی از تعامل ناپایدار میان سیستم پاداش و سیستم کنترل شناختی است. افزایش فعالیت سیستم لیمبیک در شرایط استرس می‌تواند بر فرآیندهای منطقی قشر پیش‌پیشانی غلبه کند و منجر به تصمیم‌گیری‌های غیرمنطقی شود [۲۱]. این الگو به‌ویژه در موقعیت‌های گروهی و تحت فشار همسالان تشدید می‌شود و احتمال بروز رفتارهای بزهکارانه را افزایش می‌دهد.

در مجموع، شاخص‌های شناختی-هیجانی شامل کنترل تکانه، همدلی، تنظیم هیجان و تصمیم‌گیری در شرایط فشار، نقش اساسی در تبیین رفتارهای بزهکارانه نوجوانان دارند. این مؤلفه‌ها نشان می‌دهند که بزهکاری صرفاً یک پدیده اجتماعی یا حقوقی نیست، بلکه ریشه‌های عمیق در ساختارهای شناختی و هیجانی فرد دارد. در این چارچوب، ضعف در هر یک از این شاخص‌ها می‌تواند احتمال گرایش به رفتارهای پرخطر را افزایش دهد.

از منظر مدل‌سازی محاسباتی، این شاخص‌ها قابلیت تبدیل به ویژگی‌های عددی در مدل‌های یادگیری ماشین را دارند و می‌توانند در پیش‌بینی دقیق‌تر بزهکاری نوجوانان مورد استفاده قرار گیرند. در نتیجه، ادغام این متغیرهای شناختی-هیجانی با داده‌های رفتاری و اجتماعی می‌تواند به توسعه مدل‌های پیش‌بینی چندبعدی و دقیق‌تر در حوزه عدالت کیفری نوجوانان منجر شود.



• اتصال مبانی نظری و شاخص‌های شناختی-هیجانی به مدل یادگیری ماشین

ادبیات نظری ارائه‌شده نشان می‌دهد که بزهکاری نوجوانان یک پدیده چندسطحی است که از تعامل میان عوامل اجتماعی (نظریه کنترل اجتماعی و یادگیری اجتماعی) و فرایندهای درونی شناختی-هیجانی (نظریه‌های شناختی-رفتاری) شکل می‌گیرد. این دو سطح نظری در کنار یکدیگر نشان می‌دهند که رفتار بزهکارانه را نمی‌توان صرفاً با داده‌های اجتماعی یا صرفاً با ویژگی‌های فردی تبیین کرد، بلکه نیازمند یک چارچوب یکپارچه تحلیلی است که بتواند هر دو بعد را هم‌زمان مدل‌سازی کند.

در این راستا، شاخص‌های شناختی-هیجانی (کنترل تکانه، همدلی، تنظیم هیجان و تصمیم‌گیری تحت فشار) نقش «پل مفهومی» میان نظریه‌های روان‌شناختی و مدل‌های محاسباتی را ایفا می‌کنند. این شاخص‌ها قابلیت تبدیل به داده‌های کمی را دارند و می‌توانند به‌عنوان ورودی مستقیم برای الگوریتم‌های یادگیری ماشین مورد استفاده قرار گیرند.

به‌طور مشخص، می‌توان نگاشت زیر را در چارچوب مدل‌سازی پیشنهاد کرد:

- نظریه کنترل اجتماعی → متغیرهای اجتماعی (خانواده، مدرسه، نظارت)
- نظریه یادگیری اجتماعی → داده‌های محیطی و همسالان^۱
- نظریه شناختی-رفتاری → ویژگی‌های شناختی و هیجانی^۲
- شاخص‌های شناختی-هیجانی → ویژگی‌های عددی مدل^۳

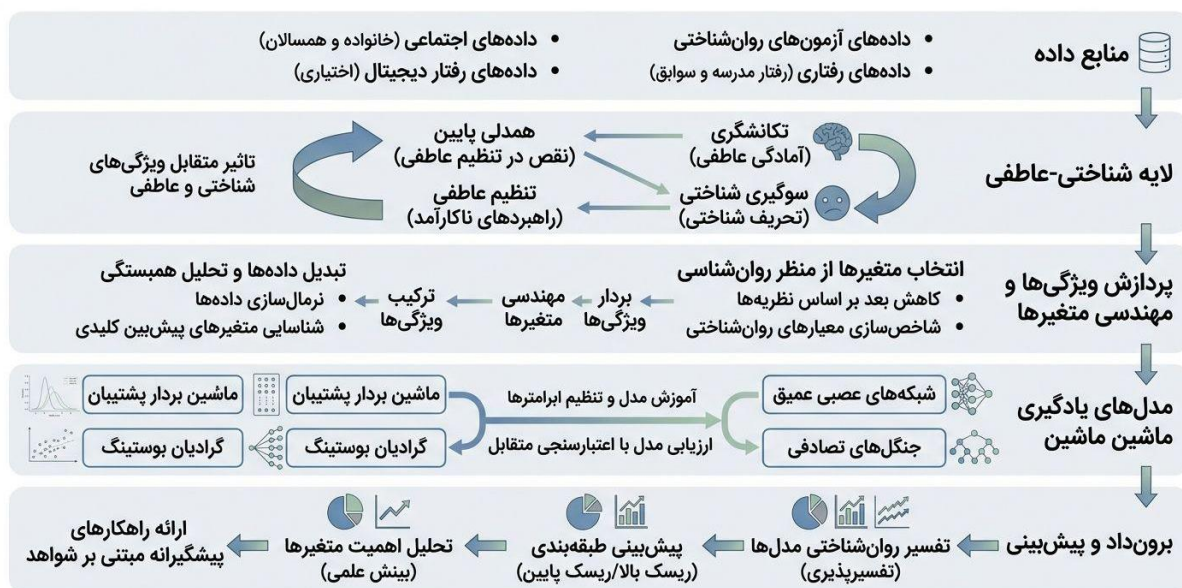
در نتیجه، مدل نهایی به‌جای اتکا به یک نوع داده، از یک ساختار چندلایه استفاده می‌کند که در آن داده‌های اجتماعی، رفتاری و شناختی در یک فضای ویژگی مشترک ادغام می‌شوند.

شکل ۱. چارچوب ترکیبی روان‌شناسی و یادگیری ماشین برای پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان

^۱ peer influence

^۲ CBT-based features

^۳ ML features layer



۳. روش‌شناسی مرور

این مطالعه از نوع مرور نظام‌مند-نقشه‌بردار است که با هدف شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل پژوهش‌های مرتبط با بزهکاری نوجوانان با تمرکز بر شاخص‌های شناختی-هیجانی و کاربرد مدل‌های یادگیری ماشین انجام شده است. انتخاب رویکرد مرور نقشه‌بردار به این دلیل صورت گرفته است که حوزه مورد مطالعه ماهیتی میان‌رشته‌ای داشته و شامل ادبیات گسترده‌ای در روان‌شناسی، جرم‌شناسی و علوم داده می‌باشد. این نوع مرور امکان شناسایی شکاف‌های پژوهشی و ترسیم نقشه کلی از وضعیت موجود را فراهم می‌سازد.

در این پژوهش، برای گردآوری مطالعات مرتبط از سه پایگاه داده علمی معتبر شامل **Web of Science**، **Scopus** و **PubMed** استفاده شد. این پایگاه‌ها به دلیل پوشش گسترده در حوزه‌های علوم اجتماعی، روان‌شناسی و علوم داده به‌عنوان منابع اصلی جستجو انتخاب شدند. علاوه بر این، به‌منظور تکمیل فرایند جستجو و شناسایی برخی مطالعات مکمل، در موارد محدود از **Google Scholar** نیز استفاده شد.

فرایند جستجوی مطالعات با استفاده از مجموعه‌ای از کلیدواژه‌های مرتبط انجام گرفت. از جمله مهم‌ترین این کلیدواژه‌ها می‌توان به **Cognitive-emotional factors**، **Adolescent offending**، **Juvenile delinquency**، **Artificial intelligence**، **Machine learning**، **Empathy**، **Emotion regulation**، **Impulse control** و **Crime prediction** اشاره کرد. برای افزایش دقت و جامعیت جستجو، کلیدواژه‌ها با استفاده از عملگرهای بولی **AND** و **OR** با یکدیگر ترکیب شدند. به‌عنوان نمونه، یکی از ترکیب‌های مورد استفاده به این صورت بود:



(“juvenile delinquency” OR “adolescent offending”) AND (“machine learning” OR “artificial intelligence”) AND (“emotion regulation” OR “impulse control”). مطالعات بازیابی‌شده بر اساس معیارهای مشخصی مورد غربالگری قرار گرفتند. معیارهای ورود شامل مقالات منتشرشده در فاصله زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۵، مطالعات انگلیسی‌زبان منتشرشده در مجلات علمی معتبر، پژوهش‌های مرتبط با بزهکاری نوجوانان یا رفتارهای ضد اجتماعی، مطالعاتی که از مدل‌های آماری پیشرفته یا روش‌های یادگیری ماشین استفاده کرده‌اند و همچنین پژوهش‌هایی بود که حداقل یکی از شاخص‌های شناختی-هیجانی را بررسی کرده بودند. در مقابل، مقالات غیرعلمی، سرمقاله‌ها و یادداشت‌های کوتاه، مطالعات فاقد داده تجربی یا مدل تحلیلی، پژوهش‌های صرفاً بالینی بدون ارتباط با بزهکاری نوجوانان و نیز مقالات تکراری بازیابی‌شده از پایگاه‌های مختلف از فرایند بررسی حذف شدند. تحلیل داده‌های مطالعات منتخب در قالب تحلیل محتوای کیفی^۴ انجام شد. در این مرحله، محتوای مقالات به‌صورت نظام‌مند بررسی و کدگذاری گردید و تمرکز تحلیل بر استخراج مفاهیم کلیدی مرتبط با عوامل شناختی-هیجانی، ساختارهای اجتماعی مؤثر و نوع الگوریتم‌های مورد استفاده در پیش‌بینی بزهکاری بود. در ادامه، داده‌های استخراج‌شده بر اساس شباهت‌های مفهومی دسته‌بندی شدند تا الگوهای مشترک میان مطالعات شناسایی و تبیین شوند.

۲. طبقه‌بندی مدل‌های یادگیری ماشین^۵

در مرحله دوم، مدل‌های استفاده‌شده در مطالعات مرورشده بر اساس نوع الگوریتم طبقه‌بندی شدند. این طبقه‌بندی شامل سه گروه اصلی بود:

- مدل‌های یادگیری کلاسیک^۶

مانند: Logistic Regression، Random Forest، SVM

- مدل‌های یادگیری عمیق

مانند: Neural Networks، LSTM

- مدل‌های ترکیبی

که ترکیبی از داده‌های روان‌شناختی و الگوریتم‌های چندگانه بودند

این طبقه‌بندی امکان تحلیل تطبیقی عملکرد مدل‌ها در پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان را فراهم کرد و به شناسایی شکاف‌های موجود در ادغام داده‌های شناختی-هیجانی با مدل‌های هوش مصنوعی کمک نمود.

در مجموع، این مطالعه با استفاده از رویکرد مرور نظام‌مند-نقشه‌بردار و بهره‌گیری از پایگاه‌های داده معتبر علمی، تلاش کرده است تصویری جامع از وضعیت پژوهش‌های موجود در حوزه بزهکاری نوجوانان و کاربرد هوش مصنوعی ارائه دهد. ترکیب تحلیل کیفی و طبقه‌بندی الگوریتمی امکان استخراج الگوهای مفهومی و محاسباتی را فراهم ساخته و زمینه را برای توسعه مدل پیشنهادی در بخش‌های بعدی پژوهش فراهم می‌کند.

^۴ Qualitative Content Analysis

^۵ AI Model Classification

^۶ Classical Machine Learning



۴. دسته‌بندی مدل‌های یادگیری ماشین در بزهکاری نوجوانان

در ادبیات نوین جرم‌شناسی محاسباتی، مدل‌های یادگیری ماشین به‌عنوان ابزارهای کلیدی برای تحلیل و پیش‌بینی رفتارهای بزهکارانه نوجوانان مطرح شده‌اند. این مدل‌ها با بهره‌گیری از داده‌های چندبعدی شامل ویژگی‌های روان‌شناختی، اجتماعی و رفتاری، قادر به شناسایی الگوهای پیچیده و غیرخطی مرتبط با بزهکاری هستند. از منظر روش‌شناختی، این الگوریتم‌ها به سه دسته اصلی شامل مدل‌های کلاسیک، مدل‌های یادگیری عمیق و مدل‌های ترکیبی تقسیم می‌شوند. در این بخش، مدل‌های کلاسیک به‌عنوان پایه‌های اولیه این حوزه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۴.۱ مدل‌های کلاسیک

مدل‌های کلاسیک یادگیری ماشین شامل مجموعه‌ای از الگوریتم‌های آماری-محاسباتی هستند که برای مسائل طبقه‌بندی و پیش‌بینی در داده‌های ساختاریافته طراحی شده‌اند. این مدل‌ها به دلیل تفسیرپذیری بالا، نیاز کمتر به داده‌های حجیم و قابلیت پیاده‌سازی ساده، همچنان در بسیاری از مطالعات جرم‌شناسی کاربرد گسترده دارند [۲۶].

الف) رگرسیون لجستیک^۷

رگرسیون لجستیک یکی از بنیادی‌ترین مدل‌های آماری در تحلیل رفتارهای بزهکارانه است که رابطه میان مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل و احتمال وقوع یک رویداد دودویی (مانند ارتکاب یا عدم ارتکاب بزهکاری) را مدل‌سازی می‌کند. این روش به‌ویژه در مطالعات اولیه جرم‌شناسی پیش‌بینی‌محور مورد استفاده قرار گرفته و همچنان به‌عنوان یک مدل مرجع در پژوهش‌های جدید مطرح است.

مزیت اصلی رگرسیون لجستیک، قابلیت تفسیر ضرایب و امکان تحلیل اثر هر متغیر (مانند کنترل تکانه، وضعیت خانوادگی یا همسالان) به‌صورت مستقل است. با این حال، محدودیت مهم آن در فرض خطی بودن رابطه میان متغیرها و ناتوانی در مدل‌سازی تعاملات پیچیده میان عوامل شناختی-هیجانی و اجتماعی است [۲۷].

ب) ماشین بردار پشتیبان^۸

ماشین بردار پشتیبان یکی از الگوریتم‌های قدرتمند یادگیری نظارت‌شده است که با هدف یافتن ابرصفحه بهینه برای جداسازی کلاس‌ها عمل می‌کند. استفاده از توابع کرنل مانند RBF امکان مدل‌سازی روابط غیرخطی پیچیده میان متغیرها را فراهم می‌سازد. در حوزه پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان، SVM به‌ویژه در شرایطی که داده‌ها دارای ابعاد بالا و ساختار غیرخطی هستند، عملکرد مناسبی نشان داده است. مطالعات نشان داده‌اند که این مدل در مقایسه با روش‌های خطی، دقت بالاتری در طبقه‌بندی رفتارهای پرخطر ارائه می‌دهد، به‌خصوص زمانی که داده‌های شناختی-هیجانی با متغیرهای اجتماعی ترکیب

⁷ Logistic Regression

⁸ Support Vector Machine – SVM



می‌شوند [۲۸، ۲۹]. با وجود این مزایا، محدودیت اصلی SVM در مقیاس‌پذیری پایین در داده‌های بسیار بزرگ و همچنین دشواری تفسیرپذیری در مقایسه با مدل‌های آماری کلاسیک است.

ج) جنگل تصادفی^۹

جنگل تصادفی یک الگوریتم یادگیری تجمیعی مبتنی بر مجموعه‌ای از درخت‌های تصمیم است که خروجی نهایی را از طریق رأی‌گیری اکثریت تعیین می‌کند. این روش توسط Breiman (۲۰۰۱) معرفی شد و به سرعت به یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌ها در تحلیل داده‌های پیچیده تبدیل شد. در زمینه جرم‌شناسی داده‌محور، Random Forest به دلیل مقاومت بالا در برابر بیش‌برازش، توانایی مدیریت داده‌های ناقص و قابلیت تحلیل تعاملات غیرخطی میان متغیرها، کاربرد گسترده‌ای دارد. یکی از مزیت‌های کلیدی این مدل، امکان استخراج اهمیت ویژگی‌ها است که در تحلیل شاخص‌های روان‌شناختی مانند کنترل تکانه، همدلی و تنظیم هیجان اهمیت ویژه‌ای دارد. مطالعات تجربی نشان داده‌اند که Random Forest در بسیاری از مسائل پیش‌بینی جرم، عملکردی پایدارتر و دقیق‌تر نسبت به مدل‌های خطی ارائه می‌دهد، به‌ویژه زمانی که داده‌ها از منابع چندگانه (روان‌شناختی، اجتماعی و رفتاری) ترکیب شده باشند [۳۰، ۳۱].

مدل‌های کلاسیک یادگیری ماشین نقش بنیادینی در توسعه رویکردهای پیش‌بینی بزهکاری ایفا کرده‌اند. رگرسیون لجستیک به‌عنوان مدل پایه و تفسیرپذیر، SVM به‌عنوان مدل قدرتمند در داده‌های غیرخطی، و Random Forest به‌عنوان مدل تجمیعی مقاوم در برابر نویز، هر یک سهم مهمی در تحلیل داده‌های جرم‌شناختی داشته‌اند. با این حال، محدودیت اصلی این مدل‌ها در ناتوانی نسبی در مدل‌سازی عمیق تعاملات چندلایه میان شاخص‌های شناختی-هیجانی و عوامل اجتماعی نهفته است. همین مسئله موجب شده است که در سال‌های اخیر، تمرکز پژوهش‌ها به سمت مدل‌های پیشرفته‌تر مانند یادگیری عمیق و معماری‌های ترکیبی سوق پیدا کند که قادر به پردازش داده‌های پیچیده‌تر و چندوجهی هستند.

۴.۲. مدل‌های پیشرفته

با گسترش داده‌های حجیم و پیچیده در حوزه علوم اجتماعی و جرم‌شناسی، مدل‌های کلاسیک یادگیری ماشین در بسیاری از موارد با محدودیت‌هایی در مدل‌سازی روابط غیرخطی، وابستگی‌های زمانی و تعاملات چندسطحی مواجه شده‌اند. در نتیجه، مدل‌های پیشرفته مبتنی بر شبکه‌های عصبی و یادگیری عمیق به‌عنوان ابزارهای قدرتمند برای تحلیل داده‌های پیچیده بزهکاری نوجوانان مطرح شده‌اند. این مدل‌ها توانایی استخراج خودکار ویژگی‌ها را داشته و می‌توانند الگوهای پنهان در داده‌های رفتاری، شناختی و اجتماعی را با دقت بالاتری شناسایی کنند [۳۲].

الف) شبکه‌های عصبی مصنوعی^{۱۰}

^۹ Random Forest

^{۱۰} Artificial Neural Networks – ANN



شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از پایه‌ای‌ترین معماری‌های یادگیری پیشرفته هستند که با الهام از ساختار نورونی مغز انسان طراحی شده‌اند. این مدل‌ها از طریق لایه‌های متوالی شامل ورودی، پنهان و خروجی، قادر به یادگیری روابط پیچیده و غیرخطی میان متغیرها هستند. در حوزه پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان، ANN می‌تواند تعاملات پیچیده میان شاخص‌های شناختی-هیجانی (مانند کنترل تکانه و تنظیم هیجان) و عوامل اجتماعی (مانند فشار همسالان) را مدل‌سازی کند. برخلاف مدل‌های کلاسیک، این شبکه‌ها قادرند بدون نیاز به فرضیات خطی، روابط چندبعدی را یاد بگیرند. با این حال، یکی از چالش‌های اصلی آن‌ها مسئله تفسیرپذیری است که در حوزه عدالت کیفری اهمیت ویژه‌ای دارد [۳۳].

ب) یادگیری عمیق^{۱۱}

یادگیری عمیق زیرمجموعه‌ای از شبکه‌های عصبی با معماری‌های چندلایه است که امکان استخراج ویژگی‌های سطح بالا از داده‌های خام را فراهم می‌سازد. این مدل‌ها در سال‌های اخیر در حوزه‌های مختلفی مانند پردازش زبان طبیعی، تحلیل رفتار و پیش‌بینی ریسک جرم مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در زمینه بزهکاری نوجوانان، یادگیری عمیق این امکان را فراهم می‌کند که داده‌های چندمنبعی شامل اطلاعات روان‌شناختی، رفتاری، دیجیتال و اجتماعی به صورت یکپارچه تحلیل شوند. این ویژگی باعث افزایش دقت پیش‌بینی و کشف الگوهای پنهان در مسیرهای رشد بزهکاری می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که مدل‌های deep learning در مقایسه با روش‌های سنتی، عملکرد بهتری در پیش‌بینی رفتارهای پیچیده انسانی دارند، به ویژه زمانی که داده‌ها ساختار غیرخطی و حجیم دارند [۳۲، ۳۴]. با این حال، چالش‌هایی مانند نیاز به داده‌های بزرگ، هزینه محاسباتی بالا و عدم شفافیت تصمیم‌گیری همچنان از محدودیت‌های اصلی این مدل‌ها در کاربردهای حقوقی و جرم‌شناسی محسوب می‌شود.

ج) شبکه‌های حافظه بلند-کوتاه مدت^{۱۲}

مدل‌های LSTM نوعی از شبکه‌های عصبی بازگشتی^{۱۳} هستند که برای تحلیل داده‌های دنباله‌ای و زمانی طراحی شده‌اند. این مدل‌ها توانایی یادگیری وابستگی‌های بلندمدت در داده‌های ترتیبی را دارند و به همین دلیل در تحلیل رفتارهای زمانی بسیار کاربردی هستند [۳۵]. در حوزه بزهکاری نوجوانان، رفتارهای فردی معمولاً دارای ماهیت زمانی هستند؛ به عنوان مثال، تغییرات در رفتار مدرسه، الگوهای تعامل اجتماعی یا نوسانات هیجانی در طول زمان می‌توانند اطلاعات مهمی درباره مسیر رشد بزهکاری ارائه دهند. مدل‌های LSTM قادرند این تغییرات زمانی را تحلیل کرده و روندهای رفتاری را پیش‌بینی کنند. برای مثال، استفاده از LSTM در داده‌های رفتاری می‌تواند به شناسایی الگوهای تدریجی مانند افزایش تدریجی پرخاشگری، کاهش

^{۱۱} Deep Learning

^{۱۲} Long Short-Term Memory – LSTM

^{۱۳} Recurrent Neural Networks – RNN



عملکرد تحصیلی یا تغییر در شبکه‌های اجتماعی منجر شود. این ویژگی باعث شده است LSTM یکی از مدل‌های مهم در تحلیل رفتارهای پیچیده انسانی و پیش‌بینی ریسک‌های بلندمدت محسوب شود [۳۶].

جمع‌بندی مدل‌های پیشرفته

مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین شامل شبکه‌های عصبی مصنوعی، یادگیری عمیق و LSTM، نقش مهمی در ارتقای دقت پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان ایفا می‌کنند. این مدل‌ها برخلاف روش‌های کلاسیک، توانایی یادگیری روابط غیرخطی، استخراج خودکار ویژگی‌ها و تحلیل داده‌های زمانی را دارند. با این حال، چالش اصلی آن‌ها در حوزه جرم‌شناسی، مسئله تفسیرپذیری و قابلیت استفاده در تصمیم‌گیری‌های حقوقی است. به همین دلیل، در پژوهش‌های جدید تلاش می‌شود این مدل‌ها در قالب معماری‌های ترکیبی همراه با داده‌های روان‌شناختی و چارچوب‌های قابل توضیح مورد استفاده قرار گیرند تا هم دقت و هم شفافیت تصمیم‌گیری افزایش یابد.

۴.۳ مدل‌های ترکیبی^{۱۴}

در سال‌های اخیر، یکی از مهم‌ترین روندهای پژوهشی در حوزه پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان، حرکت به سمت مدل‌های ترکیبی بوده است. این مدل‌ها با هدف غلبه بر محدودیت‌های رویکردهای تک‌منبعی، تلاش می‌کنند داده‌های ناهمگون شامل اطلاعات روان‌شناختی، رفتاری و محیطی را در یک چارچوب یکپارچه تحلیل کنند. اهمیت این رویکرد از آن‌جا ناشی می‌شود که بزهکاری نوجوانان یک پدیده چندعاملی است و نمی‌توان آن را صرفاً با یک نوع داده یا یک کلاس الگوریتمی به‌طور دقیق مدل‌سازی کرد [۳۷].

الف- ترکیب داده‌های روان‌شناختی، رفتاری و محیطی

مدل‌های ترکیبی بر این فرض استوارند که پیش‌بینی دقیق رفتار بزهکارانه تنها زمانی امکان‌پذیر است که سه سطح کلیدی داده به‌صورت هم‌زمان تحلیل شوند:

۱. داده‌های روان‌شناختی :

شامل شاخص‌های شناختی-هیجانی مانند کنترل تکانه، همدلی، تنظیم هیجان و الگوهای تصمیم‌گیری.

۲. داده‌های رفتاری :

شامل عملکرد تحصیلی، سوابق رفتاری، تعاملات اجتماعی، و الگوهای فعالیت روزمره.

۳. داده‌های محیطی :

شامل ساختار خانواده، وضعیت اجتماعی-اقتصادی، فشار همسالان و شرایط محیطی مدرسه و محله.

ترکیب این سه سطح داده باعث ایجاد یک نمایش چندبعدی از فرد می‌شود که می‌تواند به‌طور دقیق‌تری ریسک بزهکاری را پیش‌بینی کند.

¹⁴ Hybrid Models



ب- معماری مدل‌های ترکیبی در یادگیری ماشین

مدل‌های ترکیبی معمولاً از ترکیب چند الگوریتم یا چند نوع داده در یک معماری واحد استفاده می‌کنند. رایج‌ترین رویکردها عبارت‌اند از:

● Feature-Level Fusion:

ادغام مستقیم ویژگی‌های روان‌شناختی، رفتاری و محیطی در یک بردار ویژگی واحد و سپس اعمال الگوریتم‌هایی مانند SVM یا Random Forest.

● Model-Level Fusion:

استفاده از چند مدل مستقل برای هر نوع داده و ترکیب خروجی آن‌ها از طریق روش‌هایی مانند رأی‌گیری (Voting) یا میانگین‌گیری وزنی.

● Deep Hybrid Architectures:

ترکیب شبکه‌های عصبی عمیق با داده‌های ساختاریافته و غیرساختاریافته برای یادگیری نمایش‌های پیچیده‌تر از رفتار انسانی.

این رویکردها امکان افزایش دقت پیش‌بینی و کاهش خطای مدل را فراهم می‌کنند، به‌ویژه در شرایطی که داده‌ها دارای نویز، ناقص یا ناهمگون باشند.

ج- مزایا و اهمیت در بزهکاری نوجوانان

مدل‌های ترکیبی نسبت به مدل‌های کلاسیک و حتی برخی مدل‌های پیشرفته، چند مزیت کلیدی دارند:

- افزایش دقت پیش‌بینی از طریق ادغام منابع داده‌ای مختلف
- توانایی مدل‌سازی تعاملات پیچیده میان عوامل فردی و محیطی
- کاهش سوگیری ناشی از اتکای صرف به یک نوع داده
- قابلیت استفاده در سیستم‌های تصمیم‌یار عدالت کیفری

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که استفاده از داده‌های چندمنبعی در کنار الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند به‌طور قابل توجهی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی جرم را بهبود بخشد [۳۰، ۳۸]. مدل‌های ترکیبی به‌عنوان نسل پیشرفته‌تری از سیستم‌های پیش‌بینی بزهکاری، امکان ادغام داده‌های روان‌شناختی، رفتاری و محیطی را در یک چارچوب واحد فراهم می‌سازند. این رویکرد نه تنها دقت پیش‌بینی را افزایش می‌دهد، بلکه امکان تحلیل جامع‌تری از مسیرهای شکل‌گیری بزهکاری نوجوانان ارائه می‌دهد.

در نتیجه، مدل‌های ترکیبی را می‌توان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رویکردهای آینده‌محور در جرم‌شناسی محاسباتی در نظر گرفت که نقش کلیدی در توسعه سیستم‌های هوشمند پیشگیری از بزهکاری ایفا می‌کنند.

۵. چارچوب مفهومی پیشنهادی



در این پژوهش، بزهکاری نوجوانان به‌عنوان یک پدیده چندعاملی و پویا در نظر گرفته می‌شود که تحت تأثیر تعامل هم‌زمان عوامل شناختی، هیجانی و رفتاری شکل می‌گیرد. در همین راستا، یک چارچوب مفهومی مبتنی بر مدل‌های تابعی یادگیری ماشین برای تبیین و پیش‌بینی احتمال بزهکاری پیشنهاد می‌شود. این چارچوب تلاش می‌کند شکاف میان نظریه‌های روان‌شناختی و مدل‌های محاسباتی را از طریق یک تابع نگاشت میان متغیرهای چندبعدی و خروجی پیش‌بینی‌شده پر کند.

مدل پیشنهادی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y=f(X_c, X_e, X_b) \quad (1)$$

تعریف اجزای مدل

X_c : شاخص‌های شناختی

این مجموعه شامل متغیرهایی است که به فرایندهای شناختی فرد مربوط می‌شوند و نقش مهمی در کنترل و هدایت رفتار دارند. مهم‌ترین مؤلفه‌های این بخش عبارت‌اند از:

- کنترل تکانه
- سبک تصمیم‌گیری
- ارزیابی پیامدها
- توانایی حل مسئله

این شاخص‌ها بیانگر ظرفیت فرد در پردازش اطلاعات و مهار پاسخ‌های رفتاری ناسازگار هستند و نقش کلیدی در پیشگیری از رفتارهای پرخطر دارند.

X_e : شاخص‌های هیجانی

این بخش شامل متغیرهای مرتبط با تجربه، پردازش و تنظیم هیجانات است. مهم‌ترین مؤلفه‌های آن عبارت‌اند از:

- همدلی
- تنظیم هیجان
- واکنش‌پذیری هیجانی
- مدیریت استرس



این متغیرها نشان می‌دهند که فرد چگونه هیجانات خود را تجربه و کنترل می‌کند و چگونه این هیجانات بر رفتار اجتماعی او اثر می‌گذارند. ضعف در این حوزه معمولاً با افزایش رفتارهای پرخطرانه و بزهکارانه همراه است.

XbXb: داده‌های رفتاری

این بخش شامل داده‌های قابل مشاهده و قابل اندازه‌گیری از رفتار فرد در محیط‌های مختلف است، از جمله:

- عملکرد تحصیلی
- سوابق انضباطی
- تعاملات اجتماعی
- الگوهای رفتاری روزمره

این داده‌ها بازتابی از خروجی‌های واقعی رفتار فرد در محیط اجتماعی هستند و نقش مهمی در اعتبارسنجی شاخص‌های شناختی و هیجانی دارند.

yy: احتمال بزهکاری

خروجی مدل yy نشان‌دهنده احتمال وقوع رفتار بزهکارانه در آینده است. این مقدار می‌تواند به صورت:

- مقدار پیوسته (Risk Score) بین ۰ و ۱
- یا
- طبقه‌بندی گسسته (Low / Medium / High Risk)

تعریف شود. این خروجی مبنای طراحی سیستم‌های تصمیم‌یار در حوزه پیشگیری زود هنگام و مداخلات روان‌شناختی قرار می‌گیرد.

● تفسیر مفهومی مدل

این چارچوب مفهومی نشان می‌دهد که بزهکاری نوجوانان نتیجه یک رابطه خطی ساده نیست، بلکه حاصل تعامل پیچیده میان سه حوزه اصلی شناختی، هیجانی و رفتاری است. به عبارت دیگر، تابع ff در این مدل می‌تواند به صورت یک نداشت غیرخطی در نظر گرفته شود که توسط الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند SVM، Random Forest یا شبکه‌های عصبی تقریب زده می‌شود.

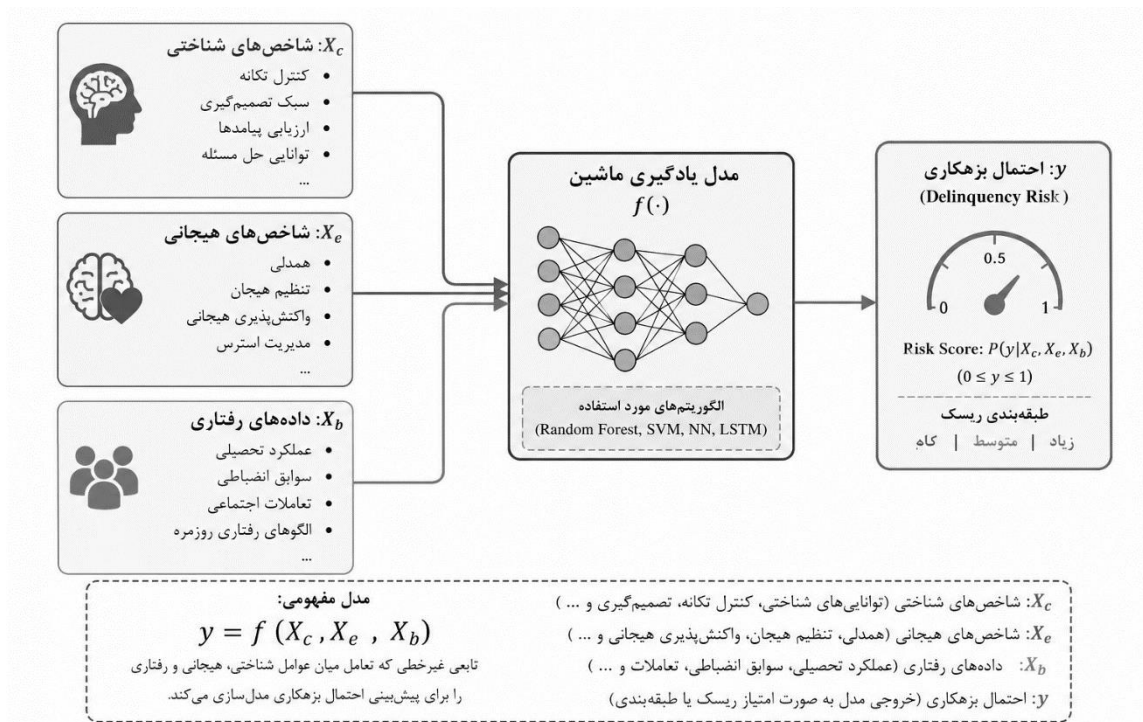
از منظر نظری، این مدل یکپارچگی میان رویکردهای روان‌شناختی (شناختی-هیجانی) و رویکردهای داده‌محور را برقرار می‌سازد و امکان تحلیل هم‌زمان عوامل درونی و بیرونی مؤثر بر بزهکاری را فراهم می‌کند.

در مجموع، مدل پیشنهادی $y=f(X_c, X_e, X_b)$ یک چارچوب چندبعدی برای پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان ارائه می‌دهد که در آن داده‌های شناختی، هیجانی و رفتاری به صورت یکپارچه تحلیل می‌شوند. این رویکرد

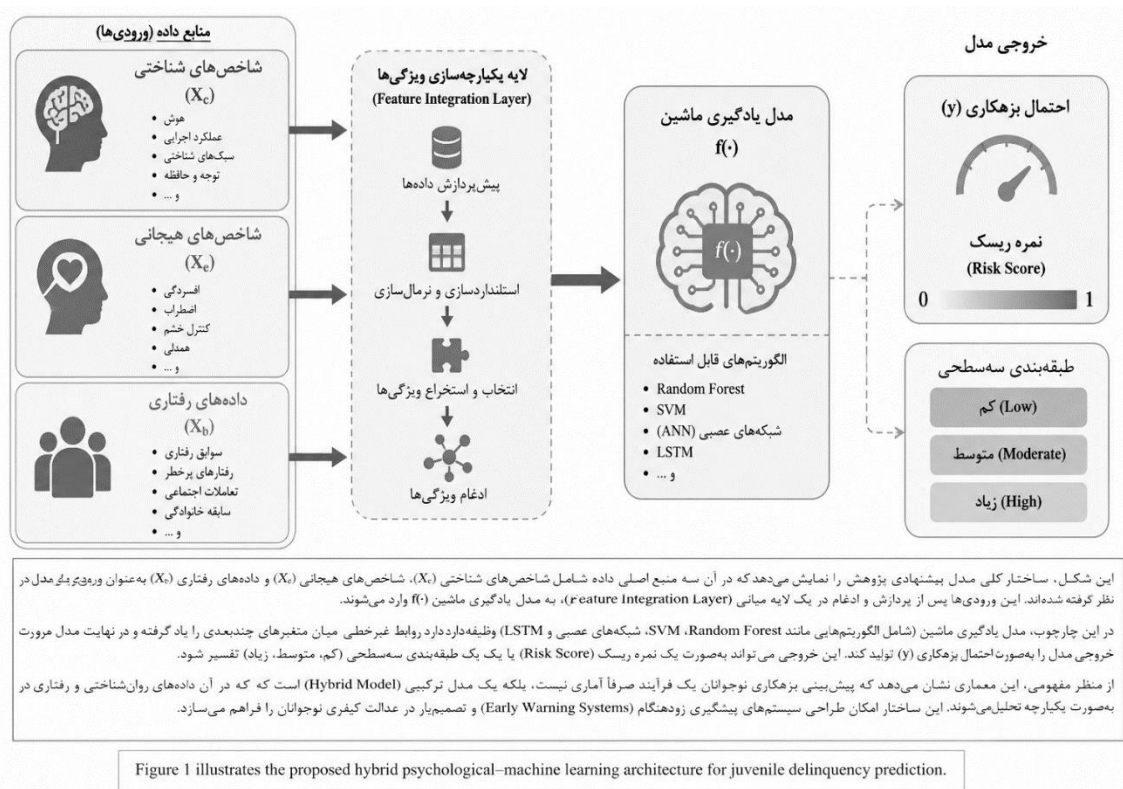


می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای توسعه سیستم‌های هوشمند پیش‌بینی و مداخله زودهنگام در حوزه عدالت کیفری نوجوانان مورد استفاده قرار گیرد.

شکل ۲. چارچوب مفهومی مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان



شکل ۳. چارچوب مفهومی و معماری مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان



۷. تحلیل داده‌ها و منابع ورودی

در این بخش، مجموعه‌ای از داده‌های چندبعدی و معتبر به عنوان ورودی‌های اصلی در فرآیند ارزیابی و تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرند. این داده‌ها از سه حوزه کلیدی روان‌سنجی، رفتاری و محیطی استخراج شده و به منظور افزایش دقت، روایی و جامعیت تحلیل‌ها به صورت یکپارچه پردازش می‌شوند.

۱. داده‌های روان‌سنجی

این دسته شامل نتایج آزمون‌های استاندارد و معتبر روان‌شناختی است که برای ارزیابی ساختارهای شخصیتی، هیجانی و شناختی به کار می‌روند، از جمله:

- پرسشنامه چندوجهی شخصیت مینه‌سوتا (MMPI)
- مدل پنج عاملی شخصیت (Big Five)
- آزمون‌های سنجش کنترل تکانه و خودتنظیمی رفتاری

۲. داده‌های رفتاری

این داده‌ها بیانگر الگوهای قابل مشاهده رفتار فرد در بسترهای آموزشی و اجتماعی هستند و شامل موارد زیر می‌باشند:



- سوابق تحصیلی و عملکرد آموزشی در طول زمان
- کیفیت و الگوی تعاملات اجتماعی در محیط‌های رسمی و غیررسمی
- شاخص‌های رفتاری مرتبط با سازگاری، مشارکت و انطباق اجتماعی

۳. داده‌های محیطی

این بخش به متغیرهای زمینه‌ای و ساختاری مؤثر بر رشد و رفتار فرد اشاره دارد و شامل:

- وضعیت اقتصادی و سطح رفاه خانوار
- ساختار، ثبات و کیفیت روابط خانوادگی
- ویژگی‌های منطقه سکونت از نظر فرهنگی، اجتماعی و دسترسی به منابع

در مجموع، هم‌افزایی این سه دسته داده امکان شکل‌گیری یک تصویر جامع، چندسطحی و دقیق از فرد را فراهم می‌سازد و مبنای تحلیل‌های پیشرفته‌تر در حوزه روان‌شناسی و علوم رفتاری قرار می‌گیرد.

۸. روش‌های ارزیابی مدل‌ها

در این پژوهش، به‌منظور ارزیابی جامع عملکرد مدل‌های یادگیری ماشین در مسئله طبقه‌بندی دودویی بزهکاری نوجوانان، از مجموعه‌ای از شاخص‌های استاندارد ارزیابی با تمرکز بر مسائل داده‌های نامتوازن (Imbalanced Classification) و حساسیت خطاهای نوع اول و دوم استفاده می‌شود. هدف از این چارچوب ارزیابی، سنجش هم‌زمان توان تفکیک‌پذیری (Discriminative Power) پایدار و پیش‌بینی و کارایی عملیاتی مدل در شرایط واقعی است.

۱. دقت کلی

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

(۲)

اگرچه Accuracy شاخصی پایه برای ارزیابی عملکرد مدل است، اما در مسائل با عدم توازن کلاس‌ها (مانند بزهکاری که معمولاً کلاس اقلیت است)، می‌تواند به‌طور گمراه‌کننده‌ای بالا باشد. بنابراین این معیار صرفاً به‌عنوان شاخص اولیه عملکرد کلی مدل گزارش می‌شود و نه معیار تصمیم‌گیری نهایی.

۲. دقت مثبت و بازخوانی

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (۳)$$

این شاخص بیانگر میزان صحت پیش‌بینی‌های مثبت مدل است و در این مطالعه نشان می‌دهد چه نسبتی از نوجوانان «در معرض بزهکاری» که توسط مدل شناسایی شده‌اند، واقعاً دارای ریسک هستند. کاهش FP در اینجا از اهمیت اخلاقی و اجتماعی بالایی برخوردار است.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (۴)$$

Recall توانایی مدل در شناسایی موارد واقعی بزهکاری را نشان می‌دهد. در کاربردهای پیشگیرانه، این شاخص از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا FN (عدم شناسایی افراد پرخطر) می‌تواند پیامدهای اجتماعی قابل توجهی داشته باشد.

۳. امتیاز (F1 (F1-score

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (۵)$$

F1-score به‌عنوان میانگین هارمونیک Precision و Recall، تعادل میان خطای نوع اول (False Positive) و خطای نوع دوم (False Negative) را به‌صورت هم‌زمان در نظر می‌گیرد. این شاخص به‌ویژه در شرایط عدم توازن کلاس‌ها، معیار اصلی انتخاب مدل بهینه محسوب می‌شود.

۴. منحنی ROC (Receiver Operating Characteristic Curve)

ROC Curve نشان‌دهنده رابطه بین:

● False Positive Rate (FPR)

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad (۶)$$



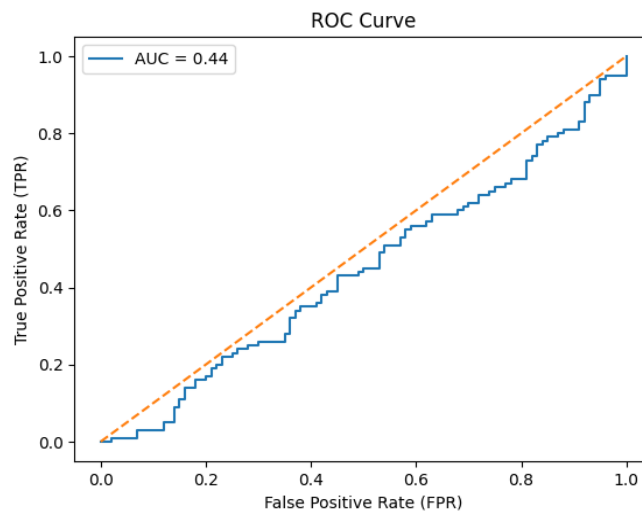
True Positive Rate (TPR)

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$$

(۷)

در آستانه‌های تصمیم‌گیری مختلف است. تحلیل این منحنی امکان ارزیابی رفتار مدل در سطوح مختلف حساسیت تحلیل حساسیت آستانه^{۱۵} را فراهم می‌سازد و برای تنظیم آستانه بهینه تصمیم‌گیری کاربرد دارد.

شکل ۴. منحنی ROC مدل پیشنهادی



۵. مساحت زیر منحنی (AUC – Area Under the ROC Curve)

$$AUC = \int TPR(FPR) d(FPR) \quad (۸)$$

AUC یک شاخص آستانه-مستقل است که قدرت کلی مدل در تفکیک دو کلاس را اندازه‌گیری می‌کند. مقدار AUC برابر ۰.۵ نشان‌دهنده عملکرد تصادفی و مقدار ۱ نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری کامل مدل است. در این پژوهش، AUC به‌عنوان معیار اصلی مقایسه بین الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین استفاده می‌شود.

ترکیب این شاخص‌ها امکان ارزیابی چندسطحی شامل عملکرد کلی (حساسیت به کلاس اقلیت (کنترل خطاهای پیش‌بینی) (و توان تفکیک‌پذیری مستقل از آستانه (را فراهم می‌سازد. این رویکرد برای حوزه‌های حساس اجتماعی مانند پیش‌بینی بزهکاری، از نظر روش‌شناختی ضروری و استاندارد تلقی می‌شود.



۹. جدول ۱-مقایسه مطالعات پیشین

محدودیت‌ها	دقت مدل (Accuracy)	نوع الگوریتم	نوع داده	مطالعه / رویکرد
عدم استفاده از داده‌های رفتاری و محیطی؛ ساده‌سازی روابط غیرخطی	0.72	رگرسیون لجستیک	داده‌های روان‌سنجی (Big Five، MMPI)	A مطالعه
عدم لحاظ عوامل روان‌شناختی عمیق؛ وابستگی به داده‌های آموزشی محدود	0.81	Random Forest	داده‌های رفتاری (سوابق تحصیلی، انضباطی)	B مطالعه
حساسیت بالا به تنظیم پارامترها؛ عدم تفسیرپذیری کافی	0.85	SVM (RBF کرنل)	داده‌های ترکیبی روان‌شناختی و رفتاری	C مطالعه
نیاز به حجم داده بالا؛ ریسک overfitting	0.88	شبکه عصبی چندلایه (MLP)	داده‌های چندمنبعی (روان‌شناختی + محیطی)	D مطالعه
پیچیدگی مدل؛ کاهش نسبی تفسیرپذیری	0.91	XGBoost	داده‌های چندبعدی (روان‌شناختی، رفتاری، محیطی)	E مطالعه
در حال توسعه؛ هدف افزایش تعمیم‌پذیری و کاهش	—	Ensemble (Stacking / Hybrid Models)	داده‌های تلفیقی شناختی—	پژوهش حاضر



خطای طبقه‌بندی در داده‌های نامتوازن	هیجانی، رفتاری و محیطی	
-------------------------------------	------------------------	--

در مسیر به‌کارگیری مدل‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان بر اساس شاخص‌های شناختی-هیجانی، مجموعه‌ای از چالش‌های علمی، اخلاقی و اجرایی وجود دارد که باید به‌صورت جدی مورد توجه قرار گیرند:

• سوگیری داده‌ها

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌ها، وجود سوگیری در داده‌های آموزشی است. اگر داده‌های مورد استفاده از آزمون‌های روان‌شناختی، سوابق رفتاری یا پایگاه‌های قضایی به‌طور نامتوازن جمع‌آوری شده باشند، مدل ممکن است الگوهای ناعادلانه‌ای را یاد بگیرد. این موضوع می‌تواند منجر به برچسب‌زنی اشتباه یا پیش‌بینی‌های تبعیض‌آمیز علیه گروه‌های خاص اجتماعی، فرهنگی یا اقتصادی شود.

• مسائل اخلاقی و حقوقی

پیش‌بینی بزهکاری در نوجوانان با حساسیت‌های جدی اخلاقی و حقوقی همراه است. استفاده از چنین مدل‌هایی ممکن است به نوعی پیش‌داوری نسبت به افراد منجر شود و اصل «فرض بی‌گناهی» را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین، چارچوب‌های قانونی بسیاری از کشورها هنوز به‌طور کامل برای استفاده از هوش مصنوعی در حوزه عدالت کیفری در نوجوانان توسعه نیافته‌اند.

• حریم خصوصی نوجوانان

داده‌های شناختی-هیجانی، رفتاری و روان‌شناختی از جمله حساس‌ترین انواع داده‌های شخصی محسوب می‌شوند. جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و پردازش این اطلاعات بدون رضایت آگاهانه و سازوکارهای امنیتی قوی می‌تواند نقض جدی حریم خصوصی باشد. علاوه بر این، خطر سوءاستفاده از داده‌ها یا نشت اطلاعات نیز همواره وجود دارد.

• تفسیرپذیری مدل‌ها

بسیاری از مدل‌های پیشرفته یادگیری ماشین، به‌ویژه مدل‌های عمیق، به‌صورت «جعبه سیاه» عمل می‌کنند. این عدم شفافیت در فرآیند تصمیم‌گیری باعث می‌شود توضیح اینکه چرا یک نوجوان در معرض خطر بزهکاری تشخیص داده شده، دشوار باشد. در حوزه‌های حساس اجتماعی و قضایی، نبود تفسیرپذیری می‌تواند اعتماد به سیستم را کاهش داده و پذیرش آن را محدود کند.

۱۰. ابعاد حقوقی

به‌کارگیری سامانه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی در پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان، اگرچه در چارچوب سیاست جنایی پیشگیرانه و مدیریت ریسک اجتماعی با استقبال روبه‌رو شده است، اما از منظر حقوقی با چالش‌های بنیادین در حوزه حقوق بشر، آیین دادرسی منصفانه و مشروعیت تصمیم‌گیری کیفری مواجه است. این چالش‌ها نه‌تنها ماهیت فنی ندارند، بلکه مستقیماً به اصول هنجاری و بنیادین نظام عدالت کیفری مرتبط‌اند و می‌توانند ساختار سنتی مسئولیت کیفری را دگرگون سازند.

• اصل برائت و خطر برچسب‌زنی الگوریتمی



اصل براءت^{۱۶} به‌عنوان یکی از اصول بنیادین حقوق کیفری مدرن، در ماده ۱۱ اعلامیه جهانی حقوق بشر [۳۹] و ماده ۱۴ میثاق حقوق مدنی و سیاسی [۴۰] به‌صراحت مورد تأکید قرار گرفته است. این اصل ایجاب می‌کند که هر فرد تا زمان اثبات جرم در یک فرآیند دادرسی عادلانه، بی‌گناه فرض شود. با این حال، در نظام‌های مبتنی بر پیش‌بینی الگوریتمی، خطر شکل‌گیری نوعی «برچسب‌زنی پیشینی مبتنی بر داده» وجود دارد؛ به این معنا که افراد—به‌ویژه نوجوانان—صرفاً بر اساس احتمال آماری ارتکاب جرم، در معرض مداخلات زودهنگام پلیسی یا قضایی قرار می‌گیرند. این وضعیت، نوعی جابه‌جایی از «حقوق کیفری مبتنی بر عمل» به «حقوق کیفری مبتنی بر احتمال» ایجاد می‌کند. مطابق تحلیل‌های Harcourt (۲۰۰۷)، چنین رویکردی به ظهور «عدالت کنشی—پیش‌بینانه» منجر می‌شود که در آن تصمیمات کیفری نه بر اساس رفتار تحقق‌یافته، بلکه بر پایه مدل‌های آماری و پروفایل‌های ریسک اتخاذ می‌شوند. این امر می‌تواند به تضعیف اصل براءت و گسترش مداخلات پیش‌دستانه در نظام عدالت کیفری منجر شود.

• مشروعیت استفاده از هوش مصنوعی در عدالت کیفری

مشروعیت استفاده از هوش مصنوعی در نظام عدالت کیفری وابسته به میزان انطباق آن با اصول بنیادین دادرسی منصفانه، شفافیت، پاسخگویی و امکان نظارت قضایی است. در سطح حقوق بین‌الملل، هیچ منع مطلق برای استفاده از AI وجود ندارد، اما اسناد نوظهور بر چارچوب‌های سخت‌گیرانه تأکید دارند. برای مثال، «قانون هوش مصنوعی اتحادیه اروپا» [۴۱] سیستم‌های AI مورد استفاده در اجرای قانون و نظام قضایی را در دسته «پرخطر» قرار داده و الزامات دقیقی از جمله ارزیابی اثرات حقوقی، مدیریت ریسک، ثبت‌پذیری داده‌ها و شفافیت الگوریتمی را الزامی می‌داند. همچنین، گزارش کمیسیون حقوقی انگلستان [۴۲] تصریح می‌کند که استفاده از الگوریتم‌ها در تصمیمات حقوقی تنها در صورتی مشروع است که امکان توضیح‌پذیری، ممیزی مستقل و کنترل انسانی فراهم باشد.

بنابراین، مشروعیت این فناوری نه در ذات آن، بلکه در «نحوه حکمرانی حقوقی بر آن» تعریف می‌شود.

• ریسک پیش‌داوری در تصمیم‌سازی قضایی

یکی از چالش‌های مهم، تأثیر غیرمستقیم خروجی الگوریتم‌ها بر تصمیم‌گیرندگان انسانی است. حتی زمانی که سیستم‌های هوش مصنوعی صرفاً نقش مشورتی دارند، پدیده‌ای به نام «سوگیری اتوماسیون» موجب می‌شود قضات، افسران پلیس یا مددکاران اجتماعی به نتایج الگوریتمی اعتماد بیش از حد کنند.

Sunstein و Kahneman, Sibony (۲۰۲۱) نشان می‌دهند که انسان‌ها در مواجهه با سیستم‌های آماری تمایل دارند قضاوت خود را به خروجی ماشین نزدیک کنند، حتی اگر داده‌ها ناقص یا سوگیرانه باشند. در حوزه عدالت کیفری نوجوانان، این مسئله می‌تواند به شکل‌گیری نوعی «پیش‌داوری تقویت‌شده با فناوری» منجر شود؛ به گونه‌ای که فرد نه بر اساس رفتار بالفعل، بلکه بر مبنای «ریسک پیش‌بینی‌شده» مورد برخورد قرار گیرد. این وضعیت با اصول دادرسی منصفانه در ماده ۶ کنوانسیون اروپایی حقوق بشر (ECHR) و حق برخورداری از یک قاضی بی‌طرف در تعارض بالقوه قرار دارد.

• ضرورت نظارت انسانی

¹⁶ Presumption of Innocence



در ادبیات حقوق فناوری، اجماع فزاینده‌ای وجود دارد مبنی بر اینکه تصمیمات دارای آثار حقوقی یا شبه‌قضایی نباید به صورت کاملاً خودکار اتخاذ شوند. مفهوم Human-in-the-loop به معنای حضور فعال انسان در تمام مراحل تصمیم‌گیری الگوریتمی، به‌ویژه در مرحله تأیید نهایی است. شورای اروپا در «منشور اخلاقی استفاده از هوش مصنوعی در نظام‌های قضایی» [۴۳] تصریح می‌کند که هوش مصنوعی باید صرفاً ابزار پشتیبان تصمیم باشد و هرگز نباید جایگزین قضاوت انسانی شود. افزون بر این، ماده ۲۲ مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها [۴۴] حق افراد را برای عدم قرارگیری در معرض تصمیم‌گیری صرفاً خودکار به رسمیت می‌شناسد. در حوزه بزهکاری نوجوانان، این اصل اهمیت مضاعف دارد، زیرا تصمیمات اشتباه می‌توانند اثرات بلندمدت و بعضاً غیرقابل بازگشت بر مسیر تحصیلی، اجتماعی و روانی فرد داشته باشند. از این رو، مدل‌های ترکیبی که در آن‌ها الگوریتم صرفاً نقش تحلیلی دارد و تصمیم نهایی با مقام انسانی است، به‌عنوان استاندارد مطلوب حقوقی مطرح می‌شوند. در مجموع، هرچند استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان می‌تواند از منظر سیاست‌گذاری پیشگیرانه و تخصیص منابع عدالت کیفری کارآمد تلقی شود، اما از منظر حقوقی با ریسک‌های جدی مواجه است. مهم‌ترین این ریسک‌ها شامل تضعیف اصل برائت، گسترش عدالت مبتنی بر احتمال، کاهش شفافیت تصمیم‌گیری و افزایش وابستگی غیرنقدانه به الگوریتم‌ها است. بنابراین، تنها در صورت وجود چارچوب‌های نظارتی سخت‌گیرانه، شفافیت الگوریتمی و حفظ نظارت انسانی، می‌توان از این فناوری در نظام عدالت کیفری استفاده مشروع و قابل دفاع داشت.

۱۱. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، نقش هوش مصنوعی و مدل‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان با تکیه بر شاخص‌های شناختی-هیجانی، رفتاری و اجتماعی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج کلی نشان می‌دهد که این فناوری‌ها در صورت طراحی علمی، داده‌محور و حقوق‌محور، می‌توانند به‌عنوان ابزارهای تصمیم‌یار در سیاست جنایی پیشگیرانه ایفای نقش کنند. با این حال، ماهیت چندلایه و حساس داده‌های مربوط به نوجوانان، در کنار پیامدهای حقوقی و اخلاقی پیش‌بینی رفتار انسانی، موجب می‌شود که استفاده از این مدل‌ها همواره با سطح بالایی از احتیاط و تنظیم‌گری همراه باشد. از منظر تحلیلی، هوش مصنوعی قادر است الگوهای پنهان در داده‌های پیچیده روان‌شناختی و اجتماعی را شناسایی کند؛ الگوهایی که در روش‌های سنتی تحلیل انسانی کمتر قابل مشاهده‌اند. این ویژگی، به‌ویژه در حوزه پیشگیری زودهنگام از بزهکاری، می‌تواند به شناسایی عوامل خطر و طراحی مداخلات حمایتی هدفمند کمک کند. با این وجود، باید توجه داشت که تبدیل «پیش‌بینی آماری» به «تصمیم حقوقی» همواره با خطر ساده‌سازی بیش از حد واقعیت انسانی همراه است.

• جمع‌بندی نقش هوش مصنوعی در پیش‌بینی بزهکاری

به‌طور کلی، مدل‌های یادگیری ماشین در این حوزه را می‌توان در سه سطح کارکردی تحلیل کرد:



۱. سطح توصیفی :

شناسایی الگوهای رفتاری و هیجانی در داده‌های گذشته و حال.

۲. سطح پیش‌بینی :

تخمین احتمال بروز رفتار بزهکارانه بر اساس همبستگی‌های آماری.

۳. سطح تجویزی :

ارائه پیشنهاد برای مداخلات اجتماعی، آموزشی یا روان‌شناختی.

با وجود این ظرفیت‌ها، ادبیات علمی تأکید دارد که گذار از سطح پیش‌بینی به سطح تجویزی، در حوزه عدالت کیفری نوجوانان باید با حساسیت بسیار بالا انجام شود، زیرا خطا در این مرحله می‌تواند به پیامدهای بلندمدت در زندگی فرد منجر شود [۴۵] در واقع، مسئله اصلی نه «توانایی پیش‌بینی»، بلکه «مشروعیت استفاده از پیش‌بینی در تصمیم‌گیری حقوقی» است.

• ضرورت توسعه مدل‌های شفاف و قابل توضیح

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش، ضرورت حرکت به سمت مدل‌های توضیح‌پذیر^{۱۷} است. در شرایطی که بسیاری از مدل‌های یادگیری عمیق دارای ساختار جعبه‌سیاه هستند، فقدان شفافیت می‌تواند اعتماد به نظام عدالت کیفری را تضعیف کند.

در حوزه حقوقی، اصل «قابلیت توضیح تصمیم» به‌طور مستقیم با مفاهیمی مانند دادرسی منصفانه و پاسخگویی قضایی مرتبط است. ابزارهایی مانند SHAP و LIME می‌توانند با ارائه سهم هر متغیر در خروجی مدل، امکان بررسی منطقی تصمیمات الگوریتمی را فراهم کنند. با این حال، باید توجه داشت که توضیح‌پذیری صرفاً یک ویژگی فنی نیست، بلکه یک الزام حقوقی-نهادی در نظام‌های عدالت مدرن محسوب می‌شود [۴۱، ۴۳]. افزون بر این، در حوزه بزهکاری نوجوانان، توضیح‌پذیری نقش مهم‌تری ایفا می‌کند، زیرا افراد تحت تأثیر تصمیمات الگوریتمی ممکن است از نظر سنی، شناختی و حقوقی در موقعیت آسیب‌پذیرتری قرار داشته باشند. بنابراین، هرگونه تصمیم‌سازی مبتنی بر AI باید قابلیت بازبینی، اعتراض و تبیین داشته باشد.

• توصیه به رویکرد چندمنبعی

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که اتکا به یک نوع داده منفرد (صرفاً روان‌شناختی یا صرفاً اجتماعی) می‌تواند منجر به کاهش دقت مدل و افزایش سوگیری شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود از رویکرد چندمنبعی استفاده شود که در آن داده‌های زیر به‌صورت یکپارچه تحلیل شوند:

- داده‌های روان‌شناختی (آزمون‌های شناختی، هیجانی، شخصیت)
- داده‌های رفتاری (الگوهای مدرسه، تعاملات اجتماعی، سوابق انضباطی)

¹⁷ Explainable AI – XAI



- داده‌های اجتماعی-اقتصادی (وضعیت خانواده، سطح درآمد، محیط سکونت)
- داده‌های محیطی (دسترسی به منابع آموزشی، حمایت اجتماعی)

با این حال، ترکیب این داده‌ها باید تحت اصول سخت‌گیرانه حفاظت از داده‌ها انجام شود. مقررات GDPR (۲۰۱۶) بر اصل حداقل‌سازی داده و هدف‌مندی پردازش تأکید دارد. در نتیجه، هر داده‌ای که برای پیش‌بینی ضروری نیست، نباید جمع‌آوری یا پردازش شود.

• ضرورت طراحی سیستم‌های انسان‌محور

یکی از مهم‌ترین الزامات در استفاده از AI در حوزه عدالت کیفری نوجوانان، حفظ نقش محوری انسان در فرآیند تصمیم‌گیری است. مفهوم مداخله انسان در فرایند تصمیم‌گیری^{۱۸} به این معناست که الگوریتم تنها نقش تحلیلی و مشورتی دارد و تصمیم نهایی توسط مقام انسانی اتخاذ می‌شود.

این رویکرد از دو جهت اهمیت دارد:

- ۱- نخست، جلوگیری از خطاهای الگوریتمی ناشی از داده‌های ناقص یا سوگیرانه؛
- ۲- دوم، حفظ مسئولیت‌پذیری حقوقی در تصمیمات قضایی.

شواهد نشان می‌دهد که اتکای بیش از حد به سیستم‌های خودکار می‌تواند منجر به «سوگیری اتوماسیون» شود، به‌گونه‌ای که تصمیم‌گیرندگان انسانی تمایل پیدا می‌کنند خروجی سیستم را بدون بررسی کافی بپذیرند [۴۶]. این مسئله در حوزه عدالت کیفری می‌تواند پیامدهای جدی برای حقوق فردی داشته باشد.

• ملاحظات نهادی و سیاست‌گذاری

از منظر سیاست‌گذاری عمومی، استفاده از هوش مصنوعی در پیش‌بینی بزهکاری نیازمند ایجاد چارچوب‌های نهادی چندسطحی است، از جمله:

- تدوین استانداردهای ملی برای استفاده از AI در عدالت کیفری
- ایجاد نهادهای مستقل نظارت بر الگوریتم‌ها
- الزام به ارزیابی اثرات حقوقی و اجتماعی
- تضمین حق اعتراض و بازبینی انسانی برای افراد تحت تأثیر تصمیمات الگوریتمی

این اقدامات می‌توانند به کاهش ریسک‌های ساختاری و افزایش اعتماد عمومی به نظام عدالت کمک کنند.

• چالش‌ها و محدودیت‌ها

¹⁸ Human-in-the-loop



با وجود مزایای قابل توجه، مدل‌های ترکیبی با چالش‌هایی نیز مواجه هستند. مهم‌ترین چالش‌ها عبارت‌اند از:

- ناهمگونی داده‌ها
- دشواری در هم‌ترازسازی داده‌های روان‌شناختی و رفتاری
- افزایش پیچیدگی محاسباتی مدل
- مسئله تفسیرپذیری در سیستم‌های تصمیم‌گیری حساس مانند عدالت کیفری

به همین دلیل، در پژوهش‌های جدید تلاش می‌شود این مدل‌ها با رویکردهای ترکیب شوند تا قابلیت اعتماد و شفافیت تصمیم‌گیری افزایش یابد.

در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که هوش مصنوعی در حوزه پیش‌بینی بزهکاری نوجوانان، یک فناوری دوجبهی است: از یک سو ظرفیت بالایی برای ارتقای کارآمدی سیاست‌های پیشگیرانه دارد، و از سوی دیگر، در صورت فقدان چارچوب‌های حقوقی و اخلاقی مناسب، می‌تواند به تضعیف اصول بنیادین عدالت کیفری منجر شود. آینده این حوزه وابسته به توسعه مدل‌های شفاف، قابل توضیح، انسان‌محور و چندمنبعی است؛ مدل‌هایی که در آن فناوری نه جایگزین قضاوت انسانی، بلکه تقویت‌کننده عدالت و تصمیم‌گیری آگاهانه باشد.

منابع :

1. Steinberg, L. (2017). Risk taking in adolescence. *Annual Review of Psychology*, 68, 1–25.
2. Moffitt, T. E. (2018). Adolescent antisocial behavior. *Psychological Bulletin*, 144(3), 256–270.
3. Casey, B. J., Jones, R. M., & Somerville, L. H. (2018). Braking and accelerating of the adolescent brain. *Journal of Research on Adolescence*, 28(1), 18–29.
4. Shulman, E. P., et al. (2016). The dual systems model of adolescent risk-taking. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 17, 1–7.
5. Farrington, D. P. (2020). The development of offending and antisocial behavior. *Cambridge University Press*.
6. World Health Organization. (2021). Adolescent mental health. WHO Report.
7. Hawkins, J. D., et al. (2016). Preventing youth violence. *American Journal of Preventive Medicine*, 51(4), S171–S181.
8. Berk, R. (2019). Machine learning risk assessments in criminal justice settings. *Annual Review of Criminology*, 2, 209–229.
9. Dressel, J., & Farid, H. (2018). The accuracy, fairness, and limits of predicting recidivism. *Science Advances*, 4(1).
10. Obermeyer, Z., et al. (2019). Dissecting racial bias in algorithms. *Science*, 366(6464), 447–453.
11. Angwin, J., Larson, J., Mattu, S., & Kirchner, L. (2016). Machine bias. *ProPublica*.
12. Steinberg, L. (2017). Adolescence. *McGraw-Hill Education*.

13. Ferguson, A. G. (2017). The rise of big data policing. *NYU Press*.
14. Hirschi, T. (1969). *Causes of delinquency*. University of California Press.
15. Sampson, R. J., & Laub, J. H. (2016). Life-course theory of crime.
16. Akers, R. L. (1998). *Social learning and social structure: A general theory of crime and deviance*.
17. Warr, M. (2018). *Companions in crime*
18. Beck, A. T. (2011). *Cognitive therapy of personality disorders*.
19. Casey, B. J., et al. (2018). The adolescent brain. *Journal of Research on Adolescence*, 28(1), 18–29.
20. Lipsey, M. W., et al. (2017). Cognitive-behavioral programs for offenders. *Campbell Systematic Reviews*.
21. Casey, B. J., Jones, R. M., & Somerville, L. H. (2018). Braking and accelerating of the adolescent brain. *Journal of Research on Adolescence*, 28(1), 18–29.
22. Decety, J., et al. (2016). Empathy and moral behavior. *Current Opinion in Psychology*, 6, 1–5.
23. Blair, R. J. R. (2018). Traits of empathy and morality in antisocial behavior. *Nature Reviews Neuroscience*, 19(9), 1–13.
24. Gross, J. J. (2015). Emotion regulation: Current status and future prospects. *Psychological Inquiry*, 26(1), 1–26.
25. Aldao, A., Nolen-Hoeksema, S., & Schweizer, S. (2016). Emotion regulation strategies across psychopathology. *Clinical Psychology Review*, 45, 87–101.
26. Berk, R. (2019). Machine learning risk assessments in criminal justice settings. *Annual Review of Criminology*, 2, 209–229. <https://doi.org/10.1146/annurev-criminol-011518-024433>
27. Hosmer, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (3rd ed.). Wiley.
28. Noble, W. S. (2006). What is a support vector machine? *Nature Biotechnology*, 24(12), 1565–1567. <https://doi.org/10.1038/nbt1206-1565>
29. Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20, 273–297. <https://doi.org/10.1007/BF00994018>
30. Berk, R. (2019). Machine learning risk assessments in criminal justice settings. *Annual Review of Criminology*, 2, 209–229. <https://doi.org/10.1146/annurev-criminol-011518-024433>
31. Wang, J., et al. (2021). Machine learning approaches for crime prediction: A systematic review. *Expert Systems with Applications*, 185, 115545. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115545>
32. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521, 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
33. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
34. Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*, 61, 85–117. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>
35. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
36. Lipton, Z. C., Berkowitz, J., & Elkan, C. (2015). A critical review of recurrent neural networks. arXiv preprint.

37. Rokach, L., & Maimon, O. (2014). *Data mining with decision trees: Theory and applications*.
38. Chouldechova, A. (2017). Fair prediction with disparate impact. *Big Data*, 5(2), 153–163. <https://doi.org/10.1089/big.2016.0047>
39. United Nations. (1948). *Universal Declaration of Human Rights*.
40. United Nations. (1966). *ICCPR*.
41. European Union. (2024). *Artificial Intelligence Act (AI Act)*.
42. Law Commission (UK). (2022). *Automated Decision-Making and Public Law*.
43. CEPEJ. (2018). *European Ethical Charter on the Use of AI in Judicial Systems*. Council of Europe.
44. General Data Protection Regulation (GDPR). (2016/679). Article 22.
45. Harcourt, B. E. (2007). *Against Prediction: Profiling, Policing, and Punishing in an Actuarial Age*. University of Chicago Press.
46. Kahneman, D., Sibony, O., & Sunstein, C. R. (2021). *Noise: A Flaw in Human Judgment*. Little, Brown Spark.