نقش بنادر هوشمند در توسعه زیربنایی و پایداری سواحل جنوبی ایران (مطالعه موردی: مکران)

مقاله علمی -پژوهشی

مانی مقدم، دانش آموخته کارشناسی ارشد، اداره مدیریت سواحل سازمان بنادر و دریانوردی، تهران، ایران
*مونا مقدم (نویسنده مسئول)، کارشناس پژوهشی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.moghadam@bhrc.ac.ir

دریافت:۱۴۰۵/۰۳/۲- پذیرش:۱۴۰۵/۰۸/۰۵
صفحه ۳۸۴-۳۷۳

چکیده

تحقق اقتصاد دریامحور در ایران بدون توسعه زیرساختی و فناورانه بنادر امکان‌پذیر نیست. در سال‌های اخیر، هوشمندسازی بنادر به‌عنوان یکی از ارکان اصلی نوسازی و پایداری زیربنایی سواحل مورد توجه کشورهای پیشرو دریایی قرار گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی نقش کلیدی بنادر هوشمند در توسعه زیربنایی و پایداری سواحل جنوبی ایران، به‌ویژه در منطقه استراتژیک مکران، انجام شده است. روش تحقیق در این مطالعه از نوع توصیفی-تحلیلی بوده و با استفاده از تحلیل دقیق اسناد بالادستی، مطالعات تطبیقی و بررسی تجارب موفق جهانی، راهبردهای مناسب برای کشور ایران پیشنهاد می‌شود. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که هوشمندسازی بنادر می‌تواند ضمن افزایش چشمگیر بهره‌وری لجستیکی و کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل، موجب بهبود شاخص‌های محیط‌زیستی، تقویت رقابت‌پذیری منطقه‌ای و ارتقای جایگاه استراتژیک ایران در شبکه حمل‌ونقل دریایی بین‌المللی گردد. براین‌اساس، استقرار زیرساخت‌های دیجیتال مدرن، توسعه بنادر سبز، اتصال هوشمند بنادر به شبکه‌های ریلی و جاده‌ای و همچنین جذب سرمایه‌گذاری‌های خصوصی، از الزامات بسیار کلیدی جهت تحقق توسعه پایدار در تمامی سواحل جنوبی کشور به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: بنادر هوشمند، توسعه زیربنایی، پایداری ساحلی، مکران، اقتصاد دریامحور

۱-مقدمه

سواحل و بنادر، ستون فقرات توسعه دریامحور هر کشور به شمار می‌آیند و نقشی اساسی در شکل‌دهی به شبکه‌های حمل‌ونقل، تجارت بین‌المللی، امنیت انرژی و رشد اقتصادی دارند.(UNCTAD, 2023) در دهه‌های اخیر، تحولات فناورانه و دیجیتالی موجب تغییر بنیادین در ساختار بنادر جهان شده و مفهوم «بندر هوشمند» به‌عنوان نسل نوین زیرساخت‌های بندری و لجستیکی مطرح گردیده است (Belmoukari et al., 2023). بنادر هوشمند با بهره‌گیری از فناوری‌هایی همچون اینترنت اشیاء[1]، هوش مصنوعی، کلان‌داده و بلاک‌چین، قادرند فرآیندهای بندری را بهینه‌سازی، هزینه‌ها را کاهش و بهره‌وری زیست‌محیطی را افزایش دهند(Acciaro & Sys, 2020).

ایران با برخورداری از موقعیت ژئواستراتژیک ممتاز و سواحل طولانی در جنوب کشور، به‌ویژه در امتداد دریای عمان و خلیج‌فارس، ظرفیت بالایی برای توسعه بنادر و شکل‌دهی به اقتصاد دریامحور دارد. (Shayan et al., 2022) با این وجود، فرسودگی زیرساخت‌ها، ضعف در اتصال حمل‌ونقلی، کمبود فناوری‌های نوین و محدودیت سرمایه‌گذاری خصوصی، از موانع اساسی در بهره‌گیری کامل از این ظرفیت‌ها

به شمار می‌روند. (Wanaen Research Center, 2024) در این میان، منطقه مکران به‌عنوان محور راهبردی توسعه سواحل جنوبی کشور، در سیاست‌های کلان نظام و اسناد بالادستی مورد تأکید ویژه قرار گرفته است. (Supreme Council for Marine Economy, 2023) با توجه به تأکید سیاست‌های کلی نظام بر توسعه دریامحور و بندرمحور، نوسازی و هوشمندسازی بنادر ایران باید نه صرفاً به‌عنوان یک پروژه فنی، بلکه به‌عنوان یک راهبرد ملی در جهت رشد پایدار، ارتقای رقابت‌پذیری منطقه‌ای، کاهش آثار زیست‌محیطی و بهبود تاب‌آوری اقتصادی مورد توجه قرار گیرد. براین‌اساس، پژوهش حاضر در پی پاسخ به پرسش‌های زیر است:

-بنادر هوشمند چه نقشی در ارتقای زیرساخت‌های ساحلی و توسعه پایدار مناطق جنوبی ایران دارند؟

-چه چالش‌هایی در مسیر هوشمندسازی بنادر ایران، به‌ویژه در منطقه مکران، وجود دارد؟

-چه راهبردهایی می‌تواند به کارگیری فناوری‌های نوین بندری را در راستای تحقق اقتصاد دریامحور تسهیل کند؟

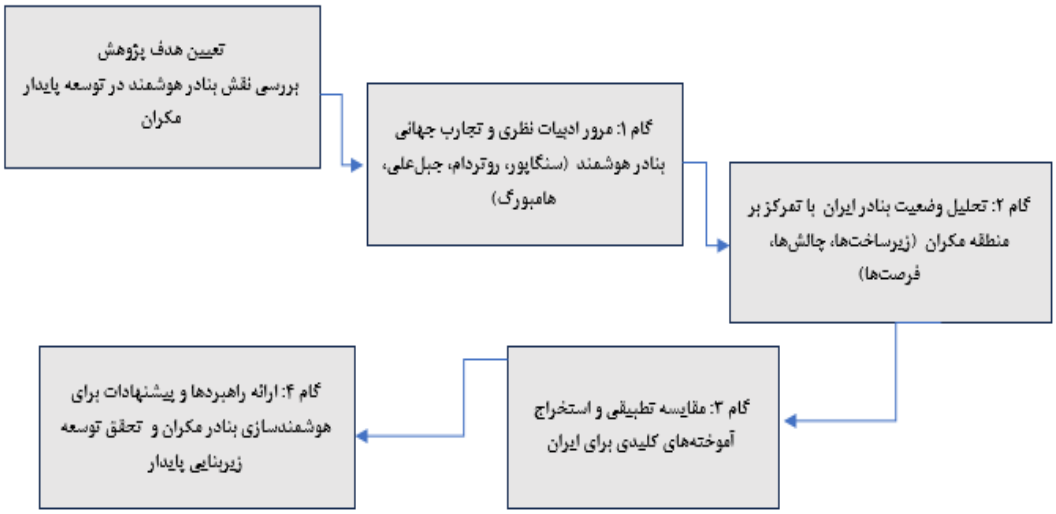
۲- پیشینه تحقیق

در دهه‌های اخیر، نقش بنادر در زنجیره تأمین جهانی از یک مرکز بارگیری سنتی به یک هاب لجستیکی دیجیتال تغییر یافته است. (Acciaro & Sys, 2020) این تحول با ظهور فناوری‌های نوین نظیر اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی و تحلیل کلان‌داده، زمینه‌ساز شکل‌گیری مفهوم «بندر هوشمند» شده است. (Belmoukari et al., 2023) بنادر هوشمند نه‌تنها موجب افزایش کارایی عملیات بندری می‌شوند، بلکه در ارتقای شفافیت، کاهش مصرف انرژی، کنترل آلاینده‌ها و بهبود پایداری زیست‌محیطی نیز مؤثر هستند.(UNCTAD, 2023) با وجود این پیشرفت‌ها، بنادر ایران هنوز در مرحله‌گذار از زیرساخت‌های سنتی به زیرساخت‌های هوشمند قرار دارند. چالش‌های ساختاری، فناورانه و مدیریتی از جمله فقدان زیرساخت دیجیتال، نبود نظام داده‌محور برای مدیریت عملیات بندری، ضعف در اتصال ریلی و جاده‌ای به پس‌کرانه‌ها، و کمبود سرمایه‌گذاری خصوصی، باعث شده است تا بنادر کشور از رقابت با بنادر پیشرفته منطقه مانند جبل‌علی (امارات) و صحار (عمان) بازبمانند.(Shayan et al., 2022) در سطح سیاست‌گذاری نیز هرچند اسناد بالادستی کشور مانند سیاست‌های کلی توسعه دریامحور (Supreme Council for Marine Economy, 2023) و برنامه هفتم توسعه بر توسعه زیربنایی و هوشمندسازی بنادر تأکید دارند، اما شکاف میان اهداف اسنادی و اقدامات اجرایی همچنان مشهود است. نبود راهبرد جامع برای هوشمندسازی بندری، ضعف هماهنگی بین دستگاه‌های اجرایی و کمبود دانش تخصصی در مدیریت بنادر نسل چهارم، مانع تحقق سیاست‌های اعلامی، شده است (Wanaen Research Center, 2024). منطقه مکران به‌عنوان محور اصلی توسعه سواحل جنوبی ایران، ظرفیت تبدیل‌شدن به الگوی ملی در استقرار بنادر هوشمند را دارد. با این حال، توسعه زیرساخت‌های هوشمند در این منطقه هنوز در مراحل ابتدایی است و بخش عمده فعالیت‌ها محدود به ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی سنتی بوده است. (Supreme Council for Marine Economy, 2023) در چنین شرایطی، پرسش اساسی این پژوهش آن است که چگونه می‌توان با بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند، بنادر منطقه مکران را به موتور محرک توسعه پایدار و زیربنایی سواحل جنوبی کشور تبدیل کرد؟

۲-۱-روند کلی پژوهش

پژوهش حاضر در راستای تبیین نقش بنادر هوشمند در توسعه زیربنایی و پایداری سواحل جنوبی ایران، به‌ویژه منطقه مکران، با رویکردی توصیفی-تحلیلی انجام گرفته است. روش گردآوری داده‌ها بر پایه مطالعات اسنادی، تحلیل تطبیقی تجارب جهانی و بررسی اسناد بالادستی ملی بوده است.

در گام نخست، ادبیات نظری و تحولات جهانی در حوزه بنادر هوشمند بررسی شد. در گام دوم، وضعیت فعلی بنادر ایران و جایگاه منطقه مکران تحلیل گردید. در گام سوم، با مقایسه تطبیقی میان تجارب جهانی (مانند سنگاپور، روتردام **و** جبل‌علی) و شرایط ایران، آموخته‌های کلیدی استخراج شد. در نهایت، نتایج حاصل به‌صورت مجموعه‌ای از راهبردها و پیشنهادات ارائه گردیده است. روندنمای انجام این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. روندنمای کلی پژوهش

۲-۲-تحولات جهانی و گذار به بنادر نسل چهارم

تحولات صنعتی قرن بیست‌ویکم، به‌ویژه در حوزه‌های فناوری اطلاعات، اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی و لجستیک هوشمند، موجب دگرگونی عمیق در ساختار بنادر جهان شده است. در گذشته، بنادر صرفاً نقش تسهیل انتقال کالا را داشتند، اما در دهه اخیر به گره‌های اطلاعاتی و مراکز مدیریت زنجیره تأمین جهانی تبدیل شده‌اند. (Belmoukari et al., 2023) در این مدل جدید، داده و فناوری جایگزین ابزارهای سنتی تصمیم‌گیری شده‌اند؛ یعنی همان‌قدر که وجود جرثقیل، اسکله و انبار برای یک بندر ضروری است، وجود شبکه داده، سیستم‌های هوشمند و زیرساخت دیجیتال نیز حیاتی است.

از بندر سنتی تا بندر هوشمند تحول بنادر را می‌توان در چهار نسل تاریخی خلاصه کرد(Acciaro & Sys, 2020).

نسل اول: بنادر صرفاً برای تخلیه و بارگیری دستی طراحی شده بودند؛ کارایی پایین و تکیه بر نیروی انسانی.

نسل دوم: ظهور تجهیزات مکانیزه و جرثقیل‌های کانتینری در نیمه دوم قرن بیستم.

نسل سوم: تمرکز بر لجستیک و زنجیره تأمین، شکل‌گیری بنادر صنعتی و مناطق آزاد تجاری.

نسل چهارم (بنادر هوشمند): استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای یکپارچه‌سازی فرآیندها، مدیریت خودکار، و تصمیم‌گیری داده‌محور. در بنادر نسل چهارم، تعامل بین انسان و ماشین به سطح جدیدی رسیده است.

این بنادر با استفاده از حسگرها، الگوریتم‌های پیش‌بینی، سیستم‌های هوش مصنوعی و پلتفرم‌های ابری، قادر به پایش لحظه‌ای ترافیک، شرایط آب‌وهوا، و وضعیت تجهیزات بندری هستند.(Rodrigue & Notteboom, 2021) شکل ۲ تحولات جهانی و گذار به بنادر نسل چهارم را نشان می‌دهد.

۲-۳-ابعاد کلیدی بنادر هوشمند در سطح جهانی

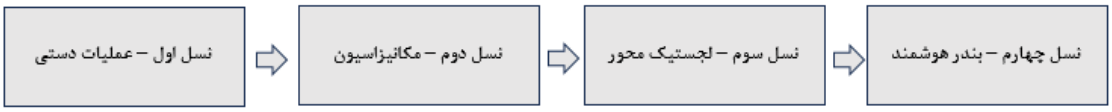
مطالعات بین‌المللی (Belmoukari et al., 2023; UNCTAD, 2023)نشان می‌دهد که بنادر هوشمند چهار ویژگی اصلی دارند:

-دیجیتالی‌سازی فرآیندها: همه مراحل بندری از رزرو اسکله تا ترخیص کالا در بستر پلتفرم‌های ابری انجام می‌شود.

-تحلیل داده و تصمیم‌گیری هوشمند: داده‌ها به‌جای گزارش‌گیری صرف، برای تصمیم‌سازی استراتژیک استفاده می‌شوند.

-پایداری زیست‌محیطی: استفاده از فناوری‌های کم‌مصرف، انرژی تجدیدپذیر و کنترل آلودگی.

-اتصال بین‌سیستمی و همکاری ذی‌نفعان: شرکت‌های حمل‌ونقل، گمرک، بیمه و خطوط کشتیرانی در شبکه‌ای مشترک همکاری می‌کنند.



شکل ۲. تحولات جهانی و گذار به بنادر نسل چهارم

۳-وضعیت کنونی بنادر ایران و ظرفیت‌های منطقه مکران

ایران با دارا بودن بیش از ۵۸۰۰ کیلومتر نوار ساحلی در شمال و جنوب کشور، جایگاهی ممتاز در نقشه دریایی منطقه دارد. سواحل جنوبی ایران در امتداد خلیج‌فارس و دریای عمان قرار گرفته‌اند و از دیدگاه ژئواستراتژیک، پل ارتباطی شرق و غرب در کریدورهای بین‌المللی تجارت محسوب می‌شوند (Shayan et al., 2022).

۳-۱-چالش‌های کلیدی در وضعیت فعلی بنادر ایران

مطالعات میدانی و گزارش‌های سازمان بنادر و دریانوردی (۱۴۰۲) نشان می‌دهد که روند توسعه بنادر کشور بیشتر بر گسترش فیزیکی و افزایش ظرفیت اسکله‌ها متمرکز بوده تا نوسازی فناورانه و دیجیتالی. در نتیجه، بازدهی عملیاتی بنادر ایران نسبت به ظرفیت واقعی آن‌ها پایین است.

۳-۱-۱-فقدان سامانه‌های هوشمند لجستیکی

در بسیاری از بنادر ایران، ثبت ورود و خروج کشتی‌ها و محموله‌ها همچنان به‌صورت نیمه‌دستی انجام می‌شود. عدم وجود سامانه یکپارچه مدیریت بندری[۲] باعث شده اطلاعات بین گمرک، خطوط کشتیرانی و اپراتورهای بندری به‌صورت جزیره‌ای تبادل شود. این موضوع موجب تأخیر در ترخیص کالا و افزایش هزینه‌های عملیاتی شده است. (Acciaro & Sys, 2020)

۳-۱-۲-اتصال ناکافی به شبکه حمل‌ونقل زمینی

یکی از عوامل حیاتی در کارایی بنادر، اتصال مؤثر به پس‌کرانه‌های ریلی و جاده‌ای است. در حال حاضر، تنها بندر امام خمینی و بندر شهید رجایی به شبکه ریلی کشور متصل‌اند و این اتصال نیز از نظر ظرفیت ناکافی است.

در بسیاری از بنادر جنوبی مانند بوشهر، کنارک و چابهار انتقال کالا صرفاً از طریق کامیون انجام می‌شود که علاوه بر افزایش هزینه، موجب ترافیک و آلودگی زیست‌محیطی می‌گردد. (Wanaen Research Center, 2024)

۳-۱-۳-نبود هماهنگی نهادی

در نظام بندری ایران، چندین نهاد مختلف شامل سازمان بنادر و دریانوردی، گمرک، مناطق آزاد و سازمان محیط‌زیست به‌طور موازی فعالیت می‌کنند. نبود نظام حکمرانی یکپارچه باعث شده سیاست‌ها گاه متناقض یا هم‌پوشان باشند. به‌عنوان نمونه، در پروژه توسعه چابهار، هم‌زمان سه نهاد مختلف درگیر صدور مجوزها بوده‌اند، که این روند زمان‌بر و هزینه‌زا شده است. (Supreme Council for Marine Economy, 2023)

۳-۱-٤-محدودیت سرمایه‌گذاری خصوصی

کمبود سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های بندری یکی از چالش‌های جدی کشور است. بر اساس داده‌های سازمان برنامه و بودجه، بیش از ۷۰٪ پروژه‌های بندری از محل بودجه عمومی تأمین می‌شوند و سهم بخش خصوصی کمتر از ۲۰٪ است. نبود قوانین تضمین‌کننده بازگشت سرمایه، نرخ بالای ریسک سیاسی و ضعف در تسهیلات مالی، از موانع اصلی جذب سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی به شمار می‌آید.(Shayan et al., 2022)

۳-۱-۵-ضعف در زیرساخت دیجیتال و منابع انسانی

در حال حاضر، بیشتر بنادر کشور فاقد شبکه ارتباطی پایدار، سرورهای ابری امن و متخصصان حوزه فناوری اطلاعات بندری هستند. همچنین، رشته‌های دانشگاهی مرتبط با «مدیریت بندر هوشمند» در نظام آموزش عالی کشور به‌تازگی مطرح شده و هنوز نهادینه نشده‌اند. این مسئله باعث می‌شود وابستگی به شرکت‌های خارجی برای نصب و نگهداری تجهیزات دیجیتال افزایش یابد.(Belmoukari et al., 2023)

۳-۱-٦-فرصت‌های ویژه منطقه مکران

در میان سواحل جنوبی کشور، منطقه مکران (از بندر جاسک تا چابهار) جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌های توسعه ملی دارد. این منطقه به‌دلیل موقعیت استراتژیک در مجاورت دریای عمان، نزدیک‌ترین مسیر ایران به آب‌های آزاد بین‌المللی است و از نظر

ژئوپلیتیکی، اقتصادی و نظامی اهمیت حیاتی دارد. (Supreme Council for Marine Economy, 2023)

-مزیت‌های جغرافیایی و اقتصادی مکران

-دسترسی مستقیم به اقیانوس هند بدون عبور از تنگه هرمز؛ این ویژگی برای تجارت بین‌المللی و امنیت انرژی اهمیت دارد.

-قرارگیری در مسیر کریدور شمال–جنوب [3]که ایران را به روسیه، قفقاز و اروپا متصل می‌کند.

-وجود ظرفیت‌های طبیعی و بکر ساحلی برای ایجاد بنادر جدید و توسعه صنایع پتروشیمی، شیلات و انرژی‌های تجدیدپذیر.

-امکان تبدیل شدن به هاب صادراتی شرق کشور از طریق پروژه‌های چابهار، کنارک و منطقه آزاد مکران.

-طرح‌های کلیدی توسعه در مکران

-طرح توسعه بندر چابهار: این پروژه با مشارکت هند آغاز شده و هدف آن تبدیل چابهار به رقیب منطقه‌ای جبل‌علی است. با این حال، بخش عمده سرمایه‌گذاری‌ها در بخش اسکله و تجهیزات فیزیکی بوده و هنوز زیرساخت هوشمند و سامانه داده‌محور در آن مستقر نشده است.(UNCTAD, 2023)

-راه‌آهن چابهار–زاهدان :این پروژه می‌تواند نخستین گام در اتصال مکران به شبکه ریلی ملی باشد و بنادر منطقه را به پس‌کرانه‌های صنعتی شرق ایران متصل کند.

-ایجاد منطقه آزاد مکران :بر اساس مصوبه هیئت دولت (۱۴۰۱)، هدف از این طرح تبدیل مکران به محور توسعه صنعتی و لجستیکی کشور است، اما در عمل هنوز مدل حکمرانی و ساختار جذب سرمایه‌گذار خارجی مشخص نشده است.

-چالش پایداری محیطی در مکران

درکنار فرصت‌های اقتصادی، مکران دارای اکوسیستم‌های حساس ساحلی و زیستی است. ساخت‌وسازهای بدون ملاحظات زیست‌محیطی می‌تواند آسیب جدی به زیستگاه‌های مرجانی و منابع شیلاتی منطقه وارد کند. بنابراین، هرگونه توسعه بندری در مکران باید در چارچوب طرح جامع مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی (ICZM) انجام گیرد (Acciaro & Sys, 2020).

۳-۲- چالش‌ها و موانع تحقق بنادر هوشمند در ایران

۳-۲-۱- چالش‌های فناورانه

زیرساخت فناورانه، زیربنای اصلی بنادر هوشمند است. در ایران، نبود شبکه ارتباطی پایدار و کمبود زیرساخت فیبر نوری در بنادر اصلی، یکی از جدی‌ترین موانع محسوب می‌شود. بسیاری از بنادر کشور هنوز از سیستم‌های اطلاعاتی مستقل و غیرقابل‌ارتباط استفاده می‌کنند که منجر به جزیره‌ای شدن داده‌ها شده است. به‌عنوان مثال، سامانه‌های گمرکی و بندری در چابهار و بندر امام خمینی، به‌صورت جداگانه عمل می‌کنند و هیچ پلتفرم داده‌محور مشترکی برای تبادل اطلاعات وجود ندارد. این مسئله باعث کندی عملیات و ناهماهنگی در برنامه‌ریزی ترافیک دریایی شده است.(Wanaen Research Center, 2024)

۳-۲-۲- چالش‌های مدیریتی و سازمانی

ساختار مدیریتی بنادر ایران چندلایه و پراکنده است. نهادهایی چون سازمان بنادر و دریانوردی، مناطق آزاد، گمرک، وزارت راه و شهرسازی و سازمان محیط‌زیست هر یک بخش‌هایی از تصمیم‌گیری بندری را در اختیار دارند. این پراکندگی موجب فقدان مدیریت یکپارچه بندری[4] و کندی در اجرای سیاست‌های کلان شده است (Supreme Council for Marine Economy, 2023).

۳-۲-۳- چالش‌های مالی و سرمایه‌گذاری

یکی از مهم‌ترین موانع توسعه بنادر هوشمند، نبود مدل‌های پایدار تأمین مالی است. اقتصاد بنادر ایران به‌شدت به بودجه دولتی متکی است. در حالی‌که در جهان، مدل‌های مشارکت عمومی–خصوصی نقش محوری دارند (Acciaro & Sys, 2020). سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوشمند بندری نیازمند منابع مالی قابل توجه، بازگشت سرمایه بلندمدت و سیاست‌های حمایتی دولت است. اما در ایران، نبود چارچوب حقوقی مشخص برای تضمین سود سرمایه‌گذاران و ریسک بالای اقتصادی، مانع مشارکت شرکت‌های بین‌المللی شده است.

۳-۲-۴- چالش‌های قانونی و سیاستی

چارچوب قانونی کشور هنوز با الزامات بنادر هوشمند سازگار نیست. قوانین فعلی حوزه بنادر بیشتر بر عملیات سنتی تمرکز دارد و موضوعاتی چون مالکیت داده، امنیت سایبری، تبادل الکترونیکی اسناد و مسئولیت حقوقی داده‌ها در آن تعریف نشده است (Supreme Council for Marine Economy, 2023). به‌عنوان مثال، هنوز مشخص نیست مالک داده‌های دیجیتال مربوط به کشتی‌ها و محموله‌ها (در سامانه‌های هوشمند) کدام نهاد است؛ گمرک، اپراتور بندر، یا سازمان بنادر؟ این ابهام باعث شده بسیاری از شرکت‌های خارجی از به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها در پروژه‌های بندری ایران خودداری کنند.

۳-۲-۵- چالش‌های انسانی و آموزشی

بنادر هوشمند به نیروی انسانی چندمهارتی نیاز دارند که بتوانند هم فناوری‌های دیجیتال را بشناسند و هم عملیات بندری را درک کنند. در ایران، این نوع نیروی انسانی کمیاب است. بیشتر مدیران بنادر از رشته‌های مهندسی عمران یا حمل‌ونقل سنتی فارغ‌التحصیل شده‌اند و آشنایی محدودی با مفاهیمی چون هوش مصنوعی، تحلیل داده و سیستم‌های اطلاعات بندری دارند (Shayan et al., 2022). تجربه جهانی نشان می‌دهد که نیروی انسانی، عامل تعیین‌کننده موفقیت پروژه‌های هوشمندسازی است. در بنادر روتردام و سنگاپور، بخش قابل توجهی از بودجه پروژه‌های دیجیتال صرف آموزش، توانمندسازی و بازآموزی کارکنان شده است (Rodrigue & Notteboom, 2021).

۳-۲-۶- آموخته‌های تطبیقی از تجارب جهانی

بررسی تطبیقی تجارب موفق جهانی در حوزه بنادر هوشمند نشان می‌دهد که توسعه فناورانه به‌تنهایی عامل موفقیت نیست، بلکه مدیریت داده، یکپارچگی نهادی، مشارکت چندبازیگره و پایداری زیست‌محیطی نقش تعیین‌کننده‌تری دارند.

در واقع، کشورهای پیشرو با ترکیب فناوری و حکمرانی مؤثر، توانسته‌اند از بنادر خود به‌عنوان موتورهای رشد اقتصادی و نوآوری ملی بهره ببرند (Rodrigue & Notteboom, 2021). تحلیل این تجربه‌ها چهار محور کلیدی از «آموخته‌های جهانی» را برای ایران روشن می‌سازد.

۳-۲-۷-یکپارچگی داده‌ها و حکمرانی دیجیتال

یکی از موفق‌ترین الگوها در بنادر پیشرفته جهان، ایجاد سیستم یکپارچه تبادل داده بندری است. این مدل برای نخستین‌بار در بندر روتردام و سپس در بنادر سنگاپور، هامبورگ و آنتورپ توسعه یافت. در این مدل، تمام بازیگران زنجیره بندری، از خطوط کشتیرانی و گمرک گرفته تا شرکت‌های حمل‌ونقل و بیمه در یک بستر دیجیتال مشترک تبادل داده می‌کنند. نتیجه آن است که فرآیندهایی که پیش‌تر روزها زمان می‌بردند (مانند ثبت ورود کشتی یا ترخیص بار)، اکنون در چند دقیقه انجام می‌شوند (UNCTAD, 2023). از منظر حکمرانی دیجیتال، این سیستم موجب شفافیت، کاهش فساد اداری، افزایش کارایی و بهبود نظارت دولتی می‌شود. در ایران، فقدان چنین زیرساختی موجب جزیره‌ای شدن داده‌ها میان سازمان بنادر، گمرک و مناطق آزاد شده است. بنابراین، نخستین آموخته جهانی این است که تحقق بنادر هوشمند بدون حکمرانی داده و اتصال سیستمی ممکن نیست. بنادر ایران باید به سمت ایجاد سامانه ملی داده‌های بندری ایران[۱] حرکت کنند که در آن تمامی نهادها از یک پلتفرم مشترک برای تبادل و تحلیل داده استفاده کنند.

۳-۲-۸- مدل نوآوری باز و هم‌افزایی سه‌گانه

یکی از مؤلفه‌های کلیدی موفقیت بنادر هوشمند، به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته، استفاده از مدل نوآوری باز[۵] است. در این مدل، نوآوری صرفاً از درون سازمان بندری تولید نمی‌شود، بلکه حاصل همکاری میان سه نهاد اصلی – دولت، شرکت‌های فناوری و دانشگاه‌ها است. به‌عنوان مثال، در بندر روتردام، «مرکز نوآوری دیجیتال بندری[۶] «به‌عنوان شتاب‌دهنده تخصصی، بیش از ۲۰۰ استارتاپ دریایی را حمایت کرده است. این همکاری منجر به توسعه نرم‌افزارهای هوش مصنوعی برای پیش‌بینی ترافیک دریایی و تحلیل داده‌های لجستیکی شده است (Rodrigue & Notteboom, 2021). در بندر سنگاپور نیز مدل مشابهی پیاده‌سازی شده است: مؤسسه تحقیقاتی (MPA)[۷] در همکاری با دانشگاه ملی سنگاپور (NUS) پروژه‌های مشترک در حوزه رباتیک بندری، کشتی‌های خودران و امنیت سایبری را اجرا می‌کند. آموخته کلیدی برای ایران آن است که توسعه بنادر هوشمند نباید صرفاً به‌عنوان پروژه‌ای فنی در نظر گرفته شود، بلکه باید به‌صورت اکوسیستم نوآوری باز طراحی شود تا دانشگاه‌ها، شرکت‌های دانش‌بنیان و استارتاپ‌ها در آن نقش فعال داشته باشند.

٤-مشارکت عمومی–خصوصی (PPP) در توسعه زیرساخت‌ها

بنادر نسل چهارم با اتکا صرف به بودجه عمومی شکل نگرفته‌اند؛ بلکه با استفاده از مدل مشارکت عمومی–خصوصی[۸] توانسته‌اند هم منابع مالی پایدار جذب کنند و هم بهره‌وری را افزایش دهند (UNCTAD, 2023). در بندر جبل‌علی (امارات)، شرکت جهانی DP World با سرمایه‌گذاری مشترک دولت دبی و سرمایه‌گذاران خارجی، سامانه‌های هوشمند مدیریت کانتینر و خدمات دیجیتال مشتریان را توسعه داده است. این مشارکت موجب شد بندر ظرف کمتر از ده سال به یکی از کارآمدترین بنادر منطقه تبدیل شود. در مقابل، در ایران سهم سرمایه‌گذاری

بخش خصوصی در حوزه بندری بسیار محدود است (کمتر از ۲۰٪ طبق گزارش سازمان برنامه، ۱۴۰۲). نبود تضمین بازگشت سرمایه و چارچوب حقوقی شفاف باعث شده شرکت‌های داخلی و خارجی تمایل اندکی به ورود به پروژه‌های بندری داشته باشند.تجربه جهانی نشان می‌دهد که برای جلب مشارکت بخش خصوصی، دولت باید نقش تسهیل‌گر و تنظیم‌گر[۹] را ایفا کند، نه مجری. ایران نیز باید به‌جای مدل‌های سنتی پیمانکاری، از قراردادهای BOT و BLT برای جذب سرمایه‌گذار در پروژه‌های هوشمندسازی بنادر استفاده کند.

۴-۱-پایداری زیست‌محیطی و بنادر سبز

چهارمین درس جهانی، اهمیت پایداری زیست‌محیطی در بنادر هوشمند است. در بسیاری از کشورها، هوشمندسازی صرفاً به‌منظور افزایش کارایی نیست، بلکه برای کاهش اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های بندری به‌کار گرفته می‌شود (Acciaro & Sys, 2020).در بنادر اروپایی مانند هامبورگ و آنتورپ، فناوری‌های دیجیتال به‌صورت مستقیم برای پایش کیفیت هوا، مدیریت پسماند، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش آلودگی صوتی استفاده می‌شود. حسگرهای هوشمند در محوطه بندر داده‌های زیست‌محیطی را جمع‌آوری کرده و سامانه‌های هوش مصنوعی آن را تحلیل می‌کنند تا تصمیمات مدیریتی به‌صورت خودکار بهبود یابد. در بندر بارسلونا، طرح «Green Port Initiative» با هدف تبدیل بندر به منطقه صفر کربن تا سال ۲۰۳۰ در حال اجراست.

این طرح شامل استفاده از سوخت‌های پاک، انرژی خورشیدی در تجهیزات بندری و ایجاد مسیرهای سبز لجستیکی است (Belmoukari et al., 2023). برای ایران، به‌ویژه در منطقه مکران، این تجربه‌ها اهمیت مضاعفی دارد، زیرا سواحل مکران دارای اکوسیستم‌های شکننده و ارزشمند هستند. بنابراین، پروژه‌های هوشمندسازی بندری باید هم‌زمان با اصول توسعه پایدار اجرا شوند و معیارهایی مانند مصرف انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و حفظ تنوع زیستی در آن لحاظ گردد.

۴-۲-راهبردهای کلیدی برای توسعه بنادر هوشمند در منطقه مکران

منطقه مکران به‌عنوان محور اصلی سیاست‌های توسعه دریامحور ایران، ظرفیت آن را دارد که به نخستین آزمایشگاه ملی هوشمندسازی بنادر کشور تبدیل شود. با توجه به موقعیت ژئواستراتژیک و برخورداری از منابع طبیعی، تحقق این هدف نیازمند مجموعه‌ای از راهبردهای هم‌زمان در شش حوزه کلیدی است: سیاست‌گذاری، فناوری، نوآوری، سرمایه‌گذاری، منابع انسانی، و پایداری زیست‌محیطی.

۴-۳-سیاست‌گذاری کلان و حکمرانی بندری

راهبرد: تدوین سند ملی هوشمندسازی بنادر ایران با تعریف شاخص‌های عملکردی (KPI) مشخص برای منطقه مکران. تجربه کشورهای پیشرفته نشان می‌دهد که موفقیت بنادر هوشمند نیازمند چارچوب راهبردی ملی است که مسیر توسعه، نهادهای مسئول و شاخص‌های ارزیابی را به‌صورت دقیق تعیین کند (UNCTAD, 2023). در ایران، فقدان چنین سندی موجب شده سیاست‌ها در سطوح مختلف دستگاه‌های اجرایی پراکنده باشد. بنابراین، نخستین گام باید تدوین سند ملی توسعه بندر هوشمند مکران باشد که در آن مأموریت‌ها، ساختار حکمرانی داده، نظام هماهنگی بین‌سازمانی و شاخص‌های ارزیابی عملکرد (KPI) تعریف شود. این سند می‌تواند در شورای عالی توسعه دریامحور تصویب و به‌عنوان نقشه راه الزام‌آور برای تمام نهادهای بندری مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۴-زیرساخت فناوری و تحول دیجیتال

راهبرد: توسعه شبکه فیبر نوری، ایجاد پلتفرم داده بندری و سامانه‌های تحلیل هوشمند ترافیک در مکران.

زیرساخت فناوری، زیربنای اصلی بنادر هوشمند است. بر اساس مطالعات Wanaen Research Center (2024)، فقدان شبکه ارتباطی پایدار و پایگاه داده متمرکز از مهم‌ترین موانع توسعه بنادر ایران است. برای حل این چالش، باید پروژه‌ای ملی با محوریت ایجاد پلتفرم داده بندری مکران[۱۰] اجرا شود که در آن تمامی اطلاعات مربوط به کشتی‌ها، بارها، گمرک و لجستیک در یک بستر ابری مشترک تجمیع شود. این پلتفرم باید از فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای تحلیل ترافیک دریایی، پیش‌بینی ازدحام اسکله‌ها و مدیریت بهینه مسیرها استفاده کند. اتصال فیبر نوری بنادر چابهار، کنارک و جاسک نیز باید در اولویت برنامه وزارت ارتباطات قرار گیرد تا بستر دیجیتال مطمئن برای انتقال داده فراهم شود.

٤-٥- نوآوری، پژوهش و همکاری‌های علمی

راهبرد: تأسیس «مرکز نوآوری بندری مکران» با مشارکت دانشگاه‌های دریایی، شرکت‌های دانش‌بنیان و بخش خصوصی. در مدل نوآوری باز، بنادر نه فقط محل تخلیه و بارگیری، بلکه آزمایشگاه‌های نوآوری دریایی هستند (Rodrigue & Notteboom, 2021). بنادر سنگاپور و روتردام با ایجاد مراکز تحقیق و توسعه بندری، توانسته‌اند فناوری‌های خودکارسازی، رباتیک و پایش هوشمند را بومی‌سازی کنند. برای ایران نیز ضروری است مرکزی تحت عنوان« مرکز نوآوری بندر مکران»[11] ایجاد شود که مأموریت آن تحقیق، توسعه و بومی‌سازی فناوری‌های بندری (مانند رباتیک، حسگرهای هوشمند و سامانه‌های هوش مصنوعی) باشد. این مرکز می‌تواند با حمایت سازمان بنادر و همکاری دانشگاه‌های دریایی امام خمینی و چابهار، نقش حلقه ارتباط میان صنعت و دانشگاه را ایفا کند.

٤-٦-سرمایه‌گذاری و مدل‌های مالی پایدار

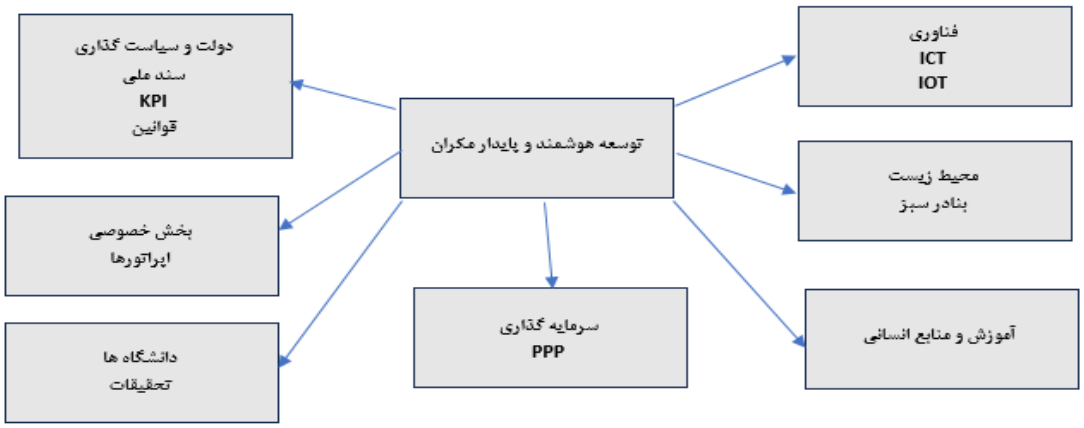
راهبرد : اجرای مدل مشارکت عمومی–خصوصی (PPP) برای جذب سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی، به‌ویژه در حوزه تجهیزات دیجیتال و فناوری‌های سبز. تحول دیجیتال در بنادر بدون منابع مالی پایدار امکان‌پذیر نیست. در شرایط محدودیت بودجه‌های دولتی،استفاده از قراردادهای BOT، BOO و PPP می‌تواند ابزار مؤثری برای توسعه زیرساخت‌ها باشد (Belmoukari et al., 2023). به‌عنوان مثال، در بندر جبل‌علی، مشارکت شرکت DP World با سرمایه‌گذاران خصوصی توانست هزینه پروژه‌های هوشمندسازی را تا ۳۰٪ کاهش دهد و بازدهی اقتصادی بندر را افزایش دهد. برای مکران نیز لازم است «صندوق توسعه بندری مکران» ایجاد شود که منابع آن از ترکیب سرمایه دولتی، بخش خصوصی و سرمایه‌گذاران خارجی تأمین گردد.

٤-٧-آموزش، منابع انسانی و انتقال دانش

راهبرد: راه‌اندازی رشته‌های تخصصی مانند «مدیریت بندر هوشمند» و «فناوری‌های دریایی» در دانشگاه‌های ساحلی جنوب کشور. تجربه جهانی نشان می‌دهد که سرمایه انسانی آموزش‌دیده، عامل کلیدی موفقیت بنادر هوشمند است (Acciaro & Sys, 2020). در حال حاضر، کمتر از ۵٪ نیروهای شاغل در بنادر ایران در حوزه‌های فناوری اطلاعات، هوش مصنوعی و تحلیل داده تخصص دارند. ضروری است دانشگاه‌های دریایی کشور، به‌ویژه در چابهار، بوشهر و بندرعباس، رشته‌ها و دوره‌های جدیدی در زمینه فناوری‌های دیجیتال بندری ایجاد کنند.

٤-٨-پایداری زیست‌محیطی و توسعه بنادر سبز

راهبرد: ایجاد بنادر سبز در مکران با استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیا برای پایش آلودگی، مصرف انرژی و کنترل اثرات زیست‌محیطی. در دهه اخیر، مفهوم بندر سبز [12] به‌عنوان بخش جدایی‌ناپذیر از بنادر هوشمند مطرح شده است. بنادر سبز از فناوری‌های دیجیتال برای پایش و کنترل انتشار کربن، مدیریت پسماند و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بهره می‌گیرند (UNCTAD, 2023). در مکران، با توجه به حساسیت اکولوژیکی سواحل و وجود تنوع زیستی بالا، توسعه بنادر باید بر مبنای مدیریت یکپارچه مناطق ساحلی (ICZM) و اصول توسعه پایدار انجام شود.



شکل ۳. اکوسیستم هوشمند بندری مکران

۵-نتیجه‌گیری

تحلیل انجام‌شده در این پژوهش نشان داد که گذار از بنادر سنتی به بنادر هوشمند در ایران، به‌ویژه در منطقه مکران، نه‌تنها یک ضرورت فناورانه، بلکه یک گزینه راهبردی برای توسعه زیربنایی و پایداری ملی است. بنادر هوشمند با تلفیق فناوری، داده و حکمرانی دیجیتال، می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد اقتصادی، کاهش هزینه‌های لجستیکی، ارتقای رقابت‌پذیری تجاری و حفاظت از محیط‌زیست ایفا کنند. مطالعه تطبیقی تجارب جهانی نشان داد که کشورهایی مانند هلند، سنگاپور و امارات، موفقیت خود را نه صرفاً از طریق سرمایه‌گذاری مالی، بلکه از رهگذر نوآوری نهادی و حکمرانی هوشمند به دست آورده‌اند. در مقابل، بررسی وضعیت ایران آشکار کرد که علی‌رغم وجود ظرفیت‌های جغرافیایی ممتاز و اسناد بالادستی مناسب، شکاف جدی در زیرساخت فناورانه، هماهنگی نهادی، و جذب سرمایه‌گذاری خصوصی وجود دارد. بر اساس یافته‌های این پژوهش، برای تحقق بنادر هوشمند در مکران و تبدیل این منطقه به هاب بندری هوشمند و پایدار ایران، مجموعه‌ای از اقدامات سیاستی و اجرایی پیشنهاد می‌گردد:

-تدوین سند ملی هوشمندسازی بنادر ایران: با مشارکت سازمان بنادر، وزارت راه و شهرسازی، وزارت ارتباطات و دانشگاه‌ها، باید سندی جامع تدوین شود که اهداف، شاخص‌ها (KPI) و برنامه زمان‌بندی توسعه بنادر هوشمند مکران را تعیین کند.

-ایجاد سامانه ملی داده‌های بندری : این سامانه باید به‌صورت یک پلتفرم یکپارچه بین گمرک، مناطق آزاد، خطوط کشتیرانی و اپراتورهای بندری عمل کند تا تصمیم‌گیری‌ها بر مبنای داده و هوش مصنوعی انجام گیرد.

-توسعه مشارکت عمومی- خصوصی: دولت باید نقش خود را از مجری به ناظر و تنظیم‌گر تغییر دهد و از طریق قراردادهای BOT و BLT زمینه ورود سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی به پروژه‌های بندری را فراهم کند.

-تأسیس مرکز نوآوری بندری مکران: این مرکز باید به‌عنوان هاب ملی نوآوری در حوزه فناوری‌های بندری و دریایی عمل کند، استارتاپ‌ها و دانشگاه‌ها را به شبکه بندری متصل کند و پروژه‌های فناورانه را حمایت نماید.

-ایجاد چارچوب حقوقی برای حکمرانی داده و امنیت سایبری: لازم است قوانین جدیدی برای مالکیت داده‌های بندری، امنیت اطلاعات تجاری و استانداردهای تبادل داده تدوین شود تا ریسک‌های سایبری به حداقل برسد.

-توسعه بنادر سبز و پایدار در مکران: استفاده از فناوری‌های هوشمند برای پایش آلودگی، کاهش مصرف انرژی و طراحی مسیرهای سبز لجستیکی باید در اولویت سیاست‌های محیط‌زیستی منطقه قرار گیرد.

-آموزش و تربیت نیروی انسانی متخصص: وزارت علوم و دانشگاه‌های دریایی باید رشته‌های جدیدی مانند «مدیریت بندر هوشمند» و «فناوری‌های دیجیتال دریایی» راه‌اندازی کنند تا نیاز بنادر نسل چهارم ایران را برآورده سازند.

در مجموع، مسیر هوشمندسازی بنادر ایران و توسعه مکران به‌عنوان محور جنوب کشور، نیازمند نگاه کل‌نگر، بین‌بخشی و آینده‌نگرانه است. تحقق این مسیر، مستلزم هم‌افزایی میان دولت، بخش خصوصی، دانشگاه‌ها و جامعه محلی است.

اگر این همکاری به‌صورت نظام‌مند شکل گیرد، مکران می‌تواند در افق ۱۴۱۰ به اولین بندر هوشمند، سبز و پایدار ایران تبدیل شود، نقطه‌ای که از آن، ایران جایگاه خود را در شبکه تجارت بین‌المللی بازخواهد یافت.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. IOT
2. Integrated Port Operation System (IPOS)
3. INSTC
4. Port Governance
5. Open Innovation
6. PortXL
7. Maritime and Port Authority (MPA)
8. Public- Private Partnership
9. Regulator
10. Makran Port Data Hub
11. Port Innovation Center of Makran
12. Green Port

۷-مراجع

-Acciaro, M., & Sys, C. (2020). Smart Ports and the Future of Maritime Logistics: A Systematic Review. J*ournal of Maritime Economics & Logistics,* 22(4), 567–586. **doi.org/10.1057/s41278-019-00131-4**

-Belmoukari, N., Koulali, Y., & El Kettani, M. (2023). Smart Port: A Systematic Literature Review. *Journal of Maritime Studies,* 49(2), 112–128.

-European Commission. (2022). Green Ports: EU Strategy for Sustainable and Smart Maritime Infrastructure. Brussels: *European Union Publications Office.*

-International Association of Ports and Harbors (IAPH). (2023). Port Community Systems and Digital Transformation Guidelines. Tokyo: *IAPH Press.*

-Ministry of Roads and Urban Development of Iran. (2024). Strategic Roadmap for Smart and Sustainable Maritime Infrastructure. Tehran: *Center for Infrastructure and Innovation Studies.*

-Organization of Ports and Maritime Affairs of Iran (PMO). (2023). Annual Report on Port Performance and Development Plans (1402). Tehran: *PMO Publications.*

-Rodrigue, J.-P., & Notteboom, T. (2021). Maritime Transport Systems: Evolution and Challenges in the Age of Digitalization. Transport Reviews, 41(5), 543–563. **doi.org/10.1080/01441647.2020.1857885**

-Shayan, A., Moshiri, S., & Rahimi, H. (2022). Challenges of Port Infrastructure Modernization in Iran. *Iranian Journal of Maritime Development,* 5(1), 45–61.

-Supreme Council for Marine Economy. (2023). National Marine-Oriented Development Policies of the Islamic Republic of Iran. *Presidential Center for Strategic Studies,* Tehran.

-UNCTAD. (2023). Review of Maritime Transport 2023. *United Nations Conference on Trade and Development,* Geneva.

-Wanaen Research Center. (2024). Technical and Structural Issues in Iran’s Ports. *Wanaen Institute for Economic and Maritime Studies.*

The Role of Smart Ports in Infrastructure Development and the Sustainability of Iran's Southern Coasts (Case Study of Makran)

Mani Moghaddam, M.Sc., Grad., Coastal Management Department, Ports and Maritime Organization (PMO), Tehran, Iran.

Mona Moghadam, *Research Expert, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.*

E-mail: m.moghadam@bhrc.ac.ir

Received: May 2026- Accepted: November 2026

ABSTRACT

Achieving a Sea-Based Economy in Iran: The Role of Smart Ports in Sustainable: The Role of Smart Ports in Sustainable Coastal Development. The realization of a sea-based economy development of its ports. In recent years, smartening ports has been recognized as a key pillar of modernization and sustainable coastal infrastructure by leading maritime nations. This research aims to examine the role of smart ports in the infrastructural development and sustainability of Iran's southern coasts, particularly in the strategic Makran region. The research methodology is descriptive-analytical, employing an analysis of upstream policy documents, comparative studies, and an examination of successful global experiences to propose appropriate strategies for Iran. The findings indicate that port smartification, while significantly enhancing logistical productivity and reducing transportation costs, can also improve environmental indicators, strengthen regional competitiveness, and elevate Iran's standing in the international maritime transportation network. Accordingly, the deployment of modern digital infrastructure, the development of green ports, the intelligent connection of ports to rail and road networks, and the attraction of private investment are identified as key requirements for achieving sustainable development along the country's southern coasts.

Keywords: Smart Ports, Infrastructural Development, Coastal Sustainability, Makran, Sea-based Economy