

تخمینی از جریان‌های سطحی تنگه هرمز با استفاده از مدل GMDH

همایون احمدوند^۱، محمد اکبری نسب^{۲*}، ایمان اسمعیلی پایین افراکتی^۳، محمدعلی نجارپور^۴

homayoon.ahmadvand@kmsu.ac.ir

^۱ دانشجوی دکتری فیزیک دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر

m.akbarinasab@umz.ac.ir

^{۲*} نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده علوم دریایی و محیطی، دانشگاه مازندران، بابلسر

i.esmaili.p@umz.ac.ir

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه مازندران، بابلسر

najarpour171@gmail.com

^۴ استادیار، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۴

چکیده

شناخت جریان‌های سطحی یکی از موضوعات اساسی در اقیانوس شناسی است. این جریان‌ها بر اثر عوامل مختلفی از قبیل حضور باد غالب، چرخش زمین و تغییر در چگالی آب دریا به وجود می‌آیند. در این مطالعه به پیش‌بینی جریان‌های سطحی تنگه هرمز با استفاده از مدل GMDH پرداخته شده است. برای راه‌اندازی این مدل، داده‌های سری زمانی سرعت جریان سطحی این حوضه با گام میانگین زمانی ۵ روزه به کار برده شده است. برای بررسی محدودده‌های سطحی مؤثر بر جریان‌های تنگه هرمز، حوزه خلیج فارس به ۱۱ محدوده تقسیم شد. سپس با استفاده از تحلیل رگرسیون و مدل GMDH و ۱۱ محدوده مشخص شده، سه ناحیه حواشی تنگه هرمز که بر جریان‌های سطحی این تنگه مؤثرتر هستند، انتخاب شد. در ادامه با استفاده از الگوی تبادل آب جونز و همکاران که در سال ۲۰۰۳ ارائه شده، ترکیبات مختلفی از سه ناحیه مشخص شده استخراج و به عنوان ورودی مدل GMDH به کار برده شدند. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب این سه ناحیه و استفاده از الگوی جریان‌های جونز سبب کاهش شاخص خطای پیش‌بینی نسبت به حالت قبل از ترکیب آن‌ها می‌شود. در ادامه به علت حضور گردابه‌هایی پاد ساعتگرد در مقیاس حوضچه‌ای در ماه‌های مارس تا جولای، کارایی مدل با حذف این ماه‌ها مورد بررسی قرار گرفته شد که دقت مدل با این روش کاهش یافت. در انتها با دسته‌بندی داده‌ها مشخص شد که مدل GMDH دقت مناسبی در پیش‌بینی سرعت‌های بالا دارد.

کلمات کلیدی: جریان‌های سطحی؛ تنگه هرمز؛ مدل GMDH؛ تحلیل رگرسیون؛ الگوی جونز

۱. مقدمه

خلیج فارس محیط نیمه بسته‌ای است که جریان‌های آبی در این منطقه اهمیت زیادی دارد و حجم قابل توجهی از شوری از طریق تنگه هرمز و خلیج عمان به آب‌های آزاد انتقال می‌یابد. مطالعات زیادی برای بررسی ساختار جریان‌های سطحی و زیرسطحی در تنگه هرمز با مدل‌سازی عددی انجام شده است که در این بین می‌توان به تحقیقات جریان‌های ساحلی در خلیج فارس توسط الوسائری و همکاران اشاره نمود [۱].

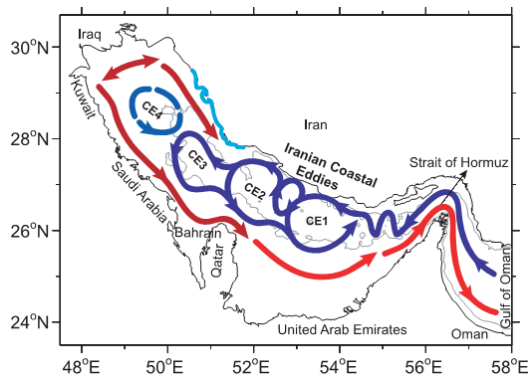
هاتر در تحقیقات خود گردش عمومی خلیج فارس را به این صورت بیان نموده که در خلیج فارس جریانی پادساعتگرد شامل جابه‌جایی آب از تنگه هرمز به سمت سواحل ایران وجود دارد که به سمت شمال غرب ادامه دارد و سرعتی بیشتر از ۱۰ متر بر ثانیه دارد. سپس ادامه گردش به شکل جریانی جنوب غرب‌رو طی سواحل جنوبی ایران ادامه خواهد داشت [۲].

رینولدز و همکاران عامل اصلی در گردش خلیج فارس را جریان‌های چگال رانده بیان نموده‌اند، اما این جریان‌ها تحت تأثیر باد، ورود آب رودخانه اروندرود و تبادل آب جنوب خلیج فارس با دریای عمان نیز هستند. همچنین در جنوب خلیج فارس گردابه‌های پاد ساعتگردی قابل مشاهده است که از طریق آب‌های سطحی از تنگه هرمز بیرون می‌رود. در این تحقیق بیان شده که شمالی‌ترین سمت خلیج فارس از جنوبی‌ترین سمت آن به وسیله جبهه‌ای که در تابستان شدید و در اواخر زمستان و بهار با کم شدن دمای سطحی ضعیف است، جدا می‌شود. این جبهه به سبب نفوذ آب‌های شیرین به درون خلیج فارس به وجود می‌آید [۳].

سويفت و بوور عوامل مؤثر در گردش خلیج فارس را به دلیل تبخیر زیاد و تبادل آب خلیج فارس با دریای عمان بیان نموده‌اند که با نتایج رینولدز همخوانی دارد [۴]. صدری نسب و کمپف با استفاده از مدل سه‌بعدی کوهرنس نشان دادند که گردش خلیج فارس در بهار و تابستان شدت بیشتری می‌گیرد اما در پاییز و زمستان گردابه‌های میان‌مقیاس در آن دیده

می‌شود [۵]. جونز و همکاران با نصب دستگاه ADCP در تنگه هرمز، به جریان و تبادل آب در دریای عمان را بررسی کرده‌اند. بر اساس این تحقیق خروجی آب در این تنگه به صورت سالیانه تقریباً ثابت است [۶].

پراساد و پاتریک با استفاده از مدل سه‌بعدی HYCOM با بررسی گردش و گردابه‌های خلیج فارس نشان داده‌اند که گردش در خلیج فارس به دو صورت میان‌مقیاس و مقیاس حوضچه‌ای قابل بررسی است. شکل ۱ به صورت طرح‌واره این نتایج را نشان می‌دهد. در این شکل، گردش عمومی و مراکز تشکیل گردابه‌ها به صورت CE1، CE2، CE3 و CE4 نمایش داده شده است [۷].



شکل ۱. طرح‌واره پراساد از گردش آب در خلیج فارس [۷]

الدبابسه با استفاده از مدل رامز به بررسی جریان‌های و گردش در خلیج فارس پرداخته است. نتایج مدل‌سازی این تحقیق نشان می‌دهد که گردش آب در خلیج فارس در خلاف عقربه‌های ساعت می‌باشد و به دلیل بروز گرادیان افقی چگالی در محدوده بین خلیج فارس و دریای عمان، در تابستان جریان آب شیرین شدیدتری از طریق راه تنگه هرمز به سمت خلیج فارس وجود دارد [۸].

ترابی آزاد و صمد حمزه‌ای، به صورت میدانی جریان‌های شمال تنگه هرمز را مطالعه کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با حرکت از مرکز تنگه هرمز به سمت نقاط ساحلی شمال تنگه بر سرعت جریان‌های جزر و مدی منطقه افزوده می‌شود.

جریان گرم و شور ساحل جنوبی عمان به صورت یک جت باریک با شوری ۳۷/۵ psu و دمای 20°C تا رأس الحمراء جریان پیدا می‌کند [۱۳].

پیچک‌های میان مقیاس^۱ نوعی از سازوکار انتقال آب دریا هستند که حالتی بسته و بلندمدت دارند و محدوده ابعاد آن‌ها از ده تا صد کیلومتر و مقیاس زمانی آن‌ها از چند روز تا چند ماه و حتی چند سال متغیر است [۱۴]. وجود پیچک‌ها سبب انتقال انرژی و توده‌های آب شده و بدین صورت بر پارامترهایی نظیر توزیع دما و شوری اثر دارند. به‌طور کلی جریان‌های دریایی تحت تأثیر عوامل مختلفی ایجاد می‌شوند که در این بین باد، توپوگرافی بستر و میدان‌های محلی جریان (جریان‌ها در اطراف جزایر) سبب تشکیل پیچک‌ها می‌شوند. مطالعه سازوکار شکل‌گیری پیچک‌ها، تکامل و مدت دوام آن‌ها در فعالیت‌های نظامی و صنعت ماهیگیری اهمیت دارد [۱۵]. در این میان ماه‌پیکر و همکاران با استفاده از الگوریتم هندسه‌برداری به مدل‌سازی عددی و آشکارسازی اتوماتیک پیچک‌های زیرمقیاس در خلیج فارس پرداخته‌اند. همچنین مشخص شد که در خلیج فارس گردش به دو صورت الف) مقیاس حوضه‌ای که شامل کل خلیج می‌شود و ب) گردش میان‌مقیاس به شکل پیچک‌ها در عرض‌های بین ۵۴ تا ۵۶ درجه شرقی تشکیل می‌شود. تعداد پیچک‌ها در خلیج فارس در فصل زمستان بیشترین و در فصل تابستان کمترین تعداد را دارد. همچنین بیشترین شعاع پیچک‌ها در بازه بین ۵-۱۰ کیلومتر و مدت دوام بیشتر آن‌ها نیز بین ۳-۶ روز است [۱۶].

مدل‌های عددی مختلفی همچون HYCOM، POM و ROMS برای پیش‌بینی جریان‌های سطحی استفاده می‌شوند ولی آماده‌سازی و راه‌اندازی این مدل‌ها از نظر هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری داده‌ها و تنظیم شرایط اولیه و مرزی تقریباً مشکل است؛ بنابراین برای شناسایی سیستم‌ها و مدل‌سازی فرایندهای پیچیده، استفاده از روش‌های محاسبات نرم روشی آسان‌تر و سریع‌تری به نظر می‌رسد. از مهم‌ترین مدل‌های محاسبات نرم

جریان‌های باقی‌مانده تحت تأثیر باد و اختلاف چگالی است و از شمال تنگه هرمز به سوی خلیج فارس حرکت می‌کنند. سرعت حرکت این جریان‌ها در فصل زمستان نسبت به بهار کمتر است [۹].

مهرفر و همکاران با استفاده از مدل هیدرودینامیکی کوهرنس جریان‌ات ساحلی غرب خلیج فارس را بررسی کرده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که جریان‌های ساحلی شمال غرب ایران از ژانویه تا آوریل توسعه یافته است و حداکثر شدت جریان‌ات خود را از ژوئن تا آگوست دارد. این حداکثر شدت به علت افزایش نرخ جریان ورودی سطحی از طریق تنگه هرمز و پایداری ترموکلاین فصلی به تدریج قوی‌تر می‌شود [۱۰].

ترابی آزاد و حسام مهرفر بر اساس مدل‌ها و اندازه‌گیری‌های ریاضی جت‌های ساحلی در خلیج فارس را بررسی کرده‌اند. در این مطالعه نشان داده شده است که به دلیل تعادل زمین‌شناسی و بادهای شمال غربی، انتقال توده‌های آب به مناطق ساحلی ایران و عربستان، دو جت قوی در مجاورت این مناطق پدید می‌آورد. به این صورت که جریان سطحی در نیمه شمالی خلیج فارس به سمت جنوب شرقی و به همراه جریان برگشتی به سمت شمال غربی است [۱۱].

عزیزپور و همکاران جریان‌ات تنگه هرمز را بررسی کردند و تعیین کمی جریان‌ات در این تنگه را برای درک گردش در خلیج فارس حیاتی بیان کردند و جریان‌ات جزر و مدی تنگه هرمز را غالب می‌دانند [۱۲].

ارم قاضی و همکاران با استفاده از مدل عددی ROMS به مطالعه میدانی و شبیه‌سازی ساختار جبهه ترموهالاینی خلیج فارس در دریای عمان پرداختند. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که جریان خروجی خلیج فارس در زمستان به علت چگالی بیشتر آب در عمق پایین‌تری نسبت به بقیه فصل‌ها قرار دارد و به صورت یک

شبه‌سازی، تحلیل و محاسبات این مدل نیز بر اساس برنامه نوشته شده در فضای نرم‌افزار متلب انجام شده است. در تحقیق حاضر، پیش‌بینی جریان سطحی با دقت بالا با استفاده از اعمال تکنیک محاسبات نرم روی داده‌های سری زمانی جریان سطحی منطقه تنگه هرمز بررسی شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد نیاز

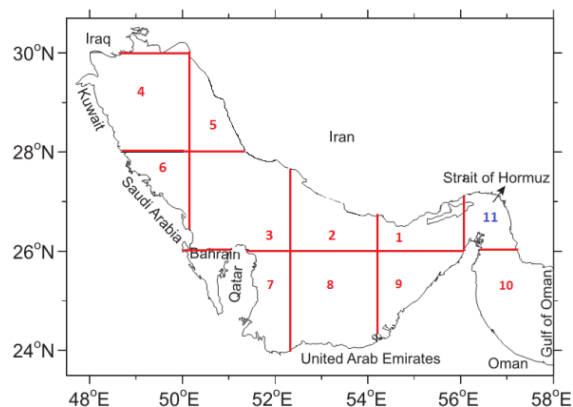
خلیج فارس از شمال به ایران و از جنوب به کشورهای عربی از جمله عربستان، قطر، بحرین، امارات متحده عربی و عمان محدود شده است. سواحل جنوبی ایران در کرانه دریای عمان به صورت اتفاقی و غیرمعمول تحت تأثیر طوفان‌های استوایی قرار دارد. این طوفان‌ها قادر هستند امواج بزرگ را در این نواحی به وجود آورند. این گونه طوفان‌ها علاوه بر اینکه بر ارتفاع امواج دریا مؤثر هستند بر سرعت جریان‌های دریایی نیز مؤثر بوده و مطالعه جریان‌های موجود در این مناطق را پراهمیت نشان می‌دهد. بدین منظور برای مدل‌سازی با تکنیک GMDH از داده‌های جریان‌های سطحی اندازه‌گیری شده از وبگاه اینترنتی اوشن موشن استفاده شده است [۲۵]. این داده‌ها شامل داده‌های میانگین ۵ روزه جریان سطحی از نوامبر ۱۹۹۲ تا دسامبر ۲۰۱۴ هستند. مجموع این داده‌ها مربوط به داده‌های جمع‌آوری شده ماهواره توپکس /پوزیدون (از تاریخ ۱۹۹۲/۱۰ تا ۲۰۰۲/۶) و ماهواره جیسون پویسون از (۲۰۰۲/۷ تاکنون) است که در پروژه تحقیقاتی اسکار جمع‌آوری شده است.

برای پیش‌بینی جریان‌های سطحی در تنگه هرمز و مناطق مؤثر بر جریان‌های این منطقه، خلیج فارس به ۱۱ بخش (ناحیه) تقسیم‌بندی شده و جریان متوسط در هر ناحیه با عنوان V_i در نظر گرفته شده است. شکل ۲ نحوه تقسیم‌بندی نواحی در خلیج فارس را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، ناحیه ۱۱ (منطقه تنگه هرمز) منطقه

می‌توان به منطق فازی، شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک اشاره کرد که در کنترل و شناسایی سیستم‌های پیچیده غیرخطی قابلیت زیادی دارند.

راه‌اندازی و استفاده از این فنون نیاز به سری زمانی با ثبت داده‌ها به تعداد لازم دارد که برای آموزش و آزمایش مدل از آن‌ها استفاده می‌شود. تاکنون این مدل‌ها به‌طور گسترده در اقیانوس‌شناسی و مهندسی سواحل استفاده شده است که می‌توان به تحقیقات کامران‌زاد و همکاران، گوپیناس، اسماء و همکاران، نگگی، سیگیزوگلو، کارونایتی و توکار اشاره نمود [۲۱-۱۵].

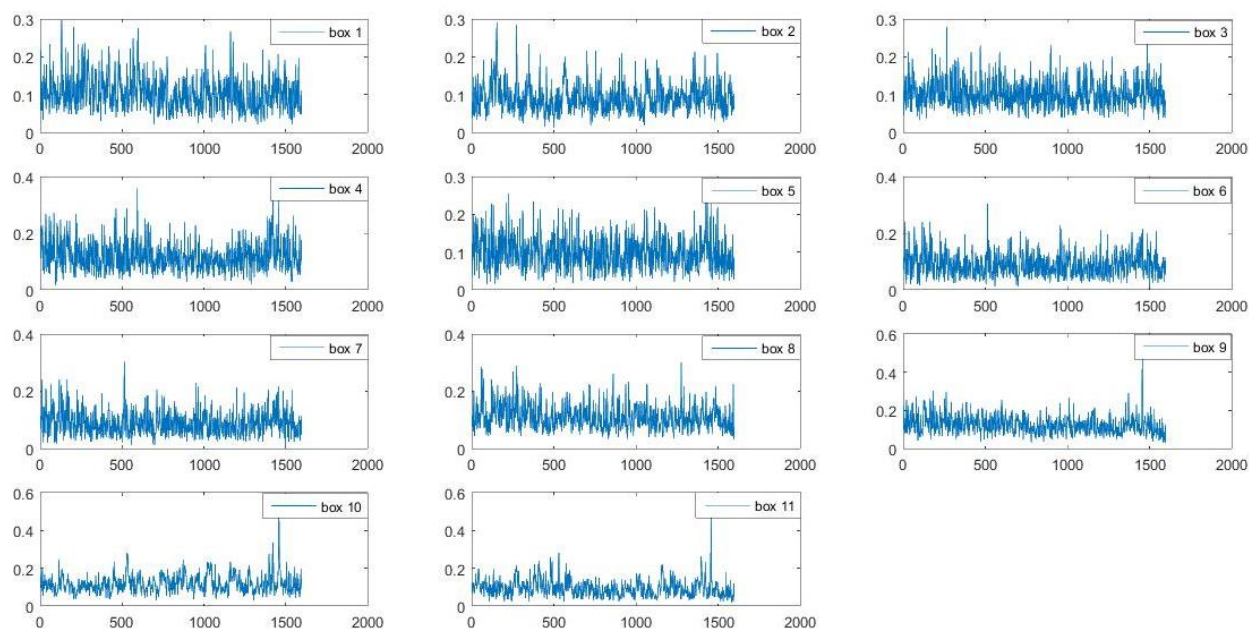
اندازه‌گیری سرعت جریان‌های دریایی نیز نقش مهمی در طراحی و اندازه‌گیری‌های مهندسی دارد. تمام مطالعاتی که در خلیج فارس و تنگه هرمز انجام داده شده است در زمینه بررسی میدانی یا مدل‌سازی عددی جریان در این منطقه بوده است. شبکه عصبی از نوع $GMDH^2$ نیز در مدل‌سازی و پیش‌بینی عوامل اساسی علی‌رغم پیچیدگی‌های سیستم موردنظر، با دقت و کیفیت بالا عمل نموده است [۲۲-۲۴]. مدل‌سازی به کمک شبکه‌های عصبی از نوع GMDH از اتلاف وقت و هزینه جلوگیری نموده و نیازی به دانستن نوع عوامل ورودی و خروجی و چگونگی انجام فرایند نیست و تنها با دادن اطلاعات به صورت عددی به برنامه، جواب موردنظر دریافت می‌شود. در تحلیل تئوری فرایند دستیابی به یک رابطه ریاضی و تحلیلی نیاز به در نظر گرفتن فرضیات مربوط به ساده‌سازی سیستم‌ها دارد که حذف یک سری فاکتورهای مؤثر را در پی خواهد داشت. این امر توانایی این نوع از شبکه‌های عصبی در شناسایی سیستم‌های پیچیده و ناشناخته است. بنابراین در این تحقیق برای نخستین بار با استفاده از مدل هوش مصنوعی GMDH به پیش‌بینی سرعت جریان در تنگه هرمز پرداخته شده است.



شکل ۲. تقسیم‌بندی حوضه خلیج فارس و بررسی سرعت جریان در ناحیه شماره ۱۱

هدف، برای پیش‌بینی جریان‌های سطحی است. شکل ۳ روند تغییرات سری زمانی مشاهداتی جریان برای دوره نوامبر ۱۹۹۲ تا دسامبر ۲۰۱۴ را نشان می‌دهد.

در این تحقیق، ابتدا با استفاده از روش همبستگی خطی، نواحی مؤثر بر ناحیه ۱۱ شناسایی شده‌اند و نواحی که اثر کمتری بر این ناحیه دارند، از محاسبات حذف شده‌اند و در ادامه با اعمال این نواحی روی مدل GMDH، تابع بهینه برای پیش‌بینی جریان‌های سطحی در ناحیه ۱۱ استخراج شده است. در ادامه به کمک الگوی طرح‌واره جریان‌های خروجی جونز و همکاران و مدل HYCOM، معادله‌ها بر اساس مدل GMDH استخراج شده است. سپس با مقایسه نحوه خروجی این مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده، خطای پیش‌بینی مدل محاسبه شد.



شکل ۳. تغییرات سرعت جریان سطحی در هر یک از ناحیه‌های ۱ تا ۱۱

چندجمله‌ای به نام توابع ولترا به شکل معادله شماره ۱ در نظر گرفته می‌شود. (X_i) ورودی، a_i ضرایب واحد و γ خروجی هر یک از نورون‌هاست [۲۶].

۲-۲. مدل GMDH

الگوریتم GMDH یک شبکه چندلایه پیش‌خور است که هر لایه از یک یا چند واحد پردازشگر تشکیل شده است. به‌نحوی که بین ورودی‌ها و خروجی هر واحد، ترکیبی از توابع

$$E = \frac{1}{N_c} \sum_{k=1}^{N_c} (\hat{y}_i(k) - y_i(k))^2 \quad (3)$$

۵- خطای هر واحد با یک مقدار آستانه مقایسه می‌شود. اگر این مقدار از حد آستانه بزرگ‌تر باشد، آن واحد حذف می‌شود و در غیر این صورت به عنوان ورودی لایه بعد است؛

۶- اگر خطای بهترین واحد جاری از خطای بهترین واحد لایه قبل بزرگ‌تر باشد، می‌توان نتیجه گرفت که در اثر اضافه کردن این لایه بهبودی در مدل حاصل نشده است و تعداد لایه‌ها به حد مطلوبی رسیده است که سیستم را مدل نماید. در این حالت آخرین لایه اضافه شده را حذف کرده و به مرحله ۳ می‌رود؛

۷- خروجی واحدهای لایه جاری به عنوان ورودی لایه بعد قرار داده می‌شود. اگر تعداد این واحدها m باشد، به ازای تعداد ترکیباتی که در مرحله ۶ گفته شد، در لایه بعد قرار می‌گیرد. سپس بعد از ساخت به مرحله ۳ برمی‌گردد؛

۸- در این مرحله خروجی واحد دارای کمترین خطا به عنوان خروجی نهایی مدل معرفی می‌شود. شبکه نهایی به صورت بازگشتی و از روی مسیر منتهی به خروجی به دست می‌آید که در نتیجه واحدهایی از لایه‌های قبل که اتصال با واحد خروجی ندارند، حذف می‌شوند.

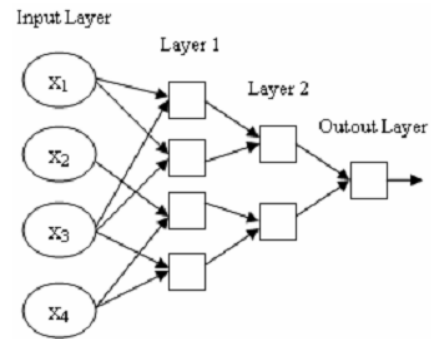
۳. یافته‌ها

مطابق آنچه در قبل گفته شد تحقیقات انجام شده در این منطقه به صورت میدانی یا مدل‌سازی عددی بوده است. بنابراین هنگامی که از قبل هیچ‌گونه رابطه تئوری بین متغیرها تعریف نشده باشد، برای تعیین ارتباط بین آن‌ها اغلب از مدل رگرسیون خطی استفاده می‌شود؛ بنابراین طبق آنچه در جدول ۱ نشان داده شده است، همبستگی هر ناحیه با ناحیه ۱۱ (تنگه هرمز) محاسبه

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^M a_i x_i + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M a_{ij} x_i x_j + \dots$$

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_M), A = (a_1, a_2, \dots, a_M) \quad (1)$$

در رابطه بالا X بردار ورودی‌های مؤثر، y خروجی مدل و A بردار ضرایب است. شکل ۴ ساختار یک شبکه سه لایه GMDH با چهار ورودی و ۷ نورون را نشان می‌دهد.



شکل ۴. شبکه عصبی سه لایه GMDH با ۴ ورودی و ۷ واحد پردازشگر

الگوریتم پیش‌بینی در این مدل به صورت زیر است:

۱- جداسازی داده‌ها به سه دسته داده آموزش، ارزیابی و آزمایش که داده‌های آموزش برای تخمین وزن‌های شبکه و داده‌های ارزیابی برای تعیین ساختمان شبکه استفاده می‌شود؛

۲- تولید ترکیبات مختلف از متغیرها در هر لایه با استفاده از رابطه ۲ مشخص می‌شود. در این رابطه p تعداد متغیرهای ورودی و r معمولاً با مقدار ۲ یا بیشتر از ۲ تنظیم می‌شود؛

$$\binom{p}{r} = \frac{p!}{(p-r)! r!} \quad (2)$$

۳- تخمین مناسب‌ترین ترکیب رگرسیون غیرخطی که به وسیله داده‌های آموزش ساخته می‌شود (معادله ۱)؛

۴- با استفاده از داده‌های ارزیابی به هر یک از واحدها یک مقدار خطا نسبت داده می‌شود. به عنوان نمونه رابطه (۳) یک روش محاسبه خطای واحد i ام بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی را نشان می‌دهد (N_c تعداد داده‌های اعتبارسنجی).

پارامترها، با به‌کارگیری ورودی‌های انتخاب شده، مدل پیاده‌سازی و اجرا شده که نتایج خروجی آن در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود ورودی‌های مؤثر بر ناحیه ۱۱ (تنگه هرمز) شامل ناحیه‌های ۱، ۹ و ۱۰ است و مدل به‌طور هوشمند ناحیه شماره ۴ را لحاظ نکرده است؛ بنابراین این ناحیه در ادامه نتایج حذف شد (در این جدول شاخص هر یک از مؤلفه‌های سرعت، معرف سرعت در هر یک از ناحیه‌ها است).

در شکل‌های ۵ تا ۷ روند تغییرات سرعت در هر یک از ناحیه‌های مؤثر با ناحیه ۱۱ ترسیم و مقایسه شده است. همان‌گونه که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود، روند تغییرات شباهت زیادی به یکدیگر دارند.

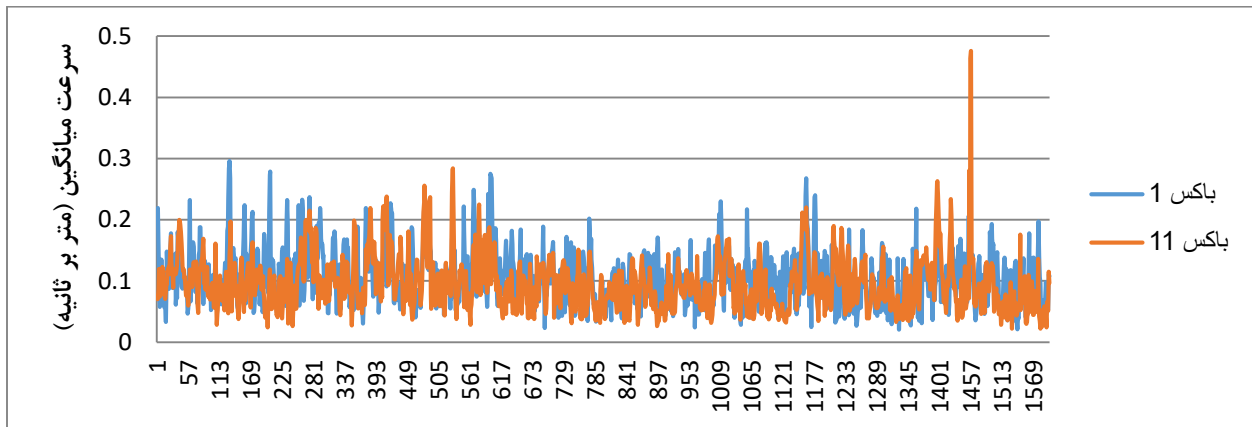
شد. همان‌گونه که در این جدول قابل مشاهده است، ناحیه‌های ۱، ۹ و ۱۰ بیشترین ضریب همبستگی با ناحیه ۱۱ دارد. همچنین ناحیه شماره ۴ نیز (دهانه خروجی رودخانه اروندرود) ضریب همبستگی در حدود $R=0/1$ با ناحیه شماره ۱۱ دارد. برای برپایی مدل GMDH به‌عنوان ورودی این مدل، تغییرات میانگین سرعت در ناحیه‌های ۱، ۴، ۹ و ۱۰ به‌عنوان ورودی‌های مدل در جهت پیش‌بینی تغییرات سرعت در تنگه هرمز استفاده می‌شود. همان‌گونه که در روش GMDH بیان شد، ساختار اجرای مدل طوری است که برای نتایج مطلوب‌تر به داده‌های ارزیابی نیاز دارد؛ بنابراین برای راه‌اندازی مدل، داده‌ها را به سه قسمت داده‌های آموزش، ارزیابی و آزمون تقسیم و وارد مدل شدند. با توجه به اینکه ساختار مدل طوری است که تعداد لایه‌ها و همچنین تعداد نورون در هر لایه کاملاً خودسازمان یافته و هوشمند انتخاب می‌شوند، بدون دخیل بودن در تنظیمات این

جدول ۱. مقادیر ضریب همبستگی خطی هر یک از ناحیه‌های ۱ تا ۱۰ با ناحیه ۱۱

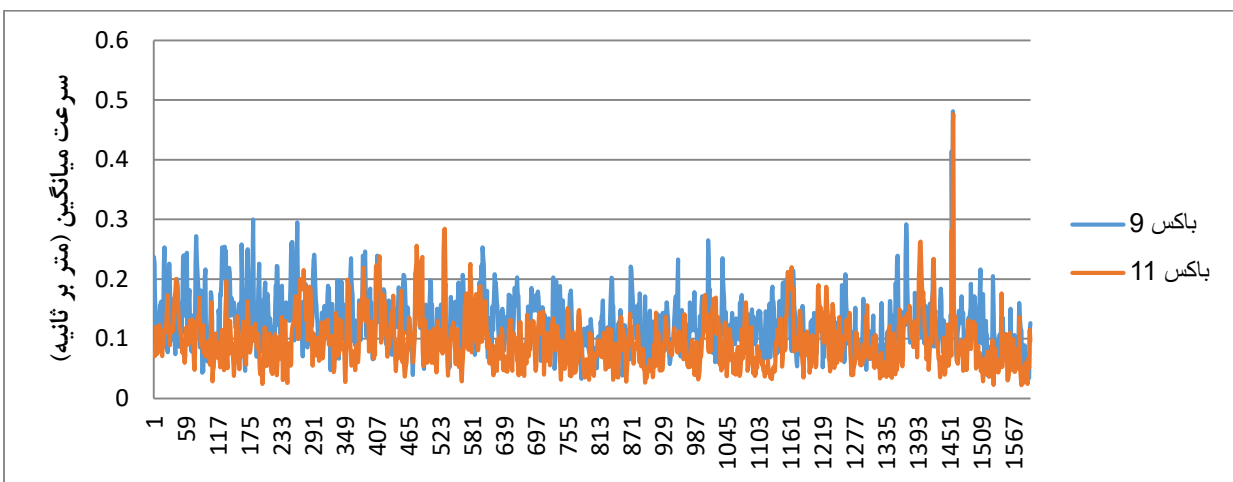
ورودی ناحیه i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
ضریب همبستگی R	۰/۳۷۳	۰/۰۳۶	۰/۰۳۱	۰/۱۰۱	۰/۰۶۳	۰/۰۳۱	۰/۰۷۵	۰/۰۴۴	۰/۲۹۷	۰/۲۹۸
معناداری (sig)	۰/۰۰۰	۰/۱۴۵	۰/۲۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۸۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

جدول ۲. ساختار مدل GMDH و شاخص‌های آماری پیش‌بینی سرعت جریان سطحی در ناحیه ۱۱

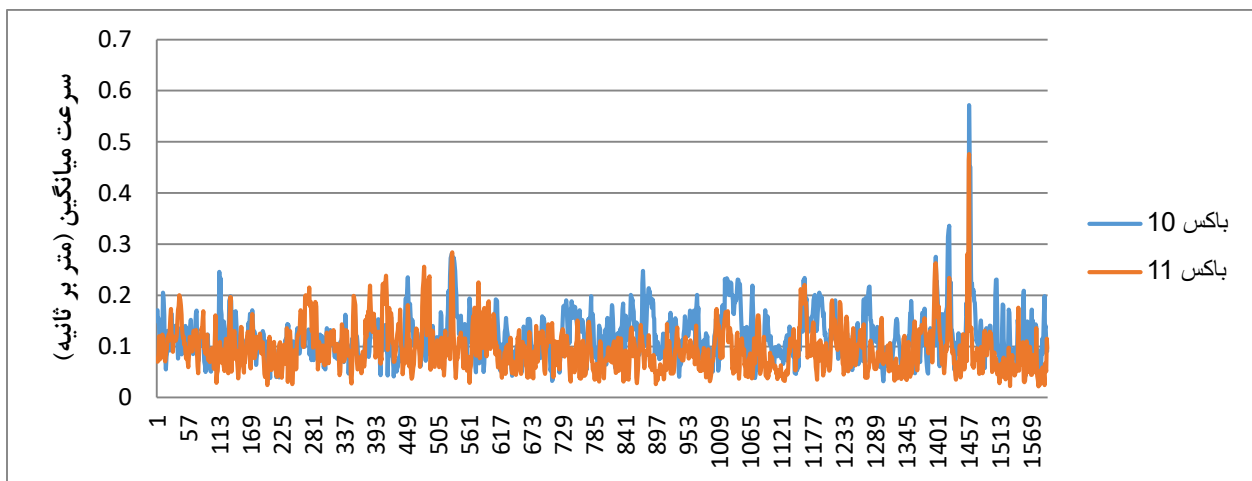
ورودی‌ها و شاخص‌های خطا	ورودی ناحیه شماره i	خروجی شبکه	R	MAE	MAPE	ورودی‌های مؤثر	تعداد لایه	تعداد نورون
خطا	V_{10}, V_9, V_1, V_4	V_{11}	۰/۷۵۴۶	۰/۰۲۴۴	۳۷/۲۹۷	V_1, V_9, V_{10}	۱	۱
معادله خروجی مدل	$y = -0.008166 + 0.3397 X_1 + 0.06597 X_2 - 0.04553 X_3 + 0.07558 X_1^2 - 0.009113 X_2^2 - 0.03648 X_3^2 - 0.02946 X_1^3 + 0.009583 X_2^3 - 0.02991 X_3^3 - 0.04708 X_1 X_2 - 0.01485 X_1 X_3 - 0.008235 X_2 X_3 + 0.01777 X_1^2 X_2 - 0.02442 X_1^2 X_3 - 0.03724 X_1 X_2^2 - 0.005201 X_2^2 X_3 + 0.04476 X_1 X_3^2 + 0.01119 X_2 X_3^2 + 0.01858 X_1 X_2 X_3$							
	$X_1 = \text{box}1 \quad x_2 = \text{box}9 \quad x_3 = \text{box}10$							



شکل ۵: تغییرات سرعت ناحیه ۱ و ۱۱ از نوامبر ۱۹۹۲ تا دسامبر ۲۰۱۴



شکل ۶: تغییرات سرعت ناحیه ۹ و ۱۱ از نوامبر ۱۹۹۲ تا دسامبر ۲۰۱۴



شکل ۷: تغییرات سرعت ناحیه ۱۰ و ۱۱ از نوامبر ۱۹۹۲ تا دسامبر ۲۰۱۴

بنابراین برای برپایی مدل و بهبود نتایج آن، بر اساس الگوی جونز، سری‌های زمانی زیر تعریف شد:

V10-1: به معنای اختلاف سری زمانی داده‌های مشاهداتی سرعت ناحیه‌های ۱۰ و ۱ است. طبق مطالعه جونز بیانگر این است که آب دریای عمان وارد تنگه هرمز شده و تحت تأثیر جریان‌های شرقی ناحیه ۱ تضعیف شده و وارد قسمتی از عرض تنگه می‌شود.

V9-10: اختلاف سری زمانی داده‌های مشاهداتی سرعت ناحیه ۱۰ و ۹ است. یعنی جریان در این ناحیه از سمت ناحیه ۹ وارد ناحیه ۱ شده و بدون تأثیرپذیری از جریان غربی ناحیه ۱، از عرض جنوبی تنگه به صورت جریانی شرقی وارد تنگه هرمز می‌شود.

V9+1-10: بیانگر این است که جریان سطحی ناحیه ۹ وارد ناحیه ۱ شده و با تقویت جریان در این ناحیه با جریان‌های ناحیه ۱، از قسمتی از عرض تنگه وارد آن شده و جریان‌های غربی دریای عمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

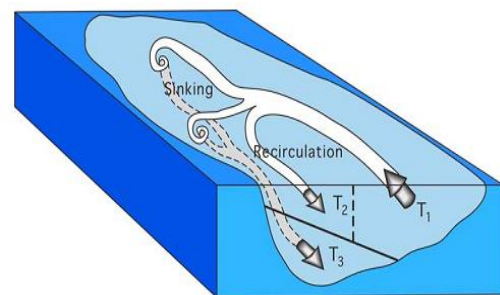
V1: بیانگر ورود جریان شرقی ناحیه ۱ به تنگه هرمز است. با تعریف سری‌های زمانی جدید، مدل GMDH براساس این ورودی‌ها اجرا و به پیش‌بینی جریان سطحی در ناحیه شماره ۱۱ پرداخته شد. خروجی اجرای این مدل در جدول ۳ نشان داده شده است. با استفاده از معادله خروجی این مدل و مقایسه با داده‌های مشاهداتی مشاهده می‌شود که تطابق خوبی با یکدیگر نشان داد. علاوه بر این دقت پیش‌بینی نسبت به حالتی که ناحیه‌های ۱، ۹ و ۱۰ به عنوان ورودی به کار گرفته شوند بالاتر است. طبق آنچه در قبل بیان شد، مدل GMDH مدل سازمان یافته است و قادر به انتخاب مناسب‌ترین مدل با ورودی‌های مؤثر است و به طور هوشمند ورودی‌های ناکارآمد را حذف می‌کند.

در این بخش از تحقیق، به منظور دستیابی به دقت پیش‌بینی بالاتر با مدل، از نتایج مطالعات جونز و پراساد در بررسی جریان‌های موجود در تنگه هرمز استفاده شد. هیچ‌یک از مطالعات بالا، به پیش‌بینی الگوی جریان‌های سطحی نپرداخته‌اند، درحالی که در تحقیق حاضر می‌توان از این تکنیک برای پیش‌بینی استفاده نمود.

۳-۱. شناسایی ترکیبات مؤثر نواحی با استفاده از مطالعه جونز و همکاران

جونز و همکاران در سال ۲۰۰۳ به وسیله داده‌های اندازه‌گیری شده ADCP به بررسی جریان‌ها در تنگه هرمز پرداختند در نتایج این تحقیق، الگوی جریان‌های خروجی از خلیج فارس به دریای عمان را به صورت شکل ۸ نشان می‌دهد. طبق این الگو تبادل آب در گردش خلیج فارس به صورت سه جریان آب است:

- ۱- ورود آب شیرین سطحی در شمالی‌ترین قسمت تنگه (T1)؛
- ۲- خروجی آب‌های شور در جنوبی‌ترین قسمت تنگه (T3)؛
- ۳- خروج آب‌های سطحی با شوری متوسط در جنوبی‌ترین قسمت تنگه که به طور فصلی تغییر می‌کند و در فصل بهار به طور نسبی جریان بازگشتی آب‌های شیرین وجود دارد. (T2)

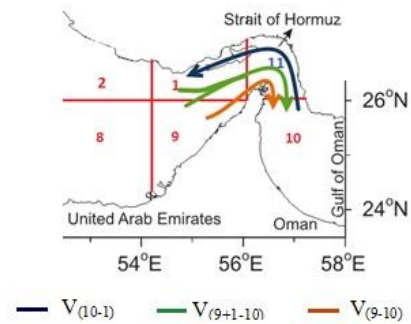


شکل ۸. الگوی طرح‌واره گردش آب در تنگه هرمز بر اساس مطالعات جونز و همکاران

شکل ۱۰: مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی سرعت جریان در ناحیه ۱۱ (تنگه هرمز) را با استفاده از مدل GMDH و به کارگیری پارامترهای $V(10-1)$ ، $V(10-9)$ ، $V(10-9-1)$ ، به‌عنوان ورودی مدل نشان می‌دهد.

برای بررسی معنی‌داری نتایج پیش‌بینی شده از آزمون واریانس در محیط SPSS استفاده شد و معنی‌داری ضریب همبستگی جدول (۳) در سطح خطای ۵٪ (۰/۰۵) ارزیابی شد. با این بررسی مشخص شد که ضریب همبستگی بین مقدار پیش‌بینی شده و ثبت‌شده به‌طور معنادار (sig=0) با مقدار ضریب همبستگی $R=0/۸۶۸$ است. در شکل ۱۱ هیستوگرام خطا برای داده‌های آموزش، ارزیابی و آزمون نشان داده شده است.

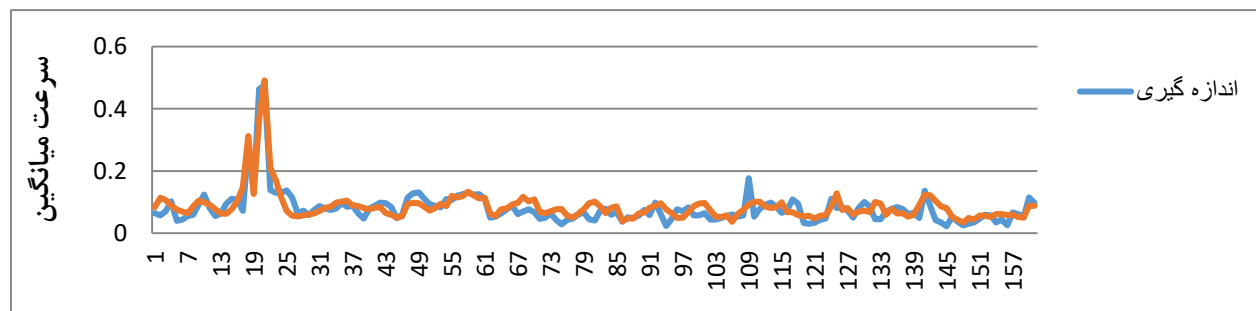
در جدول ۳ نتایج مدل نشان می‌دهد که با به کارگیری ترکیبات فوق ورودی V_1 حذف شده است. بنابراین با استفاده از دیگر ترکیبات تعریف‌شده می‌توان الگوی جریان در تنگه هرمز را به‌صورت شکل ۹ نمایش داد.



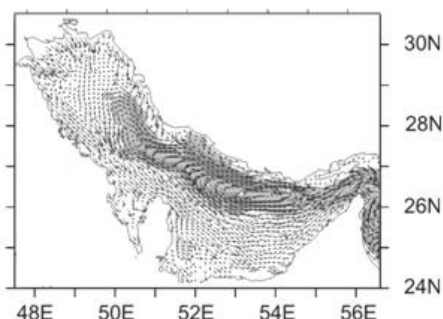
شکل ۹. الگوی طرح‌واره جریان‌های اطراف تنگه هرمز بر اساس مدل GMDH با به کارگیری طرح‌واره جونز

جدول ۳: اجرای مدل GMDH با به کارگیری طرح‌واره جونز

ورودی‌ها و شاخص‌های آماری	ورودی ناحیه شماره i	خروجی شبکه	R	MAE	MAPE	Bias	ورودی‌های به کار رفته	ساختار
	$V_{(10-1)}, V_{(9-10)}, V_{(9+1-10)}, V_1$	V_{11}	۰/۸۶۸۴	۰/۰۲۱۴	۳۵/۳۲۵	۰/۰۰۶۱	$X_1 = V_{(10-1)}$ $X_2 = V_{(9-10)}$ $X_3 = V_{(9+1-10)}$	یک نورون
$y = -0.008166 + 0.1477 X_1 + 0.5218 X_2 - 0.8477 X_3 - 0.06781 X_1^2 + 0.0938 X_2^2 + 0.01354 X_3^2 + 0.1359 X_1^3 + 0.1908 X_2^3 - 0.4378 X_3^3 - 0.1791 X_1 X_2 + 0.2721 X_1 X_3 - 0.163 X_2 X_3 + 0.2825 X_1^2 X_2 - 0.559 X_1^2 X_3 + 0.5543 X_1 X_2^2 - 0.8327 X_2^2 X_3 + 0.9617 X_1 X_3^2 + 1.058 X_2 X_3^2 - 1.349 X_1 X_2 X_3$								
$X_1 = V_{(10-1)} \quad x_2 = V_{(9-10)} \quad x_3 = V_{(9+1-10)}$								

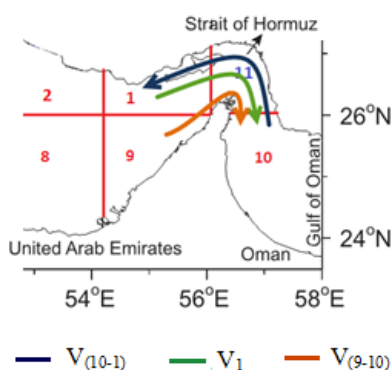


شکل ۱۰. پیش‌بینی سرعت جریان در تنگه هرمز با استفاده از مدل GMDH و به کارگیری پارامترهای $V(10-1)$ ، $V(10-9)$ ، $V(10-9-1)$ ، V_1 به‌عنوان ورودی مدل



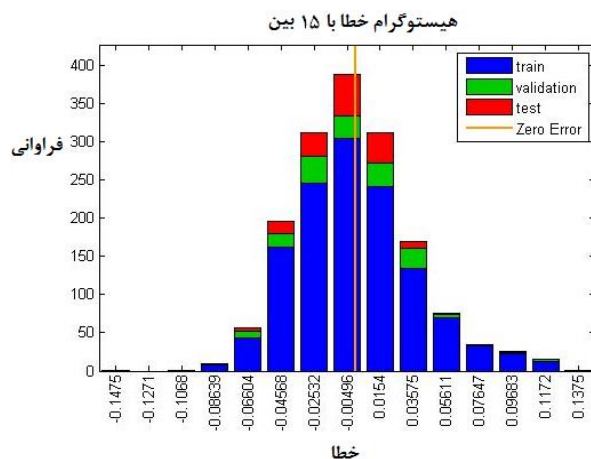
شکل ۱۲. جریان سطح خلیج فارس در ماه جولای [۷]

در جدول ۴ مقادیر خطای آماری پیش‌بینی شده با مدل GMDH نشان داده شده است. طبق این جدول مؤلفه‌های مؤثر مدل در پیش‌بینی ترکیب‌های V_1 , $V(9-10)$, $V(10-1)$ شناسایی شده است و می‌توان الگوی جریان با حذف ماه‌های مارس تا جولای را به صورت شکل ۱۳ نشان داد.



شکل ۱۳. الگوی جریان‌های اطراف تنگه هرمز بر اساس مدل GMDH با حذف داده‌های ماه‌های مارس تا جولای

در شکل ۱۴ نیز پیش‌بینی این مدل برای داده‌های آزمایش را نشان می‌دهد. بر طبق نتایج پیش‌بینی می‌توان بیان نمود که با حذف داده‌های ماه‌های مارس تا جولای دقت پیش‌بینی مدل کاهش می‌یابد. به این معنا در الگوی طرح‌واره جونز دقت پیش‌بینی دارای ضریب همبستگی 0.86 است و با حذف داده‌های مارس تا جولای ضریب همبستگی به 0.83 کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱. هیستوگرام خطای داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و آزمایش با ۱۵ بین

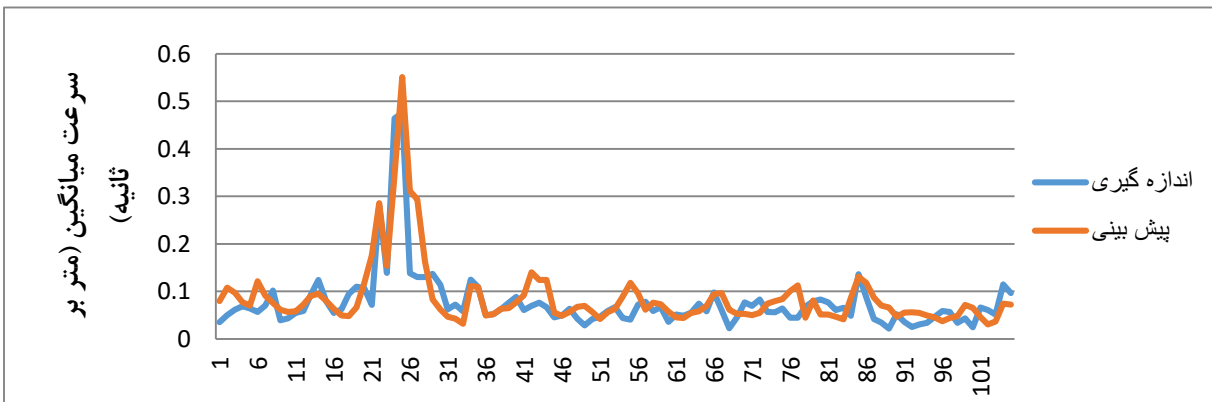
۲-۳. بررسی اثر حذف برخی ماه‌ها در روند خروجی مدل ارائه‌شده با استفاده از مطالعه پراساد و همکاران [۷]

پراساد با استفاده از مدل سه‌بعدی HYCOM نشان داده است که در خلیج فارس گردش به دو صورت گردش میان‌مقیاس و گردش در مقیاس حوضچه‌ای است. همچنین بررسی‌های ایشان نشان داده است که در ماه‌های مارس تا جولای در محدوده 52° تا 55° درجه شرقی گردابه‌هایی پادساعتگرد در مقیاس حوضچه‌ای، در درون خلیج فارس تشکیل می‌شوند که جریانی شمال غرب رو دارند. این جریان‌ها در ماه‌های ژوئن و جولای تشدید و وسیع‌تر می‌شوند [۷، ۲۷]. علت تشکیل این گردابه‌ها جریان‌های چگال رانده ناشی از لایه‌بندی قوی هستند که به سمت درون یا بیرون تنگه هرمز جریان دارند. شکل ۱۲ روند تغییرات جریان سطحی مدل در ماه جولای را نشان می‌دهد.

برای بررسی اثر ماه‌های اشاره‌شده، مقادیر سرعت جریان از ماه‌های مارس تا جولای از داده‌های سری زمانی حذف و اثر آن بر پیش‌بینی موردبررسی قرار گرفت.

جدول ۴: پیش‌بینی سری زمانی جریان سطحی تنگه هرمز با استفاده از مدل GMDH با حذف داده‌های ماه‌های مارس تا جولای

ورودی‌های مؤثر	bias	MAPE	MAE	R	خروجی شبکه	ورودی ناحیه شماره i	حالت
$X_1 = V_{(10-1)}$ $X_2 = V_{(10-9)}$ $X_3 = V_1$	۰/۰۱۰۴	۴۶/۰۳۹	۰/۰۲۸۰	۰/۸۳۴	V_{11}	$V_{(10-1)}, V_{(9-10)}, V_{(9+1-10)}, V_1$	حذف ماه‌های مارس تا جولای
معادله خروجی مدل $y = -0.1329 + 0.306 X_1 - 0.1538 X_2 + 0.5126 X_4 - 0.2435 X_1 X_2 + 0.4104 X_1 X_4 - 0.01778 X_2 X_4 + 0.2845 X_1^2 + 0.1083 X_2^2 + 0.165 X_4^2$ $X_1 = V_{(10-1)} \quad X_2 = V_{(9-10)} \quad X_4 = V_1$							



شکل ۱۴: مقدار پیش‌بینی شده سرعت در ناحیه ۱۱ بعد از برداشتن داده‌های مارس تا جولای

۳-۳. دسته‌بندی نتایج خروجی‌های مدل GMDH

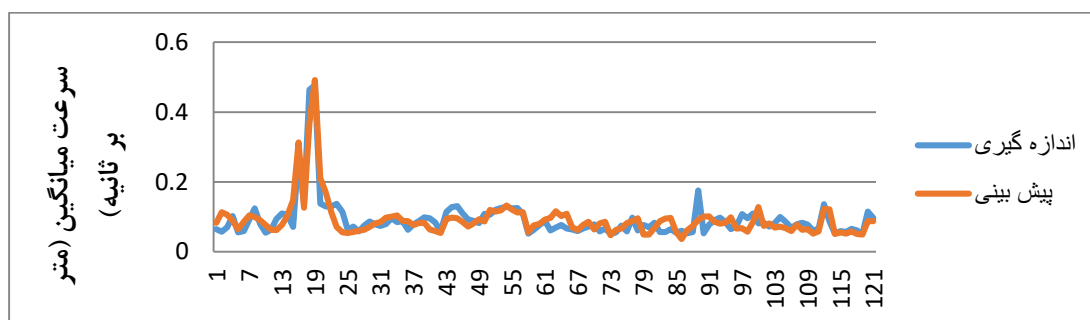
شده است. طبق این جدول به کارگیری دسته‌بندی داده‌ها، دقت پیش‌بینی را در ارتفاع‌های بالاتر از ۰/۰۵ متر بر ثانیه در همه ماه‌ها افزایش می‌دهد. یعنی در شرایط خاص سرعت‌های بیشتر از ۰/۰۵ متر بر ثانیه مدل GMDH کارایی خوبی برای پیش‌بینی جریان‌های سطحی دارد. شکل‌های ۱۵ و ۱۶ خروجی مدل GMDH در هر دو حالت بخش‌های ۱-۳ و ۲-۳ در دسته ۲ نشان می‌دهد.

دسته‌بندی داده‌ها یکی از روش‌هایی است که در داده‌کاوی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور در انتها داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل به دو دسته مختلف سرعت‌های کمتر از ۰/۰۵ و بیشتر از ۰/۰۵ تقسیم‌بندی شده و مقادیر شاخص خطای خروجی مدل در بخش‌های ۱-۳ و ۲-۳ برای هر دسته با مقادیر اندازه‌گیری محاسبه شد. نتایج این بررسی در جدول ۵ نشان داده

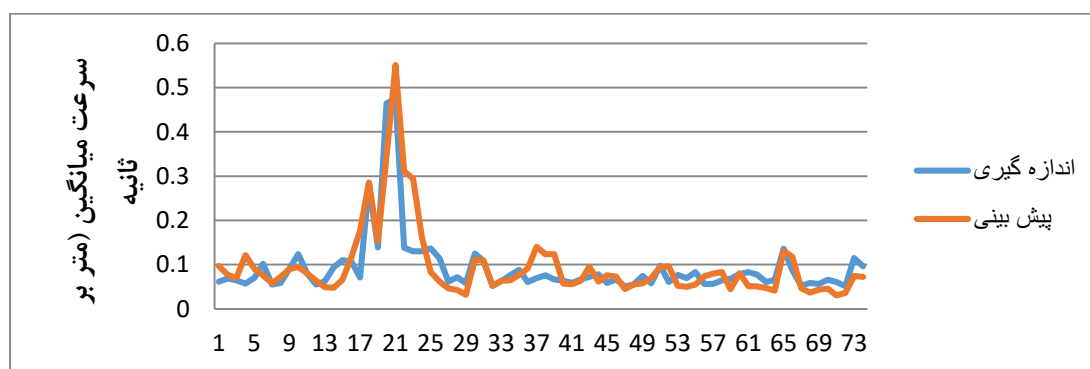
جدول ۵. دسته‌بندی خروجی مدل در بخش‌های ۱-۳ و ۲-۳ مقایسه مقادیر خطای پیش‌بینی در هر دسته

حالت	شاخص خطا	دسته ۱ ($V < 0.05$)	دسته ۲ ($V > 0.05$)
قبل از برداشتن داده‌های مارس تا جولای	R	۰/۱۴۷۶	۰/۸۸۹۱
	MAE	۰/۰۲۶۰	۰/۰۱۹۹
	MAPE	۷۲/۹۱۰۵	۲۳/۳۰۷۱
	bias	۰/۰۲۵۹	-۰/۰۰۰۴

حالت	شاخص	دسته ۱ ($V < 0.05$)	دسته ۲ ($V > 0.05$)
بعد از برداشتن داده‌های مارس تا جولای	خطا	۰/۱	۰/۸۵۲۳
	MAE	۰/۰۲۸۸	۰/۰۲۷۷
	MAPE	۸۲/۶۴۷	۳۱/۳۶۳۷
	bias	۰/۰۲۸۰	۰/۰۰۳۰



شکل ۱۵. مقدار پیش‌بینی شده سرعت در دسته ۲ (قبل از برداشتن داده‌های مارس تا جولای)



شکل ۱۶. مقدار پیش‌بینی شده سرعت در دسته ۲ (بعد از برداشتن داده‌های مارس تا جولای)

۴. بحث

در بررسی جریان‌ات سطحی تنگه هرمز در سال‌های اخیر تحقیقات مختلفی انجام شده است که نشان می‌دهد بررسی جریان‌ات در این منطقه هنوز جای بحث دارد. در هر یک از این تحقیقات برای بررسی این موضوع معمولاً از مدل‌سازی عددی که به صورت سه‌بعدی هستند در تدوین جامع گردش آب در خلیج فارس استفاده شده است.

با مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعه ترابی آزاد و حمزه‌ئی مشخص شد که بدون اعمال داده‌های جزر و مدی و داده‌های

هواشناسی می‌توان با در دسترس داشتن داده‌های جریان نواحی اطراف تنگه هرمز و اجرای الگوریتم *GMDH* به پیش‌بینی این ناحیه پرداخت [۹]. همچنین با مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مدل‌سازی انجام‌شده توسط ماه‌پیکر و همکاران این نتیجه حاصل می‌شود که پیچک‌های میان‌مقیاس که در محدوده طول جغرافیایی ۴۸ تا ۵۵ درجه شرقی تشکیل می‌شوند روی حوضه تنگه هرمز مؤثر نیستند و تنها حوضه‌های همسایگی این حوضه یعنی نواحی با عرض جغرافیایی ۵۵ تا ۵۸ درجه شرقی روی

نشان می‌دهد که جریانات سطحی تنگه هرمز به‌طور مستقیم به حوضه‌های اطراف آن وابسته است، یعنی اختلاف سرعت‌های نواحی اطراف این حوضه تعیین‌کننده میزان جریان‌های در آن هستند و جریان‌های سطحی شمال غرب و خلیج فارس به‌طور مستقیم به ناحیه تنگه هرمز ارتباط ندارد [۱۰].

تعیین هویت شد و جریانات بستری (T3) هنوز جای بررسی برای مطالعات بعد دارد.

در ماه‌های مارس تا جولای در محدوده ۵۲ تا ۵۵ درجه شرقی گردابه‌هایی پادساعتگرد در مقیاس حوضچه‌ای، درون خلیج فارس تشکیل می‌شوند که جریانی شمال غرب رو دارند. بنابراین در ادامه، سری زمانی ماه‌های مارس تا جولای از سری زمانی داده‌ها حذف شد، که نتایج نشان داد که حذف این گونه جریان‌ها، در افزایش دقت پیش‌بینی مدل GMDH مؤثر واقع شده و دقت پیش‌بینی از $R=0/86$ به $R=0/83$ کاهش اندکی دارد که حاکی از آن است که حضور ادی‌ها بر الگوی جریانات سطحی چونز تأثیر چندانی ندارد.

در مرحله آخر داده‌های پیش‌بینی مرحله قبل به دو دسته داده سرعت‌های کمتر از $0/05$ و سرعت‌های بیشتر از $0/05$ دسته‌بندی شدند که نتایج نشان داد که دقت مدل در پیش‌بینی سرعت‌های بالاتر از $0/05$ بیشتر است.

سپاسگزاری

بدین وسیله از داوران و ویراستاران محترم نشریه هیدروفیزیک که در بهبود کیفیت مقاله کمک شایانی داشته‌اند، کمال تقدیر و تشکر داریم.

مراجع

[1] Makkeh SA, Ahmadi A, Esmailion F, Ehyaei MA. Energy, exergy and exergoeconomic optimization of a cogeneration system integrated with parabolic trough collector-wind turbine with

جریان‌های تنگه هرمز مؤثر هستند [۱۶]. بنابراین با این وصف در این تحقیق با تقسیم‌بندی انجام شده در خلیج فارس قابل اشاره است که نواحی شرقی حوضه‌های شماره ۱ و ۹ در جریان‌های سطحی تنگه هرمز مؤثر هستند. با بررسی مطالعه مهر فر و همکاران و مقایسه با این مطالعه می‌توان بیان نمود که اجرای مدل GMDH

۵. نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه بررسی اثر الگوی جریانات سطحی در تنگه هرمز و اثر ادی‌های میان‌مقیاس روی الگوی جریانات سطحی چونز بوده است. اکثر مطالعات انجام‌شده با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی به بررسی این موضوع پرداخته‌اند. این در حالی است که در این تحقیق بدون استفاده از داده‌های هواشناسی و شرایط مرزی به پیش‌بینی جریانات سطحی این تنگه پرداخته می‌شود. برای این منظور از مدل هوشمند GMDH که مدلی خودسازمان در شناخت ورودی‌های مؤثر در پیش‌بینی خروجی مدل است استفاده شده است؛ بنابراین با این ویژگی مدل و تقسیم‌بندی سطح خلیج فارس به ۱۱ ناحیه مختلف، نواحی مؤثر بر جریان‌های سطحی تنگه هرمز به‌صورت دو ناحیه در سمت چپ و یک ناحیه در سمت راست آن شناخته شدند. این نتیجه‌گیری مطابق نتایج مدل‌سازی‌های عددی است که در حوضه خلیج فارس صورت گرفته است. یعنی اینکه نواحی مجاور تنگه هرمز بر الگوی جریانات سطحی این تنگه به‌طور مستقیم مؤثر هستند و نواحی دیگر اثر مستقیم ندارند.

شناخت الگوی جریان‌های ورودی و خروجی در این تنگه موضوع مهمی است که بایستی بررسی شود. بنابراین با استفاده از نواحی مؤثر شناخته‌شده از مرحله قبل و طرح‌واره چونز (۲۰۰۳)، ترکیبات مختلفی از این نواحی به شکل‌های 1-10، 10-9، 10-9+1-10 به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شد. با این روش، ضریب همبستگی پیش‌بینی مدل از $R=0/75$ به $R=0/86$ نسبت به مرحله قبل افزایش یافت. در این بررسی تنها جریانات ورود (T1) و خروجی (T2) که در الگوی چونز به آن اشاره شده است

- [11] Azad MT, Mehrfar H. Seasonal variation of coastal jets in the Persian Gulf using field studies. *Journal of Research in Marine Sciences*. 2017 Jun 1;2(2):106-11.
- [12] Azizpour J, Siadatmousavi SM, Chegini V. Measurement of tidal and residual currents in the Strait of Hormuz. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2016 Sep 5;178:101-9.
- [۱۳] قاضی ارم، عظام مجتبی، علی‌اکبری بیدختی عباسعلی، ترابی‌آزاد مسعود، حسن‌زاده اسماعیل. شبیه‌سازی جبهه ترموها لایینی جریان خروجی خلیج فارس در دریای عمان. *هیدروفیزیک*. ۱۳۹۷: ۴(۱): ۱۷-۱.
- [14] Duo Z, Wang W, Wang H. Oceanic mesoscale eddy detection method based on deep learning. *Remote Sensing*. 2019 Jan;11(16):1921.
- [15] Li J, Liang Y, Zhang J, Yang J, Song P, Cui W. A new automatic oceanic mesoscale eddy detection method using satellite altimeter data based on density clustering. *Acta Oceanologica Sinica*. 2019 May;38(5):134-41.
- [16] Mahpeykar O, Ashtari Larki A, Akbarinasab M. Numerical Modelling and Automatic Detection of submesoscale eddies in Persian Gulf Using a Vector Geometry Algorithm. *Journal of the Earth and Space Physics*. 2021; 47(1): 109-125.
- [17] Kamranzad B, Etemad-Shahidi A, Kazeminezhad MH. Wave height forecasting in Dayyer, the Persian Gulf. *Ocean engineering*. 2011 Jan 1;38(1):248-55.
- [18] Gopinath DI, Dwarakish GS. Wave prediction using neural networks at New Mangalore Port along west coast of India. *Aquatic Procedia*. 2015 Jan 1;4:143-50.
- [19] Asma S, Sezer A, Ozdemir O. MLR and ANN models of significant wave height on the west coast of India. *Computers & Geosciences*. 2012 Dec 1;49:231-7.
- [20] Nagy HM, Watanabe KA, Hirano M. Prediction of sediment load concentration in rivers using desalination. *Journal of Cleaner Production*. 2020 Nov 10;273:123122.
- [2] Reynolds RM. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. *Marine Pollution Bulletin*. 1993 Jan 1;27:35-59.
- [3] Reynolds RM. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. *Marine Pollution Bulletin*. 1993 Jan 1;27:35-59.
- [4] Swift SA, Bower AS. Formation and circulation of dense water in the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2003 Jan;108(C1):4-1.
- [5] Sadrinasab M, Kämpf J. Three-dimensional flushing times of the Persian Gulf. *Geophysical research letters*. 2004 Dec;31(24).
- [6] Johns WE, Yao F, Olson DB, Josey SA, Grist JP, Smeed DA. Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2003 Dec;108(C12).
- [7] Thoppil PG, Hogan PJ. A modeling study of circulation and eddies in the Persian Gulf. *Journal of Physical Oceanography*. 2010 Sep;40(9):2122-34.
- [8] Aldababseh A, Temimi M. Analysis of the long-term variability of poor visibility events in the UAE and the link with climate dynamics. *Atmosphere*. 2017 Dec;8(12):242.
- [۹] ترابی‌آزاد مسعود، حمزه‌ئی صمد. مطالعه میدانی جریان‌های شمال تنگه هرمز. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*. ۱۳۹۵: ۱۸(۱): ۷۷-۶۱.
- [10] Mehrfar H, Azad MT, Lari K, Bidokhti AA. A numerical simulation case study of the coastal currents and upwelling in the western Persian Gulf. *Journal of Ocean Engineering and Science*. 2020 Dec 1;5(4):323-32.

- preprocessors. International journal of systems science. 1994 Nov 1;25(11):1743-59.
- [25] NASA. ocean motion and surface current [Internet]. 2015. [cited 2015 Nov]. Available from: <http://oceanmotion.org/>
- [26] Onwubolu GC. Design of hybrid differential evolution and group method of data handling networks for modeling and prediction. Information Sciences. 2008 Sep 15;178(18):3616-34.
- [27] Najafzadeh M, Lim SY. Application of improved neuro-fuzzy GMDH to predict scour depth at sluice gates. Earth Science Informatics. 2015 Mar 1;8(1):187-96.
- artificial neural network model. Journal of Hydraulic Engineering. 2002 Jun;128(6):588-95.
- [21] Cigizoglu HK, Alp M. Generalized regression neural network in modelling river sediment yield. Advances in Engineering Software. 2006 Feb 1;37(2):63-8.
- [22] Karunanithi N, Grenney WJ, Whitley D, Bovee K. Neural networks for river flow prediction. Journal of computing in civil engineering. 1994 Apr;8(2):201-20.
- [23] Tokar AS, Johnson PA. Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks. Journal of Hydrologic Engineering. 1999 Jul;4(3):232-9.
- [24] Pham DT, Liu X. Modelling and prediction using GMDH networks of Adalines with nonlinear

پی نوشت

1. Mesoscale Eddies
2. Group Method of Data Handling