

**گروه توسعه دریا- عادل لک علی آبادی و مهدی کامیاب رودسری** -مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که فناوری، در عصر جدید، به محرک اصلی تاب‌آوری بندری تبدیل شده است. بنادر، در واکنش به افزایش تهدیدات پیچیده از تغییرات اقلیمی و بحران‌های ژئوپلیتیکی گرفته تا حملات سایبری و اختلالات زنجیره تأمین به‌طور فزاینده‌ای به دیجیتالی سازی، اتوماسیون و حکمرانی داده‌محور روی آورده‌اند. این تحول فناوریانه اگرچه ظرفیت تصمیم‌گیری سریع‌تر، مدیریت پیش‌بینی و تداوم عملیاتی را تقویت می‌کند، اما هم‌زمان وابستگی‌های سیستمی و آسیب‌پذیری‌های جدیدی را نیز به وجود آورده است.

به گزارش اقتصادسرآمد، عادل لک علی آبادی – کارشناس سازمان بنادر و دریانوردی **adlak@pmo.ir** و مهدی کامیاب رودسری، مدیر توسعه زیرساختهای مسافری دریایی **mkamyab@pmo** در نوشتاری مشترک به سرآمد آورده است:

به‌طور خلاصه، تاب‌آوری بندری حاصل هم‌افزایی بین فناوری، حکمرانی و همکاری ذی‌نفعان است. فناوری زمانی می‌تواند تاب‌آوری را ارتقا دهد که در قالب چارچوبی جامع از حکمرانی داده، آموزش نیروی انسانی و ارزیابی مستمر ریسک‌های فناوریانه پیاده‌سازی شود. در نتیجه، تمرکز بر یکپارچه‌سازی نوآوری‌های فناوریانه با نظام مدیریت بندری و سیاست‌های پایداری، مسیر کلیدی برای دستیابی به بنادر تاب‌آور و رقابت‌پذیر در آینده محسوب می‌شود.

کلید واژه: تاب‌آوری بنادر، امنیت بنادر، حاکمیت بنادر، زنجیره تأمین، لجستیک بندری

#### مقدمه

حمل و نقل دریایی به‌عنوان شریان حیاتی تجارت جهانی، بیش از ۸۰ درصد مبادلات کلایی بین‌المللی را جابه‌جا می‌کند و به‌واسطه شبکه‌ای پیچیده از مسیرهای دریایی، بنادر و گذرگاه‌های راهبردی، زیربنای اصلی جهانی سازی و هم‌پوندی اقتصاد جهانی را تشکیل می‌دهد [۱]. بنادر دریایی، به‌عنوان گره‌های کلیدی این شبکه، نقش موتور محرکه در عملکرد اقتصادهای باز و عامل تعیین‌کننده در کارایی زنجیره تأمین جهانی دارند [۲].

برآوردها نشان می‌دهد هر سال بیش از ۱۶ تریلیون دلار کالا از مرزهای بین‌المللی عبور می‌کند و حدود چهارپنجم کالا‌های مصرفی روزمره از طریق حمل و نقل دریایی جابه‌جا می‌شود. براساس مطالعات انجام شده کاهش موانع موجود در زنجیره تأمین می‌تواند تجارت جهانی را تا ۱۵ درصد افزایش دهد و رشد اقتصادی و اشتغال‌زایی قابل توجهی ایجاد کند [۳]. تنها در سه‌ماهه نخست سال ۱۴۰۴، میلیون‌ها تن کالا در بنادر اصلی ایران تخلیه و بارگیری شده است که بیانگر اهمیت حیاتی این زیرساخت‌ها در توسعه ملی است.

بااین حال، در عصر کنونی بنادر در معرض فشارهای چند بعدی قرار دارند، تغییرات اقلیمی، بحران‌های ژئوپلیتیکی، انرژی و تهدیدات سایبری که همگی می‌توانند کارآمدی، قابلیت اطمینان، تاب‌آوری و پایداری آن‌ها را به چالش بکشند. در نتیجه، از دهه ۱۹۹۰ به بعد، سرمایه‌گذاری بنادر در فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات (ICT)، سامانه‌های دیجیتال و نوآوری‌های فناوریانه به‌طور فزاینده‌ای گسترش یافته است. فناوری‌های دیجیتال نظیر اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، بلاک‌چین، دوقلوی دیجیتال و تحلیل کلان‌داده‌ها به بنادر کمک می‌کنند تا با پایش بلادرنگ، پیش‌بینی اختلالات، و تصمیم‌گیری داده‌محور، توان انطباق و بازایی خود را در شرایط بحران افزایش دهند. بااین وجود، بهره‌گیری از فناوری علاوه بر فرصت‌ها، چالش‌های جدیدی، از جمله وابستگی فناوریانه، آسیب‌پذیری سایبری و نیاز به مهارت‌های دیجیتال جدید در نیروی کار ایجاد می‌کند [۴].

در چنین فضایی، تاب‌آوری بندری به‌عنوان قابلیت راهبردی برای حفظ تداوم عملکرد، بازایی سریع و انطباق با شرایط متغیر، به محور اصلی سیاست‌گذاری دریایی و بندری تبدیل شده است[ ۱]. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با رویکردی روایتی به تبیین نقش فناوری‌های نوین در تقویت تاب‌آوری بنادر



دهد. این مطالعه تأکید دارد که تساب‌آوری فناوریانه نه‌تنها به زیرساخت‌های فیزیکی بلکه به ساساختارهای نرم‌افزاری، حاکمیت دیجیتال و سرمایه انسانی وابسته است.

#### پیشینه پژوهش

ادبیات حوزه‌ی بندری در دهه‌ی اخیر نشان می‌دهد که امنیت، پایداری و تاب‌آوری به‌عنوان سه ستون اصلی مدیریت بندری مدرن به‌تدریج به یکدیگر پیوسته‌اند. بنادر امروزی دیگر صرفاً مکان‌های تخلیه و بارگیری کالا نیستند، بلکه گره‌های حیاتی شبکه زنجیره تأمین جهانی محسوب می‌شوند که هرگونه اختلال در عملکرد آن‌ها می‌تواند پیامدهای گسترده اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه داشته باشد[۲].

در گذشته، امنیت بندری عمدتاً به کنترل‌های فیزیکی، نظیر بازرسی محموله‌ها و حفاظت پیرامونی محدود می‌شد. اما با گسترش تهدیدات پیچیده نظیر حملات سایبری، تروریسم دریایی، تغییرات اقلیمی و اختلالات زنجیره تأمین جهانی (به‌ویژه در دوره همه‌گیری کرونا)، مفهوم امنیت به رویکردی چندبعدی، فناوریانه و شبکه‌ای تحول یافته است.

در این چارچوب، پژوهش‌های جدید بر این نکته تأکید دارند که تاب‌آوری بندری صرفاً به ظرفیت فیزیکی زیرساخت‌ها وابسته نیست، بلکه در تعامل میان ابعاد فناوریانه، سازمانی و زیست‌محیطی شکل می‌گیرد. این تحول مفهومی سبب شده است که فناوری‌های دیجیتال، علاوه بر ابزارهای کارایی، به مؤلفه‌های راهبردی در مدیریت بحران، تصمیم‌گیری بلادرنگ و پایداری عملیاتی تبدیل شوند[۳].

به‌طور کلی، براساس دیدگاه آنکتاد تاب‌آوری بندری بر سه محور بنیادین استوار است:

پیشگیری (Prevention): شناسایی زودهنگام تهدیدها از طریق سامانه‌های پایش هوشمند و هشدار اولیه؛

پاسخ و بازیابی (Response & Recovery): استفاده از ساختارهای مدیریتی و فناوری‌های دیجیتال برای تداوم عملکرد و بازگشت سریع به وضعیت عادی؛

انطباق و یادگیری (Adaptation): ایجاد نظام‌های یادگیرنده برای بهبود مستمر در برابر بحران‌های آینده.

در این میان، فناوری‌های نوین مانند بلاک‌چین و دوقلوی دیجیتال (Digital Twin) نقش کلیدی در تاب‌آوری ایفا می‌کنند، اولی با ایجاد شفافیت و امنیت در تبادلات داده و اسناد بندری، ریسک‌های اطلاعاتی را کاهش می‌دهد، و دومی با شبیه‌سازی بلادرنگ سناریوهای بحرانی، امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را برای مدیران بندر فراهم می‌سازد.

بااین حال، ادبیات موجود فنسآوری را عاملی دو گانه در

تاب‌آوری بندری می‌داند. از یک سو، فناوری‌هایی چون هوش مصنوعی (AI)، یادگیری ماشین (ML)، تحلیل کلان‌داده‌ها (Big Data Analytics)، اینترنت اشیا (IoT) و بلاک‌چین موجب بهبود دقت نظارت، پیش‌بینی اختلالات، و تسهیل هماهنگی میان ذی‌نفعان می‌شوند. اما از سوی دیگر، همین فناوری‌ها می‌توانند منجر به وابستگی سیستمی، افزایش ریسک نفوذ سایبری، و آسیب‌پذیری شبکه‌های دیجیتال شوند، به‌ویژه در بنداری که فاقد حکمرانی داده‌ای یکپارچه و

سیاست‌های امنیت سایبری منسجم‌اند [۴، ۵]. پژوهش‌های انجام شده نشان داده که بندر هوشمند (Smart Port) با بهره‌گیری از سیستم‌های مدیریت ایمنی (SMS) و سامانه‌های امنیتی و بهینه‌سازی یکپارچه، توانسته است سطح تاب‌آوری و ایمنی عملیاتی را به شکل محسوسی افزایش

بنادر را تشکیل می‌دهند. مرور پژوهش‌ها نشان می‌دهد که فناوری‌های زیر، محرک‌های اصلی تاب‌آوری بندری هستند:

۱) اینترنت اشیا (IoT) و سامانه‌های حسگر هوشمند:

ایجاد شبکه‌ای از حسگرها برای پایش بلادرنگ وضعیت اسکله‌ها، جرثقیل‌ها و محموله‌ها باعث بهبود مدیریت خطر و کاهش زمان واکنش در بحران می‌شود.

۲) دوقلوهای دیجیتال (Digital Twins): مدل مجازی بلادرنگ از بندر که امکان شبیه‌سازی سناریوهای بحرانی (مانند طوفان، ازدحام یا خرابی تجهیزات) را فراهم می‌کند. این فناوری با ترکیب داده‌های عملیاتی و پیش‌بینی تحلیلی، تصمیم‌گیری را در شرایط عدم قطعیت تسهیل می‌کند.

۳) هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین (Machine Learning): الگوریتم‌های AI با تحلیل داده‌های ترافیکی، آب‌وهوایی و عملیاتی، قادرند اختلالات احتمالی را پیش‌بینی کرده و راه‌حل‌های بهینه برای تخصیص منابع یا مسیرهای جایگزین ارائه دهند. این فناوری‌ها به سمت خودکارسازی تصمیم‌گیری‌های بحرانی در بنادر پیش می‌روند.

۴) بلاک‌چین (Blockchain): تضمین امنیت، شفافیت و غیر قابل تغییر بودن داده‌ها و اسناد حمل و نقل از طریق فناوری بلاک‌چین، خطر جعل و دست‌کاری داده را کاهش داده و در زمان بحران، تداوم زنجیره اسناد و اطلاعات را تضمین می‌کند.

۵) تحلیل کلان‌داده (Big Data Analytics): تحلیل حجم عظیمی از داده‌های عملیاتی، لجستیکی و زیست‌محیطی امکان شناسایی الگوهای آسیب‌پذیری و پیش‌بینی اثرات بحران‌ها را فراهم می‌کند. تصمیم‌گیری مبتنی بر داده به یکی از ستون‌های اصلی تاب‌آوری بندری تبدیل شده است.

۶) فناوری‌های انرژی پاک و مدیریت هوشمند زیرساخت‌ها: سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، ذخیره‌سازی انرژی و برق ساحلی در حفظ تداوم عملیاتی بندر در شرایط بحران‌های انرژی و تغییرات اقلیمی نقش حیاتی دارند. این فناوری‌ها علاوه بر تاب‌آوری، به پایداری زیست‌محیطی نیز کمک می‌کنند.

نتایج نشان می‌دهد که فناوری در بنادر دارای ماهیت دوگانه است. از یک سو، ابزار کلیدی در افزایش هوشیاری، پیش‌بینی بحران‌ها و ارتقای انعطاف عملیاتی محسوب می‌شود، از سوی دیگر، در صورت فقدان حکمرانی دیجیتال و زیرساخت‌های امنیتی، خود می‌تواند به عامل آسیب‌پذیری بدل گردد. بنابراین، تاب‌آوری فناوریانه زمانی تحقق می‌یابد که فناوری در چارچوبی از مدیریت ریسک، حاکمیت داده و آموزش انسانی نهادینه شود.

همچنین ساختار حکمرانیی و نظام تصمیم‌گیری بندری تعیین‌کننده نحوه استفاده از فناوری در مدیریت بحران‌ها است. در بنادر با ساختارهای متمرکز، سرعت تصمیم‌گیری بالا اما انعطاف پایین است، در مقابل، بنادر با نظام تمرکززا از ظرفیت انطباق منطقه‌ای و یادگیری سیستمی بیشتری برخوردارند.

در واقع، فناوری بدون ساختار حکمرانی مناسب، نمی‌تواند تاب‌آوری پایداری ایجاد کند، بلکه ممکن است به تاب‌آوری شکننده منجر شود، تاب‌آوری‌ای که در ظاهر بهبود یافته، اما در برابر اختلالات سیستمی آسیب‌پذیر باقی می‌ماند.

مضافاً فناوری‌های هوشمند (مانند AI و IoT+ Big Data) تنها در صورتی اثربخش‌اند که نیروی انسانی توان تحلیل داده‌ها، واکنش به اختلالات و تصمیم‌گیری تطبیقی را داشته باشد. از این منظر، تاب‌آوری بندری پدیده‌ای فناوریانه – انسانی است، یعنی تعامل بین فناوری‌های پیشرفته و ظرفیت‌های یادگیری نیروی کار است که پایداری واقعی را تضمین می‌کند.

هرچند دیجیتالی سازی بنادر باعث بهبود کارایی و پایداری شده است، اما چالش‌هایی نظیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا، نبود استانداردهای داده و تهدیدات سایبری، مانع تحقق کامل تاب‌آوری فناوریانه می‌شوند.

در این زمینه، بنداری که از فناوری برای پشتیبانی و تقویت تصمیم‌گیری انسانی بهره می‌گیرد، نه برای جایگزینی آن، معمولاً از سطح بالاتری از تاب‌آوری برخوردارند.

به صورت کلی این بخش بیانگر این است که، فناوری به‌تنهایی تاب‌آورنده نیست، بلکه در ترکیب با نظام تصمیم‌گیری مشارکتی و چارچوب حکمرانی داده‌محور است که می‌تواند توان بازایی و سازگاری بندر را در برابر بحران‌های آینده تضمین کند.

#### چالش‌ها وموانع

اگرچه پیشرفت‌های فناوریانه، نقش چشمگیری در بهبود تاب‌آوری، پایداری و کارایی بنادر ایفا می‌کنند، اما در عین حال موجب بروز چالش‌ها و آسیب‌پذیری‌های تازه‌ای نیز شده‌اند. مطالعات متعددی نشان می‌دهد که فنسآوری در بنادر دارای ماهیت دو گانه است، از یک‌سو موجب تقویت تاب‌آوری و بهبود کارایی بنادر می‌شود، و از سوی دیگر، منبعی بالقوه از وابستگی، پیچیدگی و تهدیدات تازه‌ای ایجاد می‌کند. بر این اساس، چالش‌های کلیدی مرتبط با نقش فناوری در تاب‌آوری بندری را می‌توان در پنج محور اصلی دسته‌بندی کرد.

۱) چالش‌های فناوریانه و فنی:

بسیاری از بنادر از سیستم‌های فناوری اطلاعات چند گانه و غیریکپارچه استفاده می‌کنند که تبادل داده و همکاری بین‌بخشی را دشوار می‌سازد. فقدان استاندارد برای تبادل داده‌های بندری، ریسک خطا و اختلال در سیستم را افزایش می‌دهد.

با افزایش سطح دیجیتالی سازی، تهدیدات سایبری به یکی از

«سرآمد» بررسی می‌کند؛

# تبیین نقش فناوری در تاب‌آوری بنادر کشور

جدی‌ترین چالش‌های تاب‌آوری بندری تبدیل شده است. حملات باج‌افزاری به سامانه‌های مدیریت ترافیک و پایانه‌های کانینتری می‌تواند کل زنجیره تأمین را مختل کند.

هرچند خودکارسازی باعث افزایش بهره‌وری می‌شود، اما در صورت بروز نقص نرم‌افزاری یا قطع ارتباط شبکه، می‌تواند کل عملیات را متوقف کند.

۲) چالش‌های سازمانی و بنیادی:

در بسیاری از بنادر، راهبردهای دیجیتال از راهبرد های کلان تاب‌آوری و پایداری جداطراحی می‌شوند. این تفکیک موجب فقدان هم‌راستایی نهادی و ضعف در یکپارچه‌سازی داده‌ها و

سیاست‌ها می‌شود.

اپراتورها، نهادهای دولتی و شرکت‌های حمل و نقل اغلب از سامانه‌های مستقل استفاده می‌کنند که همکاری بین‌سازمانی را تضعیف می‌کند.

۳) چالش‌های انسانی و مهارتی:

یکی از موانع مهم تحول فناوریانه در بنادر، کمبود مهارت‌های دیجیتال و تحلیلی در کارکنان است. گذار از بنادر سنتی به بنادر هوشمند نیازمند بازآموزی نیروی کار در حوزه‌های داده‌کاوی، امنیت سایبری و تحلیل پیش‌بینی است.

ورود فناوری‌های جدید گاهی با مقاومت فرهنگی یا نهادی روبه‌رو می‌شود، به‌ویژه در ساختارهای مدیریتی سنتی که اتوماسیون را تهدیدی برای نیروی انسانی تلقی می‌کنند.

۴) چالش‌های اقتصادی و مالی:

سسامانه‌هایی چون دوقلوهای دیجیتال، بلاک‌چین یا هوش مصنوعی به سرمایه‌گذاری اولیه و نگهداری مداوم نیاز دارند. در بنادر کوچک یا کشورهای در حال توسعه، کمبود منابع مالی مانع پیاده‌سازی فناوری‌های پیشرفته می‌شود.

در بسیاری از پروژه‌های دیجیتال، شاخص‌های سودآوری و اثربخشی بلندمدت به‌خوبی تعریف نشده‌اند و این مسئله موجب تردید در سرمایه‌گذاری پایداری می‌شود.

۵) چالش‌های زیست‌محیطی و پایداری:

استفاده از سامانه‌های خودکار و پردازش داده‌های عظیم، نیاز به انرژی بالا دارد که در صورت نبود زیرساخت انرژی پاک، ممکن است با اهداف پایداری در تضاد قرار گیرد.

همچنین نوسازی سریع تجهیزات و سامانه‌ها موجب افزایش پسماند فناوریانه و هزینه‌های زیست‌محیطی جدید می‌شود.

در مجموع، بهره‌گیری از فناوری برای افزایش تاب‌آوری بندری، هم فرصت و هم تهدید است. در یک سو، فناوری‌های دیجیتال موجب تصمیم‌گیری سریع‌تر، تداوم خدمات و کارایی بالاتر می‌شوند، اما در سوی دیگر، وابستگی سیستماتیک، حملات سایبری، کمبود مهارت و ضعف حکمرانی فناوری می‌توانند تاب‌آوری واقعی را تضعیف کنند.

نتیجه گیری و پیشنهادت

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که در عصر دیجیتال، فناوری به یکی از ارکان بنیادین تاب‌آوری بندری تبدیل شده است. بنادر کشور، به‌عنوان گره‌های حیاتی زنجیره تأمین جهانی، در مواجهه با تهدیدات متنوع از بلایای طبیعی تا حملات سایبری و اختلالات ژئوپلیتیکی ناگزیرند از فناوری‌های نوین برای حفظ تداوم عملیاتی و پایداری استفاده کنند.

بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که تاب‌آوری بندری مفهومی چندبعدی و پویا است که نوآوری فناوریانه، سازگاری سازمانی و درهم‌تنیدگی سیستم‌ها را با یکدیگر تلفیق می‌کند.

این پژوهش تأیید می‌کند که فناوری صرفاً ابزاری فنی نیست، بلکه یک توانمندساز سیستمی است که می‌تواند با بهبود ارتباطات، تحلیل داده و خودکارسازی فرآیندها، ظرفیت بازایی و سازگاری بندر را در شرایط بحران افزایش دهد. بااین حال، بهره‌گیری از فناوری بدون حکمرانی داده‌محور، امنیت سایبری و آموزش مستمر نیروی انسانی، می‌تواند به وابستگی و شکنندگی بیشتر منجر شود.

در نتیجه، تساب‌آوری فناوریانه بندر تنها زمانی تحقق می‌یابد که تحول دیجیتال در چارچوبی یکپارچه، ایمن و یادگیرنده طراحی شود. بنداری که فناوری را با حکمرانی و فرهنگ سازمانی سازگار ادغام کرده‌اند، توانسته‌اند در بحران‌های اخیر مانند کووید-۱۹ تداوم عملکرد خود را حفظ کنند.

بر این اساس، مجموعه‌ای از پیشنهادات برای سیاست‌گذاران و نهادهای دریایی کشور ارائه می‌شود:

۱) تدوین پروتکل‌های امنیت سایبری بندری بر اساس استانداردهای IMO برای کاهش تهدیدات دیجیتال.

۲) طراحی چارچوب حکمرانی داده برای مدیریت اشتراک، امنیت و مالکیت داده‌های بندری.

۳) ایجاد نظام ملی و منطقه‌ای تساب‌آوری بندری با محوریت وزارتخانه‌ها و سازمان‌های دریایی.

۴) توسعه راهبردهای هم‌راستامیان دیجیتالی سازی، تاب‌آوری و پایداری زیست‌محیطی در اسناد راهبردی بنادر.

۵) بهره‌گیری از سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در فناوری‌های کلیدی مانند دوقلوهای دیجیتال، حسگرهای IoT و سامانه‌های هوش مصنوعی برای پایش، پیش‌بینی و واکنش سریع به بحران‌ها.

۶) ایجاد پلتفرم‌های داده مشترک برای تبادل اطلاعات میان سازمان بنادر و دریانوردی، اپراتورها، گمرک و شرکت‌های حمل و نقل.

۷) حمایت از توسعه فناوری‌های انرژی پاک به‌عنوان بخش مکمل تاب‌آوری زیست‌محیطی.

۸) طراحی و اجرای برنامه‌های آموزشی تخصصی در حوزه تحول دیجیتال بندری، تحلیل داده و امنیت سایبری.

منابع موجود است



### فرباعزیزی - اقتصاد سرآمد