



کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت بحران‌های ناشی از بلایای طبیعی: از پیش‌بینی تا امدادرسانی هوشمند

ایمان الهی^۱، محدثه فاطمی^۲

۱- کارشناس ارشد طراحی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد iman.elahii94@gmail.com

۲- کارشناس معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد mohadesefatemiii@gmail.com

خلاصه

با رشد فزاینده بلایای طبیعی و پیچیدگی پیامدهای آن‌ها، نیاز به سامانه‌های هوشمند و یکپارچه جهت پیش‌بینی، واکنش سریع و تخصیص منابع بهینه بیش از پیش احساس می‌شود. این مقاله با تعریف دقیق مفاهیم پایه (خطر، آسیب‌پذیری، تاب‌آوری، هوش مصنوعی و زیرشاخه‌های آن)، مسائلی نظیر دقت پایین پیش‌بینی، کمبود داده‌های بلادرنگ، تأخیر در تحلیل بحران، تخصیص ناعادلانه منابع، جعبه‌سیاه بودن مدل‌ها و چالش‌های حریم خصوصی را مطرح می‌کند. در ادامه، راه‌حل‌های جامع مبتنی بر AI ارائه می‌شوند که شامل مدل‌های ترکیبی فیزیکی یادگیری ماشین، یادگیری انتقالی، شبکه‌های عصبی با مکانیزم توجه، سامانه‌های هشدار چندکاناله، تحلیل تغییرات ماهواره‌ای با U-Net/Siamese، پردازش ابری موازی، الگوریتم‌های پیش‌بینی تقاضا، مسیریابی دینامیک، داشبوردهای تصمیم‌یار و پلتفرم‌های گزارش مردمی است. همچنین چارچوبی برای حاکمیت داده و اخلاق در AI بشردوستانه شامل استانداردسازی مدیریت داده، کاهش سوگیری، توضیح‌پذیری مدل‌ها، حفظ حریم خصوصی و تقویت ظرفیت نهادی پیشنهاد تا سامانه‌ها در عین افزایش دقت و سرعت، عادلانه و شفاف عمل کنند.

کلمات کلیدی: مدیریت بحران هوشمند، بلایای طبیعی، یادگیری انتقالی، بهینه‌سازی تخصیص منابع، حاکمیت داده

۱- مقدمه و تعریف مفاهیم اولیه مورد نیاز

در این بخش، ابتدا تعاریف و مفاهیم اولیه درباره کلیدواژه‌های اصلی مقاله مورد بررسی قرار گرفته، سپس مطالعات بر روی کلیدواژه‌های اصلی در web of science با استفاده از نرم افزار Vosviewer مورد بررسی دقیق و نتیجه‌گیری قرار می‌گیرند.

۱-۱- بلایای طبیعی، خطر و آسیب‌پذیری

بلایای طبیعی^۲: پدیده‌های ناگهانی و مخربی که منشأ طبیعی دارند و بر اثر تعامل پیچیده فرآیندهای زمین‌ساختی یا اقلیمی ایجاد می‌شوند؛ مانند زلزله، سیل، طوفان، خشکسالی و آتش‌سوزی جنگلی. شدت تأثیر این بلایا بستگی به میزان **خطر^۳**، **آسیب‌پذیری^۴** و **میزان در معرض بودن^۵** جوامع دارد (UNDRR, 2022).

² Natural Disasters

³ Hazard

⁴ Vulnerability

⁵ Exposure



خطر^۱: احتمال وقوع یک رویداد مخرب طبیعی با شدت مشخص.

آسیب‌پذیری (Vulnerability): ویژگی‌های جمعیتی، اقتصادی و زیست‌محیطی جامعه که شدت خسارات را تعیین می‌کند.

در معرض بودن (Exposure): میزان تعامل جامعه با عوامل خطر؛ به‌عنوان مثال، جمعیت ساکن در حوضه سیل‌گیر.

۱-۲ مدیریت بحران و تاب‌آوری

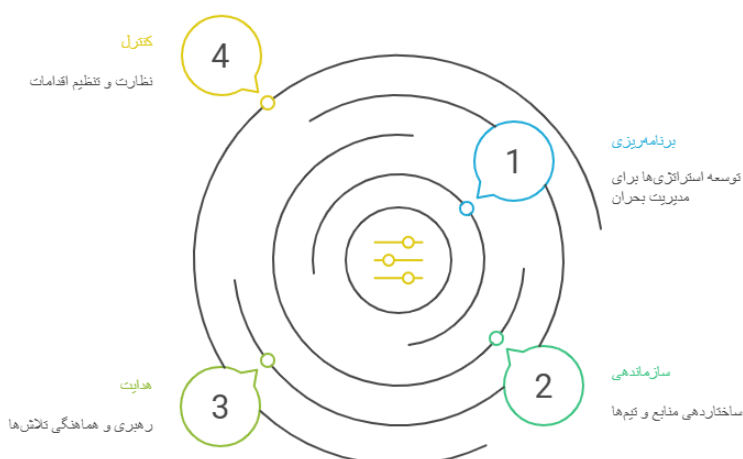
مدیریت بحران (Crisis Management): فرآیند برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت و کنترل منابع جهت مقابله با بلایا در چهار مرحله:

۱. پیشگیری^۲: کاهش طولانی‌مدت ریسک از طریق برنامه‌ریزی شهری، زیرساخت مقاوم و آگاهی عمومی (Alexander, 2002).

۲. آمادگی^۳: طراحی طرح‌های واکنش اضطراری، آموزش تیم‌های امدادی و تمرین مانور (Garayev, 2011 & Kapucu).

۳. پاسخ^۴: واکنش سریع به مخاطرات لحظه‌ای، شامل هشدار زودهنگام، نجات و امدادرسانی فوری.

۴. بازسازی^۵: بازسازی زیرساخت‌ها و بازگرداندن شرایط عادی، با توجه به درس‌آموخته‌ها.



شکل ۱-مراحل مدیریت بحران

تاب‌آوری^۶: ظرفیت یک سیستم یا جامعه برای بازگشت سریع به وضعیت پایدار و سازگاری با شرایط پسا بحران؛ هدف نهایی مدیریت بحران است (Vinuesa et al., 2020).

۱-۳ هوش مصنوعی و زیرشاخه‌های آن

هوش مصنوعی^۷: شاخه‌ای از علوم کامپیوتر که به طراحی و توسعه سامانه‌هایی می‌پردازد که بتوانند همچون انسان، از داده‌ها یاد بگیرند، الگوها را شناسایی کنند و تصمیمات خودکار اتخاذ نمایند (Goodfellow et al., 2016).

یادگیری ماشین^۸: زیرمجموعه‌ای از AI که بر آموزش مدل‌ها با استفاده از داده‌های برچسب‌دار یا بدون برچسب تمرکز دارد؛ شامل الگوریتم‌هایی مانند رگرسیون خطی، درخت تصمیم، Random Forest و XGBoost.

یادگیری عمیق (Deep Learning – DL): روشی از ML که از شبکه‌های عصبی چندلایه (به‌ویژه CNN و RNN) برای استخراج ویژگی‌های پیچیده از داده‌های حجیم استفاده می‌کند.

¹ Hazard

² Mitigation

³ Preparedness

⁴ Response

⁵ Recovery

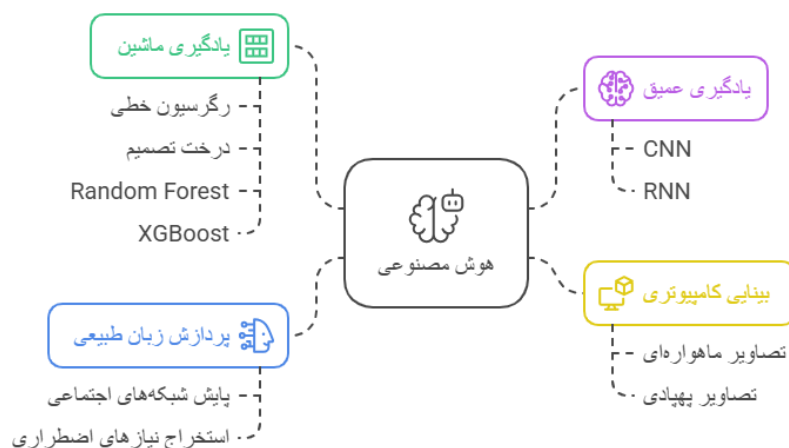
⁶ Resilience

⁷ Artificial Intelligence

⁸ Machine Learning



بنیایی کامپیوتری^۱: کاربرد الگوریتم‌های DL برای تحلیل و تفسیر خودکار تصاویر و ویدیوها؛ در مدیریت بحران برای شناسایی خسارات از تصاویر ماهواره‌ای یا پهنپدی به کار می‌رود.
پردازش زبان طبیعی^۲: شاخه‌ای از AI برای تحلیل و تولید زبان انسانی؛ در بحران‌ها جهت پایش محتوای شبکه‌های اجتماعی و استخراج نیازهای اضطراری استفاده می‌شود.



شکل ۲- استفاده از هوش مصنوعی در مدیریت بحران‌های طبیعی

۴-۱- کلان داده و تحلیل بلادرنگ

کلان داده^۳: مجموعه داده‌هایی با حجم، سرعت و تنوع بسیار بالا که ابزارهای سنتی قادر به پردازش آن‌ها نیستند.
تحلیل بلادرنگ^۴: پردازش فوری جریان داده‌ها^۵ برای ارائه اطلاعات به‌روز به تیم‌های تصمیم‌گیرنده در بحران (Vinuesa et al., 2020).

۵-۱- هوش مصنوعی بشردوستانه^۶: به‌کارگیری تخصص‌های AI در پروژه‌ها و سامانه‌های بشردوستانه، با هدف افزایش کارایی امدادسانی، بهبود تاب‌آوری و تضمین عدالت در توزیع منابع. این حوزه به‌دنبال ادغام داده‌های محیطی، اجتماعی و اقتصادی برای حمایت از تصمیم‌گیری هوشمند و مبتنی بر شواهد است (Vinuesa et al., 2020).

۲- طرح مسئله

مدیریت بحران‌های ناشی از بلایای طبیعی با وجود پیشرفت‌های فناوریانه و ابزارهای نوین اطلاعاتی، همچنان با موانع اساسی زیر مواجه است:

۱. نقص در دقت و حساسیت پیش‌بینی‌ها

¹ Computer Vision

² Natural Language Processing

³ Big Data

⁴ Real-time Analytics

⁵ Stream Processing

⁶ Humanitarian AI



سامانه‌های هشداردهی کنونی عمدتاً بر مبنای مدل‌های آماری ساده یا داده‌های تاریخی محدود عمل می‌کنند که باعث تولید هشدارهای نادرست^۱ یا عدم هشدار^۲ می‌شود. این موضوع نه تنها موجب کاهش اعتماد به سامانه‌های پیش‌بینی می‌شود، بلکه توان جوامع را در واکنش به بلایا تضعیف می‌کند (Alesheikh, 2020 & Mosavi et al., 2018; Hosseini).

۲. کمبود داده‌های به‌روز و یکپارچه

بسیاری از مناطق آسیب‌پذیر، به‌خصوص کشورهای در حال توسعه، فاقد زیرساخت‌های جمع‌آوری داده‌های جغرافیایی و محیطی بلندرنج هستند. نبود داده‌های دقیق مکانی، جمعیتی و زیست‌محیطی، و همچنین تفاوت فرمت‌ها و استانداردها میان منابع مختلف، مانع از ایجاد مدل‌های قابل اعتماد می‌شود (Vinuesa et al., 2020).

۳. تاخیر در تحلیل و واکنش به بحران

جریان داده‌های بحران از تصاویر ماهواره‌ای گرفته تا گزارش‌های میدانی و پست‌های شبکه‌های اجتماعی اغلب به‌صورت ناهماهنگ و با اختلاف زمانی دریافت می‌شود. این تاخیر در پردازش و تحلیل دیتا، سرعت تصمیم‌گیری و ارسال کمک‌های اضطراری را کاهش می‌دهد (Kapucu & Garayev, 2011).

۴. تخصیص ناعادلانه و ناکارآمد منابع

در بسیاری از واکنش‌های اضطراری، تخصیص منابع اساسی (آب، غذا، دارو، پناهگاه) بدون استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی و اولویت‌بندی صورت می‌گیرد. نتیجه، بروز «گلوگاه» در برخی مناطق و کمبود منابع در دیگر نقاط است که می‌تواند به نابرابری در امدادسانی منجر شود (O'Neil, 2016).

۵. بی‌اعتمادی به تصمیمات خودکار و جعبه‌سیاه بودن مدل‌ها

نبود شفافیت در ساختار و منطق مدل‌های یادگیری عمیق، مانعی برای پذیرش نتایج آن‌ها توسط تصمیم‌گیرندگان انسانی است. در شرایط بحرانی، تصمیمات نیاز به توجیه و قابلیت پیگیری دارند، اما «جعبه‌سیاه» ماندن بسیاری از مدل‌ها این امکان را از مدیران می‌گیرد (Doshi-Velez & Kim, 2017).

۶. چالش‌های اخلاقی و حریم خصوصی

گردآوری داده‌های فردی و مکانی از قبیل اطلاعات موقعیت کاربران تلفن همراه یا پست‌های خصوصی ممکن است حقوق حریم خصوصی افراد را نقض کند. در عین حال، استفاده نادرست از این داده‌ها می‌تواند به تبعیض یا سوءاستفاده گسترده منجر شود (Calo, 2016 & Crawford).

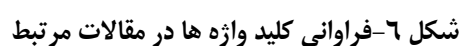
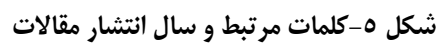
۷. محدودیت‌های نهادی و تخصصی

بسیاری از سازمان‌های دولتی و غیرانتفاعی فاقد نیروی متخصص در حوزه AI و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات قوی هستند. نبود استانداردهای بین‌المللی و همکاری میان‌سازمانی، توسعه و استقرار راه‌حل‌های هوشمند را پیچیده و پرهزینه می‌کند (Zhou et al., 2022).

¹ false alarms

² missed alarms

صفحہ ۵



برای غلبه بر چالش‌های مطرح‌شده در بخش قبل و بهره‌گیری اثربخش از هوش مصنوعی در مدیریت بحران‌های ناشی از بلایای طبیعی، راه‌حل‌های زیر به‌صورت جامع و در چهار سطح اصلی پیشنهاد می‌شوند:



۳-۱- پیش‌بینی و هشدار زودهنگام پیشرفته

۱. مدل‌های ترکیبی چندمنظوره^۱: ادغام مدل‌های فیزیکی، ریاضی (مثلاً شبیه‌سازی هیدرولوژیکی) با الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای افزایش دقت پیش‌بینی سیل و رانش زمین.

به عنوان مثال: ترکیب شبیه‌سازی HEC-RAS با XGBoost برای پیش‌بینی عمق سیلاب و پهنای آن در حوضه‌های آبریز (Mosavi et al., 2018).

۳-۲- یادگیری انتقالی^۲:

استفاده از مدل‌های پیش‌آموزش‌دیده در نواحی با داده‌های غنی و انتقال آن به مناطق دارای داده محدود.

مزیت: کاهش نیاز به داده‌های محلی وسیع و بالا بردن سرعت استقرار سامانه‌های هشدار (Alesheikh, 2020 & Hosseini).

۳-۳- شبکه‌های عصبی پیچشی زمانی^۳ و شبکه‌های توجه^۴:

پردازش همزمان داده‌های سری زمانی هواشناسی و داده‌های مکانی برای شناسایی الگوهای پنهان در وقوع بلایای ناگهانی.

شبکه‌های توجه با تمرکز بر بازه‌های زمانی بحرانی، دقت هشدارها را بهبود می‌دهند (Pham et al., 2021).

۴- سامانه‌های هشدار چندکاناله:

ترکیب اعلان‌های موبایلی، شبکه‌های رادیویی، پیامک و شبکه‌های اجتماعی برای اطمینان از پوشش گسترده مخاطبان.

بهره‌گیری از تحلیل دسترسی‌پذیری کاربران^۵ برای شخصی‌سازی کانال هشدار.

۳-۲- تحلیل خسارت و ارزیابی سریع با بینایی کامپیوتری

۱. مدل‌های تشخیص تغییر^۶: استفاده از الگوریتم‌های مقایسه تصویر قبل و بعد از بحران (مثلاً U-Net یا Siamese Network) برای تشخیص نواحی آسیب‌دیده (Li et al., 2020).

پیاپیاده‌سازی بر روی تصاویر ماهواره‌ای با رزولوشن مختلف (Sentinel-2, PlanetScope).

۲. خودکارسازی بازبازی ویژگی^۷: یادگیری عمیق برای استخراج ویژگی‌های معماری (Building Footprint)، پوشش گیاهی و شبکه راه‌ها جهت محاسبه شاخص‌های خسارت.

ادغام با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای نقشه‌برداری دقیق‌تر و تولید لایه‌های تصمیم‌یار.

¹ Hybrid Models

² Transfer Learning

³ Temporal CNN

⁴ Attention-based Models

⁵ User Accessibility Analysis

⁶ Change Detection

⁷ Automated Feature Extraction

مزیت: کاهش زمان تحلیل از چند ساعت به چند دقیقه.

۳-۳-امداد رسانی هوشمند و بهینه سازی تخصیص منابع

۱. **مدل‌های پیش‌بینی تقاضا**^۱: با بهره‌گیری از داده‌های تاریخی امداد رسانی، جمعیت‌شناسی و شدت بحران به‌صورت سری زمانی، نیازهای آتی به غذا، دارو و پناهگاه پیش‌بینی می‌شوند (Banerjee et al., 2020).

۲. الگوریتم‌های مسیریابی پویا^۲: به‌کارگیری الگوریتم‌هایی مانند Ant Colony Optimization یا Dijkstra پویا که با ورودی‌های بلادرنگ (مثلاً شرایط جاده‌ها، ترافیک) مسیرهای سریع‌السير را برای خودروهای امدادی تعیین می‌کنند (Khan et al., 2019).

۳. سیستم‌های پشتیبانی تصمیم^۳: طراحی داشبوردهای تعاملی برای مدیران بحران که بار اطلاعاتی را به صورت بصری و نقشه‌محور نمایش می‌دهند؛

اضافه کردن آنالیز «چه-اگر؟» (What-If Analysis) برای شبیه‌سازی اثر تخصیص‌های متفاوت منابع بر سرعت و دسترسی بخشی.

۴. لجستیک معکوس و چرخه تأمین پایدار:

جمع‌آوری و بازیابی منابع مازاد پس از مرحله پاسخ اولیه؛

به کارگیری الگوریتم‌های هوشمند برای مدیریت تبادل منابع میان مراکز توزیع و ذخیره‌سازی.

۳-۴- مشارکت عمومی و تحلیل بلادرنگ داده‌های اجتماعی

۱. استخراج خودکار موضوعات^۴ و تحلیل احساسات در پیام‌ها:

به کارگیری LDA برای خوشه‌بندی مباحث اصلی کاربران در شبکه‌های اجتماعی و اندازه‌گیری احساسات (Sentiment Analysis) جهت اولویت‌بندی مناطق بحرانی (Imran et al., 2015).

۲. پلتفرم‌های گزارش مشارکتی^۵: توسعه اپلیکیشن‌های موبایلی که کاربران بتوانند تصاویر و موقعیت جغرافیایی مشکلات (مانند راه‌های مسدودشده یا نیاز به کمک) را گزارش دهند؛

ادغام داده‌های مشارکتی با الگوریتم‌های اعتبارسنجی خودکار برای اطمینان از صحت گزارش‌ها.

۳. هوش جمعی^۶: ترکیب داده‌های مردم‌نهاد (VGI) با داده‌های رسمی برای ایجاد نقشه‌های بالادرنگ و به‌روز از وضعیت بحران؛

¹ Demand Forecasting

2 Dynamic Routing

³ Decision Support Systems

⁴ Topic Modeling

5 Crowdsourced Reporting

6 Collective Intelligence



طرح‌ریزی مسیرهای امن برای تخلیه با استفاده از ورودی مستقیم کاربران.

۳-۵- چارچوب حاکمیت داده و اخلاق در AI بشردوستانه

۱. سیاست‌های مدیریت داده^۱: تدوین استانداردهای مشترک برای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و اشتراک‌گذاری داده‌های بحران (ISO/IEC 38500)؛

استقرار مراکز داده منطقه‌ای برای تضمین دسترسی‌پذیری و یک‌آپ‌گیری امن.

۲. روش‌های کاهش سوگیری^۲: به‌کارگیری تکنیک‌هایی مانند برابرسازی وزن داده‌ها^۳ یا افزایش مصنوعی داده‌ها^۴ برای تعادل مجموعه‌های آموزشی؛

ارزیابی مستمر مدل‌ها با معیارهای «عدالت» (Fairness Metrics) و انتشار گزارش عملکرد شفاف.

۳. توضیح‌پذیری و پاسخگویی^۵: پیاده‌سازی مدل‌های تقلیل‌یادگیری^۶ و ابزارهایی مانند LIME و SHAP برای شرح تصمیمات الگوریتم؛ مستندسازی فرآیندهای مدل‌سازی و انتشار توضیحات به زبان ساده برای جلب اعتماد تصمیم‌گیرندگان (Kim, 2017 & Doshi-Velez).

۴. حفظ حریم خصوصی و امنیت داده:

استفاده از فدریتد لرنینگ^۷: برای آموزش مدل‌ها بدون انتقال داده‌های حساس از دستگاه‌های محلی؛

به‌کارگیری روش‌های تبدیل‌ناپذیرسازی داده^۸ و رمزنگاری همسان^۹

۵. تقویت ظرفیت نهادی و همکاری بین‌المللی:

برگزاری دوره‌های آموزشی مشترک برای کارشناسان AI و مدیران بحران در نهادهای دولتی و غیردولتی؛

ایجاد شبکه‌های همکاری منطقه‌ای برای تبادل تجربه و فناوری، و تدوین پروتکل‌های بین‌المللی برای بکارگیری هوش مصنوعی در شرایط اضطراری (Zhou et al., 2022).

¹ Data Governance

² Bias Mitigation

³ Reweighting

⁴ Data Augmentation

⁵ Explainable AI

⁶ Surrogate Models

⁷ Federated Learning

⁸ Data Anonymization

⁹ Homomorphic Encryption



۴- نتیجه گیری

با توجه به افزایش فراوانی، شدت و پیچیدگی بلایای طبیعی در دهه‌های اخیر، مدیریت بحران دیگر صرفاً متکی بر رویکردهای سنتی، واکنشی و تجربه‌محور نیست و نیازمند بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند، داده‌محور و یکپارچه است. این مقاله با رویکردی مروری-تحلیلی نشان داد که هوش مصنوعی، در صورت به‌کارگیری نظام‌مند و مسئولانه، می‌تواند به‌عنوان یک اهرم تحول‌آفرین، تمامی چرخه مدیریت بحران از پیش‌بینی و هشدار زودهنگام تا پاسخ اضطراری، امدادسانی هوشمند و حتی بازسازی تاب‌آور را به‌طور معناداری ارتقا دهد.

نتایج حاصل از مرور ادبیات و تحلیل کتاب‌سنجی پایگاه Web of Science حاکی از آن است که تمرکز پژوهش‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای به سمت الگوریتم‌های یادگیری عمیق، سنجش از دور، تحلیل بلادرنگ داده‌ها و بهینه‌سازی تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت سوق یافته است. این روند علمی بیانگر آن است که پارادایم مدیریت بحران در حال گذار از «مدیریت واکنشی» به «مدیریت پیش‌نگر و هوشمند» است؛ پارادایمی که در آن، پیش‌بینی دقیق‌تر مخاطرات، کاهش عدم‌اطمینان، و تخصیص عادلانه‌تر منابع، نقش محوری ایفا می‌کنند. تحلیل چالش‌ها نشان داد که علی‌رغم ظرفیت‌های بالای AI، موانعی نظیر کمبود داده‌های بلادرنگ، ناهمگونی منابع اطلاعاتی، تأخیر در تحلیل، ناکارآمدی در تخصیص منابع، جعبه‌سیاه بودن مدل‌ها، چالش‌های اخلاقی و ضعف نهادی، مانع از تحقق کامل پتانسیل این فناوری شده‌اند. در پاسخ به این محدودیت‌ها، مقاله مجموعه‌ای از راه‌حل‌های چندسطحی و مکمل را پیشنهاد کرد که از نظر فنی، نهادی و اخلاقی قابل تبیین هستند.

در حوزه پیش‌بینی و هشدار، استفاده از مدل‌های ترکیبی فیزیکی-یادگیری ماشین، یادگیری انتقالی و شبکه‌های عصبی مبتنی بر مکانیزم توجه، امکان افزایش دقت و کاهش هشدارهای نادرست را فراهم می‌سازد. در مرحله پاسخ، به‌کارگیری بینایی کامپیوتری و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و پهپادی، ارزیابی سریع و نسبتاً عینی خسارات را ممکن کرده و زمان تصمیم‌گیری را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. همچنین، الگوریتم‌های بهینه‌سازی، مسیریابی پویا و سیستم‌های پشتیبانی تصمیم می‌توانند توزیع منابع امدادی را از یک فرآیند شهودی و بعضاً ناعادلانه، به یک فرآیند شفاف، مبتنی بر شواهد و قابل ارزیابی تبدیل کنند. یکی از دستاوردهای مهم این پژوهش، تأکید بر نقش داده‌های اجتماعی، مشارکت عمومی و هوش جمعی در تکمیل داده‌های رسمی است. تحلیل بلادرنگ شبکه‌های اجتماعی و پلتفرم‌های گزارش مردمی، نه تنها شکاف اطلاعاتی در ساعات اولیه بحران را کاهش می‌دهد، بلکه موجب افزایش حس اعتماد، مشارکت و تاب‌آوری اجتماعی می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که مدیریت بحران هوشمند، صرفاً یک مسأله فناورانه نیست، بلکه پیوندی عمیق با حکمرانی داده، سرمایه اجتماعی و ظرفیت نهادی دارد.

در همین راستا، مقاله با طرح چارچوب «حاکمیت داده و اخلاق در هوش مصنوعی بشردوستانه» تأکید می‌کند که موفقیت سامانه‌های هوشمند بحران، منوط به شفافیت، توضیح‌پذیری، رعایت حریم خصوصی، کاهش سوگیری و پاسخگویی نهادی است. بدون توجه به این ابعاد، حتی پیشرفته‌ترین مدل‌های یادگیری عمیق نیز ممکن است به بی‌اعتمادی، نابرابری و ناکارآمدی منجر شوند. استفاده از ابزارهای توضیح‌پذیری، یادگیری فدرال و استانداردهای بین‌المللی مدیریت داده، گامی ضروری در جهت مشروعیت‌بخشی به تصمیمات مبتنی بر AI در شرایط بحرانی است.

در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که هوش مصنوعی نه یک راه‌حل مستقل، بلکه بخشی از یک اکوسیستم چندرشته‌ای در مدیریت بحران است که باید در تعامل با دانش محیطی، برنامه‌ریزی شهری، حکمرانی چندسطحی و مشارکت اجتماعی به‌کار گرفته شود. برای پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود تمرکز بیشتری بر مطالعات موردی بومی، ارزیابی تجربی عملکرد مدل‌ها در بحران‌های واقعی، و تحلیل اثرات اجتماعی و نهادی پیاده‌سازی AI در مدیریت بحران، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، صورت گیرد. چنین رویکردی می‌تواند مسیر گذار از مدیریت بحران سنتی به مدیریت بحران هوشمند، تاب‌آور و عادلانه را هموار سازد.



۵. مراجع

- [۱] Alexander, D. (2002). Principles of emergency planning and management. Terra Publishing.
- [۲] Banerjee, S., et al. (2020). Predictive analytics for humanitarian logistics in disaster management. International Journal of Disaster Risk Reduction, 47, 101564. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101564>
- [۳] Choubin, B., et al. (2020). A comparative study of machine learning methods for flood susceptibility mapping in Iran. Journal of Hydrology, 586, 124890. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124890>
- [۴] Crawford, K., & Calo, R. (2016). There is a blind spot in AI research. Nature, 538(7625), 311–313. <https://doi.org/10.1038/538311a>
- [۵] Doshi-Velez, F., & Kim, B. (2017). Towards a rigorous science of interpretable machine learning. arXiv preprint arXiv:1702.08608. <https://arxiv.org/abs/1702.08608>
- [۶] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT Press.
- [۷] Gupta, R., et al. (2016). Damage assessment of the 2015 Nepal earthquake using satellite imagery. Remote Sensing, 8(7), 577. <https://doi.org/10.3390/rs8070577>
- [۸] Hosseini, S. A., & Alesheikh, A. A. (2020). Earthquake prediction using deep learning techniques. Computers & Geosciences, 137, 104415. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2020.104415>
- [۹] Imran, M., Castillo, C., Lucas, J., Meier, P., & Vieweg, S. (2015). AIDR: Artificial intelligence for disaster response. Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web, 159–162. <https://doi.org/10.1145/2740908.2742711>
- [۱۰] Kapucu, N., & Garayev, V. (2011). Collaborative decision-making in emergency and disaster management. International Journal of Public Administration, 34(6), 366–375. <https://doi.org/10.1080/01900692.2011.562547>
- [۱۱] Khan, S., Qamar, S., & Ahmad, S. (2019). Optimizing disaster relief logistics in Puerto Rico using AI.