



ارزیابی زیست محیطی و بهبود تحلیل نیروهای وارده بر سازه های دریایی و انتقال رسوب با استفاده از تخمین ارتفاع موج شاخص دریا به کمک هوش مصنوعی

امیر وکیلی

روزبه آقامجیدی

محمدحسین احمدی*

استادیار گروه مهندسی عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران

استادیار گروه مهندسی عمران، واحد سپیدان، دانشگاه آزاد اسلامی، سپیدان، ایران

استادیار گروه مهندسی عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: تخمین دقیق ارتفاع موج شاخص در تحلیل سازه های دریایی از اهمیت بالایی برخوردار است. این تخمین به بهینه سازی عملکرد سازه ها و کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از فعالیت های دریایی کمک می کند. روش های تجربی و عددی موجود معمولاً هزینه بر و زمان بر هستند. به تازگی، استفاده از روش های هوش مصنوعی و محاسبات نرم رونق یافته است، اما این روش ها با چالش هایی مانند خطای آموزشی و کارایی ناکافی مواجه اند. این پژوهش بهبود تخمین ارتفاع موج شاخص را با ترکیب روش های هوش مصنوعی ناهمگن هدف قرار می دهد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

مواد و روش ها: در این پژوهش، داده ها پردازش و به سه دسته آموزش، اعتبارسنجی و تست تقسیم می شوند. سپس داده های آموزش با روش هوش مصنوعی آموزش می بیند تا به دقت مطلوب برسد.

نتایج و بحث: در این پژوهش از داده های سیستم اطلاعات ساحلی برای تخمین ارتفاع موج شاخص و تحلیل نیروهای وارد بر سازه های دریایی و انتقال رسوب استفاده شده است. معیارهای ارزیابی شامل ضریب تعیین، میانگین قدرمطلق خطا و جذر میانگین مربعات خطا هستند. نتایج نشان می دهند که روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی با ضریب تعیین ۰/۹۶، میانگین قدرمطلق خطا برابر ۰/۰۷۹ و جذر میانگین مربعات خطا برابر ۰/۱۰۹۸، و همچنین روش رگرسیون فرآیند گوسی با ضریب تعیین ۰/۹۶، میانگین قدرمطلق خطا برابر ۰/۰۸۳۴ و جذر میانگین مربعات خطا برابر ۰/۱۱۲۹۶، عملکرد مناسبی در تخمین ارتفاع موج شاخص دارند.

واژه های کلیدی: کارایی،

سازه های دریایی، انتقال رسوب، ارتفاع موج شاخص دریا، هوش مصنوعی، تأثیرات زیست محیطی

نتیجه گیری: در این پژوهش، ضریب تعیین در روش پیشنهادی برابر با ۰/۹۶ است که نشان دهنده بالا بین نتایج تخمینی و واقعی است. همچنین، میانگین قدر مطلق خطا روش پیشنهادی کمتر از روش رگرسیون فرآیند گوسی است. نتایج نشان می دهند که روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی دقت بیشتری در تخمین ارتفاع موج شاخص و تحلیل نیروهای وارد بر سازه های دریایی دارد.

نویسنده مسئول: محمدحسین احمدی

نشانی: گروه مهندسی عمران، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران | تلفن: ۰۹۱۷۳۳۹۶۶۲ | پست الکترونیکی: mohammadh.ahmadi@iau.ac.ir

استناد: وکیلی امیر، آقامجیدی روزبه، احمدی محمدحسین. ارزیابی زیست محیطی و بهبود تحلیل نیروهای وارده بر سازه های دریایی و انتقال رسوب با استفاده از تخمین ارتفاع موج شاخص دریا به کمک هوش مصنوعی. پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۷(۲): ۱-۱۳.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

پروژه‌های ساخت‌وساز در مناطق دریایی و ساحلی، نظیر سازه‌های دریایی و سیستم‌های انتقال رسوب، به دلیل قرارگیری در محیط‌های پویا و چالش‌برانگیز، نیازمند تحلیل دقیق و بهینه‌سازی هستند. این سازه‌ها در معرض نیروهای پیچیده‌ای از جمله امواج، جزر و مد، و جریان‌های آب قرار دارند. یکی از پارامترهای کلیدی در این تحلیل‌ها، ارتفاع موج شاخص است که به عنوان معیاری برای ارزیابی نیروهای وارده بر سازه‌ها و بررسی تأثیرات آن‌ها استفاده می‌شود. با پیشرفت‌های اخیر در زمینه هوش مصنوعی (AI)، امکانات جدیدی برای بهبود کارایی تحلیل‌های مربوط به این پارامترها فراهم شده است. سازه‌های دریایی، مانند سکوها نفتی، پل‌های دریایی و سیستم‌های دفاعی ساحلی، تحت تأثیر نیروهای مختلفی از جمله امواج، جزر و مد، و جریان‌های آب قرار دارند. این نیروها می‌توانند به‌طور مستقیم بر ایمنی و پایداری سازه‌ها تأثیر بگذارند. ارتفاع موج شاخص، که به‌طور معمول به عنوان میانگین بالاترین یک‌سوم امواج اندازه‌گیری شده در یک دوره زمانی مشخص تعریف می‌شود، به عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی بارهای وارده بر سازه‌ها و تحلیل تأثیرات آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (کاکس و وندمیر ۲۰۱۰). تحلیل دقیق نیروهای وارد بر سازه‌ها معمولاً به وسیله مدل‌های عددی و آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام می‌شود. این روش‌ها ممکن است به دلیل پیچیدگی و تنوع شرایط محیطی، نتایج دقیقی ارائه ندهند (ساترلند و همکاران ۲۰۱۶). پارامترهای زیست‌محیطی نظیر دما، شوری، و ترکیب رسوبات می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر ویژگی‌های امواج و نیروهای وارد بر سازه‌ها داشته باشند. تغییرات در دما و شوری می‌تواند بر چگالی آب و سرعت جریان‌های اقیانوسی تأثیر بگذارد، که به نوبه خود می‌تواند بر الگوی امواج و نیروهای وارده مؤثر باشد (دیویس و همکاران ۲۰۱۴). به‌طور مشابه، ترکیب رسوبات در بستر دریا می‌تواند باعث تغییر در الگوی امواج و توزیع انرژی آن‌ها شود، که این مسئله بر تحلیل نیروهای وارده بر سازه‌ها تأثیرگذار است (هریسون و مک دونالد ۲۰۱۵). تخمین دقیق ارتفاع موج شاخص برای تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌ها و سیستم‌های انتقال رسوب ضروری است. مدل‌های آماری و عددی مختلفی برای پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص وجود دارد که می‌توانند بر اساس داده‌های جوی، دریایی، و بستر دریا تنظیم شوند. این مدل‌ها معمولاً نیاز به داده‌های تاریخی و شرایط محیطی برای به‌دست آوردن پیش‌بینی‌های دقیق دارند (یونگ و وولان ۲۰۱۲). هوش مصنوعی می‌تواند به‌ویژه در ترکیب با داده‌های زیست محیطی بهبود یافته و تحلیل‌های جامع‌تری ارائه دهد. این تکنولوژی قادر است تأثیرات تغییرات زیست محیطی بر

ارتفاع موج شاخص و نیروهای وارد بر سازه‌ها را مدل‌سازی کرده و پیش‌بینی‌های دقیق‌تری برای طراحی و مدیریت سازه‌ها ارائه دهد (لی و همکاران ۲۰۲۱). مطالعات اخیر نشان‌دهنده پیشرفت‌های قابل توجه در تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و کاربرد هوش مصنوعی در این زمینه است. کاکس و وندمیر (۲۰۱۰) به کارگیری مدل‌های عددی برای تحلیل نیروهای امواج و تأثیرات آن‌ها بر سازه‌ها را مورد بررسی قرار دادند. ساترلند و همکاران (۲۰۱۶) به محدودیت‌های روش‌های سنتی تحلیل و نیاز به استفاده از داده‌های بزرگ و پیشرفته تأکید کرده‌اند. دیویس و همکاران (۲۰۱۴) تأثیرات دما و شوری بر ویژگی‌های امواج و تحلیل‌های سازه‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند. در زمینه هوش مصنوعی، چن و همکاران (۲۰۱۹) به کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ویژگی‌های امواج پرداخته‌اند و نتایج نشان‌دهنده دقت بالاتر این روش‌ها نسبت به مدل‌های سنتی است. لی و همکاران (۲۰۲۱) نیز به بررسی استفاده از یادگیری عمیق برای مدل‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی بر ارتفاع موج شاخص و تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌ها پرداخته و نتایج این تحقیق نشان‌دهنده توانمندی بالای تکنیک‌های یادگیری عمیق در این زمینه است. ساخت سازه‌های دریایی از جمله سکوها دریایی، در ابعاد و اشکال گوناگون در سالیان اخیر و با بهبود نوع و کیفیت مصالح و پیشرفت فناوری، گسترش چشم‌گیری داشته است. سکوها دریایی اولیه عموماً از جنس چوب ساخته می‌شدند که با توجه به شرایط جوی و هواشناسی حاکم بر دریاها مناسب نبوده است. در عصر جدید استفاده از مصالحی همانند بتن و فولاد در ساخت سازه‌های دریایی همانند سکوها بسیار فراگیر بوده است. مصالح جدید که در ساخت سکوها دریایی استفاده می‌شود به دلایل مختلفی همانند حد ایمنی ناکافی سکو، حوادث غیرمترقبه و خطر ناشی از خطاها ممکن است دچار مشکلاتی همانند فروریزش شده و خسارات جبران‌ناپذیر مالی و زیست‌محیطی بسیاری به جای گذارد (ابوعلی‌گاه و همکاران ۲۰۲۱). به‌طور کلی، مقاومت ناکافی و افزایش نیروهای وارد بر سکوها دریایی را می‌توان مهم‌ترین دلایل شکست این سکوها دانست. چنانچه نیروهایی که بر سکوها دریایی وارد می‌شوند از میزان ظرفیت و تحمل سکوها فراتر باشند، ایمنی آن‌ها را به خطر خواهند انداخت. با توجه به موارد ذکرشده، قبل از ساخت سکوها دریایی و در مرحله طراحی بایستی پیش‌بینی و روند مقاوم‌سازی کافی این سکوها برای غلبه بر نیروهای ذکرشده را مشخص نمود. در تحلیل سازه‌های دریایی از جمله نیروهای وارد بر سکوها دریایی و انتقال رسوب بسیار

بالا اهمیت می‌باشد (اتیا و همکاران ۲۰۲۲). برای تخمین ارتفاع موج شاخص، روش‌های مختلفی تاکنون ارائه شده است. استفاده از روش‌های تجربی ساده بوده اما دارای دقت مناسبی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص نمی‌باشند. همچنین روش‌های عددی معمولاً علی‌رغم دقت قابل قبول جهت تخمین ارتفاع موج شاخص، بسیار زمان و هزینه‌بر می‌باشد. با توجه به این موارد، در سالیان اخیر استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و محاسبات نرم همانند شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص بسیار فراگیر بوده است (بهار کامران ۲۰۱۱). اتیا و همکاران (۲۰۲۲)، یک رویکرد استخراج ویژگی مبتنی بر یادگیری عمیق برای پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص با استفاده از داده‌های ارتفاع سنج حالت رادار دیافراگم مصنوعی ماهواره‌ای (SAR) ارائه نموده‌اند. در این مقاله بیان شده است که پیش‌بینی پارامترهای موج دریا مانند ارتفاع موج شاخص (SWH) اخیراً به‌عنوان یک نیاز حیاتی برای امنیت و اقتصاد دریایی شناسایی شده است. مأموریت‌های ماهواره‌ای رصد زمین منجر به افزایش گسترده حجم و ابعاد داده‌های دریایی شده است. فن‌آوری‌های یادگیری عمیق توانایی‌های خود را برای پردازش مقادیر زیادی از داده‌ها، به‌دست آوردن بینش‌های مفید و کمک به تصمیم‌گیری‌های محیطی ثابت کرده‌اند. رویکرد معرفی شده در این مقاله، قدرت شبکه‌های عصبی عمیق رمزگذار خودکار را در نگاشت ویژگی‌های ورودی به ویژگی‌های فضای پنهان با قدرت انتخاب ویژگی الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) ادغام نموده است تا ویژگی‌های قابل‌توجهی از مشاهدات ارتفاع‌سنج ایجاد نماید. در این مقاله چندین مجموعه ویژگی ترکیبی با استفاده از رویکرد پیشنهادی تولید شده و برای مدل‌سازی SWH از رگرسیون فرآیند گاوسی (GPR) و رگرسیون شبکه عصبی (NNR) استفاده شده است. در این مقاله، از داده‌های ارتفاع‌سنج حالت SAR کالیبره شده توسط داده‌های شناور درجا برای آموزش و ارزیابی مدل‌های SWH استفاده شده است. یافته‌های این مقاله برتری شبکه یادگیری عمیق رمزگذار خودکار پیشنهادی را در تولید ویژگی‌های نهفته نشان می‌دهد که به بهبود عملکرد پیش‌بینی مدل‌های SWH نسبت به روش‌های استخراج ویژگی سنتی کمک می‌کند. ژبائزن یو و همکاران (۲۰۲۲)، یک مدل یادگیری عمیق برای پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص ارائه نموده‌اند. در این مقاله بیان شده است که پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص (SWH) برای ارزیابی و استفاده از انرژی ساحلی، ساخت بندر و برنامه‌ریزی کشتیرانی بسیار مهم است روش‌های فعلی پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص یا به اطلاعات قبلی قابل‌اعتماد نیاز دارند یا به حد بالای دقت پیش‌بینی نرسیده‌اند. برای این منظور، در این مقاله یک شبکه مبتنی بر موجک برای پیش‌بینی SWH با دقت

بالا پیشنهاد شده است. فنگ و همکاران (۲۰۲۲)، پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص در فراساحل چین بر اساس روش یادگیری ماشین را مورد بررسی قرار داده‌اند نتایج تجربی ارزیابی مقاله نشان داده است که عملکرد شبکه‌های LSTM و GRU بر اساس مکانیسم دروازه‌ای بهتر از شبکه‌های عصبی بازگشتی سنتی بوده است و استفاده از روش EMD در بهبود شبکه LSTM برای پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص ۱۲ و ۲۴ ساعته نیز مفید می‌باشد. لی هان و همکاران (۲۰۲۲)، در مقاله‌ای اقدام به پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص در دریای چین جنوبی (SCS) بر اساس یادگیری عمیق نموده‌اند. مطابق نتایج ارزیابی تجربی مقاله، اثبات شده است که الگوریتم یادگیری عمیق کانولوشنال پیشنهادی توانسته است در معیارهای مذکور نسبت به روش‌های مورد مقایسه بهبود داشته و کارایی بیشتری جهت پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص در دریای چین جنوبی حاصل نماید (هان و همکاران ۲۰۲۲). کوی ژی و همکاران (۲۰۲۲)، یک چارچوب یادگیری عمیق آبشاری دومرحله‌ای برای پیش‌بینی بلادرنگ توزیع ارتفاع موج شاخص در یک بندر مطرح نموده‌اند. مطابق نتایج ارزیابی مقاله، اثبات شده است که روش پیشنهادی از همه مدل‌های دیگر در پیش‌بینی‌های میان‌مدت (۲۵ تا ۴۸ ساعت)، پیش‌بینی‌های بلندمدت (۴۹-۷۲ ساعت) و طولانی‌مدت (۷۳-۹۶ ساعت) کارایی بهتری حاصل نموده است. لطف‌اللهی یقین و همکاران (۱۳۹۲)، در مقاله‌ای اقدام به مدل‌سازی و پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص دریای خزر با نظریه آشوب نموده‌اند. در این مقاله بیان شده است که بررسی و پیش‌بینی ارتفاع موج در تحلیل سامانه‌های دریایی ازجمله نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب برای طراحی، بهره‌برداری و مطالعات مربوط به گستره دریایی، اهمیت دارد. در این مقاله، خصوصیات دینامیکی سری زمانی ارتفاع موج شاخص ساعتی در ورودی بندر انزلی دریای خزر و پیش‌بینی آن با استفاده از مفاهیم نظریه آشوب انجام شده است برای بازسازی فضای حالت زمان تأخیر از روش تابع خودهمبستگی و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه‌های کاذب محاسبه شده است. از روش پیش‌بینی موضعی برای پیش‌بینی سری زمانی ارتفاع موج شاخص استفاده شده است که نتایج حاکی از دقت قابل‌قبول این نظریه در پیش‌بینی کمی ارتفاع موج شاخص دریا دارد. فیاضی و آقاچوکچ (۱۳۹۲)، حداکثر ارتفاع موج محتمل طی عمر طراحی سکوها دریایی واقع در خلیج فارس را محاسبه نموده‌اند. در این مقاله بیان شده است که پیش‌بینی حداکثر ارتفاع موج به‌عنوان پارامتری اساسی در طراحی و ارزیابی سازه‌های دریایی با عدم قطعیت همراه است. در این مقاله، دو الگوریتم برای محاسبه حداکثر ارتفاع موج محتمل با توجه به داده‌های آماری موجود در منطقه خلیج فارس پیشنهاد شده است در روش اول از یک تابع

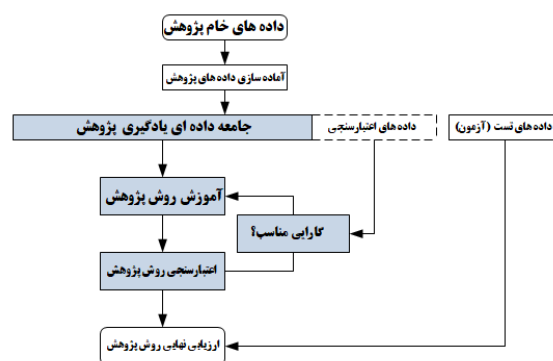
تخمین می‌باشد. جهت حل این مسئله، در این پژوهش تلاش خواهیم نمود تا با بهره‌گیری از سایر روش‌های هوش مصنوعی و ترکیب آن‌ها با یکدیگر، روشی نوین ارائه نماییم که ضمن بهبود فرآیند یادگیری منجر به هم‌پوشانی خطای آموزش و بهبود کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین دقیق‌تر ارتفاع موج شاخص دریا گردد. بنا بر مطالعات و تحلیل‌های به انجام رسیده، استفاده انحصاری از روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ساده و عمیق) همانند دیوس و همکاران (۲۰۱۴)، چن و همکاران (۲۰۱۹) و بریمن (۱۹۹۶) و غیره جهت تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، موجب خطای آموزش و کارایی ناکافی در این روش‌ها شده است. جهت حل این چالش، در این پژوهش برای نخستین مرتبه ایده استفاده و ترکیب سایر روش‌های هوش مصنوعی جهت هم‌پوشانی خطای آموزش و افزایش کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، به‌عنوان نوآوری و جنبه جدید بودن پژوهش مطرح شده است. با توجه به مطالب ذکر شده هدف از پژوهش حاضر بهبود کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا و مفاهیم هوش مصنوعی می‌باشد.

توزیع احتمال مشترک درازمدت وابسته به ارتفاع و دوره تناوب موج و در روش دوم از یک تابع توزیع احتمال مشترک برحسب یک تابع احتمالاتی و مجموعه‌ای از توابع احتمال شرطی، بهره‌گیری شده است در پایان نیز با در نظر گرفتن عمر طراحی سکوها دریایی، ارتفاع موجی که در مدت عمر طراحی این سکوها دارای احتمال فراگذشت‌های متفاوت می‌باشد، محاسبه گردیده است. کامران زاد و همکاران (۱۳۹۰)، در مقاله‌ای به تعیین پارامترهای مؤثر در پیش‌بینی ارتفاع موج شاخص در نکا پرداخته‌اند. در این مقاله، پیش‌بینی مشخصات امواج در دریای خزر به کمک شبکه عصبی مصنوعی در منطقه نکا انجام شده است. با انجام سعی و خطا بر روی مدل‌های متفاوت، مشخص شد که در نظر گرفتن سرعت برشی باد به جای سرعت باد سبب افزایش دقت نتایج می‌شود. بررسی مدل‌های مختلف با گام‌های زمانی متفاوت برای سرعت باد نشان داد که در نظر گرفتن سرعت باد تا ۷ ساعت گذشته، دقت مدل‌سازی را افزایش می‌دهد. همچنین استفاده از پارامتر طول موجگاه به‌عنوان ورودی، تأثیر چندانی در بهبود نتایج مدل‌سازی ندارد. روش‌های فعلی مبتنی بر محاسبات نرم جهت تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، عموماً از روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ساده و عمیق) استفاده نموده‌اند که در عمل به دلیل عدم استفاده از سایر روش‌های هوش مصنوعی دارای خطای آموزش و کارایی ناکافی

مواد و روش‌ها

قابل یک مدل مفهومی مورد بررسی قرار گرفته است که در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

روند انجام این پژوهش جهت تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا در



شکل ۱- بررسی روند حل مسئله پژوهش

ارتفاع موج شاخص دریا در محیط نرم‌افزار متلب، ارائه و تشریح شده است.

پیاده‌سازی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پژوهش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، در ابتدا توسط ۰/۷۵ درصد از جامعه داده‌ای Coastal Data System مورد آموزش قرار گرفته و در ادامه فرآیند اعتبارسنجی این روش توسط ۰/۲۵ از نمونه‌های موجود در این داده‌ها به انجام رسیده است. همچنین جهت پیاده‌سازی روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی در نرم‌افزار متلب برای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، پارامترهای این روش به‌صورت تجربی مشخص و مطابق جدول ۱ تعیین شده است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد، در روند حل مسئله پژوهش ابتدا داده‌های پژوهش پردازش شده و در سه دسته داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و تست (آزمون) جداسازی خواهند شد. در ادامه توسط مجموعه داده‌های آموزش، روش هوش مصنوعی پژوهش را توسط نرم‌افزار آموزش داده و در ادامه یادگیری این روش توسط داده‌های اعتبارسنجی و تست تا زمان دستیابی به کارایی مناسب جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ادامه خواهد یافت.

طراحی، پیاده‌سازی و اعتبارسنجی روش پژوهش

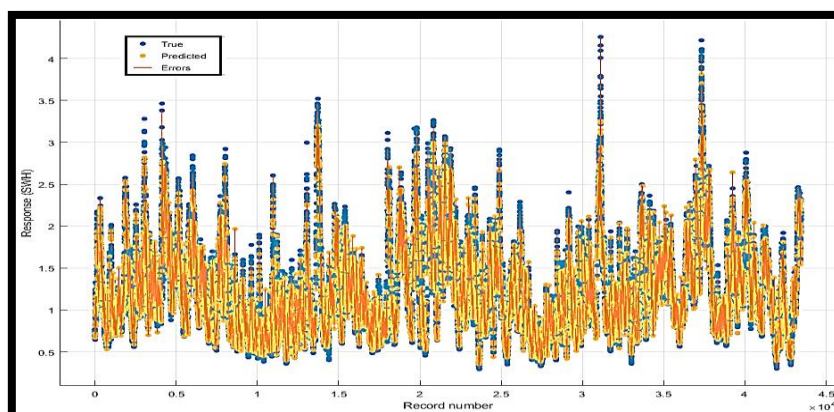
در این بخش روند طراحی، پیاده‌سازی و اعتبارسنجی روش پیشنهادی و روش مورد مقایسه (رگرسیون فرآیند گوسی) تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین

جدول ۱- بررسی پارامترهای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

سرعت تخمین (مشاهده/ثانیه)	زمان آموزش (ثانیه)	حداقل اندازه برگ‌ها	تعداد یادگیرنده‌ها	نوع یادگیری ترکیبی	درصد داده‌های یادگیری	درصد داده‌های اعتبارسنجی
۳۹۰۰۰	۳۹۹/۶۹	۸	۳۰	Bagging	۰/۷۵	۰/۲۵

اندازه برگ‌هایی برابر با ۸ در روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا استفاده شده است. در شکل ۲ نتایج خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی ارائه شده است.

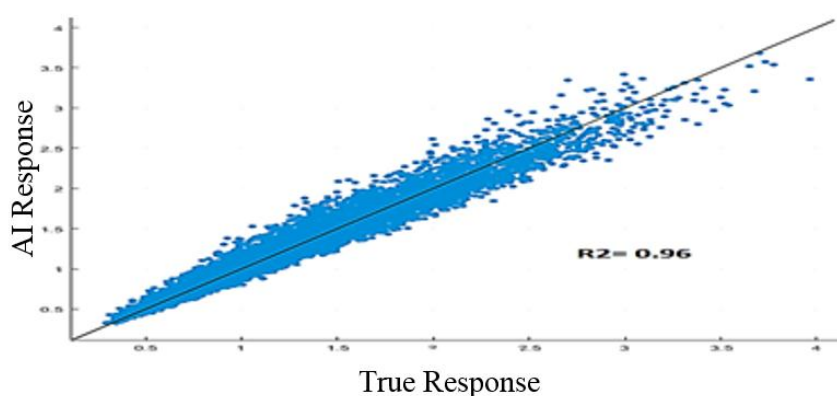
همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد، روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی مورد مقایسه پژوهش در مدت زمان ۳۹۹ ثانیه جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا آموزش یافته است و سرعت تخمین در این روش برابر با ۳۹۰۰۰ مشاهده/ثانیه می‌باشد. همچنین از روش یادگیری ترکیبی با تعداد ۳۰ یادگیرنده و حداقل



شکل ۲- نتایج خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

در شکل ۲، نقاط آبی رنگ نمایانگر ارتفاع حقیقی موج شاخص دریا در مجموعه داده‌های پژوهش می‌باشد و نقاط زرد رنگ نیز نشان‌دهنده ارتفاع تخمینی موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پژوهش است. خطوط قرمز رنگ در شکل ۲، خطای (فاصله) بین ارتفاع حقیقی و ارتفاع

تخمینی موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پژوهش می‌باشد. در شکل ۳ نمودار پراکنش تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۳- نمودار پراکنش تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، در نمودار پراکنش روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پژوهش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ضریب تعیین یا امتیاز R^2 برابر با ۰/۹۶ می‌باشد. به بیانی دیگر، مقدار پراکنش (نسبت به خط برازش) مقادیر واقعی ارتفاع موج شاخص دریا در جامعه داده‌ای پژوهش نسبت به مقدار تخمینی توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی برابر ۰/۹۶ می‌باشد.

پیاده‌سازی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

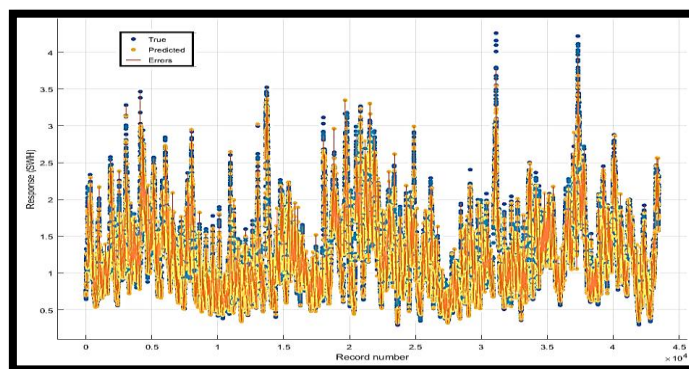
روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، در ابتدا توسط ۰/۷۵ درصد از جامعه داده‌ای سیستم داده‌های ساحلی مورد آموزش قرار گرفته و در ادامه فرآیند اعتبارسنجی این روش توسط ۰/۲۵ از نمونه‌های موجود در این داده‌ها به انجام رسیده است. همچنین جهت پیاده‌سازی روش رگرسیون فرآیند گوسی در نرم‌افزار متلب برای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، پارامترهای این روش به صورت تجربی مشخص و مطابق جدول ۲ تعیین شده است.

جدول ۲- بررسی پارامترهای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

سرعت تخمین (مشاهده/ثانیه)	زمان آموزش (ثانیه)
۹۴۰	۴۹۴۲

همان‌گونه که از جدول ۲ مشاهده می‌گردد، روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش در مدت زمان ۴۹۴۲ ثانیه جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا آموزش یافته است و سرعت

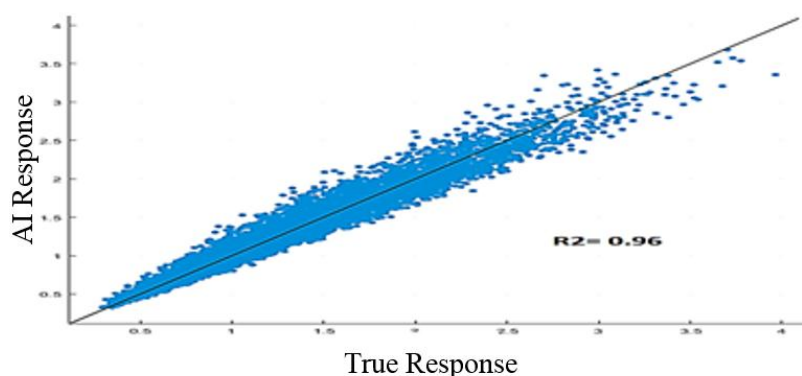
تخمین در این روش برابر با ۹۴۰ مشاهده/ثانیه می‌باشد. در شکل ۴ نتایج خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی ارائه شده است.



شکل ۴- نتایج خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

تخمینی موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش می‌باشد. در شکل ۵ نمودار پراکنش تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی قابل مشاهده می‌باشد.

در شکل ۴ نقاط آبی رنگ نمایانگر ارتفاع حقیقی موج شاخص دریا در مجموعه داده‌های پژوهش می‌باشد و نقاط زرد رنگ نیز نشان‌دهنده ارتفاع تخمینی موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش است. خطوط قرمز رنگ در شکل خطای (فاصله) بین ارتفاع حقیقی و ارتفاع



شکل ۵- نمودار پراکنش تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

مقادیر واقعی ارتفاع موج شاخص دریا در جامعه داده‌ای پژوهش نسبت به مقدار تخمینی توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی برابر ۰/۹۶ می‌باشد.

همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، در نمودار پراکنش روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ضریب تعیین یا امتیاز R^2 برابر با ۰/۹۶ می‌باشد. به بیانی دیگر، مقدار پراکنش (نسبت به خط برازش)

نتایج و بحث

جامعه داده‌ای پژوهش

جهت آموزش، اعتبارسنجی و تحلیل میزان کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، در این پژوهش از مجموعه داده‌های Coastal Data System-Waves (Mooloolaba) استفاده شد. این مجموعه داده‌ها در یک بازه زمانی ۳۰ ماهه بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ و در دوره‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای استخراج شده است. مجموعه داده مورد استفاده، توسط شناورهای اندازه‌گیری امواج اقیانوس‌شناسی اقدام به گردآوری ارتفاع موج شاخص دریا نموده است. ورودی‌های مجموعه داده Coastal Data System عبارت‌اند از حداکثر ارتفاع موج در رکورد، دوره موج بالای صفر،

دوره اوج موج انرژی، جهتی که امواج دوره اوج از آن می‌آیند و تقریب دمای سطح دریا. همچنین ارتفاع موج قابل توجه (میانگین بالاترین یک‌سوم امواج در یک رکورد) خروجی این مجموعه داده محسوب می‌گردد.

معیارهای ارزیابی پژوهش

در این بخش، معیارهای ارزیابی مورد استفاده در پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش جهت تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب توسط تخمین ارتفاع موج شاخص دریا، ابتدا از معیار ضریب تعیین یا امتیاز R^2 مطابق با معادله ۱ استفاده خواهد شد.

$$R^2(Y, \hat{Y}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = 1 - \frac{MSE(Y, \hat{Y})}{\sigma^2(Y)} \quad (1)$$

رسوب خواهد بود. معیار دیگر مورد استفاده در ارزیابی پژوهش میانگین قدر مطلق خطا^۱ (MAE) مطابق با معادله ۲ می‌باشد.

مطابق معادله ۱ افزایش معیار ضریب تعیین در روش‌های مورد مقایسه پژوهش، نشان‌دهنده بهبود کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا و تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال

$$MAE(Y, \hat{Y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (2)$$

وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب خواهد بود. معیار دیگر مورد استفاده در ارزیابی پژوهش جذر میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) مطابق با معادله ۳ می‌باشد.

مطابق معادله ۲، کاهش معیار میانگین قدرمطلق خطا در روش‌های مورد مقایسه پژوهش، نشان‌دهنده کاهش میانگین قدر مطلق خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا و تحلیل نیروهای

$$RMSE(Y, \hat{Y}) = \sqrt{MSE(Y, \hat{Y})} \quad (3)$$

توسط نرم‌افزار متلب، در این بخش نتایج تجزیه و تحلیل میزان کارایی و دقت این روش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیارهای ارزیابی پژوهش مطابق با معادلات ۱، ۲ و ۳ استخراج و مورد تحلیل قرار گرفته است. در جدول ۳ و شکل ۶ نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی ارائه شده است.

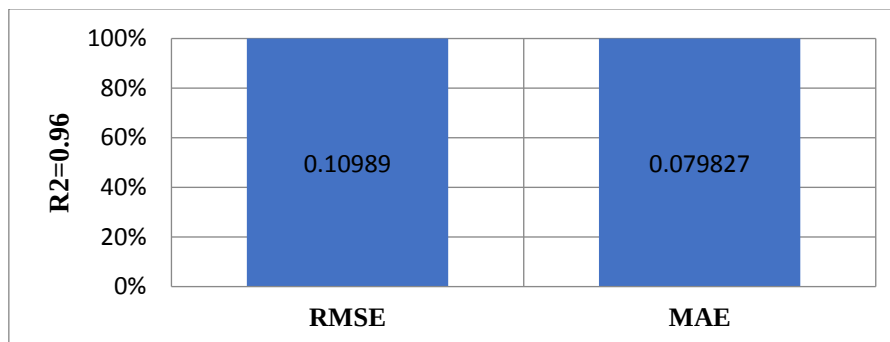
مطابق معادله ۳ کاهش معیار جذر میانگین مربعات خطا در روش‌های مورد مقایسه پژوهش، نشان‌دهنده کاهش میانگین مربعات خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا و تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب خواهد بود. تجزیه و تحلیل تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پس از انجام فرآیند طراحی، توسعه و اعتبارسنجی روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

¹ Mean Absolute Error

² Root Mean Squared Error

جدول ۳- نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

معیار روش	R^2	MAE	RMSE
روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی	۰/۹۶	۰/۰۷۹۸۲۷	0.10989



شکل ۶- نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

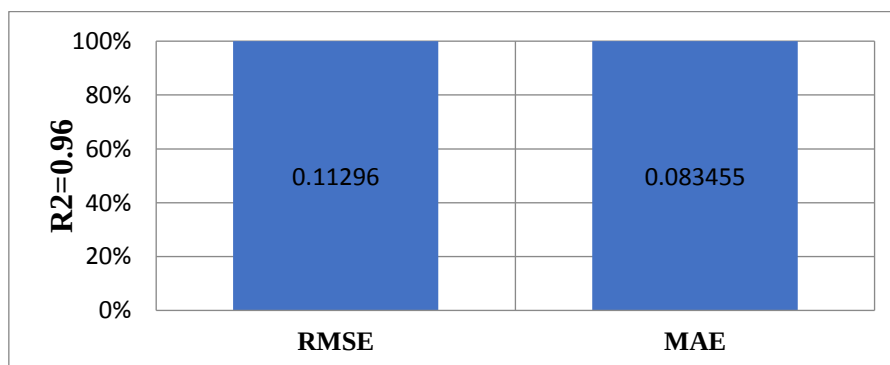
تجزیه و تحلیل تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

پس از انجام فرآیند طراحی، توسعه و اعتبارسنجی روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش توسط نرم‌افزار متلب، در این بخش نتایج تجزیه و تحلیل میزان کارایی و دقت این روش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیارهای ارزیابی پژوهش مطابق با معادلات ۱، ۲ و ۳ استخراج و مورد تحلیل قرار گرفته است. در جدول ۴ و شکل ۷ نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی ارائه شده است.

همان‌گونه که از جدول ۳ ملاحظه می‌گردد، روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی دارای ۰/۹۶ قدرت توضیح دهنده (معیار ضریب R^2) یا میزان احتمال بین نتایج تخمینی و واقعی ارتفاع موج شاخص دریا در جامعه داده‌ای پژوهش می‌باشد. همچنین مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۳، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی به ترتیب برابر با ۰/۰۷۹۸۲۷ و ۰/۱۰۹۸۹ می‌باشد.

جدول ۴- نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

معیار روش	R^2	MAE	RMSE
رگرسیون فرآیند گوسی	۰/۹۶	۰/۰۸۳۴۵۵	۰/۱۱۲۹۶



شکل ۷- نتایج ارزیابی کارایی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

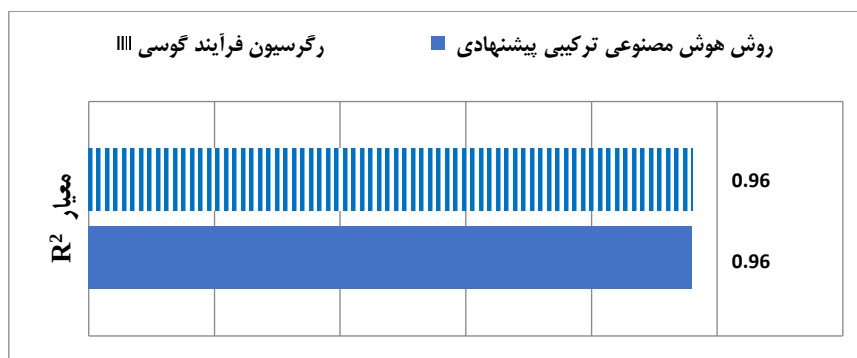
گوسی مورد مقایسه پژوهش به ترتیب برابر با 0.83455 و 0.11296 می‌باشد.

در جدول ۵ و شکل ۸ نتایج معیار ضریب تعیین R^2 در روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی، رگرسیون بردار پشتیبان، درخت رگرسیون، رگرسیون خطی و رگرسیون فرآیند گوسی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ارائه شده است.

همان‌گونه که در جدول ۶ ملاحظه می‌گردد، روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش دارای 0.96 قدرت توضیح دهنده (معیار ضریب R^2) یا میزان احتمال بین نتایج تخمینی و واقعی ارتفاع موج شاخص دریا در جامعه داده‌ای پژوهش می‌باشد. همچنین مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۴ میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند

جدول ۵- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار ضریب تعیین R^2

روش	R^2
روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی	0.96
رگرسیون فرآیند گوسی	0.96



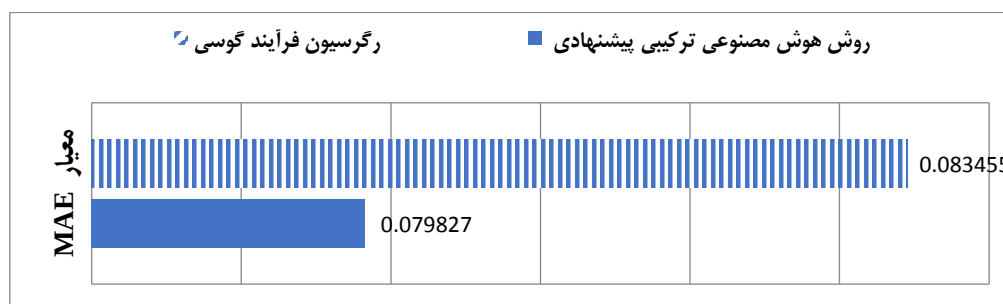
شکل ۸- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار ضریب تعیین R^2

مطلق خطا (MAE) در روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی و رگرسیون فرآیند گوسی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ارائه شده است.

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۵ معیار ضریب R^2 (قدرت توضیح دهنده و تخمین) در روش پیشنهادی پژوهش برابر با 0.96 می‌باشد. در جدول ۷ و شکل ۸ نتایج معیار میانگین قدر

جدول ۷- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE)

روش	MAE
روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی	0.079827
رگرسیون فرآیند گوسی	0.083455



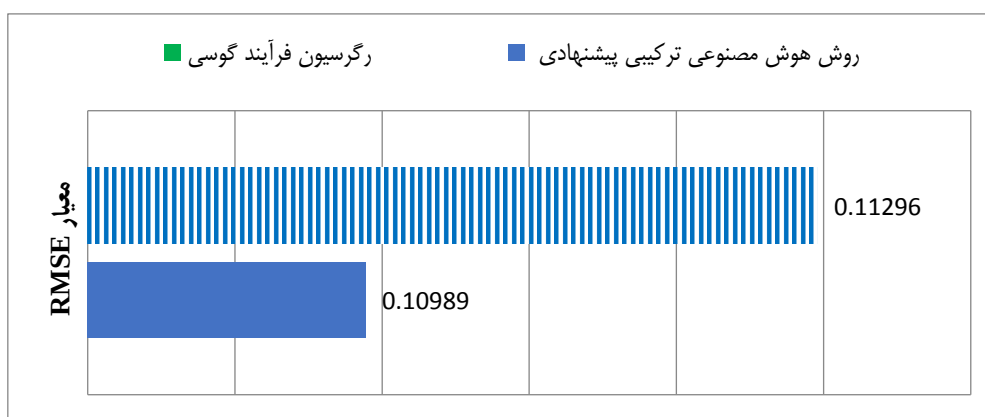
شکل ۹- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE)

در جدول ۸ و شکل ۹ نتایج معیار جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) در روش مورد مقایسه روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی و رگرسیون فرآیند گوسی جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ارائه شده است.

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۵ معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE) در روش پیشنهادی پژوهش برابر با ۰/۰۷۹۸۲۸ می‌باشد که نسبت به روش مورد مقایسه رگرسیون فرآیند گوسی به میزان ۰/۰۳۶۲۸ جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا کمتر می‌باشد.

جدول ۸- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار جذر میانگین مربعات خطای (RMSE)

روش	RMSE
روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی	۰/۱۰۹۸۹
رگرسیون فرآیند گوسی	۰/۱۱۲۹۶



شکل ۱۰- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیار جذر میانگین مربعات خطای (RMSE)

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش ترکیبی هوش مصنوعی پیشنهادی، بهبود کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌های دریایی و انتقال رسوب را به دنبال خواهد داشت که هدف و فرضیه اصلی پژوهش را اثبات می‌نماید. از مهم‌ترین پیشنهادات پژوهش جهت استفاده محققان فعال در زمینه حل مسئله تخمین ارتفاع موج شاخص دریا می‌توان به استفاده از سایر روش‌های داده‌کاوی جهت ترکیب با روش هوش مصنوعی پیشنهادی پژوهش و بهره‌گیری از روش‌های بهینه‌سازی جهت استخراج پارامترهای بهینه تخمین ارتفاع موج شاخص دریا اشاره کرد.

مطابق نتایج تحقیق حاضر معیار جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) در روش پیشنهادی پژوهش برابر با ۰/۱۰۹۸۹ می‌باشد که به ترتیب نسبت به روش مورد مقایسه رگرسیون فرآیند گوسی به میزان ۰/۰۳۰۷ جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا کمتر می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج حاصل شده مشاهده گردید که روش ترکیبی هوش مصنوعی پیشنهادی تخمین ارتفاع موج شاخص دریا به دلیل ترکیب غیر انحصاری روش‌های هوش مصنوعی و هم‌پوشانی خطای آموزش توانسته است در معیارهای R^2 ، MAE و RMSE نسبت به روش مورد مقایسه فرآیند گوسی کارایی بهتری داشته باشد. بهبود کارایی تخمین

References

- Atteia G, Collins MJ, Algarni AD, Samee NA. Deep-learning-based feature extraction approach for significant wave height prediction in SAR mode altimeter data. *Remote Sens.* 2022; 14(21):5569. <https://doi.org/10.3390/rs14215569>
- Behar Kamran Z, Amir Etemad S, Mohsen H. Determination of effective parameters in forecasting significant wave height in Neka. In: 4th International Conference on Offshore Industries; 2011. [In Persian]
- Breiman L. Bagging predictors. *Mach Learn.* 1996;24(2):123-40. <https://doi.org/10.1007/BF00058655>
- bualigah L, Diabat A, Mirjalili S, Abd Elaziz M, Gandomi AH. The arithmetic optimization algorithm. *Comput Methods Appl Mech Eng.* 2021; 376:113609. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2020.113609>
- Cox DR, van der Meer JW. Wave forces on marine structures. CRC Press; 2010.
- Davis RE, Collins DC, Wu L. Effects of temperature and salinity on wave properties and their impact on coastal infrastructure. *J Coast Res.* 2014;30(3):578-88. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00048.1>
- Dhodhi J, Sharma K, Hassanin A. Safety of offshore platforms. In: *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering*. Wiley; 2017. p. 1-10. <https://doi.org/10.1002/9781118476406.emoe0021>
- Feng Z, Hu P, Li S, Mo D. Prediction of significant wave height in offshore China based on the machine learning method. *J Mar Sci Eng.* 2022;10(6):836. <https://doi.org/10.3390/jmse10060836>
- Han L, Ji Q, Jia X, Liu Y, Han G, Lin X. Significant wave height prediction in the South China Sea based on the ConvLSTM algorithm. *J Mar Sci Eng.* 2022;10(11):1683. <https://doi.org/10.3390/jmse10111683>
- Harrison S, MacDonald A. Influence of seabed sediment composition on wave propagation and sediment transport. *Coast Eng.* 2015; 102:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.04.001>
- Li Z, Zhang M, Wang X. Deep learning for predicting wave height and its implications for coastal engineering. *Eng Appl Artif Intell.* 2021;98:104064. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104064>
- Lotfollahi Yeganeh M, Lashtah Neshayi M, Ghorbani M, Larian MB. Modeling and forecasting of significant wave height in the Caspian Sea using chaos theory. *Amirkabir J Civ Eng.* 2013; 45:97-105. [In Persian]
- Mishra JP, Singh K, Chaudhary H. Intelligent Ocean wave height prediction system using light GBM model. *Int J Syst Innov.* 2022;7(2):64-77. <https://doi.org/10.20855/ijsi.2022.7.2.9>
- Obakrim S, Ailliot P, Monbet V, Raillard N. Statistical modeling of the space-time relation between wind and significant wave height. *Authorea Preprints*; 2022. <https://doi.org/10.31219/osf.io/j8vyr>
- Obara Y, Nakamura R. Transfer learning of long short-term memory analysis in significant wave height prediction off the coast of western Tohoku, Japan. *Ocean Eng.* 2022; 266:113048. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113048>
- Özger M. Significant wave height forecasting using wavelet fuzzy logic approach. *Ocean Eng.* 2010;37(16):1443-53. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2010.06.003>
- Schulz E, Speekenbrink M, Krause A. A tutorial on Gaussian process regression: Modelling, exploring, and exploiting functions. *J Math Psychol.* 2018; 85:1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2018.09.003>
- Segal MR. Machine learning benchmarks and random forest regression. [Unpublished manuscript]. 2004.
- Sutherland J, Smith J, Nairn R. Challenges in numerical modeling of wave forces on offshore structures. *Appl Ocean Res.* 2016;59:84-95. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2016.09.005>
- Xie C, Liu X, Man T, Xie T, Dong J, Ma X, et al. PWPNet: A deep learning framework for real-time prediction of significant wave height distribution in a port. *J Mar Sci Eng.* 2022;10(9):1375.
- Yu X, Liu Y, Sun Z, Qin P. Wavelet-based ResNet: A deep-learning model for prediction of significant wave height. *IEEE Access.* 2022; 10:110026-33. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3217812>



Environmental Assessment and Improvement of The Analysis of Forces on Marine Structures and Sediment Transfer Using Estimation of the Height of the Sea Index

Wave with the Help of Artificial Intelligence

Amir vakili
Roozbeh Aghamajidi
Mohamadhossein
Ahmadi*

Department of Civil Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.
Department of Civil Engineering, Sepidan Branch, Islamic Azad University, Sepidan, Iran.
Department of Civil Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran.

Received: 29 Aug 2024

Accepted: 10 Dec 2024

Keywords: Efficiency,
Marine Structures,
Sediment Transport,
Significant Wave Height,
Artificial Intelligence

Extended Abstract

Introduction: Accurate prediction of significant wave height is crucial for the analysis of marine structures. This prediction aids in optimizing the performance of structures and reducing the environmental impacts of marine activities. Existing empirical and numerical methods are typically costly and time-consuming. Recently, the use of artificial intelligence and soft computing methods has gained popularity; however, these methods face challenges such as training errors and insufficient performance. This study aims to improve the prediction of significant wave height by employing a combination of heterogeneous artificial intelligence methods.

Materials and Methods: In this research, the data is processed and divided into three categories: training, validation, and testing. Then, the artificial intelligence method is trained using the training data to achieve the desired accuracy.

Results and Discussion: In this research, data from the Coastal Data System is utilized to estimate the significant wave height and analyze the forces acting on marine structures and sediment transport. The evaluation criteria include the coefficient of determination (R^2), mean absolute error (MAE), and root mean square error (RMSE). The results indicate that the proposed hybrid artificial intelligence method achieves a coefficient of determination of 0.96, an MAE of 0.079827, and an RMSE of 0.10989. Similarly, the Gaussian process regression method also demonstrates suitable performance with an R^2 of 0.96, an MAE of 0.083455, and an RMSE of 0.11296 in estimating significant wave height.

Conclusion: In this research, the coefficient of determination (R^2) for the proposed method is 0.96, indicating a high correlation between the estimated and actual results. Additionally, the mean absolute error (MAE) is 0.079827, which is 0.003628 lower than that of the Gaussian process regression method. The root mean square error (RMSE) is also 0.10989, which is 0.00307 lower than that of the Gaussian regression method. These results demonstrate that the proposed combined artificial intelligence method offers greater accuracy in estimating significant wave height and analyzing the forces acting on marine structures.

Corresponding author: Mohammad Hossein Ahmadi

Address: Department of Civil Engineering, Beyza Branch, Islamic Azad University, Beyza, Iran. **Tel:** +989173396962

Email: Mohammad.ahmadi@gmail.com

Citation: Vakili A, Aghamajidi R, Ahmadi M H. Environmental assessment and improvement of the analysis of forces on marine structures and sediment transfer using estimation of the height of the sea index wave with the help of artificial intelligence. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2024; 2(7): 1-13



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.