

از ثبت داده تا پیش‌بینی عملیات

چرا هوش مصنوعی باید وارد تصمیم‌گیری بندر شهید رجایی شود؟

مقاله تحلیلی-سیاستی

نویسنده: امیرحسین عبدی | مشاور امور بندری و لجستیک

چکیده

بندر شهید رجایی یکی از پیچیده‌ترین کانون‌های عملیاتی و لجستیکی کشور است؛ محیطی که در آن داده‌های مربوط به کشتی‌ها، کالاهای، کانتینرها، کامیون‌ها، تجهیزات، مجوزها و فرایندهای اجرایی به‌صورت مستمر تولید می‌شوند. در سال‌های اخیر نیز اقدامات مهمی برای الکترونیکی‌کردن و یکپارچه‌سازی بخشی از فرایندهای بندری انجام شده است. بااین‌حال، میان «ثبت و گزارش داده» و «استفاده از داده برای پیش‌بینی، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری» تفاوتی اساسی وجود دارد.

هوش مصنوعی در بسیاری از کاربردهای مشخص بندری، از پیش‌بینی زمان ورود کشتی و ازدحام کامیون‌ها تا برنامه‌ریزی منابع، مدیریت محوطه و نگهداری تجهیزات، دیگر صرفاً یک فناوری آزمایشی نیست. پرسش اصلی این مقاله آن نیست که آیا هوش مصنوعی می‌تواند تمام مشکلات بندر را حل کند؛ بلکه این است که چرا نباید از ظرفیت اثبات‌شده آن برای کاهش تصمیم‌های دیر هنگام و واکنشی استفاده کرد؟

این مقاله با رویکردی تحلیلی-سیاستی، شکاف میان داده و تصمیم را بررسی می‌کند، چند حوزه مناسب برای کاربرد هوش مصنوعی در بندر شهید رجایی را معرفی می‌کند و موانعی را توضیح می‌دهد که ممکن است سبب شوند داده‌ها و سامانه‌های موجود هنوز به نتایج ملموس عملیاتی منجر نشوند. پیشنهاد مقاله، آغاز یک پروژه عظیم و پرهزینه نیست؛ بلکه انتخاب یک مسئله محدود، استفاده از داده موجود اجرای یک پایلوت قابل سنجش و ارزیابی نتیجه واقعی آن است.

کلیدواژه‌ها: بندر شهید رجایی، هوش مصنوعی، مدیریت پیش‌بینانه، مدیریت داده، مدیریت دانش، تصمیم‌گیری بندری، تحلیل پیش‌بینانه

یادداشت روش‌شناختی

این نوشته یک پژوهش تجربی مبتنی بر دسترسی به داده‌های داخلی بندر شهید رجایی نیست. نویسنده به اطلاعات تفصیلی سامانه‌ها، قراردادهای فناوری، مدل‌های احتمالی در حال بهره‌برداری و شاخص‌های عملکرد قبل و بعد از اجرای پروژه‌های هوشمندسازی دسترسی نداشته است.

بنابراین، مقاله ادعا نمی‌کند که در بندر شهید رجایی هیچ استفاده‌ای از هوش مصنوعی صورت نگرفته است. گزاره دقیق‌تر آن است که در منابع عمومی، نتایج مستمر و قابل سنجشی که نشان دهد هوش مصنوعی به بخشی ملموس از تصمیم‌گیری روزمره بندر تبدیل شده، به‌روشنی مشاهده نمی‌شود.

تحلیل حاضر بر سه پایه استوار است: منابع و گزارش‌های عمومی مرتبط با تحول دیجیتال بندر شهید رجایی؛ پژوهش‌های علمی درباره کاربرد یادگیری ماشین و تحلیل پیش‌بینانه در عملیات بندری؛ و تجربه حرفه‌ای و شناخت عملیاتی نویسنده از محیط بندر، ترمینال کانتینری و زنجیره حمل‌ونقل.

هدف، صدور حکم قطعی درباره عملکرد سازمان یا مجموعه‌ای مشخص نیست؛ هدف، طرح یک پرسش مدیریتی و سیاستی ضروری است.

1. چرا هنوز پس از وقوع مسئله تصمیم می‌گیریم؟

صف کامیون‌ها معمولاً زمانی به مسئله مدیریتی تبدیل می‌شود که تشکیل شده است. تراکم محوطه، هنگامی در دستور کار قرار می‌گیرد که فضای عملیاتی محدود شده باشد. کمبود یک نوع کانتینر افزایش زمان انتظار کشتی، توقف تجهیزات یا اختلال در جریان خروج کالا نیز غالباً زمانی بیشترین توجه را جلب می‌کند که آثار آن بر عملیات، هزینه یا رضایت مشتری آشکار شده است.

در این شرایط، مدیران و کارشناسان ناچارند با دریافت گزارش، تماس با واحدهای مختلف، تشکیل جلسات فوری و صدور دستورهای اجرایی، وضعیت ایجادشده را کنترل کنند. چنین اقداماتی در زمان بحران ضروری است؛ اما یک پرسش اساسی همچنان باقی می‌ماند

آیا مسئله‌ای که اکنون برای مهار آن تلاش می‌کنیم، واقعاً قابل پیش‌بینی نبود؟

بخش مهمی از رویدادهای بندری کاملاً تصادفی نیستند. برنامه ورود کشتی، حجم عملیات، نرخ تخلیه و بارگیری، درصد اشغال محوطه، جریان ورود و خروج کامیون‌ها، وضعیت تجهیزات، فرایند صدور مجوزها و الگوهای روزهای مشابه، همگی نشانه‌هایی از وضعیت آینده در خود دارند.

ممکن است نتوان همه اختلال‌ها را با قطعیت پیش‌بینی کرد؛ اما می‌توان احتمال شکل‌گیری بسیاری از گلوگاه‌ها را پیش از تبدیل شدن آن‌ها به بحران برآورد کرد.

گزارش مدیریتی سنتی عمدتاً می‌گوید در گذشته چه اتفاقی افتاده است. تحلیل پیش‌بینانه باید به پرسش دیگری پاسخ دهد

با ادامه روند فعلی، در ساعات یا روزهای آینده چه اتفاقی محتمل است و اکنون چه اقدامی می‌تواند احتمال یا شدت آن را کاهش دهد؟

فاصله میان این دو پرسش، فاصله میان مدیریت واکنشی و مدیریت پیش‌بینانه است.

مدیریت واکنشی	مدیریت پیش‌بینانه
مسئله پس از آشکارشدن مدیریت می‌شود	احتمال مسئله پیش از وقوع ارزیابی می‌شود
تمرکز بر گزارش وضعیت موجود و گذشته است	تمرکز بر روند آینده و هشدار زودهنگام است
گزینه‌های اقدام محدود و پرهزینه‌ترند	زمان بیشتری برای انتخاب و هماهنگی وجود دارد
تصمیم عمدتاً تحت فشار بحران اتخاذ می‌شود	تصمیم در شرایط کنترل‌شده‌تر اتخاذ می‌شود
موفقیت با مهار بحران سنجیده می‌شود	موفقیت با پیشگیری یا کاهش آثار بحران سنجیده می‌شود

هوش مصنوعی در این میان، جایگزین مدیر نیست. ارزش آن در توانایی بررسی هم‌زمان حجم بزرگی از متغیرها، شناسایی الگوهای پنهان، برآورد احتمال رخدادها و مقایسه گزینه‌های مختلف تصمیم است.

مرور نظام‌مند ۷۰ پژوهش درباره کاربرد یادگیری ماشین در عملیات بندری نشان داده است که پیش‌بینی، مهم‌ترین حوزه استفاده از این فناوری است و کاربردهای تصمیم‌یار نیز در حال گسترش‌اند.

همین مطالعه دو خلأ مهم را شناسایی کرده است: بخش بزرگی از داده‌های بندری همچنان کمتر از ظرفیت خود استفاده می‌شوند و نمونه‌های استقرار مستمر و لحظه‌ای مدل‌های یادگیری ماشین در عملیات واقعی محدودند [۱].

این یافته اهمیت زیادی دارد. مسئله فقط «داشتن الگوریتم» نیست؛ مسئله آن است که مدل پیش‌بینی به جریان واقعی کار و اختیار تصمیم‌گیری متصل شود.

2. بندر شهید رجایی، محیط کم‌داده‌ای نیست

تقریباً هر رویداد عملیاتی در بندر ردی از اطلاعات ایجاد می‌کند: ورود کشتی، تخصیص اسکله، شروع و پایان عملیات، جابه‌جایی کانتینر، ورود و خروج کامیون، صدور مجوز، ثبت قبض انبار، وضعیت تجهیزات توقف‌های عملیاتی، تشریفات گمرکی و اتصال محموله به شبکه جاده‌ای یا ریلی.

از این منظر، مسئله بندر شهید رجایی فقدان مطلق داده نیست. در مرداد ۱۴۰۳، سامانه یکپارچه عملیات بندری در این بندر رونمایی شد. در مرحله نخست، فرایندهای ورود کالا از مسیر خشکی در آن پیاده‌سازی شد و یکپارچه‌سازی فرایندی، داده‌ای و نرم‌افزاری، ارتقای نظارت و بهبود خدمات به‌عنوان اهداف آن اعلام شد [۲].

این‌گونه اقدامات برای تحول دیجیتال بندر ضروری‌اند. بدون ثبت استاندارد رویدادها، ارتباط میان سامانه‌ها و دسترسی مناسب به اطلاعات، استفاده پایدار از تحلیل پیشرفته و هوش مصنوعی عملاً ممکن نیست.

بااین‌حال، باید میان چهار سطح متفاوت تمایز قائل شد:

سطح اول: ثبت داده — سامانه مشخص می‌کند چه رویدادی، در چه زمان و مکانی اتفاق افتاده است.

سطح دوم: گزارش‌گیری — داده‌های ثبت‌شده به شاخص‌ها، نمودارها و تصویری از وضعیت موجود یا گذشته تبدیل می‌شوند.

سطح سوم: پیش‌بینی — سامانه با استفاده از روندهای گذشته و وضعیت جاری، احتمال رخدادها را آینده را برآورد می‌کند.

سطح چهارم: تصمیم‌یاری — سامانه علاوه بر پیش‌بینی، گزینه‌های اقدام و پیامد احتمالی هر گزینه را در اختیار مدیر قرار می‌دهد.

یک بندر ممکن است در ثبت الکترونیکی و گزارش‌گیری پیشرفت قابل توجهی داشته باشد، اما همچنان در سطح پیش‌بینی و تصمیم‌یاری محدود باقی بماند.

داشبورد می‌تواند نشان دهد در سه ساعت گذشته چه تعداد کامیون وارد بندر شده‌اند؛ مدل پیش‌بینانه باید برآورد کند در سه ساعت آینده چه تعداد مراجعه خواهند کرد و احتمال شکل‌گیری گلوگاه در کدام نقطه بیشتر است.

گزارش موجودی می‌تواند درصد اشغال فعلی یک محوطه را نمایش دهد؛ تحلیل پیش‌بینانه باید مشخص کند با توجه به برنامه کشتی‌ها، جریان خروج و وضعیت کانتینرها، چه زمانی ممکن است ظرفیت محوطه از محدوده عملیاتی مناسب عبور کند.

داشتن سامانه به معنای هوشمندی نیست. هوشمندی زمانی شکل می‌گیرد که سامانه بتواند در تصمیمی واقعی و قابل سنجش، به مدیر کمک کند.

3. از داده تا تصمیم؛ حلقه‌ای که باید کامل شود

این گزاره که «بندر هوشمند از داده‌های باکیفیت آغاز می‌شود» در اصل درست است، اما کامل نیست. داده باکیفیت خودبه‌خود ایجاد نمی‌شود. کیفیت پایدار داده، محصول نظام مدیریت داده، استانداردهای مشترک، مالکیت روشن، کنترل خطا و حاکمیت اطلاعات است.

در محیط چندسازمانی بندر، داده مورد نیاز یک تصمیم ممکن است میان چند بازیگر توزیع شده باشد. مرجع بندری، اپراتورهای ترمینال، گمرک، خطوط و نمایندگان کشتیرانی، شرکت‌های حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی، صاحبان کالا و پیمانکاران تجهیزات و سامانه‌ها.

برای مثال، زمان خروج یک کالا فقط به عملکرد یک سازمان وابسته نیست. وضعیت اسناد، تشریفات گمرکی، مجوز بندری، آمادگی وسیله حمل، موقعیت کالا در محوطه و ظرفیت دروازه، همگی می‌توانند در آن مؤثر باشند.

بانک جهانی، سامانه جامعه بندری را بستری برای تبادل هماهنگ اطلاعات میان مدیریت بندر، گمرک، خطوط کشتیرانی، اپراتورها، شرکت‌های لجستیک و فورواردرها معرفی می‌کند. هدف چنین بستری صرفاً کاهش فرم‌ها نیست؛ بلکه ایجاد تصویری مشترک از عملیات، کاهش ورود تکراری اطلاعات و تسریع تصمیم‌گیری میان ذی‌نفعان است [۲].

اگر یک رویداد در سامانه‌های مختلف با شناسه‌ها، زمان‌ها یا تعاریف متفاوت ثبت شود، اتصال ظاهری، نرم‌افزارها لزوماً به یکپارچگی واقعی داده منجر نمی‌شود. الگوریتم نیز نمی‌تواند از اطلاعات ناقص، متناقض یا دیر هنگام، تصویری کاملاً دقیق از واقعیت بسازد.

اما حتی مدیریت داده نیز کافی نیست. بندر فقط با داده اداره نمی‌شود؛ بخش مهمی از تصمیم‌های عملیاتی بر دانش ضمنی مدیران و کارشناسان استوار است.

برنامه‌ریز باتجربه ممکن است از مجموعه‌ای از نشانه‌ها تشخیص دهد که زمان اعلام‌شده ورود یک کشتی واقع‌بینانه نیست. مدیر محوطه ممکن است بدون محاسبات رسمی متوجه شود که ترکیب خاصی از کانتینرها در روزهای آینده جابه‌جایی‌های اضافی ایجاد خواهد کرد. مسئول تجهیزات نیز ممکن است از تغییر رفتار دستگاه، احتمال خرابی را زودتر تشخیص دهد.

هوش مصنوعی زمانی به ابزار مؤثر مدیریتی تبدیل می‌شود که داده‌های رسمی را با دانش عملیاتی متخصصان ترکیب کند؛ نه آنکه خود را جایگزین تجربه آن‌ها بداند.

مدل مفهومی: از داده تا تصمیم و یادگیری سازمانی



شکل ۱ - زنجیره تبدیل داده و دانش عملیاتی به تصمیم و یادگیری سازمانی

در AI، این زنجیره نشان می‌دهد که هوش مصنوعی یک نرم‌افزار مستقل یا نقطه شروع تحول نیست. میانه یک نظام مدیریتی قرار دارد و ارزش آن به کیفیت حلقه‌های قبل و بعد وابسته است.

4. هوش مصنوعی دقیقاً چه کاری برای مدیر بندر انجام می‌دهد؟

در فضای عمومی، هوش مصنوعی گاهی با چت‌بات‌ها، تولید متن یا اتوماسیون کامل اشتباه گرفته می‌شود. در عملیات بندری، مهم‌ترین ظرفیت آن در چهار سطح تحلیل قرار دارد:

- **تحلیل توصیفی:** چه اتفاقی افتاده است؟
- **تحلیل تشخیصی:** چرا اتفاق افتاده است؟
- **تحلیل پیش‌بینانه:** در آینده چه اتفاقی محتمل است؟
- **تحلیل تجویزی:** در برابر وضعیت پیش‌بینی‌شده، چه گزینه‌هایی وجود دارد و نتیجه احتمالی هر گزینه چیست؟

هوش مصنوعی بیشترین ارزش مدیریتی خود را در دو سطح آخر ایجاد می‌کند؛ جایی که داده از گزارش گذشته به ابزاری برای مدیریت آینده تبدیل می‌شود.

بانک جهانی و انجمن بین‌المللی بنادر و لنگرگاه‌ها، هوش مصنوعی، تحلیل پیشرفته، اینترنت اشیا و دوقلوی دیجیتال را از فناوری‌هایی می‌دانند که بنادر هوشمند برای ارتقای عملکرد، رقابت‌پذیری و پایداری به کار می‌گیرند. در عین حال، مسیر پیشنهادی آن‌ها از ایجاد زیرساخت‌های پایه دیجیتال و تبادل اطلاعات آغاز می‌شود، نه از خرید یک فناوری منفرد [۴].

در بندر روتردام، داده‌های عمومی، اطلاعات شرکت‌های مشارکت‌کننده و پیش‌بینی‌های تولیدشده ترکیب می‌شوند تا اطلاعات دقیق‌تری PortXchange توسط کاربردهای هوش مصنوعی در سامانه درباره فراخوان کشتی و برنامه‌ریزی عملیات در اختیار ذی‌نفعان قرار گیرد [۵].

در سنگاپور، دوقلوی دیجیتال دریایی داده‌های زنده و تاریخی بندر را با شبیه‌سازی و مدل‌سازی ترکیب می‌کند تا کاربران بتوانند سناریوهای مختلف را پیش از اجرای واقعی آزمایش کنند، شکاف منابع را نیز از هوش مصنوعی برای digitalPORT@SG ببینند و ریسک تصمیم را کاهش دهند [۶]. سامانه بهینه‌سازی و زمان‌بندی منابع و برنامه‌ریزی به موقع حرکت کشتی‌ها استفاده می‌کند [۷].

این نمونه‌ها برای تقلید مستقیم مطرح نمی‌شوند. ساختار نهادی، منابع مالی و زیرساخت فناوری این بنادر با بندر شهید رجایی متفاوت است. اهمیت آن‌ها در اثبات یک اصل است

هوش مصنوعی در برخی کاربردهای مشخص بندری، از مرحله وعده و آزمایش نظری عبور کرده است.

5. سه مسئله مناسب برای شروع در بندر شهید رجایی

دامنه کاربردهای هوش مصنوعی در بندر گسترده است، اما مقاله حاضر آگاهانه بر سه مسئله متمرکز می‌شود؛ مسائلی که هم اهمیت عملیاتی دارند و هم قابلیت تبدیل شدن به پروژه‌های محدود و قابل سنجش را دارا هستند.

۱. پیش‌بینی ترافیک کامیون‌ها و ازدحام دروازه‌ها

ازدحام کامیون‌ها معمولاً حاصل یک متغیر منفرد نیست. برنامه عملیات کشتی، میزان ترخیص کالا، مجوزهای صادرشده، ساعات مراجعه، ظرفیت دروازه، محدودیت مسیرهای دسترسی، وضعیت محوطه و رفتار شرکت‌های حمل‌ونقل، همگی بر جریان تردد اثر می‌گذارند. پایش تصویری و شمارش تردد مشخص می‌کند اکنون چه وضعیتی وجود دارد. مدل پیش‌بینانه باید چند ساعت زودتر اعلام کند

با ادامه روند فعلی و بر اساس مجوزهای صادرشده و برنامه عملیات، احتمال افزایش شدید مراجعه و تشکیل صف در یک بازه زمانی مشخص وجود دارد.

این هشدار می‌تواند فرصتی برای تقویت موقت ظرفیت دروازه، تنظیم زمان مراجعه بخشی از ناوگان اطلاع‌رسانی به شرکت‌های حمل‌ونقل، هماهنگی با واحدهای مسئول مسیر دسترسی و تغییر اولویت برخی عملیات ایجاد کند.

سامانه‌های نوبت‌دهی کامیون در پایانه‌های کانتینری با هدف کاهش ازدحام، زمان انتظار و نوسانات مراجعه توسعه یافته‌اند. یک مرور جدید، این سامانه‌ها و الگوریتم‌های زمان‌بندی مرتبط را به‌عنوان ابزارهای مهم مدیریت جریان کامیون در پایانه‌ها بررسی کرده است [۸]

هدف واقع‌بینانه، حذف کامل ترافیک نیست. هدف آن است که مدیر، پیش از وقوع گلوگاه، زمان و امکان مداخله داشته باشد.

۲. پیش‌بینی ورود کشتی و برنامه‌ریزی اسکله و تجهیزات

تغییر زمان ورود یک کشتی می‌تواند تخصیص اسکله، جرثقیل، یدک‌کش، راهنما، نیروی انسانی محوطه و حمل پس‌کرانه را تحت تأثیر قرار دهد.

زمان اعلام‌شده ورود کشتی همواره با زمان واقعی یکسان نیست. شرایط سفر، آب‌وهوا، وضعیت بندر قبلی، سرعت حرکت و ترافیک دریایی می‌توانند برنامه را تغییر دهند.

کلان‌داده و الگوریتم‌های یادگیری ماشین در بنادر پیشرو برای افزایش AIS ابزارهای مبتنی بر داده‌های دقت برآورد زمان ورود کشتی و تولید هشدارهای به‌روز استفاده می‌شوند [۹]

جایگزین برنامه‌ریز اسکله نمی‌شود؛ بلکه به او کمک می‌کند زمان ورود را با اطلاعات AI، در این کاربرد جدید به‌روز کند، تأثیر تأخیر یک کشتی بر برنامه سایر کشتی‌ها را ببیند، سناریوهای مختلف تخصیص اسکله و تجهیزات را مقایسه کند و پیش از قطعی شدن اختلال، منابع را بازتنظیم کند.

ارزش مدل زمانی ایجاد می‌شود که به اطلاعات جاری متصل باشد و خروجی آن در زمان مناسب در اختیار فرد دارای اختیار تصمیم قرار گیرد.

۲. پیش‌بینی تراکم محوطه و وضعیت کانتینرها

مدیریت محوطه فقط به دانستن تعداد کانتینرهای موجود محدود نیست. مدیر باید بداند کدام کانتینرها احتمالاً زودتر خارج می‌شوند، کدام بلوک در حال حرکت به سمت تراکم نامطلوب است، چه نوع یا سائیزی از کانتینر ممکن است با کمبود مواجه شود و برنامه فعلی چه میزان جابه‌جایی اضافی ایجاد خواهد کرد.

دو محوطه ممکن است در یک لحظه درصد اشغال یکسانی داشته باشند، اما آینده عملیاتی متفاوتی داشته باشند. در یکی، بخش بزرگی از کانتینرها آماده خروج‌اند؛ در دیگری، موانع اسنادی یا حملی احتمال ماندگاری را افزایش داده‌اند.

مدل پیش‌بینانه می‌تواند احتمال خروج یا ماندگاری گروه‌های مختلف کانتینر را برآورد کند و این اطلاعات را در تصمیم‌های مربوط به چیدمان، تجهیزات و فضای محوطه به کار گیرد.

در مدیریت کانتینر خالی نیز پیش‌بینی تقاضا می‌تواند از کمبود کانتینر مناسب در محل نیاز، انتقال اضطراری و از دست رفتن فرصت بارگیری جلوگیری کند.

نشانه‌های مسئله پیش از آشکارشدن کامل آن در داده‌ها وجود دارند؛ اما تا زمانی که داده به پیش‌بینی و پیش‌بینی به اقدام متصل نشود، مدیریت پس از وقوع مسئله وارد عمل خواهد شد.

6. چرا نتیجه استفاده از هوش مصنوعی ملموس نیست؟

نبود نتایج عمومی و قابل سنجش می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد. این عوامل به‌عنوان فرضیه‌های تحلیلی مطرح می‌شوند و اثبات دقیق آن‌ها نیازمند دسترسی به اطلاعات و مصاحبه با مدیران کارشناسان و پیمانکاران مرتبط است.

۱. دیجیتالی‌شدن با هوشمندی اشتباه گرفته می‌شود

تبدیل فرم کاغذی به فرم الکترونیکی، ایجاد داشبورد، صدور مجوز دیجیتال و تجمیع گزارش‌ها مراحل مهمی هستند؛ اما هنوز به معنای پیش‌بینی یا تصمیم‌یاری نیستند. سامانه‌ای که وضعیت فعلی را با دقت بیشتری نمایش می‌دهد، شفافیت ایجاد کرده است؛ اما لزوماً مدیریت را پیش‌بینانه نکرده است.

۲. داده‌ها وجود دارند، اما یک تصویر مشترک ایجاد نمی‌کنند

داده‌های کشتی، محوطه، گمرک، کامیون، راه‌آهن و تجهیزات ممکن است در سامانه‌های جداگانه نگهداری شوند. حتی در صورت وجود ارتباط فنی، تعاریف، شناسه‌ها و زمان ثبت اطلاعات ممکن است کاملاً همسان نباشند. اگر مدل تنها بخشی از زنجیره را ببیند، پیش‌بینی آن نیز بخشی و محدود خواهد بود.

۳. پروژه از نام فناوری آغاز می‌شود، نه از مسئله مدیریتی

عباراتی مانند «سامانه هوش مصنوعی»، «دوقلوی دیجیتال» و «داشبورد هوشمند» جذاب‌اند؛ اما نقطه شروع حرفه‌ای باید یک تصمیم مشخص باشد: چه تصمیمی امروز دیر اتخاذ می‌شود؟ تأخیر در

آن چه هزینه‌ای دارد؟ کدام داده‌ها پیش از وقوع مسئله در دسترس‌اند؟ خروجی مدل به چه کسی تحویل داده می‌شود؟ آن شخص چه اقدامی می‌تواند انجام دهد؟ و موفقیت پروژه با چه شاخصی سنجیده می‌شود؟

۴. مدل پژوهشی وارد جریان کار نمی‌شود

فاصله زیادی میان مدلی که روی داده تاریخی آزمایش می‌شود و ابزاری که هر روز در عملیات مورد استفاده قرار می‌گیرد، وجود دارد. مدل عملیاتی باید به داده‌های جاری متصل باشد، خطاها و فقدان اطلاعات را مدیریت کند، خروجی قابل فهم تولید کند، در زمان مناسب هشدار دهد، نتیجه تصمیم را ثبت کند و بر اساس داده‌های جدید به‌روزرسانی شود.

۵. اقدام پس از هشدار تعریف نشده است

هشدار به‌تنهایی ارزش ایجاد نمی‌کند. اگر مدل احتمال افزایش ترافیک را اعلام کند، اما مسئول اقدام سطح اختیار و فرایند واکنش مشخص نباشد، خروجی مدل فقط گزارشی زود هنگام از مسئله خواهد بود. باید به یک پروتکل اجرایی متصل شود: چه سطحی از هشدار، چه اقدامی را، توسط چه AI، بود واحدی و در چه زمانی فعال می‌کند؟

۶. دانش بهره‌برداران در طراحی مدل نادیده گرفته می‌شود

مدلی که بدون مشارکت مدیران و کارشناسان عملیاتی طراحی شود، ممکن است از نظر آماری دقیق باشد اما محدودیت‌های واقعی بندر را نشان ندهد. تجربه افراد باید در انتخاب متغیرها، تعریف شرایط استثنایی، تعیین آستانه هشدار و تفسیر نتایج حضور داشته باشد.

۷. مالکیت، دسترسی و مسئولیت داده روشن نیست

در محیطی با چندین دستگاه دولتی و شرکت خصوصی، پرسش‌های مهمی درباره مالکیت داده، مجوز استفاده تحلیلی، سطح اشتراک اطلاعات، مسئولیت اصلاح خطا، محرمانگی تجاری و پاسخ‌گویی تصمیم‌های مبتنی بر مدل مطرح می‌شود. حل‌نشدن این مسائل می‌تواند پروژه را حتی در صورت آمادگی فنی متوقف کند.

۸. امنیت سایبری و استمرار عملیات جدی گرفته نمی‌شود

هرچه بندر دیجیتالی‌تر و متصل‌تر شود، وابستگی عملیات به سامانه‌ها و داده‌ها افزایش می‌یابد. بانک جهانی تأکید می‌کند که بنادر اکوسیستم‌هایی متصل‌اند و مدیریت مستمر ریسک‌های فناوری اطلاعات و فناوری عملیاتی، ارزیابی آسیب‌پذیری و برنامه تداوم کسب‌وکار ضرورت دارد [۱۰]. بنابراین، استفاده از هوش مصنوعی باید همراه با کنترل دسترسی، ثبت رخداد، حفاظت از اطلاعات و امکان ادامه عملیات در صورت اختلال سامانه باشد.

۹. موفقیت با خروجی فنی سنجیده می‌شود، نه نتیجه عملیاتی

تعداد داشبوردها، حجم داده، ظرفیت پردازشی یا درصد پیشرفت نرم‌افزار، معیار نهایی موفقیت نیست. معیار واقعی باید در کاهش زمان انتظار کامیون، کاهش تأخیر کشتی، کاهش جابه‌جایی اضافی کانتینر افزایش دقت برنامه‌ریزی تجهیزات، کاهش توقف ناشی از خرابی، کاهش تصمیم‌های اضطراری و صرفه‌جویی در زمان و هزینه دیده شود.

7. از کجا باید شروع کرد؟

پاسخ این مقاله ایجاد یک سازمان جدید یا آغاز طرحی گسترده و چندساله نیست. حرکت به سمت مدیریت پیش‌بینانه می‌تواند از یک مسئله واقعی، محدود و قابل سنجش آغاز شود.

یک مسئله، یک تصمیم، یک مالک، یک جریان داده و یک شاخص نتیجه

مرحله	پرسش کلیدی	خروجی
تعریف مسئله	کدام تصمیم دیر یا با عدم قطعیت زیاد گرفته می‌شود؟	صورت مسئله محدود
تعیین خط پایه	وضعیت فعلی چه هزینه، زمان یا اختلالی ایجاد می‌کند؟	شاخص قبل از اجرا
ارزیابی داده	چه داده‌ای وجود دارد و کیفیت آن چقدر است؟	مجموعه داده قابل استفاده
اجرای آزمایشی	آیا مدل می‌تواند مسئله را زودتر تشخیص دهد؟	دقت و میزان پیش‌آگاهی
اتصال به عملیات	چه کسی با دریافت هشدار چه اقدامی می‌کند؟	پروتکل اجرایی
سنجش نتیجه	آیا استفاده از مدل، شاخص عملیاتی را بهبود داد؟	مقایسه قبل و بعد
تصمیم توسعه	آیا ارزش ایجاد شده توسعه پروژه را توجیه می‌کند؟	توسعه، اصلاح یا توقف

برای نمونه، پروژه‌ای با عنوان کلی «هوشمندسازی ترافیک بندر» بسیار گسترده است. اما این هدف محدود، قابل اجرا و ارزیابی است: پیش‌بینی احتمال افزایش غیرعادی مراجعه کامیون‌ها در یک دروازه مشخص، چند ساعت پیش از شکل‌گیری صف.

مدل در مرحله نخست می‌تواند در کنار روش موجود فعالیت کند. پیش‌بینی‌های آن ثبت و با رخداد واقعی مقایسه شوند. پس از دستیابی به دقت مناسب، خروجی در اختیار مدیر عملیات قرار گیرد و تأثیر استفاده از هشدار بر زمان انتظار و تعداد شرایط بحرانی ارزیابی شود.

اگر نتیجه مثبت بود، پروژه توسعه یابد. اگر نتیجه کافی نبود، مدل اصلاح یا متوقف شود. این رویکرد هزینه و ریسک شکست را محدود می‌کند و اعتماد مدیران و بهره‌برداران را بر اساس نتیجه واقعی، نه تبلیغات فناوری، شکل می‌دهد.

8. هوش مصنوعی کامل نیست؛ اما نادیده گرفتن آن نیز حرفه‌ای نیست

مدل‌های هوش مصنوعی ممکن است خطا کنند. ممکن است شرایط استثنایی را تشخیص ندهند. تحت تأثیر داده نادرست قرار گیرند یا با تغییر الگوی عملیات، دقت سابق خود را از دست بدهند. بندر نیز زیرساختی حیاتی است. تصمیم‌های مرتبط با ایمنی، کشتی، کالا، تجهیزات و تردد را نمی‌توان بدون نظارت و پاسخ‌گویی به الگوریتم واگذار کرد.

اما این محدودیت‌ها دلیلی برای کنار گذاشتن هوش مصنوعی نیستند؛ دلیلی برای استفاده مسئولانه مرحله‌ای و تحت نظارت از آن هستند.

انتخاب واقعی میان «مدیر» و «ماشین» نیست. انتخاب میان مدیریتی است که عمدتاً پس از مشاهده آثار مسئله واکنش نشان می‌دهد و مدیریتی که از داده و مدل برای دیدن زودتر احتمال مسئله استفاده می‌کند.

هوش مصنوعی نباید مسئولیت مدیر را حذف کند. باید میدان دید، سرعت تحلیل و کیفیت گزینه‌های پیش‌بینی و سناریوها را ارائه می‌کند؛ مدیر با AI، در اختیار او را افزایش دهد. در یک الگوی مناسب توجه به تجربه، شرایط روز، محدودیت‌های اجرایی و مسئولیت سازمانی، تصمیم نهایی را می‌گیرد.

9. نتیجه‌گیری؛ هزینه ادامه مدیریت واکنشی چقدر است؟

بندر شهید رجایی در مرکز بخش بزرگی از تجارت و زنجیره تأمین کشور قرار دارد. پیچیدگی عملیات تنوع ذی‌نفعان و تعداد بالای رویدادهای روزانه، اداره آن را تنها با اتکا به تجربه فردی، گزارش‌های دوره‌ای و واکنش‌های سریع دشوارتر می‌کند.

در چنین محیطی، داده یک محصول جانبی عملیات نیست؛ بخشی از زیرساخت مدیریت است. اما تولید داده به‌تنهایی بندر را هوشمند نمی‌کند. ثبت الکترونیکی رویدادها، ایجاد سامانه و تهیه گزارش، هرچند ضروری‌اند، تا زمانی که به پیش‌بینی، هشدار و تصمیم بهتر منجر نشوند، تنها بخشی از مسیر تحول را طی کرده‌اند.

هوش مصنوعی نیز راه‌حل جادویی نیست. این فناوری نمی‌تواند جایگزین فرایند صحیح، داده معتبر دانش عملیاتی، مسئولیت مدیریتی و همکاری میان سازمان‌ها شود. با این حال، می‌تواند توان انسان را برای تشخیص الگو، بررسی هم‌زمان متغیرها، پیش‌بینی وضعیت آینده و مقایسه گزینه‌های تصمیم به‌طور جدی افزایش دهد.

کاربرد هوش مصنوعی در پیش‌بینی ورود کشتی، برنامه‌ریزی اسکله، مدیریت دروازه، کنترل تراکم محوطه، توزیع کانتینر خالی و نگهداری تجهیزات، دیگر صرفاً یک امکان نظری نیست. تجربه بنادر پیشرو و پژوهش‌های علمی نشان داده‌اند که این ابزارها در صورت دسترسی به داده مناسب و اتصال به جریان تصمیم‌گیری، می‌توانند ارزش عملیاتی ایجاد کنند.

کدام تصمیم‌های مهم بندر شهید رجایی هنوز بدون استفاده از ظرفیت پیش‌بینی داده‌ها اتخاذ می‌شوند و ادامه این شیوه تصمیم‌گیری چه هزینه‌ای برای بندر فعالان اقتصادی و زنجیره تأمین کشور دارد؟

اگر می‌توان احتمال تشکیل صف را زودتر تشخیص داد، انتظار برای شکل‌گیری آن منطقی نیست. اگر می‌توان زمان ورود کشتی را دقیق‌تر برآورد کرد، برنامه‌ریزی صرفاً بر اساس زمان‌های اعلامی کافی نیست.

اگر می‌توان تراکم آینده محوطه یا تقاضای کانتینر خالی را پیش‌بینی کرد، واکنش پس از شکل‌گیری کمبود یا ازدحام را نمی‌توان بهترین روش مدیریت دانست.

مطالبه این مقاله خرید گسترده تجهیزات، اجرای پروژه نمایشی یا ایجاد ساختار اداری جدید نیست. مطالبه آن ساده‌تر و بنیادی‌تر است.

در کنار هر گزارشی که می‌گوید در بندر چه اتفاقی افتاده است، باید به تدریج پاسخی نیز برای این پرسش ایجاد شود که در آینده نزدیک چه اتفاقی محتمل است و اکنون چه اقدامی باید انجام دهیم.

حرکت با دانش روز به معنای دنبال کردن هر فناوری تازه یا تقلید بی‌چون و چرا از بنادر دیگر نیست. معنای آن، استفاده سنجیده و مسئولانه از ابزاری است که در کاربردهای مشخص توانایی خود را نشان داده و می‌تواند مسئله‌ای واقعی را با دقت بیشتر، زمان کمتر یا هزینه پایین‌تر حل کند.

بندر هوشمند از خرید تجهیزات هوشمند آغاز نمی‌شود؛ اما در ثبت داده نیز متوقف نمی‌ماند.

هوشمندی واقعی از جایی آغاز می‌شود که داده‌های عملیات تصویری از آینده بسازند، تجربه متخصصان به دانش سازمانی تبدیل شود، مدیر پیش از وقوع مسئله هشدار دریافت کند، گزینه‌های اقدام را ببیند و نتیجه تصمیم دوباره به داده و دانش قابل استفاده برای تصمیم‌های بعدی تبدیل شود.

در بندر شهید رجایی، داده تولید می‌شود، تجربه عملیاتی وجود دارد و مسائل قابل پیش‌بینی کم نیستند. آنچه اکنون باید جدی‌تر مطالبه شود، تبدیل این ظرفیت‌ها به تصمیم‌هایی است که آثارشان نه در عناوین پروژه‌ها، بلکه در کاهش انتظار، افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه و روان‌تر شدن عملیات مشاهده شود.

هوش مصنوعی آینده دور صنعت بندری نیست؛ ابزار امروز برای مدیریت آینده نزدیک است.

پیشنهاد برای پژوهش‌های بعدی

- بررسی کیفیت، کامل بودن و قابلیت اتصال داده‌های عملیاتی موجود؛
- اندازه‌گیری زمان انتظار کامیون‌ها در ساعات و روزهای مختلف؛
- تحلیل عوامل مؤثر بر زمان ماندگاری کالا و کانتینر؛
- ارزیابی دقت زمان‌های اعلامی و واقعی ورود کشتی؛
- بررسی دلایل توقف و خرابی تجهیزات و امکان نگهداری پیش‌بینانه؛
- مصاحبه با مدیران و کارشناسان درباره موانع اعتماد و استفاده از خروجی مدل‌ها؛
- اجرای یک پایلوت محدود و مقایسه شاخص‌های عملیاتی پیش و پس از اجرا
- این مطالعات می‌توانند مشخص کنند کدام کاربرد هوش مصنوعی بیشترین ارزش عملیاتی و اقتصادی را برای بندر شهید رجایی ایجاد خواهد کرد.

منابع

1. Filom, S., Amiri, A. M., & Razavi, S. (2022). Applications of machine learning methods in port operations: A systematic literature review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 161, 102722. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102722>
۲. «پایگاه خبری وزارت راه و شهرسازی» (۱۴۰۳). سامانه یکپارچه عملیات بندری رونمایی شد.
۳. World Bank. (2023). *Port Community Systems: Driving Trade in the 21st Century*.
۴. World Bank & International Association of Ports and Harbors. (2021). *Accelerating Digitalization Across the Maritime Supply Chain*.
۵. Port of Rotterdam Authority. *PortXchange Synchronizer; Artificial Intelligence in the Port*.
۶. Maritime and Port Authority of Singapore. *Maritime Digital Twin*.
۷. Maritime and Port Authority of Singapore. *digitalPORT@SG*.
۸. Tang, G., et al. (2025). Truck Appointment Scheduling: A Review of Models and Algorithms. *Mathematics*, 13(3), 503. <https://doi.org/10.3390/math13030503>
۹. Port of Rotterdam Authority. *PortXchange Shiptracker: Big data and machine-learning algorithms for more accurate ETA*.
۱۰. World Bank. *Cybersecurity in Ports: Shifting from Risk to Resilience*.