

شبیه‌سازی داده‌های موج بندر زرآباد با Mike21 و اصلاح داده‌ها با شبکه عصبی مصنوعی

مریم چراغیان^۱، سید عباس حق‌شناس^۲، مهدی اژدری مقدم^۳ و سید آرمان هاشمی منفرد^{۴*}

^۱ دانشجوی عمران سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان، ایران

^۲ استادیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ استاد، گروه مهندسی عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان، ایران

^۴ دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۳، پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸)

چکیده

پدیده انتقال رسوب یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در عملکرد مناطق ساحلی تلقی می‌شود. پیش‌بینی و تعیین نرخ این پارامتر در امتداد ساحل و در مجاورت سازه‌های ساحلی از پیش‌نیازهای مهم کلیه طرح‌های عمرانی ساحلی و فراساحلی است. تجمع رسوب در بالادست بنادر و رسوب‌گذاری در ورودی‌های بنادر از مشکلات رایج در نگهداری این مناطق در سراسر جهان می‌باشد، بنابراین به حداقل رساندن رسوب‌گذاری یکی از مهم‌ترین اهداف در مهندسی است. تمرکز این مقاله بر روی مدل‌سازی دقیق موج و انتقال رسوب که با داده‌های میدانی موجود و شواهد مورفولوژیکی موجود صحت‌سنجی شده باشد، است. شبکه عصبی برای اصلاح داده‌های موج و مدل عددی Mike21 برای شبیه‌سازی فرآیند انتقال رسوب در طول خط ساحلی مکران استفاده شده است. بندر زرآباد در سواحل مکران به‌عنوان مطالعه موردی این تحقیق اتخاذ شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که داده‌های اولیه مشاهداتی با داده‌های خروجی مدل (به‌جز ارتفاع موج) تطابق خوبی نداشته و نیاز به اصلاح با شبکه عصبی دارند و در نظر گرفتن شاخص‌های تأثیرگذار از جمله شرایط متفاوت امواج در فصل‌های مونسون و غیرمونسون در شبکه عصبی می‌تواند در بهبود و اصلاح داده‌ها کمک فراوانی کند. نتایج همچنین نشان داد که فرآیند انتقال رسوب در جهات مختلف و بسته به ارتفاع موج در اعماق بیش از ۴ متر رخ می‌دهد و در اعماق بیش‌تر انتقال رسوب ناچیز است، همچنین نیروی موج در منطقه به‌طور متوسط قادر به انتقال تقریباً ۳۳۵۰۰۰ مترمکعب در سال رسوب است.

واژه‌های کلیدی: انتقال رسوب، سواحل مکران، تثبیت ساحل، شبکه عصبی، مدل‌سازی عددی

۱ مقدمه

خطوط ساحلی دنیا، جداکننده خشکی از دریا از یکدیگر است و از لحاظ زمین‌شناسی واکنش به فرآیندهای مختلف اعم از امواج و جریانات و باد منحصربه‌فرد می‌باشند، اما با وجود تفاوت اقلیم در سراسر جهان، ماهیت رفتاری این سواحل تقریباً مشابه هم هستند (دیاجینا و همکاران، ۲۰۱۲). در میان واکنش سواحل به فرایندهای مختلف، پدیده انتقال رسوب به‌عنوان مهم‌ترین فرآیندهای هیدرودینامیکی است که بسیاری از سیستم‌های هیدرولیکی و سازه‌های عمرانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و عدم اطلاع دقیق از میزان آن خسارات بسیاری را موجب می‌شود (دهقانی و شاهی نژاد ۱۳۹۶). تقریب واقع‌بینانه از انتقال رسوبات و تغییرات مورفولوژیکی سواحل و مدیریت رسوبات ساحلی، کانال‌های دسترسی بنادر، طراحی سازه‌های محافظ در برابر فرسایش و همچنین بررسی وضعیت رسوب‌گذاری در دهانه ورودی بنادر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد؛ بنابراین از اساسی‌ترین اطلاعات موردنیاز هنگام ساخت سازه‌های ساحلی آگاهی از نرخ انتقال رسوب برای ارزیابی تغییرات ساحلی می‌باشد. مطالعات متعددی نیز در زمینه انتقال رسوب انجام شده است. لارسن و همکاران (۱۹۸۸) یک مدل تجربی ارائه دادند و بر روی ناحیه زوال موج تحقیق کردند. هدف از این مدل، شبیه‌سازی پروفایل عمود بر ساحل و تغییرات پروفایل ناحیه زوال موج بود. برای صحت‌سنجی این مدل ۱۸ نمونه در ایستگاه مطالعات ارتش آمریکا و ۲۴ نمونه در CRIEPI در ژاپن استفاده کردند. حق‌شناس و همکاران (۲۰۱۴)، به بررسی روی ویژگی مختلف از سیر تکاملی رودخانه فصلی مند (در طول ۵ دهه) در چند گام از جمله تخلیه رسوبات از رودخانه و تخمین مقدار شن و ماسه، تخمین یک مدل عددی به‌منظور بررسی جریان و رفتار انتقال رسوب در منطقه ساحلی و بررسی تغییرات خط ساحلی با تجزیه و تحلیل دو مجموعه از عکس‌های هوایی گرفته شده و یک سری تصاویر ماهواره‌ای در یک چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی،

پرداخته‌اند. در نهایت، نتایج عددی با مشاهدات میدانی و تجزیه و تحلیل سیستم اطلاعات جغرافیایی و تغییرات خط ساحلی از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مقایسه شد. بررسی سواحل در طول دوره‌های مشخص نشان از پیشرفت و رکورد در این منطقه دارد و شرایط پویایی اطراف رودخانه مند بسیار فعال و رشد پیوسته کمی در قسمت جنوبی از دلنا مشاهده می‌شود. با استفاده از روش عددی، محاسبه نرخ انتقال شن و ماسه برای خط ساحلی در دهانه رودخانه نشان داد که موج در منطقه قادر به انتقال حدود ۱۰۳ میلیون مترمکعب در هر سال به‌طور متوسط با یک جهت خالص به سمت جنوب شرقی است. بسیاری از شن و ماسه تخلیه شده به رودخانه به سمت جنوب انجام می‌شود. حق‌شناس و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش دیگری با مطالعات آبخیزداری و تجزیه و تحلیل رودخانه مند به مدت طولانی، نشان داد که رودخانه مند یکپارچگی و فرسایش قابل توجهی در هر دوره مطالعه تجربه کرده است. برای محاسبه نرخ انتقال شن و ماسه برای خط ساحلی در دهانه رودخانه مند به‌وسیله مدل DELF-3D انجام شده است. او و زنگ در سال ۲۰۲۲ به توسعه یک الگوریتم برای ارتفاع موج و دوره موج با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و با استفاده از داده‌های یکی از سواحل استرالیا پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل دقت ارتفاع و دوره موج را به‌طور متوسط ۴۲٪ و ۱۶٪ برای RMSE و ۳۰٪ و ۱۰٪ برای ضریب همبستگی و ۶۶٪ و ۳۵٪ برای شاخص پراکندگی بهبود داده است. لائو و همکاران (۲۰۲۰) برای مقایسه و تخمین شرایط موج تحت شرایط یکسان، در یک منطقه در استرالیا از شبکه عصبی و مدل‌سازی استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که ANN برای دوره اعتبار سنجی، عملکرد بهتری را در مقایسه با نتایج مدل موج از نظر ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا، بایاس و شاخص پراکندگی نشان دارد.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه - خط ساحلی دریای عمان.

۳ منطقه مطالعاتی

خط ساحلی شمالی دریای عمان که خط ساحلی مکران نامیده می‌شود، در معرض اقیانوس هند قرار دارد و به دلیل اختلاف دمای سالانه دریا و خشکی، بادهای موسمی تابستانی و زمستانی در این منطقه رخ می‌دهد که عموماً به ترتیب به سمت شمال و جنوب هستند. بخش قابل توجهی از رسوب سالانه در طول فصل موسمی تابستان که از اواسط خردادماه تا اواخر شهریورماه در منطقه وجود دارد، اتفاق می‌افتد. بندر زرآباد که با هدف ارائه خدمات به صنعت شیلات بین نوار ساحلی گالک و کلات تأسیس شده است، برای مطالعه موردی در پژوهش حاضر انتخاب گردیده است (شکل ۱). این بندر با عرض جغرافیایی ۲۵/۳۹ درجه و طول جغرافیایی ۵۹/۶۰ درجه شرقی در سواحل مکران قرار دارد و یکی از مهم‌ترین بنادر بین چابهار و جاسک می‌باشد.

میانگین بارندگی سالانه در خط ساحلی مکران ایران کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌متر است و تنوع بارندگی بسیار زیاد است. این رژیم به آب‌وهوای خشک نیمه گرمسیری معروف است. در این منطقه دامنه جزر و مدی امواج معمولاً بین ۲ تا ۴ متر است (Shah-hosseini et al., 2011). منطقه مکران تحت تأثیر امواج ناشی از باد و امواج با دوره بلند در حدود ۲۰ ثانیه قرار دارد. این امواج، غالباً عمود بر خط ساحلی هستند و کمی تغییر در آب‌وهوا و جهت غالب منجر

در پژوهش حاضر نیز بندر زرآباد در سواحل مکران به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیده است. از آنجا که نوار ساحلی در این منطقه تقریباً توسعه‌نیافته است و به نوعی از مراکز عمده جمعیتی دور است، داده‌های میدانی کافی و اطلاعات پایه در این مناطق حساس در دسترس نیست و فعل و انفعالات نامطلوب در فرآیندهای هیدرودینامیکی و مورفولوژیکی منطقه باعث کاهش عمر مفید سازه‌ها و بنادر شده است، لزوماً این منطقه نیازمند آگاهی از نرخ انتقال رسوب برای ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی ساحلی می‌باشد؛ بنابراین در این پژوهش با استفاده از اجرای گام‌به‌گام مدل‌های موج، جریان، انتقال رسوب و همچنین بازدید میدانی به‌منظور بررسی چگونگی انتقال رسوبات در بندر زرآباد در ساحل مکران، سعی در به‌کارگیری ترکیبی از شبیه‌سازی و مدل‌سازی موج و انتقال رسوب با استفاده از نرم‌افزار Mike21 و صحت‌سنجی داده‌های میدانی و اصلاح آن‌ها با استفاده از شبکه عصبی می‌باشد.

۲ مواد و روش‌ها

در این بخش ابتدا توضیحاتی در مورد منطقه مورد مطالعه داده می‌شود، سپس به روش تحقیق اتخاذ شده برای تخمین نرخ انتقال رسوب در امتداد ساحل پرداخته می‌شود. همچنین داده‌های به‌کار گرفته شده برای تحقیقات را توصیف می‌کند.

ایران از پایگاه داده ICZM ایران تهیه شده است.

۲-۴ داده‌های اندازه‌گیری موج

گزارش پایش و مطالعات شبیه‌سازی سواحل مکران در سال ۱۳۹۶ توسط سازمان بنادر و دریانوردی انجام شده است و شرکت‌های مهندسی مشاور هندسه پارس (PGC)، مهندسی مشاور آب و محیط خاورمیانه (MEWE) و مهندسی مشاور دریانگار پارس (DNP) مشاوران طرح بوده‌اند. محدوده موردنظر در این مطالعه، از خلیج گواتر در مرز ایران و پاکستان شروع شده و تا مرز دو استان سیستان و بلوچستان و هرمزگان ادامه می‌یابد. این مطالعه حاوی مطالب ارزشمندی در رابطه با اندازه‌گیری‌های مشخصات هیدرودینامیکی آب است. اندازه‌گیری موج و جریان توسط سازمان بنادر و دریانوردی (PMO) در طول سواحل مکران و در ایستگاه‌های گالک، تنگ و زرآباد همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، انجام شده است (PGC and DNP 2013 and PGC and MEWE 2018). داده‌های مشاهده‌ای برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل توسط سازمان بنادر و دریانوردی ایران در مرحله ششم مطالعات پایش و مدل‌سازی سواحل ایران ارائه شده است. داده‌های موج از طریق دستگاه‌های AWAC جمع‌آوری می‌شود. سانسورهای موج صوتی می‌توانند ارتفاع، دوره و جهت موج را با دقت و ویژگی‌های دقیق و جریان نیز ثبت کنند. آن‌ها را می‌توان در مناطق کم‌عمق یا عمیق نصب کرد و به‌طور کامل تمام شرایط دریا را مشخص کرد.

۳-۴ داده‌های پیش‌یابی موج

برای شبیه‌سازی‌های بلندمدت انتقال رسوب به داده‌های بلندمدت موج نیاز است تا به‌عنوان ورودی مدل انتقال رسوب، استفاده شود. پروژه مدل‌سازی امواج ایران توسط سازمان بنادر و

به تغییرات قابل توجهی در میزان انتقال رسوب می‌شود. بنابراین، تغییرات ریخت‌شناسی در قسمت شمالی دریای عمان قابل پیش‌بینی نیست. از مهم‌ترین پدیده‌های طبیعی در منطقه ساحلی خلیج عمان طوفان‌های گرمسیری هستند و خطوط ساحلی آن تحت تأثیر سیکلون‌های گرمسیری، تغییر در ارتفاعات آب، ایجاد جریان با سرعت زیاد و امواج با ارتفاعات بالا می‌باشد (PGC and MEWE 2013). علاوه بر این، طوفان‌های گرمسیری یکی از عواملی است که باعث انتقال قابل توجه رسوبات و مواد بیوشیمیایی بر روی آب‌های اقیانوسی و منطقه مورد مطالعه می‌شود (Arz et al., 2003; Krishna, 2009; Evan and Camargo, 2011).

۴ اطلاعات موجود و داده‌های جمع‌آوری‌شده

به‌منظور بررسی و تعیین نرخ انتقال رسوب در منطقه مورد مطالعه، داده‌های مشاهده‌ای موردنیاز است که مهم‌ترین موارد عبارت‌اند از:

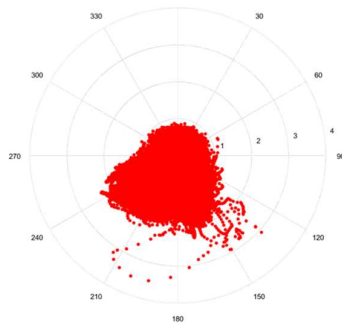
۱-۴ داده‌های عمق‌سنجی

داده‌های عمق‌سنجی برای مطالعه حاضر از منابع مختلف جمع‌آوری گردیده‌اند که پس از بررسی، با هم تلفیق شده تا بالاترین دقت ممکن در تعیین عمق بستر به‌دست آید. داده‌های تراز بستر متشکل از داده‌های ETOPO با دقت ۱ دقیقه تهیه شده توسط مرکز ملی داده‌های ژئوفیزیکی آمریکا (NGDC؛ آمانت، ۲۰۰۹)، جداول دریایی NCC (سازمان نقشه‌برداری کشور) در مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰ و جدول ۲۸۸۸ نقشه‌های نیروی دریایی انگلستان از دریای عمان هستند. ETOPO1 پوشش کامل توپوگرافی و عمق‌سنجی جهانی را بین ۹۰- درجه تا ۹۰+ در عرض جغرافیایی و ۱۸۰- درجه تا ۱۸۰+ درجه در طول جغرافیایی ارائه می‌کند و برای پشتیبانی از پیش‌بینی، مدل‌سازی و هشدار سونامی و همچنین مدل‌سازی گردش اقیانوس و تجسم زمین استفاده می‌شود. داده‌های خط ساحلی سواحل

داده‌های پیش‌یابی موج در منطقه زرآباد ارائه می‌دهند. تجزیه و تحلیل داده‌های پیش‌یابی نشان می‌دهد که ارتفاع موج کم‌تر از ۱/۰ متر، ۱/۵ متر و ۲/۰ متر برای ۷۵/۳، ۹۷/۶ و ۹۹/۹ درصد از بازه زمانی ۳۷ ساله است. حداکثر ارتفاع موج در دوره ۳۷ ساله ۳/۵ متر با دوره ۸/۷ ثانیه از SSW بوده است.

دریانیوردی (PMO) و دریای عمان تعریف شده است. این آمار در یک بازه زمانی ۳۷ ساله و در نقطه ۲۵،۳ درجه شمالی و ۵۹،۶ درجه شرقی و در عمق ۲۵ متری در مقابل سایت پروژه تهیه شده است. شکل ۲ نمودار پراکندگی موج بر حسب ارتفاع و جهت موج را در این دوره نشان می‌دهد.

جدول ۲ توزیع‌های مشترک ارتفاع-جهت موج را برای



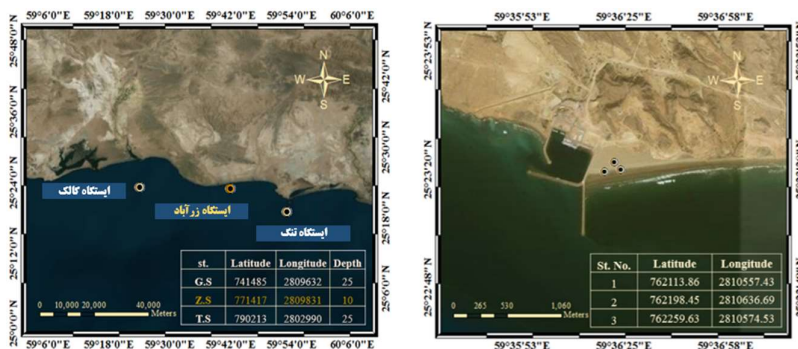
شکل ۲. نمودار پراکندگی مربوط به ارتفاع موج بر اساس جهت.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری.

ایستگاه	دوره زمانی	X (m)	Y (m)	عمق (m)
گالک	۱۳۹۵/۹/۶ - ۱۳۹۴/۱۱/۱۹	۷۴۱۴۸۵	۲۸۰۹۶۳۲	۲۵
زرآباد	۱۳۹۵/۶/۱ - ۱۳۹۵/۴/۶	۷۷۱۴۱۷	۲۸۰۹۸۳۱	۱۰
تنگ	۱۳۹۵/۹/۴ - ۱۳۹۴/۱۱/۱۹	۷۹۰۲۱۳	۲۸۰۲۹۹۰	۲۵

جدول ۲. توزیع مشترک ارتفاع موج و جهت موج در بندر زرآباد.

جهت	ارتفاع موج								جمع	C(%)
	۰.۰-۰.۵	۰.۵-۱.۰	۱.۰-۱.۵	۱.۵-۲.۰	۲.۰-۲.۵	۲.۵-۳.۰	۳.۰-۳.۵	۳.۵+		
۰.۰-۲۲.۵	۰.۰۶۱	۰.۰۹۲	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۱۵۳	۱۰۰.۰۰۰
۲۲.۵-۴۵	۰.۰۷۸	۰.۰۸۷	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۱۶۶	۹۹.۸۴۷
۴۵-۶۷.۵	۰.۰۶۷	۰.۰۷۴	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۱۴۲	۹۹.۶۸۱
۶۷.۵-۹۰	۰.۰۹۱	۰.۰۹۷	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۱۸۹	۹۹.۵۴۰
۹۰-۱۱۲.۵	۰.۵۱۶	۰.۲۵۹	۰.۰۰۴	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۷۸۰	۹۹.۳۵۱
۱۱۲.۵-۱۳۵	۴.۷۱۶	۳.۳۷۴	۰.۰۹۳	۰.۰۰۳	۰.۰۰۵	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۸.۱۹۲	۹۸.۵۷۱
۱۳۵-۱۵۷.۵	۹.۰۹۷	۵.۱۵۷	۰.۸۲۰	۰.۰۹۷	۰.۰۰۹	۰.۰۰۷	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۱۵.۱۸۷	۹۰.۳۷۹
۱۵۷.۵-۱۸۰	۶.۸۲۳	۳.۵۷۳	۱۵.۴۹۸	۱.۱۲۶	۰.۰۱۶	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۴۹.۲۰۴	۷۵.۱۹۲
۱۸۰-۲۰۲.۵	۱.۵۴۶	۴.۲۰۲	۱.۵۷۰	۰.۲۲۳	۰.۰۰۴	۰.۰۰۰	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰	۷.۵۴۷	۳۵.۹۸۹
۲۰۲.۵-۲۲۵	۰.۹۵۵	۳.۰۹۴	۱.۰۲۳	۰.۳۴۵	۰.۰۰۶	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۰	۵.۴۳۵	۱۸.۴۴۱
۲۲۵-۲۴۷.۵	۰.۸۸۶	۳.۶۰۱	۱.۴۴۴	۰.۳۷۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۶.۳۳۴	۱۳.۰۱۶
۲۴۷.۵-۲۷۰	۰.۹۳۷	۳.۰۸۲	۱.۸۱۸	۰.۱۵۷	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۵.۹۹۵	۶.۶۸۲
۲۷۰-۲۹۲.۵	۰.۱۲۶	۰.۱۵۵	۰.۰۰۴	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۳۸۵	۰.۶۸۷
۲۹۲.۵-۳۱۵	۰.۰۶۳	۰.۰۶۹	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۱۳۳	۰.۴۰۲
۳۱۵-۳۳۷.۵	۰.۰۶۷	۰.۰۶۸	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۱۳۵	۰.۳۷۰
۳۳۷.۵-۳۶۰	۰.۰۵۹	۰.۰۷۶	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۱۳۵	۰.۱۳۵
جمع	۲۶.۰۹۹	۴۹.۲۱۸	۲۲.۲۷۵	۲.۳۲۲	۰.۰۷۳	۰.۰۱۰	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰	۱۰۰.۰۰۰	
C(%)	۱۰۰.۰۰۰	۷۳.۹۰۱	۲۴.۶۸۳	۲.۴۰۸	۰.۰۸۶	۰.۰۱۳	۰.۰۰۳	۰.۰۰۰		



شکل ۳. محل نمونه برداری رسوب و ایستگاه‌های اندازه‌گیری.

صورت یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی را فراهم آورده است و از این حیث این امکان را به کاربر می‌دهد که جنبه‌های مختلف پیچیدگی‌های انتقال رسوب را در نظر بگیرد و با فرض‌های محدودکننده کم‌تری به بررسی این فرآیند بپردازد.

در این مقاله، برای صحت‌سنجی داده‌های موج از مدل Mike21(2D) و از مدل انتشار موج استفاده شده است و سپس برای تعیین نرخ انتقال رسوب از ابزار قدرتمند LITPACK استفاده شده است. بر این اساس ابتدا مشخصات موج بر اساس منابع آماری موجود و قابل دسترس در ناحیه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته و آمار موج منبای مطالعات تعیین شده است.

۶ معرفی مدل

۶-۱ مدل انتشار موج

مدل انتشار موج از بسته نرم‌افزاری MIKE21 یک مدل طیفی نسل سوم با قابلیت شبکه‌بندی مثلثی است. در این مدل، پدیده‌های مربوط به تولید امواج از باد، شکست آب عمیق، اندرکنش چهارتایی و سه‌تایی امواج، اندرکنش موج و جریان، شکست آب کم‌عمق و استهلاك انرژی ناشی از اصطکاک بستر از یک سو و فرآیندهای مرتبط با انتشار امواج نظیر پشته شدن، انکسار و تفرق از سوی دیگر در نظر گرفته

۴-۴ بازدید از منطقه و جمع‌آوری اطلاعات موجود

به‌منظور تأمین ورودی‌های موردنیاز نرم‌افزار شبیه‌سازی انتقال رسوب در مطالعه حاضر، از جمله اطلاعات مربوط به دانه‌بندی و چگالی رسوبات، در خردادماه سال ۱۳۹۸ در فصل مونسون بازدید از منطقه صورت گرفت. مشاهدات شکل و عوارض ساحلی در محل این پروژه و همچنین شواهد مرتبط با نحوه تغییرات آن‌ها، اطلاعات با ارزشی را از اقلیم موج و کرانه ساحلی محلی در اختیار قرار داد. منطقه مورد مطالعه از ناحیه زوال موج کاملاً وسیع و فعالی برخوردار است. جهت غالب کرانه ساحلی خالص درازمدت از شرق به غرب است.

به‌منظور انجام مطالعات بر روی سواحل شرقی، نمونه‌برداری رسوب از این منطقه صورت گرفت که مشخصات محل نمونه‌برداری در شکل ۳ نمایش داده شده است. پس از انجام آزمایش‌های دانه‌بندی مقدار چگالی و قطر متوسط نمونه‌ها به دست آمده است. مقادیر به دست آمده برای چگالی رسوب ۲/۶۴ و برای قطر آن ۰/۱۲ میلی‌متر می‌باشد.

۵ مدل‌سازی عددی نرخ انتقال رسوب ساحل

ماژول‌های مختلفی که در نرم‌افزار Mike قرار داده شده است، امکان بررسی فرآیندهای مربوط به رسوب را به

۲-۶ برپایی مدل

در این بخش به درستی بخش‌های مختلف مدل‌سازی موج و مقایسه داده‌های اندازه‌گیری و نتایج مدل پرداخته می‌شود. با توجه به محدوده مدل‌سازی موج و عدم تأثیر وزش باد در این محدوده، نیازی به در نظر گرفتن اثر باد در مدل‌سازی نمی‌باشد. لذا در این پژوهش برای مدل‌سازی امواج از فرمولاسیون اول استفاده شده است. همچنین برای مدل‌سازی انتشار امواج در مدل SW دو نوع فرمولاسیون نیز در فضای زمانی در نظر گرفته شده است. با توجه به آنکه اطلاعات موج مورد استفاده به صورت سری زمانی تقریباً ۱ ساله و در بازه زمانی ۱ ساعته در دسترس می‌باشد، از فرمولاسیون Quasi stationary formulation در فضای زمانی برای اجرای مدل استفاده شده است.

۳-۶ طراحی محدوده مدل و شبکه‌بندی

زبری بستر و فاصله المان‌های شبکه، از جمله پارامترهای مهم هستند که مدل مورد استفاده به آن‌ها حساسیت بیش‌تری نشان می‌دهد. زبری کف بر اساس ضریب مانینگ تعریف می‌شود. به منظور مطالعه رسوب و مورفولوژی به داده‌های طولانی مدت امواج در محدوده آب‌های نیمه‌عمیق و کم‌عمق ساحلی مورد نیاز است. همان‌طور که بیان شد از داده‌های پیش‌یابی موج در این پروژه استفاده شده است. داده‌های مشاهداتی در بندر زرآباد در عمق ده متری قرار دارد و به منظور اعتبارسنجی مدل هیدرودینامیکی و داده‌های پیش‌یابی موج، مدل‌سازی انتشار موج آب عمیق به محدوده مقابل سایت پروژه با استفاده از مدل MIKE21-SW انجام شده و مشخصات امواج در عمق ۱۰ متری استخراج و با داده‌های مشاهداتی مقایسه شده است. ابعاد مدل طراحی شده برای مدل‌سازی انتشار امواج تا نزدیکی ساحل پروژه بر اساس محل دریافت اطلاعات موج

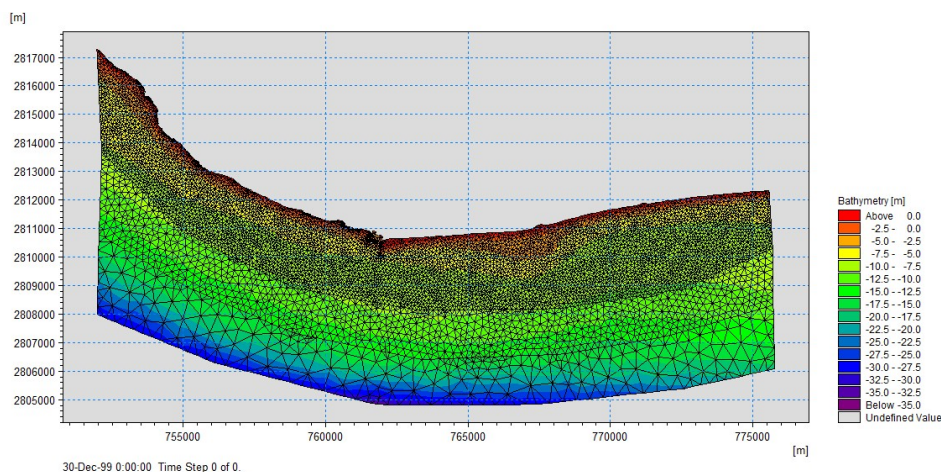
شده است. برای مدل‌سازی تولید و انتشار امواج مدل دو نوع فرمولاسیون در فضای طیفی در نظر گرفته شده است. فرمولاسیون اول (فرمول پارامتری جدا شده جهت‌دار) (Directional Decoupled Parametric Formulation) بر مبنای پارامتریک کردن معادله بقای عمل موج بوده ولی فرمولاسیون دوم (مدل کاملاً طیفی) (Fully Spectral Model) بر مبنای حل معادله بقای عمل موج به صورت طیفی کامل می‌باشد. در فرمولاسیون اول از اندرکنش غیرخطی امواج صرف نظر شده است. مزیت استفاده از این نوع فرمولاسیون افزایش اجرای مدل می‌باشد.

ابزار مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل تکامل خط

ساحلی

جهت بررسی نرخ پتانسیل انتقال رسوب از ماژول LITDRIFT از مجموعه LITPACK که در بسته نرم‌افزاری MIKE-DHI قرار دارد، استفاده شده است. LITPACK یک قسمت از تولیدات DHI، نرم‌افزاری در مجموعه MIKE Zero است که در محیط ویندوز قابل اجرا می‌باشد. LITPACK یک نرم‌افزار مهندسی جهت شبه‌سازی و مدل کردن انتقال رسوبات غیرچسبده تحت امواج و جریان، کرانه‌های ساحلی، تغییرات خط ساحلی است. هسته مرکزی انتقال رسوب LITPACK، STPQ3D است. STPQ3D تمامی لایه‌های LITPACK استفاده می‌شود.

LITDRIFT توانایی مدل‌سازی توزیع عمود بر ساحل ارتفاع موج و جریان‌های موازی ساحل برای پروفیل‌های ساحلی را دارد. همچنین می‌تواند توزیع انتقال رسوب موازی ساحل برای یک هیدرومتری دلخواه، با امواج منظم و غیر منظم را مدل‌سازی و محاسبه کند. معادلات اندازه حرکت در جهت عمود و موازی ساحل، توزیع جریان در این دو جهت را می‌دهد.



شکل ۴. محدوده مدل طراحی شده و شبکه‌بندی انجام شده برای سازی.

مشخصات ورودی امواج شامل ارتفاع موج مشخص (Hs)، دوره پیک (Tp)، جهت موج (MWD) و شاخص پراکنش جهت (n) می‌باشد.

۷ نتایج و بحث

۷-۱ مدل سازی انتشار امواج

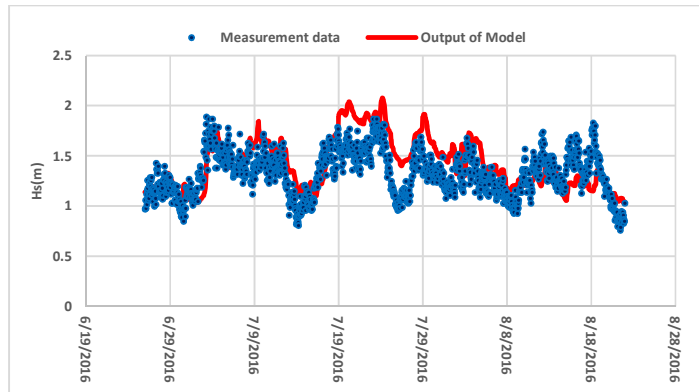
همان‌طور که در بخش قبل بیان شد برای مدل سازی موج در این مقاله از نرم افزار MIKE21 استفاده شده است. داده‌های مشاهداتی بندر زرآباد در عمق ده متری قرار دارند و برای بررسی انتقال رسوب به داده‌های بلندمدت آب عمیق نیاز است؛ بنابراین از داده‌های بلندمدت پیش‌یابی موج استفاده شده است. به منظور بررسی داده‌های پیش‌یابی موج و صحت‌سنجی مدل، مدل سازی انتشار موج آب عمیق به محدوده مقابل سایت و در عمق ده متری، انجام شده است. پس از اجرای مدل و انتشار موج در محدوده نشان داده شده در شکل ۴، برای مقایسه داده‌های مشاهداتی با خروجی‌های حاصل از مدل سازی، داده‌های موج در مقابل بندر و در عمق ۱۰ متری استخراج شد. شکل ۵، مقایسه داده‌های مشاهداتی با خروجی مدل سازی را در عمق ۱۰ متری نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌های بالا مشخص است، اگرچه

انتخاب شده است. بر اساس اطلاعات هیدروگرافی منطقه‌ای و محلی انجام شده و در دسترس از محدوده طرح، شبکه‌بندی مدل به گونه‌ای انجام شده که در محدوده دارای اعماق بیش‌تر ابعاد المان‌ها بزرگ‌تر و در مناطق نیمه‌عمیق و نیز نزدیک ساحل پروژه ابعاد المان ریزتر باشد. محدوده مدل طراحی شده از ۷۵۷۸ گره و ۱۳۹۷۳ المان محاسباتی تشکیل شده است. در این مطالعه آنالیز حساسیت در مورد ابعاد شبکه در محدوده مورد مطالعه صورت گرفته است. ریزتر شدن ابعاد شبکه تا مرحله همگرایی جواب‌ها به یک مقدار مشخص صورت گرفته است و در نهایت ابعاد شبکه در محدود مورد مطالعه حدود ۲۰ متر انتخاب شده است. در مناطق فراساحلی و دور از محدوده پروژه ابعاد شبکه نیز حدود ۸۰۰ متر انتخاب شده است. این موضوع در شکل ۴ نشان داده شده است.

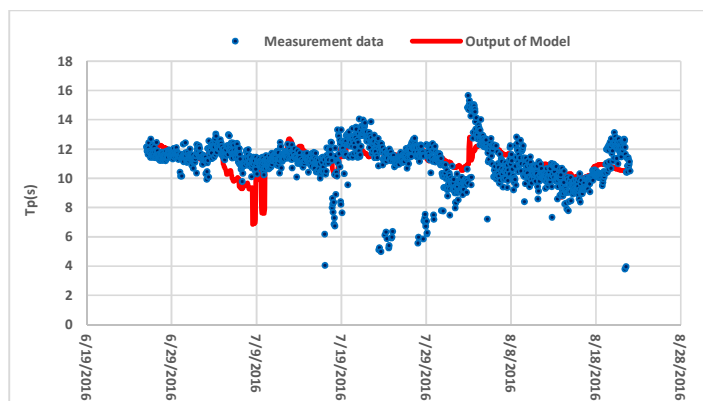
۴-۶ شرایط مرزی

با توجه به شکل ۴، مشخصات امواج با گام زمانی ۱ ساعته می‌باشد که به صورت متغیر در زمان اعمال می‌گردد. در محدوده مدلسازی، ۴ مرز برای مدل در نظر گرفته شده است. مرز باز مدل، مرز بسته مدل و همچنین دو مرز به‌عنوان مرزهای کناری (Lateral) در نظر گرفته شده‌اند.

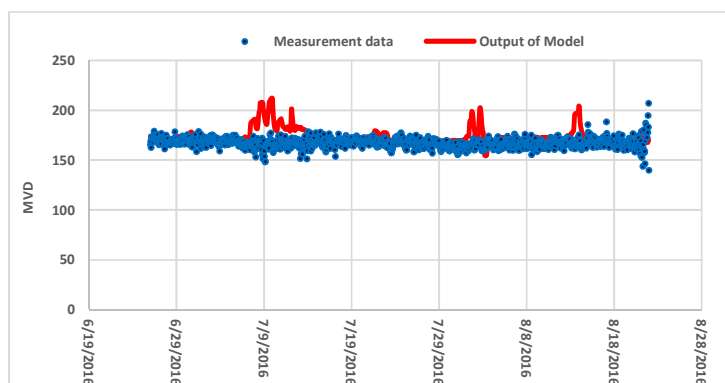
تطابق خوبی بین ارتفاع موج داده‌های مشاهداتی با خروجی مدل‌سازی وجود داشت، اما برای دوره و زاویه موج این قضیه وجود نداشت. از این رو بایستی داده‌های پیش‌یابی موج از طریق روش اصلاح انحراف اصلاح شوند و سپس برای محاسبه انتقال رسوب استفاده شود.



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۵. مقایسه داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل‌سازی در عمق ۱۰ متری (الف) ارتفاع موج (ب) دوره موج (پ) زاویه‌ی موج.

۲-۷ تحلیل و اصلاح داده‌های موج با استفاده از

شبکه عصبی

از گذشته تا به الان استفاده از داده‌های برداشت شده از رویدادهای طبیعی یا آزمایشی و تلاش برای پیدا کردن رابطه‌ای منطقی بین اندازه‌گیری‌های انجام شده، در تاریخ علم به‌عنوان شیوه‌ای مرسوم و موثق، رایج بوده است. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری موج در صحت‌سنجی شبیه‌سازی‌های عددی ایجاد و انتشار امواج می‌توان اطلاعات موج را برای یک منطقه پیش‌بینی یا پیش‌یابی کرد. در این پژوهش نیز، داده‌های HINDCAST موج در منطقه مورد مطالعه به‌وسیله شبکه عصبی اصلاح می‌شوند. برای انتخاب رویداد مناسب برای آموزش شبکه، رویدادهای مختلف بررسی گردیده است و در نهایت با استفاده از داده‌های مشاهداتی موج برای رویدادهای مختلف شبکه‌های عصبی آموزش داده شده است و نتایج حاصل از شبکه نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. داده‌های شبیه‌سازی موج به‌عنوان ورودی شبکه و داده‌های مشاهداتی به‌عنوان هدف به شبکه معرفی شده‌اند.

برای این کار نیاز به یک مجموعه اطلاعات اولیه و داده‌های ورودی است. برای مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی از نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۸ استفاده شده است. شبکه‌های مختلفی در این نرم‌افزار وجود دارد که با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان شبکه‌های مصنوعی را طراحی و ارزیابی کرد. برای انتخاب بازه زمانی مناسب جهت انجام اجراها و ارزیابی عملکرد مدل، به داده‌های اندازه‌گیری موج در آب عمیق نیاز است. اندازه‌گیری‌هایی برای سواحل ایران در قالب پایش و مدل‌سازی سواحل ایران - فاز ششم - خط ساحلی مکران در دسترس است. با توجه به عدم وجود داده‌های اندازه‌گیری میدانی درازمدت در بندر زراباد، از داده‌های مشاهداتی در ایستگاه گالک و تنگ برای اصلاح امواج استفاده شده است. داده‌های اندازه‌گیری میدانی همان‌طور که بیان شد از بهمن‌ماه ۱۳۹۴ تا آذرماه ۱۳۹۵، در

ایستگاه‌های گالک و تنگ موجود است. جمع‌آوری داده‌ها توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری AWAC و در عمق ۲۵ متری انجام شده است.

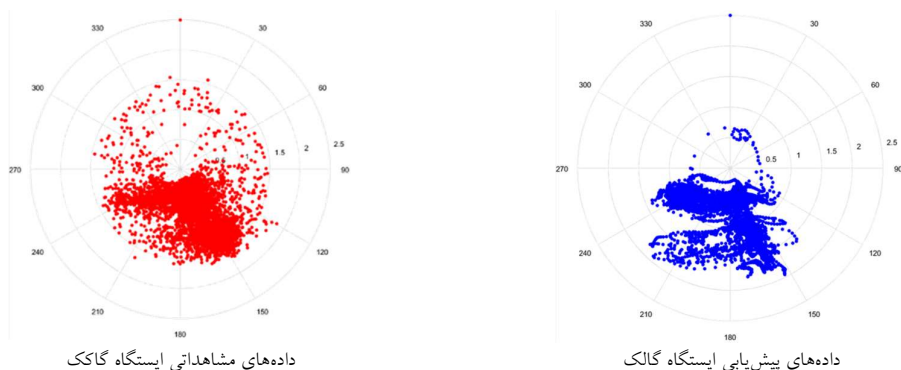
۳-۷ ارزیابی شبکه‌های مختلف

همان‌طور که قبلاً بیان شد در دو ایستگاه گالک و تنگ داده‌های مشاهداتی وجود دارد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، تصمیم گرفته شد که آموزش شبکه را با استفاده از داده‌های یک ایستگاه ادامه دهیم و نتایج اصلاح زاویه موج را بر روی ایستگاه دیگر امتحان کنیم. ایستگاه گالک برای این موضوع انتخاب شد.

برای اصلاح داده‌های موج چندین مرحله بررسی و ارزیابی با شبکه‌های مختلف آموزش داده شده برای ایستگاه‌های گالک انجام شده است. نمودار گل موج داده‌های مشاهداتی و پیش‌یابی ایستگاه گالک در شکل ۶ نشان داده شده است.

همان‌طور که از مقایسه داده‌های پیش‌یابی با داده‌های اندازه‌گیری موج در شکل ۶ و برای ایستگاه گالک مشخص است، این داده‌ها نیاز به اصلاح دارند و تطابق خوبی بین داده‌های پیش‌یابی و داده‌های مشاهداتی وجود ندارد.

شبکه‌های مختلفی آموزش داده شدند. در نهایت پس از چندین مرحله بررسی و ارزیابی شبکه‌های مختلف و با توجه به نتایج ارزیابی شبکه‌های آموزش دیده برای اصلاح داده‌های موج و بررسی شاخص‌های تأثیرگذار بر شبکه عصبی تصمیم بر آن شد تا شبکه‌های جدید با استفاده از ورودی‌های متفاوت آموزش داده شود. شرایط امواج در فصل مونسون و غیرمونسون دریای عمان کاملاً با یکدیگر متفاوت است. لذا شرایط متفاوت امواج در فصل مونسون و غیرمونسون می‌تواند یکی از عوامل مؤثر بر شبکه عصبی باشد. فصل مونسون به‌طور تقریبی از اواسط خردادماه شروع و تا اواسط شهریورماه ادامه دارد؛ بنابراین با استفاده از یک پارامتر عددی، داده‌های این دو فصل از



شکل ۶. داده‌های پیش‌یابی و مشاهداتی در ایستگاه گالک.

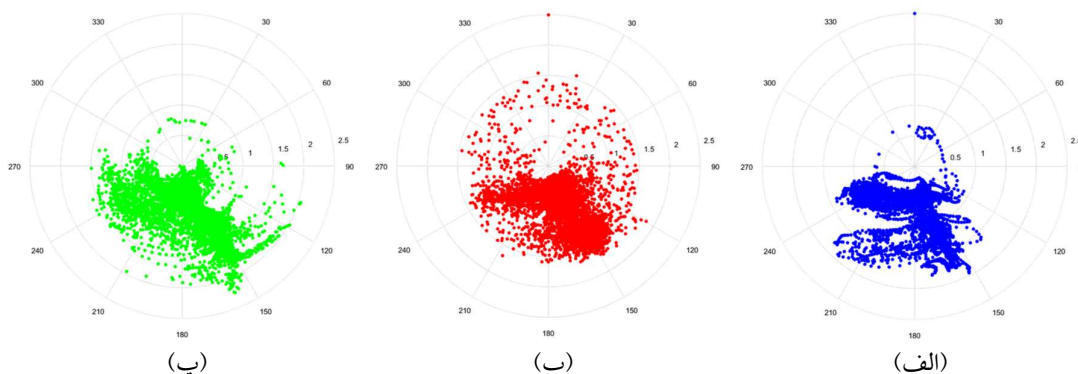
مونسون و غیرمونسون و به صورت جداگانه در دو شبکه عصبی به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شوند. همچنین با نوشتن یک کد دستوری متلب و اختصاص یک عدد، زوایا به صورت هر ده درجه تفکیک شدند. هدف شبکه عصبی داده-های مشاهداتی انتخاب شده است. شبکه با دولایه، ۲۰ نورون و با استفاده از ۷۰ درصد داده‌ها به‌عنوان داده آموزش، ۱۵ درصد به‌عنوان داده صحت‌سنجی و ۱۵ درصد داده آزمایش آموزش دیده شده است. لازم به ذکر است که از الگوریتم لورنبرگ-مارکوارد برای آموزش شبکه استفاده شده است. تعداد داده‌ها برای فصل مونسون که از ۱۵ خردادماه سال ۱۳۹۵ تا پایان شهریورماه ۱۳۹۵، ۲۵۲۲ بود و در فصل غیرمونسون ۳۷۴۳ داده می‌باشد. ویژگی‌ها و مشخصه‌های آماری شبکه‌های عصبی آموزش داده شده در جدول ۳ بیان شده است. نتایج شبکه عصبی در شکل ۷ نشان داده شده است.

یکدیگر تفکیک شد. همچنین سعی شد با نوشتن یک کد دستوری متلب، دو پارامتر تأثیرگذار دیگر (ارتفاع‌های مختلف موج و زوایای مختلف موج) از یکدیگر تفکیک شوند. طی این مرحله شبکه‌های زیادی آموزش داده شد و نتایج متفاوتی به دست آمد.

در این قسمت، به دلیل اهمیت زوایای موج، سعی شده است، تأثیر این قسمت را بر روی خروجی شبکه عصبی مشخص کنیم؛ بنابراین به هر داده موج و با زوایای بین ۹۰ تا ۲۷۰ درجه، به صورت هر ده درجه یک پارامتر اختصاص داده شد و برای باقی زوایا به دلیل اهمیت کمی که در نرخ انتقال رسوب در این منطقه دارند، تقسیم‌بندی صورت نگرفته است و تنها یک عدد به زوایای باقی مانده اختصاص داده شده است. با مقایسه شکل‌ها، تأثیر تفکیک فصل مونسون و غیرمونسون و زاویه، بر روی شبکه عصبی کاملاً مشخص می‌باشد؛ بنابراین می‌بایست اهمیت تأثیر این دو پارامتر بیش‌تر بررسی شود. لذا تصمیم گرفته شد داده‌ها در دو دسته فصل

جدول ۳. ویژگی‌های شبکه عصبی آموزش داده شده برای ارتفاع، دوره و جهت موج در فصل مونسون و غیرمونسون.

فصل غیرمونسون		فصل مونسون	
پرسپترون دولایه	نوع شبکه	پرسپترون دولایه	نوع شبکه
۲۰	تعداد نورون	۲۰	تعداد نورون
لورنبرگ-مارکوارد	الگوریتم مورد استفاده	لورنبرگ-مارکوارد	الگوریتم مورد استفاده
۳۷۴۳	تعداد داده‌ها	۲۵۲۲	تعداد داده‌ها



شکل ۷. گل موج داده‌های موجود الف) داده‌های پیش‌یابی ب) داده‌های مشاهداتی پ) داده‌های اصلاح‌شده با استفاده از شبکه عصبی.

جدول ۴. جزئیات مقایسه مقدار متوسط جهت موج داده‌های مشاهداتی با مقدار متوسط جهت موج داده‌های پیش‌یابی.

ایستگاه	جهت غالب داده‌های مشاهداتی موج (درجه)	جهت غالب داده‌های پیش‌یابی (درجه)	جهت غالب داده‌های موج اصلاح شده (درجه)
گالک	۱۶۳	۱۷۸	۱۶۴
تنگ	۱۷۴	۱۸۴	۱۶۵

ارتفاع موج و جهت اصلاح شده در جدول ۵ در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ در عمق حدود ۲۵ متری نشان داده شده است. همان‌طور که در این جا مشاهده می‌شود، داده‌های پیش‌یابی اصلاح‌شده به وسیله شبکه عصبی، نشان می‌دهد که درصد امواجی که از جنوب- جنوب شرقی (SSE) پیش‌روی می‌کنند، برای تقریباً ۴۶/۷ درصد مواقع اتفاق می‌افتد؛ که این موضوع به نسبت به داده‌های اولیه پیش‌یابی که حدود ۲۵ درصد بود، با داده‌های مشاهداتی تطابق بیش‌تری دارد.

به منظور ارزیابی شبکه‌های عصبی در منطقه زراباد، میدان موج اصلاح شده، برای شبیه‌سازی‌های مدل موج به وسیله نرم‌افزار MIKE21 به کار گرفته شد و امواج اصلاح شده به سمت منطقه خشکی (با عمق حدود ۱۰ متر) منتشر شدند. شکل ۸ مقایسه خروجی مدل و داده‌های

همان‌طور که در شکل مشخص است پس از استفاده از روش مبتنی بر شبکه عصبی، برای اصلاح میدان موج، داده‌های پیش‌یابی به‌طور قابل‌توجهی با توجه به میدان موج داده‌های مشاهداتی بهبود یافته است.

برای ارزیابی این شبکه‌های عصبی، داده‌های مشاهداتی تنگ از شبکه عصبی عبور داده شد. جدول ۴ مقایسه زاویه غالب داده‌های مشاهداتی و داده‌های پیش‌یابی موج را برای ایستگاه‌های فراساحلی گالک و تنگ برای دوره در دسترس بودن داده‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، زوایای اصلاح شده به دست آمده از شبکه عصبی با نتایج قبل از اصلاح توسط شبکه عصبی بهبود قابل‌توجهی را نشان می‌دهد.

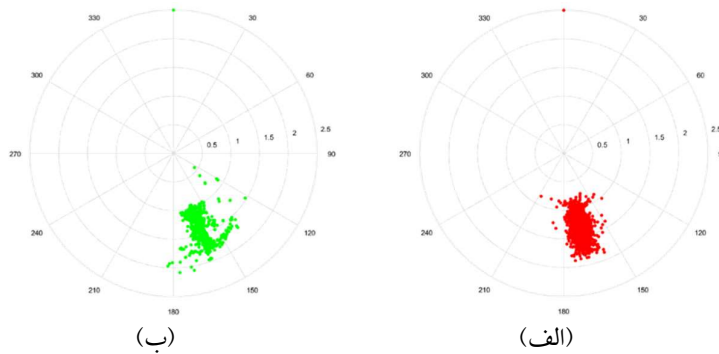
شبکه آموزش دیده برای اصلاح داده‌های پیش‌یابی موج در منطقه فراساحلی زراباد استفاده شد. توزیع مشترک

مشاهداتی را در عمق ۱۰ متری و روبروی بندر زرآباد را نشان می‌دهد که تطابق مطلوبی بین داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل مشاهده می‌شود.

شکل ۹ گل موج داده‌های اصلاح شده پیش‌یابی موج در منطقه زرآباد را نشان می‌دهد.

هدف از این قسمت نشان دادن بهبود میدان موج داده‌های پیش‌یابی در منطقه زرآباد با استفاده از روش‌های یادگیری

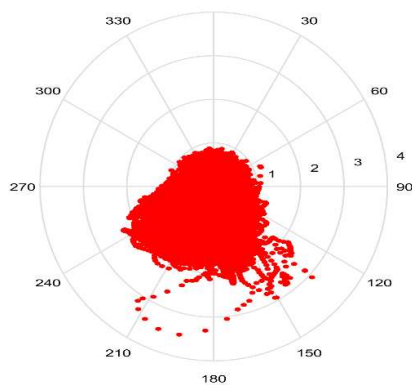
ماشینی بوده است. روشی که در این کار اتخاذ گردید تا با آن نتایج بهبود بخشیده شود روش شبکه عصبی مصنوعی بوده است. برای این کار از داده‌های منطقه گالکک و تنگ استفاده شده است و پس از آن برای اصلاح نتایج، تلاش برای دست‌یابی به شبکه عصبی بهینه آغاز شد. به همین منظور شبکه‌هایی با پیکربندی‌های متفاوت آموزش داده و مورد ارزیابی و آزمایش قرار گرفته است. سرانجام و پس از



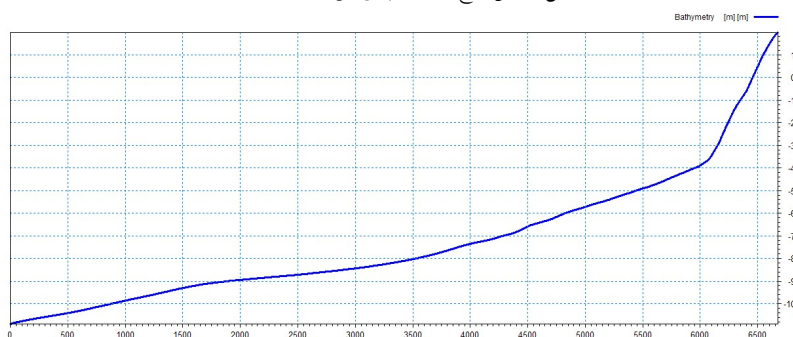
شکل ۸. مقایسه گل موج داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل مایک با استفاده از داده‌های اصلاح شده توسط شبکه عصبی در عمق ۱۰ متری (الف) داده‌های مشاهداتی (ب) خروجی مدل.

جدول ۵. توزیع مشترک ارتفاع موج و جهت برای داده‌های اصلاح شده موج توسط شبکه عصبی در منطقه زرآباد.

C (%)	جمع	ارتفاع موج					جهت
		۲.۰-۲.۵	۱.۵-۲.۰	۱.۰-۱.۵	۰.۵-۱.۰	۰.۰-۰.۵	
۱۰۰	۰.۰۱	۰	۰.۰۱	۰	۰	۰	۰.۰-۲۲.۵
۹۹.۹۹	۰.۰۵	۰	۰.۰۱	۰	۰.۰۱	۰.۰۳	۲۲.۵-۴۵
۹۹.۹۴	۰.۱۸	۰	۰	۰	۰.۰۴	۰.۱۴	۴۵-۶۷.۵
۹۹.۷۶	۰.۷۶	۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۶	۰.۶۸	۶۷.۵-۹۰
۹۹	۱.۷۹	۰.۰۱	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۱	۱.۵۷	۹۰-۱۱۲.۵
۹۷.۲۱	۳.۲۴	۰.۰۲	۰.۱۷	۰.۹۷	۰.۵۸	۱.۴۹	۱۱۲.۵-۱۳۵
۹۳.۹۷	۴.۰۷۴	۰.۰۶	۱.۹۲	۱۴.۷۲	۱۴.۱	۹.۹۲	۱۳۵-۱۵۷.۵
۵۳.۳۳	۳۵.۳۳	۰.۰۷	۰.۹۷	۵.۵	۲۱.۳۹	۷.۳۹	۱۵۷.۵-۱۸۰
۱۷.۹	۸.۲۴	۰	۰.۲۳	۱.۰۶	۴.۵۱	۲.۴۴	۱۸۰-۲۰۲.۵
۹.۶۶	۴.۱۷	۰	۰.۰۶	۰.۸۴	۲.۲۶	۱.۰۱	۲۰۲.۵-۲۲۵
۵.۴۹	۲.۸۸	۰	۰.۰۸	۰.۹۵	۱.۵۳	۰.۳۳	۲۲۵-۲۴۷.۵
۳.۶۱	۱.۶۹	۰	۰.۰۵	۰.۶۵	۰.۸۸	۰.۱۱	۲۴۷.۵-۲۷۰
۰.۹۲	۰.۵۸	۰	۰.۰۱	۰.۱۴	۰.۳۹	۰.۰۵	۲۷۰-۲۹۲.۵
۰.۳۴	۰.۱۸	۰	۰	۰.۰۴	۰.۱۱	۰.۰۳	۲۹۲.۵-۳۱۵
۰.۱۵	۰.۰۹	۰	۰	۰.۰۲	۰.۰۵	۰.۰۲	۳۱۵-۳۳۷.۵
۰.۰۶	۰.۰۶	۰	۰	۰.۰۱	۰.۰۵	۰.۰۱	۳۳۷.۵-۳۶۰
	۱۰۰	۰.۱۶	۳.۵۷	۲۲.۹۸	۴۶.۰۶	۳۵.۲۱	جمع
		۰.۱۷	۳.۷۴	۲۸.۷۲	۷۴.۷۹	۱۰۰	C (%)



شکل ۹. گل موج داده‌های پیش‌یابی در منطقه زراباد.



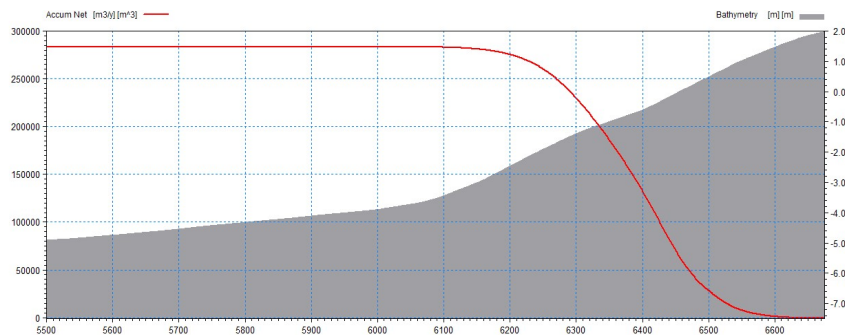
شکل ۱۰. پروفایل عمود بر ساحل.

شکل ۱۱ تغییرات نرخ پتانسیل انتقال رسوب تجمعی را بر حسب مترمکعب در سال در طول پروفایل نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، پتانسیل نرخ انتقال رسوب تا عمق ۴- متر برابر ۲۸۰۰۰۰ مترمکعب در سال تخمین زده شده است و جهت آن از شرق به غرب می‌باشد. شکل ۱۲ تغییرات نرخ انتقال رسوب را در راستای عمود بر ساحل برای دو مؤلفه شرقی و غربی کرانه ساحلی نمایش می‌دهد. رنگ قرمز و علامت مثبت انتقال رسوب از شرق به غرب و رنگ آبی و علامت منفی انتقال رسوب از غرب به شرق را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل پیداست سهم انتقال رسوب شرق به غرب بسیار بیش‌تر از غرب به شرق است. بر اساس شکل ۱۲ جهت انتقال رسوب از غرب به شرق در حالت بیشینه برابر با ۳۶۰ مترمکعب بر سال در واحد طول بوده و در عمق ۰ تا ۱ متری رخ می‌دهد. انتقال رسوب از

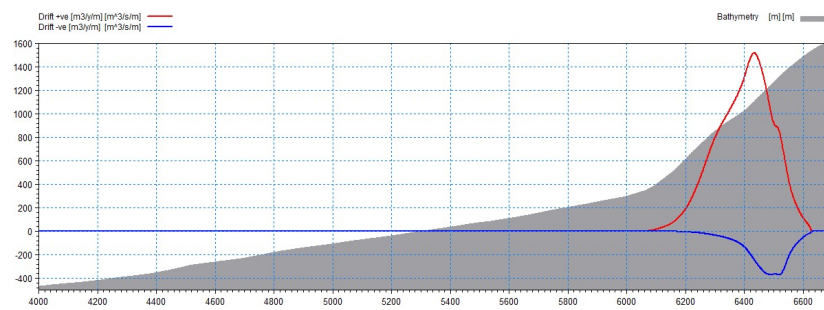
آزمایش پیکربندی‌های فراوان، شبکه عصبی بهینه که با توجه به مقایسه‌های صورت گرفته به وسیله مشخصه‌های آماری قبل و بعد از اصلاح با شبکه عصبی در کل منطقه مورد مطالعه دارای کارایی مطلوب بود، به دست آمده است.

۴-۷ مدل‌سازی انتقال رسوب با استفاده از ابزار مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل تکامل خط ساحلی

همان‌طور که بیان شد برای محاسبه نرخ انتقال رسوب از مجموعه ابزار مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل تکامل خط ساحلی از نرم‌افزار MIKE21 استفاده شده است. برای محاسبه نرخ انتقال رسوب پروفایل عمود بر ساحل مشخص شده است. موقعیت این پروفایل در شکل نشان داده شده است و پروفایل آن در شکل ۱۰ مشخص شده است.



شکل ۱۱. پروفایل عمود بر ساحل.



شکل ۱۲. تغییرات نرخ انتقال رسوب خالص شرقی و غربی در مقطع پروفایل.

جدول ۶. نرخ خالص و ناخالص انتقال رسوب محاسبه شده.

سال	خالص (مترمکعب بر سال)	ناخالص (مترمکعب بر سال)
۲۰۰۸	۲۱۶۰۹۵	۳۱۳۹۸۵
۲۰۰۹	۲۴۷۸۳۸	۳۷۳۶۱۷
۲۰۱۰	۲۵۲۳۱۷	۳۴۲۴۵۶
۲۰۱۱	۲۱۶۱۴۱	۳۲۷۹۶۲
۲۰۱۲	۲۵۲۴۰۰	۳۲۹۳۱۵
۲۰۱۳	۲۰۸۴۳۳	۳۳۸۱۴۷
۲۰۱۴	۲۵۹۱۷۲	۳۱۹۲۰۵
۲۰۱۵	۲۵۹۸۹۰٫۳	۳۴۶۰۹۱
۲۰۱۶	۲۱۱۴۰۴	۳۱۹۳۸۰

جدول ۶. نرخ خالص و ناخالص انتقال رسوب محاسبه شده نیز نرخ ناخالص و خالص بین سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ را نشان می‌دهد. محاسبه نرخ بالقوه انتقال رسوب در ساحل برای خط ساحلی بندر زرآباد نشان می‌دهد که نیروی موج در منطقه به‌طور متوسط قادر به انتقال تقریباً ۲۳۵۰۰۰

شرق به غرب دارای نرخ انتقال بیش‌تری بوده و در حدود ۱۵۶۰ مترمکعب بر سال در واحد طول می‌باشد. براساس این نمودار فرایند انتقال رسوب در جهات مختلف و بسته به ارتفاع موج در اعماق کم‌تر از ۴- متر رخ می‌دهد و در اعماق بیش‌تر فرایند انتقال رسوب، ناچیز است.

استفاده از آن، برای اطمینان از صحت اطلاعات به دست آمده، حتماً خروجی شبکه عصبی با داده‌های مشاهداتی مقایسه شود.

در ادامه نیز با مدل‌سازی عددی MIKE21 برای محاسبه تبدیل موج و جریان‌های نزدیک ساحل و محاسبه نرخ انتقال رسوب، نتایج نشان داد نرخ انتقال رسوب در حالت بیشینه برابر ۱۲۰۰ مترمکعب بر سال در واحد طول می‌باشد و فرایند انتقال رسوب در جهات مختلف و بسته به ارتفاع موج در اعماق کمتر از ۴- رخ می‌دهد و در اعماق بیش‌تر انتقال رسوب ناچیز است، به طوری که پتانسیل نرخ انتقال رسوب تجمعی تا عمق ۴- برابر ۲۸۰۰۰۰ مترمکعب در ساحل تخمین زده شده است و جهت آن از شرق به غرب می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد نیروی موج در منطقه به طور متوسط قادر به انتقال رسوب تقریباً ۲۳۵۰۰۰ مترمکعب در سال است و مقدار قابل توجهی رسوب در پشت موج‌شکن ثانویه وجود دارد که به مرور زمان باعث کاهش عمق آب در ورودی و داخل بندر شده است.

منابع

- دهقانی، ر.، شاهی نژاد ب.، ۱۳۹۶، ارزیابی و عملکرد مدل ماشین بردار پشتیبان در تخمین رسوبات معلق رودخانه‌ها: نشریه آبیاری و آب ایران، دوره ۸ شماره ۱، صفحات ۳۰-۴۲.
- Arz, H.W., Lamy, F., Patzold, J., Muller, P.J., Prins, M., 2003, Mediterranean moisture source for an early-Holocene humid period in the northern Red Sea: Science 300, 118-121.
- DHI Water an Environment User Guide of MIKE21, 2007.
- Dibajnia, M., Soltanpour, M., Vafai, F., Shoushtari, S.M.H.J., Kebriaee, A., 2012, A shoreline management plan for Iranian coastlines: Ocean & coastal management, 63, 1-15.
- Evan, A.T., Camargo, S.J., 2011, A climatology of Arabian Sea cyclonic storms: Journal of climate 24, 140-158.
- Haghshenas, S., Razavi, A., 2014, Applying a Combination of Numerical Simulations,

مترمکعب در سال رسوب است. مقدار قابل توجهی رسوب در پشت موج‌شکن ثانویه وجود دارد که به مرور زمان باعث کاهش عمق آب در ورودی و داخل بندر شده است.

۸ نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بررسی و مقایسه داده‌های پیش‌یابی موج و انتشار موج از طریق مدل‌سازی، نتایج نشان داد که بین ارتفاع موج داده‌های مشاهداتی با خروجی مدلسازی تطابق خوبی وجود دارد اما برای دوره و زاویه موج این قضیه وجود ندارد، از این رو بایستی از طریق روش اصلاح انحراف اصلاح شوند؛ که در ادامه از شبکه عصبی برای اصلاح داده‌های پیش‌یابی موج استفاده شد. با بررسی‌های انجام شده نتایج نشان داد امواجی که از جنوب- جنوب غربی به سمت شمال غربی حرکت می‌کنند، ۵۳٫۷ درصد مواقع اتفاق می‌افتد این در حالی است که طبق داده‌های اولیه مشاهداتی پیش‌یابی موج این مقدار ۲۴٫۵ درصد بود، بنابراین این جهت‌گیری به تخمین غیرواقعی نرخ انتقال رسوب کمک می‌کند.

همچنین از شرایط متفاوت امواج در فصل‌های مونسون و غیرمونسون به عنوان یکی از شاخص‌های تأثیرگذار بر شبکه عصبی استفاده شد. نتایج نشان داد پس از استفاده از روش مبتنی بر شبکه عصبی برای اصلاح میدان موج، داده‌های پیش‌یابی به میزان قابل توجهی با توجه به میدان موج داده‌های مشاهداتی بهبود یافته است، به طوری که درصد امواجی که از جنوب- جنوب غربی به شمال غربی پیشروی می‌کنند، ۴۶٫۷ درصد مواقع اتفاق می‌افتد که این نشان از تطابق بیش‌تر داده‌های اولیه پیش‌یابی با داده‌های مشاهداتی دارد. لازم به ذکر است، شبکه عصبی آموزش داده شده در این مقاله برای داده‌های موج مناطق زراباد، گالک و تنگ استفاده شده و با داده‌های مشاهداتی تطابق داشته است. برای استفاده در سایر مناطق بایستی قبل از

- Deterministic wave prediction for unidirectional sea-states in real-time using Artificial Neural Network: *Ocean Engineering* 195, 106722.
- Oo, Y.H., Zhang, H., 2022, Spatial wave assimilation by integration of artificial neural network and numerical wave model: *Ocean Engineering* 247, 110752.
- PGC and DNP, 2018, Field Measurements Report of the 6th Phase of Monitoring and Modeling Studies of Iranian Coastline: Ports and Maritime Organization (PMO).
- PGC and MEWE, 2018, 30-Year Wave Climate Hindcast for the Makran Coasts: In. Middle East Water and Environment Consulting Engineers Company (MEWE).
- Shah-hosseini, M., Morhange, C., Beni, A.N., Marriner, N., Lahijani, H., Hamzeh, M., Sabatier, F., 2011, Coastal boulders as evidence for high-energy waves on the Iranian coast of Makran: *Marine Geology* 290, 17-28.
- Tracing Sediment Indicators and Satellite Imagery Analysis to Investigate Morphodynamic Changes in Mond Coastal Area: the Persian Gulf Proceedings of the 17th Physics of Estuaries and Coastal Seas (PECS) conference, Porto de Galinhas, Pernambuco, Brazil, 19, 24.
- Haghshenas, S.A., Razavi Arab, A., Bakhtiari, A., Jedari Attari, M., Risk, M.J., 2016, Decadal Evolution of Mond River Delta: the Persian Gulf. *Journal of Coastal Research*, 805-809.
- Krishna, K.M., 2009, Intensifying tropical cyclones over the North Indian Ocean during summer monsoon—Global warming: *Global and Planetary Change* 65, 12-16.
- Larson, M., Kraus, N.C., Sunamura, T., 1988, Beach profile change: Morphology, transport rate, and numerical simulation: *Coastal Engineering Proceedings*, 96-96.
- Law, Y., Santo, H., Lim, K., Chan, E., 2020,

Port wave data simulation in Zarabad using Mike21 and data modification with artificial neural network

Maryam Cheraghian¹, Seyed Abbas Haghshenas², Mehdi Azhdary Moghaddam³ and Seyed Arman Hashemi Monfared^{4*}

¹ M.Sc. Student of Hydraulic Structures Civil Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Sistan and Baluchistan, Iran

² Assistant Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

³ Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Sistan and Baluchistan, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchistan, Sistan and Baluchistan, Iran

(Received: 13 December 2022, Accepted: 22 January 2023)

Summary

Longshore sediment transport is considered as one of the most important and influential factors in the functioning of coastal areas. Forecasting and determining the rate of this parameter along the coast and in the vicinity of coastal structures is one the most important for shoreline management during any construction and coastal management mission. This study aims to put different pieces of knowledge together, including field measurements, neural networks, and numerical modelling to obtain a more realistic estimation of the LST rate along the undeveloped Makran Coastline. The focus of this paper is mostly on accurate wave and sediment transport modelling, verified against available field data and morphological evidence. A neural network for the correction of wave data and a numerical model of Mike21 is applied for simulating the transportation process of sediments along the Makran Coastline. Zarabad port on the coast of Makran has selected the case study of this research. The results of this study showed that the observed data are not in good agreement with the output data of the model (except wave height) and need to be modified with the neural network and considering the effective parameters such as the different conditions of the waves in the monsoon and non-monsoon seasons in the Neural network. Neural network can help a lot in improving and correcting data. The results also showed that the sediment transport process occurs in different directions and depending on the wave height at depths more than 4m and at greater depths the sediment transport is insignificant, also, wave force in the region is able to transfer approximately 235000 m³ / year sediment.

Keywords: Sediment transport, Makran coastline, beach stabilization, neural network, numerical modelling

*Corresponding author:

hashemi@eng.usb.ac.ir