تاریخ دریافت: ۱۷ خرداد ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۷ آبان ۱۴۰۳ صفحات ۱۳۷ الی ۱۵۵

ارائه یک مدل ترکیبی مبتنی بر یادگیری ماشین برای پیش‌بینی تقاضای برق در برق‌رسانی فراساحلی با تاکید بر پایداری زیست‌محیطی در عملیات دریایی

میعاد منصورسمائی[۱و۲]، محمود مرادی[۳*]، کیخسرو یاکیده[۴]

[۱] دانشجوی دکتری، دانشگاه گیلان، دانشکده مدیریت و اقتصاد، رشت، ایران

[۲]پژوهشگر دکتری، دانشگاه توئنته، انسخده، هلند

m.mansoursamaei@utwente.nl

[۳]دانشیار دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

m.moradi@guilan.ac.ir

[۴]استادیار دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

yakideh@guilan.ac.ir

چکیده: لجستیک دریایی که یکی از ارکان تجارت جهانی به شمار می‌رود با چالش‌هایی از جمله تراکم بنادر و تاثیرات زیست‌محیطی مواجه است. این مقاله به بررسی امکان‌سنجی استفاده از انرژی الکتریکی سبز برای تامین برق کشتی‌ها در خارج از پایانه‌های بندری از طریق روش موسوم به سیستم خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک فراساحلی[۱] می‌پردازد. این مطالعه یک رویکرد یادگیری ماشین تحت عنوان مدل ترکیبی پشته‌ای هایبرید را برای پیش‌بینی تقاضای برق توسعه می‌دهد. تمرکز این تحقیق بر روی بندری در ایران[۲] بوده و مدل‌های مختلف یادگیری ماشین را در رویکرد پشته‌ای موازی ارزیابی می‌کند، و اثربخشی آن‌ها در پیش‌بینی مصرف انرژی برای تامین برق کشتی‌ها در خارج از بندر در مقایسه با هر یک از مدل‌ها نشان داده می‌شود. هدف این تحقیق ارتقاء پایداری در مصرف انرژی دریایی از طریق بررسی عملیات انتقال کارآمد انرژی‌های تجدیدپذیر در سناریوهای فراساحلی است. این امر شامل حذف مصرف سوخت‌های فسیلی توسط کشتی‌ها و انتقال به منابع تجدیدپذیر با استفاده از پیش‌بینی دقیق تقاضای برق می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که مدل ترکیبی MLP-GB در دستیابی به مقدار کمتر خطای میانگین مجذور مربعات[۳] نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری دارد که این امر پتانسیل آن برای پیش‌بینی دقیق را برجسته می‌سازد. یافته‌های این تحقیق به نقش حیاتی پیش‌بینی دقیق در ترویج جایگزینی منابع انرژی دریایی و همچنین کمک به تلاش‌های جهانی برای مقابله با تغییرات اقلیمی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در حوزه دریایی اشاره دارند.

کلمات کلیدی: لجستیک دریایی، برق‌رسانی فراساحلی، یادگیری ماشین، پیش‌بینی، تقاضای برق

* نویسنده مسئول

[1] Offshore Cold Ironing

[۲] نام بندر نزد سردبیر محفوظ است

[3] RMSE: Root Mean Squared Error

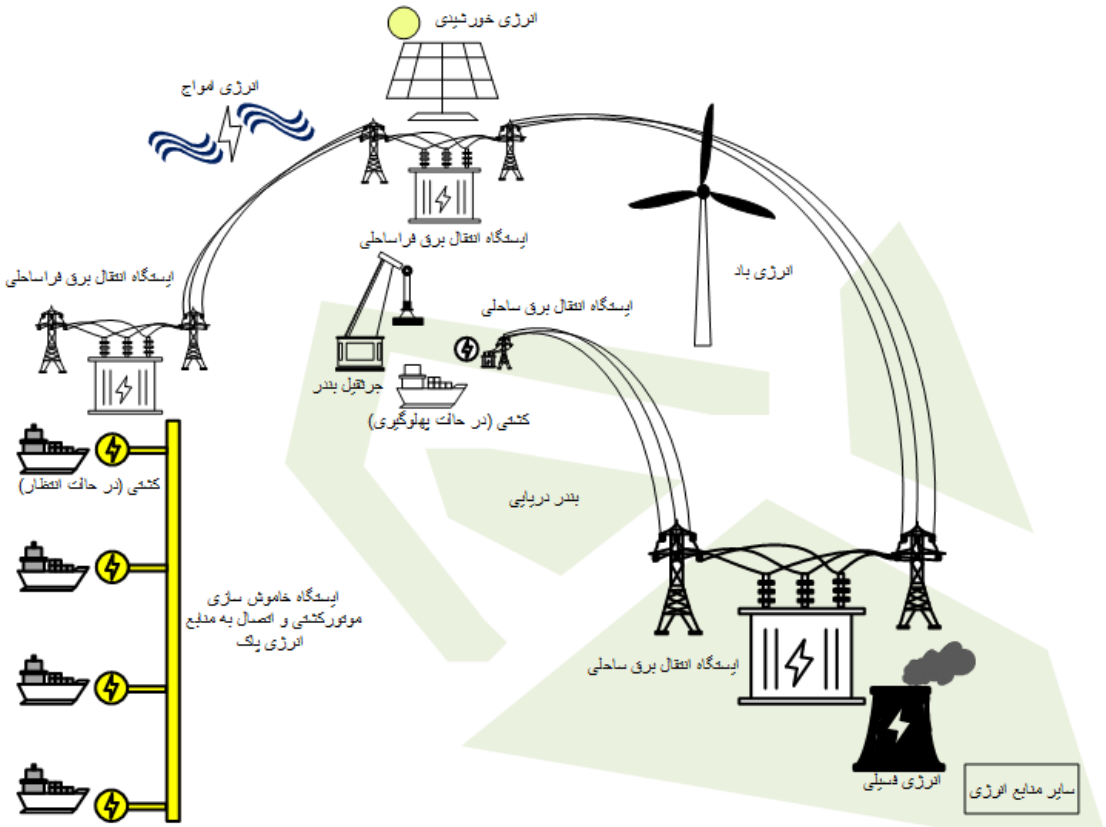
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۱. مقدمه

حمل و نقل دریایی به عنوان محرکی اساسی برای رشد اقتصادی، تقریبا ۸۰ درصد از تجارت بین‌المللی جهانی را به خود اختصاص داده است (Kweon et al., 2022). با این حال، افزایش ترافیک دریایی منجر به ازدحام قابل توجه در اسکله‌ها و ترمینال‌ها می شود و صف‌های روتینی را به دنبال دارد. عواملی مانند خرابی تجهیزات، کمبود نیروی انسانی، عدم وجود انبار و ظرفیت محدود اسکله در بنادر باعث تشدید زمان انتظار می‌شود (Monteiro et al., 2021). زمان انتظار کشتی‌ها در هنگام لنگرگیری در بنادر منجر به مصرف سوخت و آلایندگی قابل توجهی می‌شود. این امر به ویژه در شرایطی صادق است که کشتی‌ها برای تامین برق مورد نیاز مصرف داخلی، از جمله مصارف کمکی و روشنایی، موتورهای خود را روشن نگه می‌دارند. در پاسخ، خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک به عنوان یک استراتژی جایگزین برای کاهش مصرف سوخت از طریق خاموش کردن موتورها و دریافت برق داخلی از یک منبع خارجی مطرح می‌شود (Innes and Monios, 2018a).

یک نوآوری اخیر در این زمینه، پیشنهاد استفاده از بویه‌های شارژ شناور فراساحلی است که برق سازگار با محیط زیست را از طریق نیروگاه‌های بادی، سیستم‌های تبدیل انرژی حرارتی اقیانوس، انرژی موج و غیره برای کشتی‌ها فراهم می کند (Sruthy et al., 2021).

شکل ۱ ساختار مورد نظر یک سیستم خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک فراساحلی[1] را که در خارج از ترمینال در یک بندر دریایی قرار دارد، همانطور که در این پژوهش پیشنهاد شده است، نشان می‌دهد. این شکل همچنین نشان دهنده ادغام امکانات خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک در خشکی در کنار اسکله به همراه منابع مختلف انرژی، از جمله منابع تجدیدپذیر و سنتی است.



شکل ۱ ساختار برق‌رسانی فراساحلی

[1] Offshore Cold Ironing

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک به تامین انرژی تجدیدپذیر برای کشتی‌ها در حالت آماده به کار با موتورهای خاموش اشاره دارد (Innes and Monios, 2018a). اصطلاح خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک[1] ناشی از این واقعیت است که لوله‌های آهن در دودکش‌ها در طول این فرآیند غیرفعال هستند و به آن‌ها اجازه خنک شدن می‌دهد (Roĭan et al., 2019). این تکنیک را می‌توان بسته به موقعیت آماده به کار کشتی‌ها، به صورت فراساحلی یا درون ساحلی دسته‌بندی کرد. خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک درون ساحلی، کشتی‌ها را به منبع تغذیه ساحلی متصل می‌کند و نیازهای انرژی را در طول عملیات خدمات و باری در اسکله برآورده می‌کند (Spengler and Tovar, 2021a; Pʹerez Osses et al., 2022a; Sciberras et al., 2015a; Stolz et al., 2021).

پتانسیل کاهش قابل توجه انتشار آلاینده‌ها در بنادر و مناطق ساحلی، با حمایت قوانین موجود و پیشنهادی، علاقه به خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک را افزایش داده است (Martınez Lopez et al., 2021a; Colarossi et al., 2022; Nguyen et al., 2021; Sciberras et al., 2015a; Zis et al., 2020; Zis, 2019a; Martınez-Lopez et al., 2021b). در حالی که خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک درون ساحلی آلاینده‌ها را در اسکله برطرف می‌کند، کشتی‌ها در هنگام لنگر انداختن در مناطق انتظار قبل از ورود به بندر، آلاینده‌هایی منتشر می‌کنند. بنابراین، خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک فراساحلی پتانسیل بیشتری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد و تعداد قابل توجهی از کشتی‌ها را قبل از پهلوگیری در بر می‌گیرد (Roĭan et al., 2019).

در این پژوهش، بر خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک فراساحلی برای بنادر دریایی تمرکز می‌شود و روش‌هایی برای پیش‌بینی تقاضای برق توسط کشتی‌های لنگر انداخته در خارج از بندر پیشنهاد می‌شود. پژوهش حاضر مدل‌های یادگیری ماشین از جمله پرسپترون چندلایه[2]، تقویت گرادیان[3]، بردار پشتیبان رگرسیونی[4] و جنگل تصادفی[5] به صورت مستقل و همچنین بصورت ترکیبی MLP-GB، MLP-SVR، MLP-RF، GB-SVR، GB-RF و RF-SVR را مورد استفاده قرار می‌دهد که عملکرد آن‌ها را در ارائه پیش‌بینی‌های دقیق‌تر برای روندهای غیرخطی نسبت مورد مقایسه قرار می‌دهیم.

برای پر کردن شکاف‌های علمی و کمک به دانش موجود، بخش دوم به بررسی مسئله پژوهش پرداخته و در بخش سوم، به بررسی جامع ادبیات پرداخته شده و پیچیدگی‌های خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک و کاربرد مدل‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی در زمینه انرژی روشن شده است. پس از آن، بخش چهارم روش پژوهش را مورد بحث قرار می‌دهد و بینشی در مورد رویکردهای به کار رفته برای پیش بینی روندها ارائه می‌دهد. سپس در بخش پنجم از طریق یک مطالعه موردی متمرکز بر بندری واقعی اعمال و بررسی شده است. در نهایت، بخش ششم با پرداختن به محدودیت‌های پژوهش و مسیرهای بالقوه برای تحقیقات آتی، به پایان می‌رسد.

۱.۱. بیان مسئله

تمرکز پژوهش حاضر بر خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک فراساحلی برای کشتی‌های باری و تانکر است. هدف پژوهش، ارائه پیش‌بینی دقیق برای انرژی سبز مورد نیاز برای عملیات داخلی کشتی‌های لنگر انداخته در مناطق انتظار فراساحلی است. محرک این مطالعه نیاز به پیش‌بینی مصرف برق کشتی‌ها در وضعیت خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک است. پیش‌بینی‌های دقیق در این زمینه امکان برنامه‌ریزی تاکتیکی و استراتژیک برای مدیریت بهینه انرژی را فراهم می‌کند و استفاده کارآمد از منابع تجدیدپذیر، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش اثرات زیست‌محیطی را ترویج می‌کند و در نتیجه منجر به صرفه‌جویی در هزینه، مزایای اقتصادی و توسعه

[1] Cold Ironing
[2] Multi Layer Perceptron (MLP)
[3] Gradient Boosting (GB)
[4] Support Vector Regressor (SVR)
[5] Random Forest (RF)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

پایدار در مناطق بندری می‌شود. مورد مطالعاتی ما شامل تعداد زیادی کشتی با مصرف برق قابل توجه در وضعیت خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک است.

مدل‌های یادگیری ماشین با مدیریت موثر الگوهای زمانی مانند روندها و فصلی بودن در عین حال یادگیری مستقل وابستگی‌ها در طول زمان، مهارت استثنایی در پیش‌بینی سری‌های زمانی نشان داده‌اند (Aslam et al., 2021; Hafeez et al., 2020; Wen et al., 2020). با توجه به ماهیت پیش‌بینی سری‌های زمانی در مسئله حاضر، پیاده‌سازی مدل‌های رگرسیونی یادگیری ماشین شناخته شده و مدل‌های ترکیبی آن‌ها برای پیش‌بینی مصرف بار برق بررسی شده است (Khan et al., 2021; Imani, 2021; Memarzadeh and Keynia, 2021; Butt et al., 2022, Mansoursamaei et al., 2023).

داده‌های تاریخی مربوط به کشتی‌های لنگر انداخته در خارج از پایانه‌های بندر برای پیش‌بینی مصرف برق ایستگاه خاموش‌سازی موتورکشتی و استفاده از انرژی پاک فراساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیش‌بینی دقیق تقاضای انرژی، امکان انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر را فراهم می‌سازد و از کاهش و در نهایت حذف سوخت‌های فسیلی حمایت می‌کند. این انتقال با توسعه منابع انرژی پاک محلی تسهیل می‌شود و در نتیجه انتشار آلاینده ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. در صورت نبود پیش‌بینی قابل اعتماد، در مورد میزان انرژی مورد نیاز عدم اطمینان وجود خواهد داشت. این عدم اطمینان می تواند منجر به برنامه ریزی ناکافی ظرفیت شود که به طور بالقوه منجر به مازاد انرژی و در نتیجه اتلاف یا کمبود انرژی و نیاز به استفاده از سیستم‌های پشتیبان مانند سوخت‌های فسیلی شود. در نتیجه، وابستگی به سوخت‌های فسیلی افزایش یافته و منجر به انتشار بیشتر آلاینده و تخریب محیط زیست می‌گردد. در این پژوهش به منظور کاهش عدم اطمینان از میزان مصرف برق مورد نیاز کشتی‌ها درفراساحل در زمان انتظار پیش از پهلوگیری، مدل‌های مطرح در حوزه پیش‌بینی از جمله MLP، GB، SVR، RF و مدل‌های ترکیبی MLP-GB, MLP-SVR, MLP-RF, GB-SVR, GB-RF, RF-SVR مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند و مدل‌های برتر برای پیش‌بینی میزان مصرف برق در این عملیات بندری معرفی می‌گردند.

۲. مرور ادبیات

این مرور ادبیات به طور انتقادی دو حوزه را بررسی می‌کند. اول، به بررسی چشم‌انداز در حال تحول خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر[1] در عملیات بندری می‌پردازد و تاکید ویژه‌ای بر کاربردهای تثبیت‌شده آن در خشکی و مزایای بالقوه‌ای که در سناریوهای دریایی منتظر کشف هستند دارد. دوم، به بررسی ادغام یادگیری ترکیبی در پیش‌بینی مصرف انرژی می‌پردازد و به کاربردهای متنوع و اثربخشی آن در پیش‌بینی الگوهای مصرف انرژی اشاره می‌کند.

1.2. خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر

خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، یک نوآوری انقلابی در زمینه برق‌رسانی در عملیات دریایی است. این فناوری شامل تغییر منبع تامین انرژی کشتی از موتورهای دیزلی به برق تامین شده از ساحل در هنگام پهلوگیری می‌شود. این روش به عنوان یک منبع تغذیه جایگزین برای کشتی‌ها با استراتژی‌های بنادر سبز همسو بوده و با هدف مقابله با ردپای کربنی صنعت دریایی به‌کار می‌رود.

در حالی که خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر عمدتا در خشکی اعمال می‌شود، اما استفاده از این روش در فراساحل مزایای جدیدی را به همراه دارد، که با الهام از ادبیات موجود در مورد کاربردهای خشکی به دست آمده است. همانطور که ابوبکر[2] و همکاران (۲۰۲۳) اشاره کرده‌اند، خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در خشکی به طور گسترده در ادبیات مورد

[1] Cold Ironing
[2] Abu Bakar

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

بحث قرار گرفته است. این مطالعه بر خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر به عنوان جایگزینی برای کاهش کربن زایی کشتی تاکید می کند و بر کاهش مصرف سوخت و ارتقاء به سمت انتشار صفر آلاینده از طریق ترکیب با سیستم های میکرو شبکه تمرکز دارد.

علاوه بر این، بکر[1] و همکاران (۲۰۲۲) با معرفی پیش‌بینی پهلوگیری کشتی مبتنی بر داده برای خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، بر نقش آن در کاهش کربن زایی در هنگام پهلوگیری کشتی تاکید می کند .پیش‌بینی دقیق به مدیریت تخصیص اسکله و زمان‌بندی انرژی کمک می‌نماید. در این راستا، استراتژی پیشنهادی مبتنی بر داده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای بهبود دقت پیش‌بینی به منظور ارزیابی مصرف انرژی خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر و زمان خروج کشتی استفاده می کند.

کار کلاروسی[2] (۲۰۲۲) بر بهینه‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک/ذخیره انرژی/خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر با تاکید بر ملاحظات مربوط به هزینه چرخه عمر متمرکز است. اگرچه این مطالعه بر سناریوهای خشکی تمرکز دارد، اما بر پتانسیل خودکفایی انرژی در مناطق بندری تاکید می‌نماید و پیکربندی‌هایی را با کاهش قابل توجه کربن دی‌اکسید پیشنهاد می‌دهد.

پرز اوسس[3] و همکاران (۲۰۲۲b)، به بررسی استراتژی دو طرفه خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر یکپارچه با LNGبرای یک نفتکش در یک بندر شیلی می‌پردازند. این رویکرد با در نظر گرفتن اثرات زیست محیطی، عملکرد بهینه موتورهای کمکی را تسهیل می‌نماید و منجر به کاهش قابل توجه انتشار آلاینده‌ها می گردد.

اسپنگلر و توور[4] (۲۰۲۱b)، پتانسیل خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را برای کاهش اثرات خارجی ناشی از انتشار آلاینده‌های کشتی در بندر، با تمرکز بر سیستم بندری اسپانیا ارزیابی می کنند. برآوردهای هزینه خارجی اهمیت در نظر گرفتن تراکم جمعیت و ترکیب ترافیک را هنگام تصمیم‌گیری در مورد اجرای خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر نشان می‌دهد.

مارتینز-لوپز[5] و همکاران روشی را برای محاسبه هزینه‌های زیست محیطی خاص برای تشویق استفاده از خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در حمل و نقل دریایی کوتاه برد اروپا معرفی می‌نمایند. این رویکرد که بر برق پایدار در خشکی متکی است، در تحریک نوسازی کشتی‌ها برای استفاده از خاموش سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، به ویژه برای کشتی‌هایی با زمان پهلوگیری طولانی‌تر، موثر است.

مطالعه اینز و مونیوس[6] (۲۰۱۱b) بر چالش‌های نصب این سیستم در بنادر کوچک و متوسط تمرکز دارد و بر ضرورت پذیرش گسترده‌تر آن فراتر از بنادر بزرگ تاکید می‌نماید. این مطالعه با تکیه بر نمونه موردی بندر آبردین، بینش هایی در مورد امکان سنجی، هزینه‌ها و صرفه‌جویی بالقوه در انتشار آلاینده‌ها در اسکله‌های کوچکتر ارائه می‌دهد.

زیس[7] (۲۰۱۹b)، چشم انداز خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را به عنوان گزینه‌ای برای کاهش انتشار آلاینده‌ها بررسی می کند و بر اجباری بودن آن در بنادر کالیفرنیا و الزام آینده اتحادیه اروپا تاکید می کند. تحقیقات دیگر به جنبه‌های فنی و مدیریتی این فناوری پرداخته‌اند. تانگ[8] و همکاران (۲۰۱۸)، با تمرکز بر مقررات انتشار آلاینده‌ها، به بررسی عملکرد بهینه سیستم‌های ترکیبی انرژی فتوولتائیک/باتری/دیزل/خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌پردازند. یافته‌های این مطالعه، اگرچه در ابتدا به سناریوهای پهلوگیری بدون دیزل محدود می‌شود، اما صرفه‌جویی امیدوارکننده در هزینه و استحکام مدیریت برق را نشان می‌دهد.

[1] Bakar
[2] Colarossi
[3] P´erez Osses
[4] Spengler and Tovar
[5] Martınez-Lopez
[6] Innes & Monios
[7] Zis
[8] Tang

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

سایبراس و همکاران (۲۰۱۵b)، به بررسی ویژگی‌های الکتریکی تامین انرژی از طریق خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌پردازند و بر نقش آن در کاهش انتشار آلاینده‌ها در نزدیکی بنادر پرجمعیت تاکید می‌کنند. این مطالعه بر تنوع توپولوژی‌های شبکه ساحلی و تاثیر آن‌ها بر ویژگی‌های شبکه برق تاکید می‌کند و امکان‌سنجی تامین برق از ساحل به عنوان راه‌حلی بدون آلایندگی را برجسته می‌سازد.

در حالی که ادبیات موجود عمدتا بر کاربردهای خشکی خاموش‌سازی موتور کشتی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر تمرکز دارد، یافته‌های این مطالعات به درک مزایای بالقوه معرفی این فناوری در فراساحل کمک می‌نماید. انتظار می‌رود که کاربرد فراساحلی این فناوری با بهره‌مندی از تجربیات و چالش‌های مستند شده در سناریوهای خشکی، مزایای منحصر به فردی را به همراه داشته باشد.

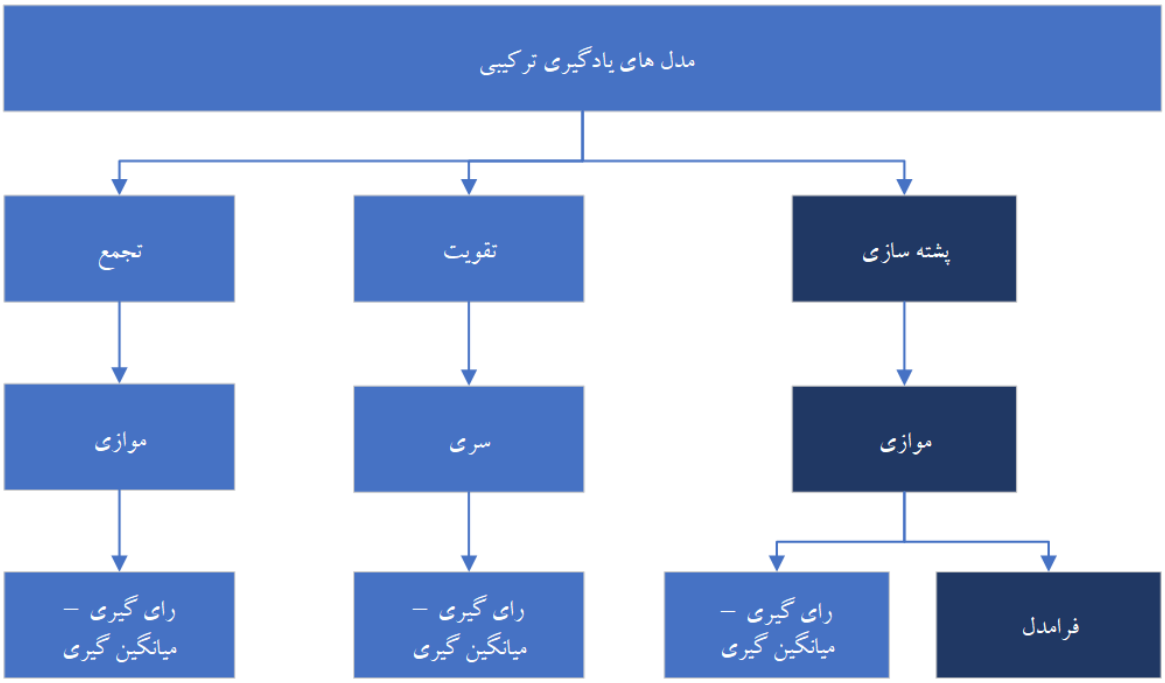
۲.۲. کاربرد یادگیری ترکیبی در پیش‌بینی

یادگیری ترکیبی یکی از رویکردهای قدرتمند در یادگیری ماشین است که چندین مدل مجزا را با هم ترکیب می‌کند تا عملکرد کلی و مقاومت سیستم را بهبود بخشد. روش‌های ترکیبی از هم‌جوشی خروجی‌ها برای ترکیب نتایج مدل‌های پایه به یک خروجی واحد استفاده می‌کنند و از دو روش هم‌جوشی[1] بهره می‌برند: رویکرد رای‌گیری-میانگین‌گیری [2] و رویکرد یادگیری فراداده[3] (Cawood and Van Zyl, 2022). در رویکرد رای‌گیری، پیش‌بینی‌های چندین مدل پایه از طریق مکانیسم رای‌گیری تجمیع می‌شوند، در حالی که در رویکرد یادگیری فراداده، یک مدل فراداده جداگانه آموزش داده می‌شود تا به طور موثر پیش‌بینی‌های مدل‌های پایه را ترکیب کند.

استراتژی‌های ترکیبی می‌توانند همگن باشند، به این معنا که مدل‌های پایه یکسان روی داده‌های مختلف آموزش می‌بینند، یا ناهمگن باشند، یعنی مدل‌های پایه متنوع روی داده‌های یکسان آموزش داده می‌شوند (Colombelli et al., 2022). روش‌های معمول ترکیبی شامل تجمع[4]، تقویت[5] و پشته سازی[6] هستند (Mohammed and Kora, 2023). روش تجمع روشی است که در آن چندین مدل روی زیرمجموعه‌های مختلفی از داده‌ها آموزش داده می‌شوند تا واریانس و بیش‌برازش کاهش یابد (Breiman, 1996). روش تقویت یک روش ترکیبی ترتیبی است که در آن هر مدل، خطاهای مدل قبلی را اصلاح می‌کند تا پیش‌بینی کلی بهبود یابد (Freund and Schapire, 1997). پشته‌سازی با ترکیب چندین مدل پایه از طریق آموزش یک فرامدل که پیش‌بینی‌های مدل‌های پایه را به عنوان ورودی دریافت می‌کند، عمل می‌کند (Qiu et al., 2014). روش پشته‌سازی همانند روش تجمع و روش تقویت، می‌تواند از از روش هم‌جوشی رای‌گیری-میانگین‌گیری استفاده کند، به این صورت که پیش‌بینی‌های مدل‌های مختلف با میانگین‌گیری از خروجی‌های آن‌ها ترکیب می‌شوند تا تصمیم یا پیش‌بینی نهایی تولید شود. شکل ۲ نشان می‌دهد که روش ما در حوزه مدل‌سازی یادگیری ترکیبی در چه جایگاهی قرار دارد.

[1] Fusion
[2] Voting-Averaging
[3] Meta-Model
[4] Bagging
[5] Boosting
[6] Stacking

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۲. جایگاه پژوهش حاضر در پیشینه ادبیات

۳. روش‌شناسی

این بخش به توضیح رویکرد ما برای توسعه مدل‌های یادگیری ترکیبی می‌پردازد که از ترکیب‌های مختلف روش‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی روندها استفاده می‌کند و شامل مجموعه داده‌ای متشکل از تاریخ و زمان در برابر مصرف انرژی است، که جزئیات بیشتری در بخش نتایج آمده است. ادغام خروجی‌های مدل‌های پایه[1] در روش ترکیب موازی ما به صورت ریاضی به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

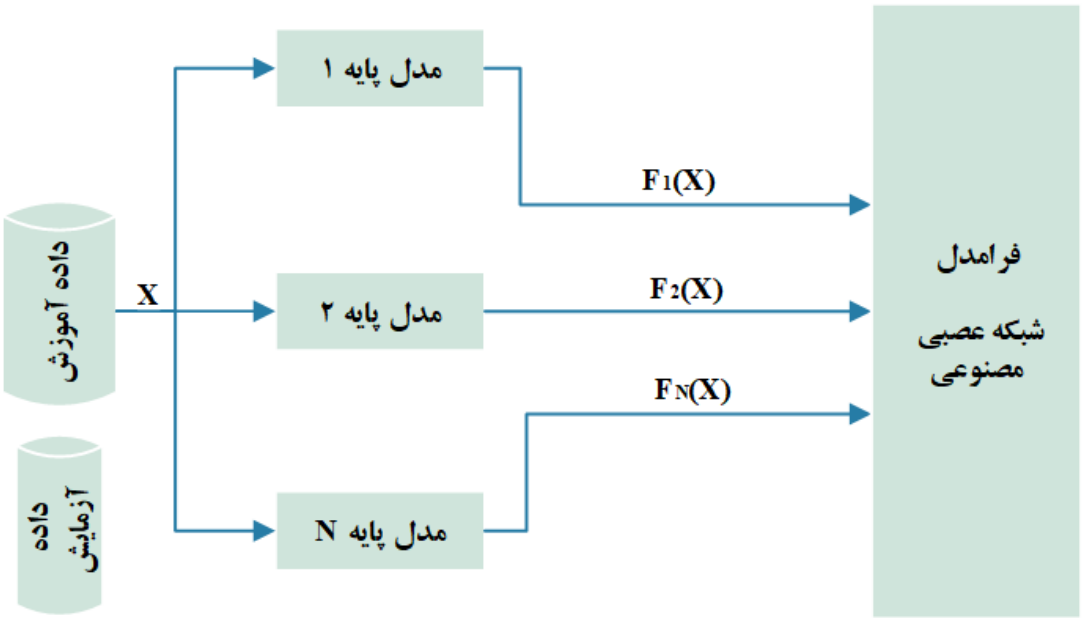
$$MetaModel = \sigma(\left(W_1 . f_{base_1}(X)\right) + \left(W_2 . f_{base_2}(X)\right) + \cdots + \left(W_N . f_{base_N}(X)\right))$$

در اینجا، $MetaModel$ نشان‌دهنده خروجی فرامدل مربوط به ورودی X است. عبارت‌های f_{base_i}، برای $i = 1,2,\dots,N$ ، نمایانگر پیش‌بینی‌های تولید شده توسط مدل‌های پایه هستند. پارامترهای W_i، برای $i = 1,2,\dots,N$ ، به عنوان وزن‌ها عمل می‌کنند و تاثیر هر پیش‌بینی مدل در فرآیند ادغام را تعیین می‌کنند. تابع فعال‌سازی σ به مجموع وزنی اعمال می‌شود و غیرخطی‌بودن را معرفی می‌کند. افزودن غیرخطی‌بودن از طریق توابع فعال‌سازی در فرامدل امکان مدل‌سازی انعطاف‌پذیرتر از روابط بین پیش‌بینی‌های مدل‌های پایه و خروجی نهایی را فراهم می‌نماید. توابع فعال‌سازی که معمولا برای مسائل رگرسیون استفاده می‌شوند شامل تانژانت هایپربولیک (tanh) یا واحد خطی تصحیح شده (ReLU) هستند. در پژوهش ما، از تابع فعال‌سازی ReLU به جای tanh، به دلیل کارایی آن در کاهش مشکل ناپدید شدن گرادیان و تسریع همگرایی در طول آموزش استفاده می‌کنیم.

[1] Base Models

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

شکل۳ نشان می‌دهد که فرآیند ساخت فرامدل ما شامل توابع موازی مدل‌های پایه است که یک شبکه عصبی مصنوعی برای تعیین وزن‌ها در فرامدل ادغام شده است. این شبکه عصبی به صورت پویا وزن‌ها را تنظیم می‌کند و به ترکیب بهینه‌ای از خروجی‌های مدل‌های پایه برای تولید پیش‌بینی نهایی دست می‌یابد.



شکل۳.ساخت فرامدل

برای ساده‌سازی مدل پیشنهادی خود، ما تصمیم به استفاده از مدل‌های شناخته شده در پیش‌بینی روندها از جمله SVR، RF، GB و MLP گرفته‌ایم و دو مدل از مدل‌های یادگیری ماشین به‌عنوان مدل‌های پایه در فرامدل ترکیبی استفاده می‌نماییم. با استفاده از اعتبارسنجی متقاطع، داده‌ها را به مجموعه‌های آموزشی و آزمایشی برای تمامی مدل‌ها، از جمله فرامدل، تقسیم می‌کنیم. علاوه بر این، بهینه‌سازی فراپارامترها برای بهبود عملکرد مدل انجام می‌شود.

رویکرد جامع آموزش شامل بهینه‌سازی پارامترهای فرامدل، W_i، همزمان با اجزای پایه است. تابع هدف شامل یک عبارت خطا است که انحراف پیش‌بینی فرامدل از هدف واقعی را جریمه می‌کند.

$$L_{MetaModel} = \sum_{t} (Y_t - MetaModel_t(X_t))^2$$

این رویکرد اطمینان حاصل می‌کند که مدل به صورت پویا پیش‌بینی‌های مدل‌های پایه را ادغام می‌کند و با ویژگی‌های غیرخطی روند تطبیق می‌یابد. برای ارزیابی عملکرد فرامدل، از معیار خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) بر روی یک مجموعه اعتبارسنجی اختصاصی استفاده می‌شود.

تابع هدف: نیروی محرک پشت آموزش مدل‌ها، کمینه‌سازی تابع ریشه میانگین مربعات خطا است:

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

که در آن n تعداد نقاط داده، y_i خروجی واقعی، و $\hat{y}_i$ خروجی پیش‌بینی‌شده است. این هدف مدل را وادار می‌کند تا پارامترهای داخلی خود را برای بهینه‌سازی پیش‌بینی‌ها تنظیم کند، که برای پیش‌بینی روندهای غیرخطی ضروری است.

با بهره‌گیری از ادغام پویا پیش‌بینی‌های دو مدل پایه در فرامدل که در بخش نتایج توضیح داده شده است، مدل ما به‌طور ماهرانه روندهای غیرخطی را ثبت کرده و وابستگی‌های زمانی را در مجموعه داده‌هایی با ورودی و خروجی واحد مدیریت می‌کند. این سازگاری با پیش‌بینی روندها، آن را به گزینه‌ای مناسب در حوزه پیش‌بینی روندها تبدیل می‌کند، به‌ویژه در شرایطی که روش‌های سنتی ممکن است ناکارآمد باشند.

۴. بیان یافته‌ها و بحث

بخش قبلی به روش‌های به‌کار رفته در پیش‌بینی روندهای غیرخطی در حوزه تحلیل سری‌های زمانی پرداخت. در این بخش، نتایج حاصل از کاربرد مدل‌های MLP، GB، SVR، RF و مدل‌های ترکیبی MLP-GB, MLP-SVR, MLP-RF, GB-SVR, GB-RF, RF-SVR به داده‌های تاریخی مربوط به کشتی‌های منتظر پهلوگیری در خارج از بندری واقعی ارائه می‌شود. هدف تحلیل ارزیابی کارآیی هر مدل در پیش‌بینی تقاضای برق برای یک ایستگاه برق‌رسانی فراساحلی، که یکی از اجزای مهم عملیات بندری پایدار است، می‌باشد.

برآورد دقیق تقاضای بار داخلی هر کشتی به توان نامی اجزای مختلف کشتی که برای عملیات آن ضروری هستند، بستگی دارد. طبق مطالعات سازمان بین‌المللی دریانوردی[1] (۲۰۱۸)، مصرف‌کنندگان بار به سه بخش اصلی بر اساس مکان کشتی تقسیم می‌شوند که تفکیک بارها را به وضوح تسهیل می‌کند: اتاق موتور (شامل خدمات پیوسته، خدمات متناوب و سایر)، عرشه (شامل سردخانه بار و تجهیزات عرشه)، و فراساختار (شامل سردخانه تامین، سیستم‌های گرمایشی، تهویه و تهویه مطبوع (HVAC)، کارگاه، لباسشویی، تجهیزات پل، روشنایی و آشپزخانه).

در این مطالعه، یافته‌های تحقیقاتی دآگوستینو و همکاران (۲۰۲۱b,a)، به عنوان مرجع برای برآورد مصرف برق کشتی‌ها در حالت هتلینگ (لنگر انداختن) استفاده شده است. این شامل بررسی نسبت‌های بین موتورهای کمکی و موتورهای اصلی (ρ_a)، موتورهای کمکی و مصرف در وضعیت هتلینگ (ρ_h)، و نسبت مستقیم بین موتور اصلی و مصرف در وضعیت هتلینگ (ρ) می‌شود. بنابراین، پارامتر ρ حاصل‌ضرب ρ_a و ρ_h است. این نسبت‌ها از طبقه‌بندی کشتی‌ها استخراج شده‌اند، همان‌طور که در جدول ۱ ارائه شده است. با استفاده از مجموعه داده‌های اختصاصی خود، که بر اساس مدت زمان اقامت کشتی‌ها و نوع موتور تولید شده است، بینش‌های منحصر به فردی در مورد مصرف انرژی ارائه می‌شود که در جای دیگری موجود نیست. سپس، از این مجموعه داده‌ها برای پیش‌بینی الگوهای مصرف آینده استفاده شده است.

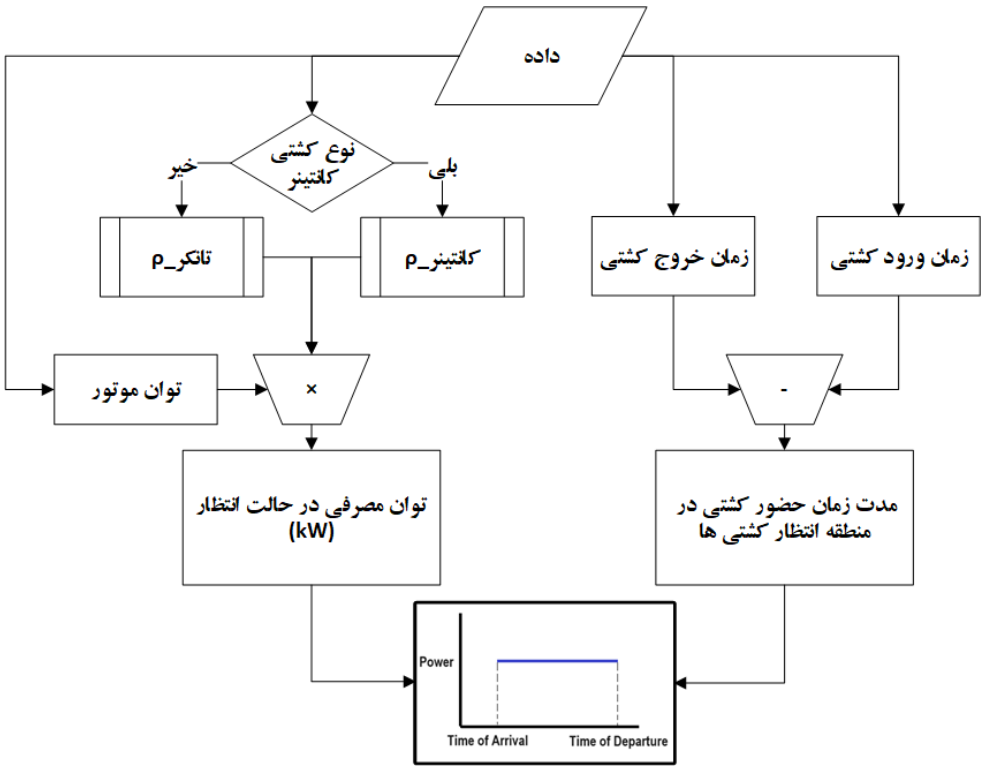
جدول ۱. نسبت توان موتور اصلی به توان موتور کمکی(ρ_a)، نسبت مصرف موتور کمکی در حالت هتلینگ(ρ_h)، و نسبت مصرف در حالت هتلینگ بر اساس توان موتور اصلی(ρ) (اقتباس شده از D'Agostino et al., 2021a,b)

نوع کشتی	ρ_a	ρ_h	P
تانکر	۰/۲۱۱	۰/۶۷۰	۰/۱۴۱
کانتینر	۰/۲۲۰	۰/۱۷۰	۰/۰۳۷

[1] IMO

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

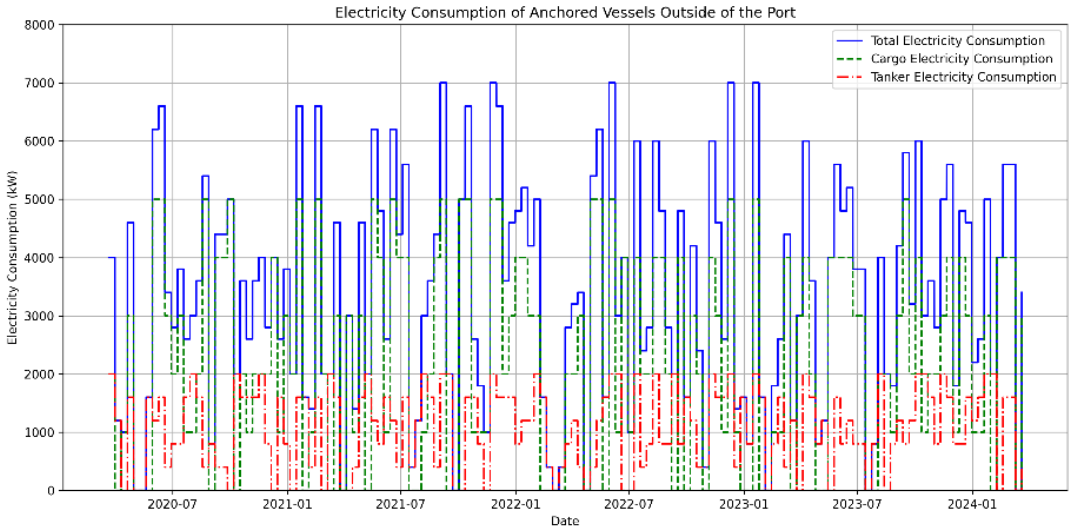
شکل۴ مراحل متوالی برای غنی‌سازی مجموعه داده‌ها از طریق محاسبه توان کشتی‌ها در هنگام لنگر انداختن را نشان می‌دهد. این فرآیند بر اساس مجموعه داده اولیه از بندر مورد مطالعه بنا شده است که شامل ویژگی‌های کشتی‌ها مانند نام، شماره IMO، نوع کشتی، زمان‌های ورود و خروج، و توان خروجی موتور اصلی می‌باشد.



شکل ۴. غنی‌سازی مجموعه داده‌ها با محاسبه توان کشتی‌ها در هنگام انتظار

برای تعیین مصرف هر کشتی در فاز هتلینگ (لنگر انداختن)، از عامل مربوط به نوع کشتی (ρ) به همراه پارامتر موتور اصلی و مدت زمان حضور در منطقه انتظار استفاده شده است که با تفریق زمان خروج و ورود از منطقه به دست می‌آید. این فرآیند مقادیر جدیدی که نشان‌دهنده مصرف در هتلینگ است، تولید می‌کند. مجموع این مقادیر جدید از تمام کشتی‌ها به ازای هر ساعت تخصیص داده می‌شود. مجموعه داده حاصل، نشان‌دهنده مصرف انرژی ساعتی کشتی‌های لنگر انداخته خارج از ترمینال بندر مورد مطالعه در شکل۵ نمایش داده شده است.

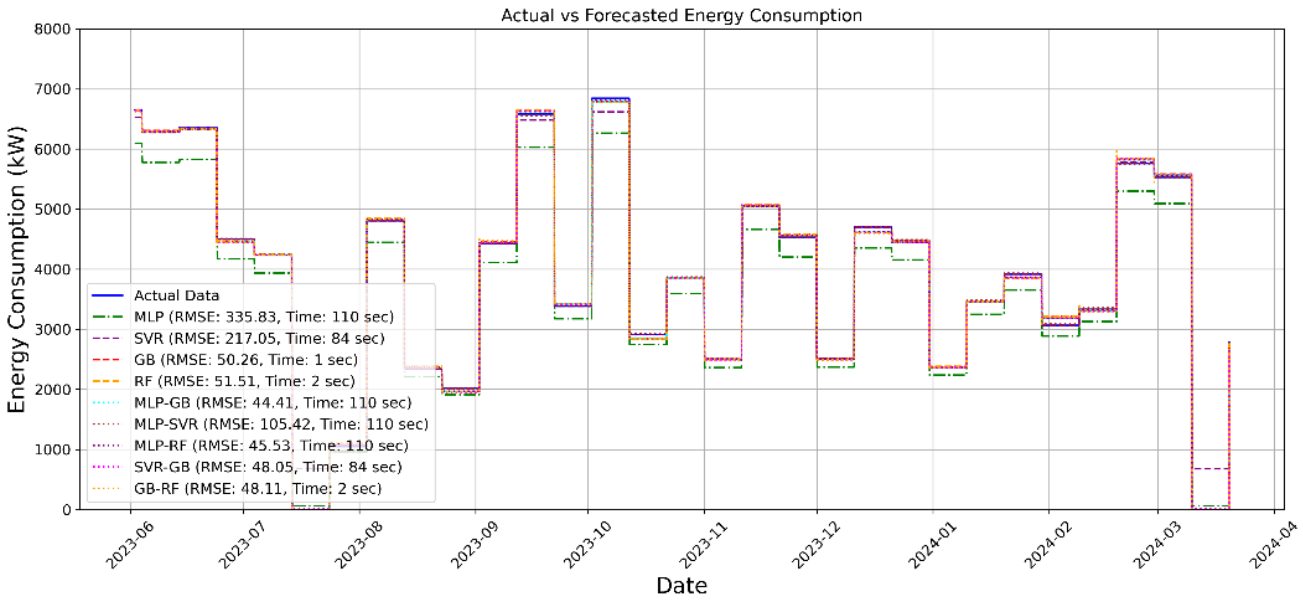
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۵. داده‌های تاریخی مصرف کل کشتی‌ها در حین لنگر انداختن خارج از ترمینال بندر ، از ۲۱ مارس ۲۰۲۰ تا ۲۰ مارس ۲۰۲۴

این مطالعه به سوابق بایگانی مربوط به کشتی‌های باری و تانکر لنگر انداخته در منطقه لنگرگاه خارج از بندر می‌پردازد. این داده‌ها یک دوره چهار ساله را از ۲۱ مارس ۲۰۲۰ تا ۲۰ مارس ۲۰۲۴ شامل می‌شود. داده‌های سری زمانی جمع‌آوری شده با اجرای آزمون‌های تحلیل آماری، استواری خود را تایید کردند، بدین معنا که میانگین، واریانس و ساختار خود همبستگی در طول زمان ثابت می‌مانند. برای اطمینان از قابل اعتماد بودن نتایج، یک فرآیند اعتبارسنجی متقابل انجام شده است، که داده‌ها را به نسبت ٪۸۰ برای آموزش و ٪۲۰ برای آزمون در مدل در تمامی مدل‌ها، ازجمله مدل‌های ترکیبی تقسیم کرد. علاوه بر این، از GridSearch در زبان برنامه‌نویسی پایتون برای بهینه‌سازی فرایندهای فراپارامتری هر مدل استفاده شده و ترکیباتی را که دقت بالاتری تولید می‌کنند شناسایی شده است. پیش‌بینی میزان مصرف انرژی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین در این پژوهش در شکل۶ نشان داده شده است. به منظور ارائه بهتر نمایش داده‌ها، تنها ۱۸۰ روز آخر داده‌های آزمایشی نمایش داده شده است.

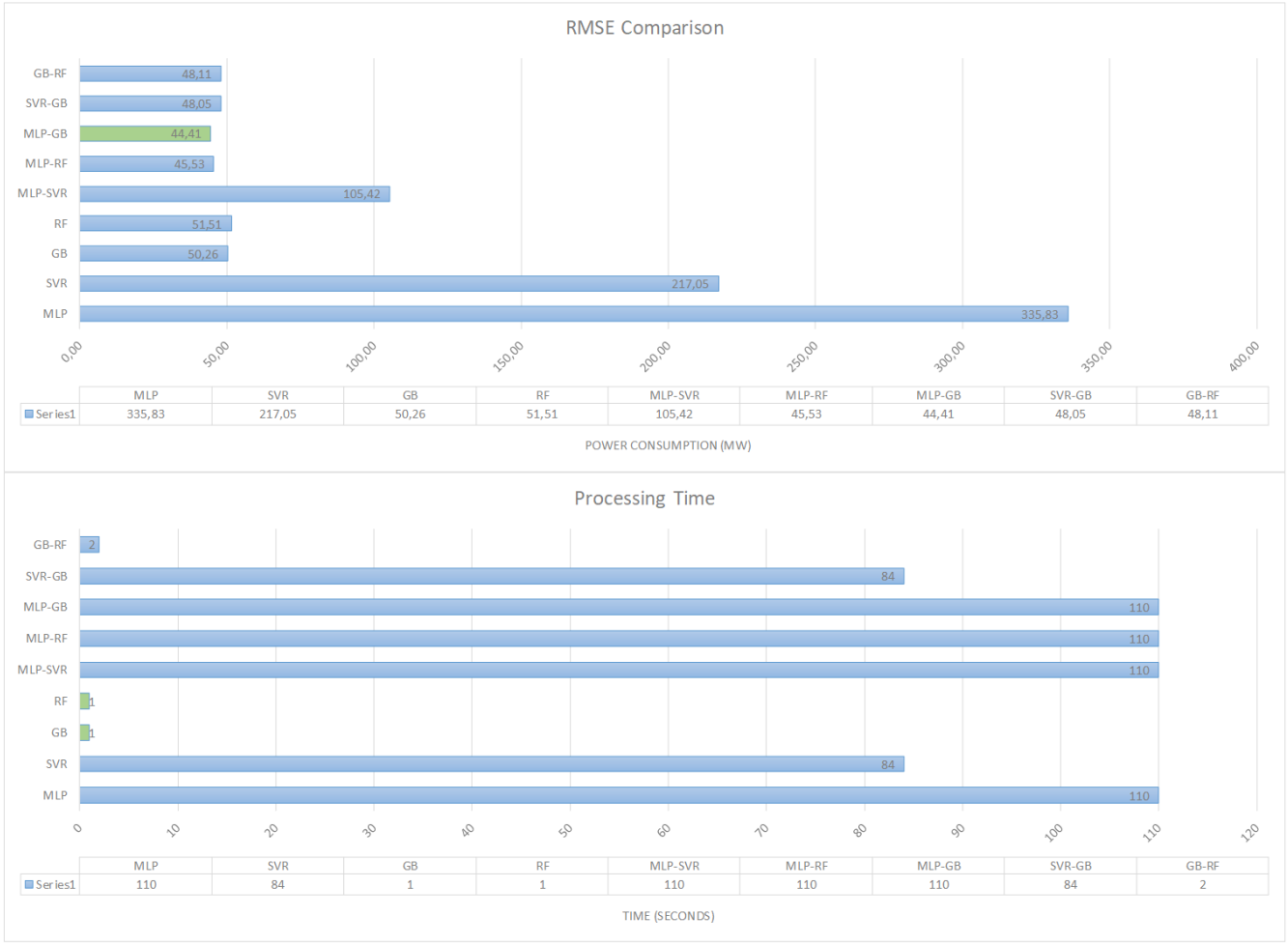
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۶. پیش بینی میزان مصرف انرژی با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین در این پژوهش

مجموعه داده شامل ۳۵۰۴۱ ردیف و ۲ ستون بوده است که در محیط Google Colab و با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Python پردازش گردید. سریع‌ترین زمان پردازش مربوط به مدل های تقویت گرادیان و جنگل تصادفی در یک ثانیه می‌باشد و بهترین عملکرد را مدل ترکیبی MLP-GB با مقدار ریشه میانگین مربعات خطا یا RMSE برابر با ۴۴/۴۱ کیلووات حاصل کرد. شکل۷ مقایسه دقیقی از نتایج مقادیر ریشه میانگین مربعات و زمان پردازش مدل‌های بررسی شده در این پژوهش به نمایش گذاشته شده‌اند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل۷. مقایسه ریشه میانگین مربعات خطا و زمان پردازش مدل ها

برای تفسیر معنادار نتایج، تصمیم بر این شد که داده‌ها نرمال‌سازی نشوند و نتایج به صورت کیلووات ارائه شوند. به دلیل نبود یک آستانه از پیش تعریف شده در این صنعت برای انجام آزمون‌های فرضیه‌های آماری به منظور اعتبارسنجی نتایج RMSE، از فرآیند اعتبارسنجی متقابل استفاده شده است. این فرآیند شامل بررسی RMSE داده‌های آموزش و آزمون بود که مشخص شد مشابهند. علاوه بر این، با در نظر گرفتن اینکه محدوده مصرف انرژی هدف تقریبا ۷۰۰۰ کیلووات است، مقادیر RMSE در مدل ترکیبی MLP-GB بیش از ۱۵۷ برابر کوچکتر از محدوده هدف و بیش از ۷۷ برابر کوچکتر از مقدار میانه هستند. این یافته‌ها توانایی مدل‌ها، بخصوص مدل‌های ترکیبی یادگیری ماشین در ارائه پیش‌بینی‌های نسبتا دقیق مصرف انرژی برای کشتی‌های لنگر انداخته در سناریوهای دریایی را برجسته می‌کند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای پژوهش

اجرای راهکارهای نوآورانه مانند سیستم‌های برق‌رسانی فراساحلی فرصت‌ها و ملاحظات منحصر به فردی را پیش روی صنعت دریانوردی قرار می‌دهد. در مطالعه حاضر که بر روی مدل یادگیری ماشین برای پیش‌بینی تقاضای برق در سیستم برق‌رسانی فراساحلی تمرکز دارد، چندین بینش کلیدی مدیریتی ظاهر می‌شود:

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

مزایای سیستم برق‌رسانی فراساحلی: برق‌رسانی فراساحلی به طور قابل توجهی امکان چشمگیری را برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش دریایی فراهم می‌کند. با مدیریت انتشار این گازها در هنگام لنگر انداختن در مناطق انتظار قبل از پهلوگیری، برق‌رسانی فراساحلی مکملی برای راهکارهای خشکی است و یک رویکرد کامل‌تر به کاهش انتشارات فراهم می‌نماید. مدیران باید مزایای زیست‌محیطی و قابلیت اجرای سیستم‌های برق‌رسانی فراساحلی را بررسی کنند.

عملیات سبز بندر و پایداری: یکپارچه‌سازی مدل‌های پیش‌بینی پیشرفته یادگیری ماشین در پیش‌بینی تقاضای برق برای برق‌رسانی فراساحلی به پیشرفت‌های پایدار دریایی کمک می‌کند. با غلبه بر محدودیت‌های برق‌رسانی ساحلی، راهکارهای فراساحلی پشتیبانی شده توسط تکنیک‌های پیش‌بینی قوی، بینش‌های قابل اجرا را برای عملیات انتقال برق کارآمد فراهم می‌کنند. مدیران می‌توانند معنی این مشارکت‌ها را در توسعه پایداری در عملیات بندری متوجه شوند و با تلاش‌های جهانی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هماهنگ گردند. انتخاب برق‌رسانی فراساحلی و یکپارچه‌سازی تکنیک‌های پیشرفته یادگیری ماشین گام‌های استراتژیک به سوی مصرف انرژی دریایی سبزتر و کارآمدتر را نشان می‌دهد. مدیران می‌توانند از این بینش‌ها برای پذیرش نوآوری و ارتقای عملیات پایدار بندری بهره‌برداری نمایند.

به طور خلاصه، مطالعه حاضر یک گام مهم به سوی کاهش مصرف انرژی با منابع فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در لجستیک دریایی با معرفی سیستم‌های برق‌رسانی پاک فراساحلی است. با استفاده از تکنیک مدل‌های ترکیبی یادگیری ماشین، یک چارچوب قابل اعتماد برای پیش‌بینی دقیق تقاضای برق در مناطق انتظار فراساحلی توسعه داده شد. یافته‌های پژوهش بر اهمیت پیش‌بینی دقیق تاکید می‌کنند و به اثربخشی مدل‌های ترکیبی یادگیری ماشین اشاره دارند. علاوه بر این، مطالعه حاضر بر مزایای زیست‌محیطی برق‌رسانی فراساحلی تاکید می‌کند که می‌تواند منجر به کاهش بیشتری در انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به روش‌های سنتی شود. با ترویج پایداری در عملیات بندری، پژوهش حاضر به تلاش‌های جهانی برای مقابله با تغییرات آب و هوا و کاهش انتشارات دریایی کمک می‌نماید.

در آینده، مسیرهای تحقیقاتی می‌تواند شامل بهبودهایی در یکپارچه‌سازی مدل‌های یادگیری ماشین و الگوریتم‌های نوآورانه برای افزایش دقت و کارآیی پیش‌بینی باشد. علاوه بر این، نیاز به توسعه الگوریتم‌های بهینه‌سازی به صورت زمان واقعی که قادر به تنظیم پویای تامین برق و تقاضای آن در سیستم‌های برق‌رسانی فراساحلی است، با در نظر گرفتن شرایط تغییر کننده و نیازهای کشتی وجود دارد. انجام ارزیابی‌های جامع تاثیرات زیست‌محیطی به کمک برق‌رسانی فراساحلی می‌تواند به محاسبه مزایای این سیستم‌ها نسبت به روش‌های سنتی و ارزیابی پایداری طولانی‌مدت آن‌ها کمک کند. تجزیه و تحلیل تکنو-اقتصادی می‌تواند برای ارزیابی امکان‌پذیری و کارآیی هزینه‌های پیاده‌سازی سیستم‌های برق‌رسانی فراساحلی در تنوع محیط‌های بندری و مناطق جغرافیایی صورت پذیرد.

در همین راستا، همکاری‌های بین‌المللی و ایجاد شبکه‌های همکاری با دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی می‌تواند به توسعه تکنولوژی‌های نوآورانه و بهبود کارآیی سیستم‌های برق‌رسانی فراساحلی کمک کند. برگزاری کنفرانس‌ها و کارگاه‌های آموزشی برای تبادل دانش و تجربیات میان محققان و متخصصان صنعت می‌تواند به تسریع در پیشرفت این حوزه کمک نماید. همچنین، ایجاد مشوق‌های مالی و ارائه تسهیلات به شرکت‌های کشتیرانی برای پذیرش و اجرای سیستم‌های برق‌رسانی فراساحلی، نقش موثری در تسریع پذیرش این تکنولوژی‌ها خواهد داشت. در این راستا، پیشنهاد می‌شود که شرکت‌های بندری به طور فعالانه با نهادهای دولتی و بین‌المللی همکاری کنند تا استانداردهای لازم برای پیاده‌سازی سیستم‌های برق‌رسانی فراساحلی تعیین و رعایت شود. استفاده از تجربیات موفق کشورهای پیشرو در این زمینه می‌تواند راهنمای خوبی برای کشورهای دیگر باشد. همچنین، توسعه زیرساخت‌های بندری مناسب و ایجاد تسهیلات مالیاتی برای شرکت‌هایی که از تکنولوژی‌های سبز استفاده می‌کنند، می‌تواند انگیزه‌ای قوی برای پذیرش گسترده‌تر این سیستم‌ها ایجاد کند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

بررسی چارچوب‌های قانونی و پیامدهای سیاست‌گذاری مربوط به برق‌رسانی فراساحلی ضروری است تا از پذیرش گسترده و یکپارچه آن در نهادهای پایداری دریایی جهانی پشتیبانی شود. علاوه بر این، انجام مطالعات موردی جامع و آزمایش‌های عملیاتی در تنوع فعالیت‌های دریایی به ارزیابی عملکرد و قابلیت توسعه سیستم‌های برق‌رسانی فراساحلی تحت شرایط واقعی کمک خواهد کرد. پرداختن به این جهت‌های آینده به پیشرفت فناوری برق‌رسانی فراساحلی و به تحول لجستیک دریایی به سوی یک آینده پایدار و محیط‌زیستی کمک خواهد کرد.

از سوی دیگر، بررسی ابعاد اجتماعی و انسانی سیستم‌های برق‌رسانی فراساحلی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. تاثیرات اجتماعی مثبت این سیستم‌ها شامل بهبود کیفیت زندگی کارکنان بندری و کاهش آلودگی صوتی و هوایی در مناطق ساحلی است. ارزیابی‌های جامع باید به تاثیرات اجتماعی و انسانی پرداخته و راهکارهای مناسب برای بهبود شرایط کار و زندگی افراد مرتبط با صنعت دریانوردی ارائه دهند.

در نهایت، بررسی و به‌روزرسانی مستمر فناوری‌ها و فرآیندهای مربوط به برق‌رسانی فراساحلی ضروری است. پیشرفت‌های فناوری و تغییرات در نیازهای بازار ممکن است نیازمند بازنگری و بهبود مداوم سیستم‌ها و فرآیندهای برق‌رسانی باشد. برگزاری دوره‌های آموزشی و توانمندسازی کارکنان نیز به بهره‌وری و کارآیی بهتر این سیستم‌ها کمک خواهد کرد.

به طور خاص، مطالعات آینده می‌تواند به بررسی تاثیرات اقتصادی بلندمدت استفاده از برق‌رسانی فراساحلی بر کاهش هزینه‌های سوخت و نگهداری کشتی‌ها بپردازد. همچنین، تحقیق در مورد نحوه تعامل این سیستم‌ها با دیگر فناوری‌های سبز مانند پیل‌های سوختی و سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر می‌تواند به توسعه راهکارهای جامع‌تر برای کاهش اثرات زیست‌محیطی صنعت دریانوردی منجر شود.

توجه به تمامی جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و تکنولوژیکی در اجرای سیستم‌های برق‌رسانی فراساحلی، به تحقق هدف نهایی یعنی دستیابی به یک صنعت دریایی پایدار و کم‌کربن کمک خواهد کرد. همکاری و هماهنگی میان تمامی ذینفعان، از جمله دولت‌ها، سازمان‌های بین‌المللی، شرکت‌های کشتیرانی و نهادهای تحقیقاتی، کلید موفقیت در این مسیر خواهد بود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

منابع

Abu Bakar, N.N., Bazmohammadi, N., Vasquez, J.C., Guerrero, J.M., 2023. Electrification of onshore power systems in maritime transportation towards decarbonization of ports: A review of the cold ironing technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews 178, 113243. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123000990, doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113243.

Aslam, S., Herodotou, H., Mohsin, S.M., Javaid, N., Ashraf, N., Aslam, S., 2021. A survey on deep learning methods for power load and renewable energy forecasting in smart microgrids. Renewable and Sustainable Energy Reviews 144, 110992. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121002847, doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110992.

Bakar, N.N.A., Bazmohammadi, N., C¸ imen, H., Uyanik, T., Vasquez, J.C., Guerrero, J.M., 2022. Data-driven ship berthing forecasting for cold ironing in maritime transportation. Applied Energy 326, 119947. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261922012041, doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119947.

Breiman, L., 1996. Bagging predictors. Machine Learning 24, 123–140. URL: https://doi.org/10.1007/BF00058655, doi:10.1007/BF00058655.

Butt, F.M., Hussain, L., Jafri, S.H.M., Alshahrani, H.M., Al-Wesabi, F.N., Lone, K.J., Din, E.M.T.E., Duhayyim, M.A., 2022. Intelligence based accurate medium and long term load forecasting system. Applied Artificial Intelligence 36, 2088452. URL:https://doi.org/10.1080/08839514.2022.2088452,doi:10.1080/08839514.2022.2088452, arXiv:https://doi.org/10.1080/08839514.2022.2088452.

Cawood, P., Van Zyl, T., 2022. Evaluating state-of-the-art, forecasting ensembles and meta-learning strategies for model fusion. Forecasting 4, 732–751. URL: https://www.mdpi.com/2571-9394/4/3/40, doi:10.3390/forecast4030040.

Colarossi, D., Lelow, G., Principi, P., 2022. Local energy production scenarios for emissions reduction of pollutants in small-medium ports. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives 13, 100554. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198222000173, doi:https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100554.

Colombelli, F., Kowalski, T.W., Recamonde-Mendoza, M., 2022. A hybrid ensemble feature selection design for candidate biomarkers discovery from transcriptome profiles. Knowledge-Based Systems 254, 109655. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950705122008383,

doi:https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.109655.

D'Agostino, F., Kaza, D., Schiapparelli, G.P., Silvestro, F., Bossi, C.L., Colzi, F., 2021a. Assessment of the potential shore to ship load demand: the italian scenario, in: 2021 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), pp. 1–5. doi:10.1109/PESGM46819.2021.9638000.

D'Agostino, F., Schiapparelli, G.P., Dallas, S., Spathis, D., Georgiou, V., Prousalidis, J., 2021b. On estimating the port power demands for cold ironing applications, in: 2021 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS), pp. 1–5. doi:10.1109/ESTS49166.2021.9512359.

Elsayed, S., Thyssens, D., Rashed, A., Schmidt-Thieme, L., Jomaa, H.S., 2021. Do we really need deep learning models for time series forecasting? CoRR abs/2101.02118. URL: https://arxiv.org/abs/2101.02118, arXiv:2101.02118.

Freund, Y., Schapire, R.E., 1997. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. Journal of Computer and System Sciences 55, 119–139. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002200009791504X, doi:https://doi.org/10.1006/jcss.1997.1504.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

Hafeez, G., Alimgeer, K.S., Khan, I., 2020. Electric load forecasting based on deep learning and optimized by heuristic algorithm in smart grid. Applied Energy 269, 114915. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192030427X, doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114915.

Imani, M., 2021. Electrical load-temperature cnn for residential load forecasting. Energy 227, 120480. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221007295, doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120480.

IMO, 2018. 2018 guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (eedi) for new ships URL: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.308(73).pdf.

Innes, A., Monios, J., 2018a. Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports – the case of aberdeen. Transportation Research Part D: Transport and Environment 62, 298–313. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920917309124, doi:https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.02.004.

Innes, A., Monios, J., 2018b. Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports – the case of aberdeen. Transportation Research Part D: Transport and Environment 62, 298–313. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920917309124, doi:https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.02.004.

Khan, N., Haq, I.U., Khan, S.U., Rho, S., Lee, M.Y., Baik, S.W., 2021. Db-net: A novel dilated cnn based multi-step forecasting model for power consumption in integrated local energy systems. International Journal of Electrical Power Energy Systems 133, 107023. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061521002635, doi:https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107023.

Kweon, S.J., Hwang, S.W., Lee, S., Jo, M.J., 2022. Demurrage pattern analysis using logical analysis of data: A case study of the ulsan port authority. Expert Systems with Applications 206, 117745. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417422010260, doi:https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117745.

Mansoursamaei, M., Moradi, M., Gonzalez-Ramırez, R.G., Lalla-Ruiz, E., 2023. Machine learning for promoting environmental sustainability in ports. Journal of Advanced Transportation 2023, 2144733. URL: https://doi.org/10.1155/2023/2144733, doi:10.1155/2023/2144733.

Marťınez-Ĺopez, A., Romero, A., Orosa, J.A., 2021a. Assessment of cold ironing and lng as mitigation tools of short sea shipping emissions in port: A spanish case study. Applied Sciences 11. URL: https://www.mdpi.com/2076-3417/11/5/2050, doi:10.3390/app11052050.

Marťınez-Ĺopez, A., Romero-Filgueira, A., Chica, M., 2021b. Specific environmental charges to boost cold ironing use in the european short sea shipping. Transportation Research Part D: Transport and Environment 94, 102775. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920921000791, doi:https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102775.

Marťınez-Ĺopez, A., Romero-Filgueira, A., Chica, M., 2021c. Specific environmental charges to boost cold ironing use in the european short sea shipping. Transportation Research Part D: Transport and Environment 94, 102775. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920921000791, doi:https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102775.

Memarzadeh, G., Keynia, F., 2021. Short-term electricity load and price forecasting by a new optimal lstm-nn based prediction algorithm. Electric Power Systems Research 192, 106995. URL:

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779620307938, doi:https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106995.

Mohammed, A., Kora, R., 2023. A comprehensive review on ensemble deep learning: Opportunities and challenges. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences 35, 757–774. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157823000228, doi:https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.01.014.

Monteiro, J., Lukmandono, L., Santoso, P., Prabowo, R., 2021. Maritime industry - ports and supporting activities: literature review. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1010, 012019. doi:10.1088/1757-899X/1010/1/012019.

Nguyen, D.H., Lin, C., Cheruiyot, N.K., Hsu, J.Y., Cho, M.Y., Hsu, S.H., Yeh, C.K., 2021. Reduction of NOx and SO2 emissions by shore power adoption. Aerosol and Air Quality Research 21, 210100. URL:https://doi.org/10.4209%2Faaqr.210100, doi:10.4209/aaqr.210100.

P´erez Osses, J.R., Palma, V.M., Reusser, C.A., Contreras, J., 2022a. Emissions assessment of a tanker in a chilean port using bi-directional cold ironing integrated to lng. Sustainable Energy Technologies and Assessments 52, 102135. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138822001874, doi:https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102135.

P´erez Osses, J.R., Palma, V.M., Reusser, C.A., Contreras, J., 2022b. Emissions assessment of a tanker in a chilean port using bi-directional cold ironing integrated to lng. Sustainable Energy Technologies and Assessments 52, 102135. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138822001874, doi:https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102135.

Qiu, X., Zhang, L., Ren, Y., Suganthan, P.N., Amaratunga, G., 2014. Ensemble deep learning for regression and time series forecasting, in: 2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Ensemble Learning (CIEL), pp. 1–6. doi:10.1109/CIEL.2014.7015739.

Rol´an, A., Manteca, P., Oktar, R., Siano, P., 2019. Integration of cold ironing and renewable sources in the barcelona smart port. IEEE Transactions on Industry Applications 55, 7198–7206. doi:10.1109/TIA.2019.2910781.

Sciberras, E.A., Zahawi, B., Atkinson, D.J., 2015a. Electrical characteristics of cold ironing energy supply for berthed ships. Transportation Research Part D: Transport and Environment 39, 31–43. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920915000796, doi:https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.05.007.

Sciberras, E.A., Zahawi, B., Atkinson, D.J., 2015b. Electrical characteristics of cold ironing energy supply for berthed ships. Transportation Research Part D: Transport and Environment 39, 31–43. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920915000796, doi:https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.05.007.

Spengler, T., Tovar, B., 2021a. Potential of cold-ironing for the reduction of externalities from in-port shipping emissions: The state-owned spanish port system case. Journal of Environmental Management 279, 111807. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720317321, doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111807.

Spengler, T., Tovar, B., 2021b. Potential of cold-ironing for the reduction of externalities from in-port shipping emissions: The state-owned spanish port system case. Journal of Environmental Management 279, 111807. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720317321, doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111807.

Sruthy, V., Raj, B., Preetha, P.K., 2021. An offshore floating charging station for electric ships: accessibility enhancement schemes for recharging. Ships and Offshore Structures 16, 1143–1150. URL:

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

https://doi.org/10.1080/17445302.2020.1816748, doi:10.1080/17445302.2020.1816748, arXiv:https://doi.org/10.1080/17445302.2020.1816748.

Stolz, B., Held, M., Georges, G., Boulouchos, K., 2021. The co2 reduction potential of shore-side electricity in europe. Applied Energy 285, 116425. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920317864, doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116425.

Tang, R., Wu, Z., Li, X., 2018. Optimal operation of photovoltaic/battery/diesel/cold-ironing hybrid energy system for maritime application. Energy 162, 697–714. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218315688, doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.048.

Wen, L., Zhou, K., Yang, S., 2020. Load demand forecasting of residential buildings using a deep learning model. Electric Power Systems Research 179, 106073. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877961930392X, doi:https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106073.

Zis, T.P., 2019a. Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. Transportation Research Part A: Policy and Practice 119, 82–95. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856418303264, doi:https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.11.003.

Zis, T.P., 2019b. Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. Transportation Research Part A: Policy and Practice 119, 82–95. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856418303264, doi:https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.11.003.

Zis, T.P., Psaraftis, H.N., Tillig, F., Ringsberg, J.W., 2020. Decarbonizing maritime transport: A ro-pax case study. Research in Transportation Business & Management 37, 100565. URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210539520301048, doi:https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2020.100565.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]