مطالعه میدانی ارتباط بین عرض منطقه شکست، ارتفاع موج شکنا و تعداد شکست در ساحل شرقی نور

محمدرضا شارکی[۱] ، سید علی آزرم سا[۲*]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد اقیانوس‌شناسی فیزیکی، گروه فیزیک دریا، دانشگاه تربیت مدرس، m.sharaki@modares.ac.ir
[۲*] دانشیار، گروه فیزیک دریا، دانشگاه تربیت مدرس، azarmsaa@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۲۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۰۱

کلمات کلیدی:
امواج شکنا،
عرض شکست،
ارتفاع موج،
نور.

چکیده

شناخت درست منطقه ساحلی به استفاده بهتر از این منطقه به شکل مهندسی شده کمک زیادی می‌کند، اما به دلیل شرایط پرخطر و تغییرات وسیعی که در منطقه ساحلی وجود دارد، معمولاً انجام مطالعات و تحقیقات در مورد پدیده های مطرح در این ناحیه با هزینه‌های سنگینی همراه است. در این تحقیق ارتباط بین ارتفاع موج شکنا، عرض منطقه شکست و تعداد دفعات شکست در ساحل شرقی نور به صورت مشاهداتی و پردازش تصاویر ویدئویی گرفته شده توسط دوربین‌های معمولی و دوربین پهپاد بررسی شده است. بررسی همبستگی بین پارامترها بیانگر امکان برآورد پارامتر هدف از روی اطلاعات پارامترهای موجود به کمک روابط ارائه شده است. بین عرض منطقه شکست و ارتفاع اولین موج شکنا ارتباط مستقیم با ضریب همبستگی ۰/۹۲ مشاهده شده و بین تعداد شکست و عرض منطقه شکست نیز همبستگی با ضریب ۰/۸۶ به دست آمد. حداکثر، حداقل و متوسط عرض شکست به ترتیب ۱۰۰، ۰ و ۲۷ متر است.

A Field Study of Breaking Zone Width, Breaker Height, and Number of Breakings in the East Coast of Noor

Mohammadreza Sharaki[1], Seyed Ali Azarmsa[2*]

[1] Graduate student in Physical Oceanography, Tarbiat Modares University; m.sharaki@modares.ac.ir
[2]Associate Professor, Department of Sea Physics, Tarbiat Modares University; azarmsaa@modares.ac.ir*

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 20 Dec. 2018
Accepted: 22 Dec. 2019

Keywords:
Breaking waves,
Breaking Zone Width,
Wave height,
Noor.

ABSTRACT

Proper recognition of the coastal area helps to make better use of this area. Due to high risk conditions and wide variations in the coastal area, studies of this area usually cost a lot. In this research, the relationships among the breaking wave height, the width of the breaking zone, and number of breakings have been investigated as visual assessment and processing of video images taken by conventional and UAV cameras. Study of correlation between these parameters indicates the possibility of estimating the target parameter from the available parameters data using the relationships provided. The breaking zone width and the height of first breaking wave are directly correlated with coefficient of 0.92 and the correlation coefficient between the number of breaking and the breaking zone width is 0.86. The maximum, minimum, and averages of breaking zone width are 100, 0 and 27 meters, respectively.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.3.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.113]

۱- مقدمه

ناحیه کم‌عمق در امتداد ساحل که امواج در آن می‌شکنند و انرژی خود را از دست می‌دهند، ناحیه شکست موج نامیده می‌شود که عرض این منطقه متغیر بوده و به عواملی چون طول موج ورودی، ارتفاع موج ورودی و همچنین الگوی تغییر عمق بستر بستگی دارد [۱].

منطقه شکست موج به دلیل کاربرد گسترده‌ای که در زندگی انسان-ها دارد همواره مورد توجه بوده است. تجزیه و تحلیل شکست موج در آب‌های کم‌عمق از حدود ۱۵۰ سال قبل مد نظر دانشمندان قرار داشته است [۲] و مقالات پژوهشی متعددی دراین‌باره منتشر شده است. این مقالات عمدتا روش‌های پیش‌بینی شرایط شکست و ویژگی‌های هندسی و انواع موج‌های شکنا را مورد بررسی قرار می دهند [۳ تا ۷]. برخی از محققین کشور ما نیز به بررسی مشخصات امواج شکنا، بررسی شیب بستر، نوع شکست، ناحیه شکست، محاسبه طول موج، ارتفاع موج و عمق آب در نقطه شکست و همچنین پارامترهای بدون بعد مربوطه مرتبط پرداخته اند[۸ و ۹] . تحقیقات میدانی محدود انجام شده در این زمینه در عین مفید بودن معمولا به ادوات گران قیمتی چون بویه موج نگار نیاز دارند. ضمنا، در این تحقیقات اطلاعات مربوطه به عرض منطقه شکست معمولا محاسبه شده است و لذا احتمالا با خطای بیشتری نسبت به مقادیر اندازه یگری شده همراه می باشند. همچنین در مورد پدیده های بعد از شکست اول موج، نظیر تعداد شکست، بحثی نشده است. در طول دو دهه گذشته، مطالعات بسیاری برای درک بهتر پدیده‌ی شکست موج در سطح آب انجام گرفته است چرا که شناخت پویایی امواج شکنا برای توضیح درست مکانیزم تعاملات محیط اقیانوسی و اتمسفری، مانند انتقال انرژی از باد به آب و شکل‌گیری امواج و جریانات و ایجاد آشفتگی در لایه سطحی اقیانوس‌ها ضروری است [۹].

محیط‌های ساحلی از حساس‌ترین سیستم‌های محیطی هستند که تحت تأثیر فرایندهای هیدرودینامیکی حاکم، تغییر و تحول در آن‌ها نسبتاً سریع است [۱۰]. منطقه ساحلی محل تخلیه انرژی امواج و حرکات پر رنگ رسوبات و شکل‌گیری جریانات مختلف است. لذا، شرایط پرخطری در این منطقه برای نصب و بهره‌برداری از تجهیزات و ابزارهای اقیانوس نگاری وجود دارد. پس بهتر آن است که در صورت امکان بررسی و مطالعه وضعیت هیدرودینامیکی منطقه حتی الامکان توسط ابزارهای خارج از محیط آبی انجام گیرد.

با در دسترس بودن و استفاده گسترده از دوربین‌های دیجیتال فتوگرامتری در ده سال گذشته فوتوگرامتری به یک راه حل مهم و شاید مقرون به صرفه برای نظارت ساحلی تبدیل شده است [۱۱]. امروزه از داده‌های سنجش از دور نیز به عنوان یک منبع اطلاعاتی برای بررسی و تفسیر لندفرم‌های ساحلی، سطوح جزرومدی، تغییرات خطوط ساحلی، عمق و ژرفای آب و نظایر آن استفاده می شود [۱۲].

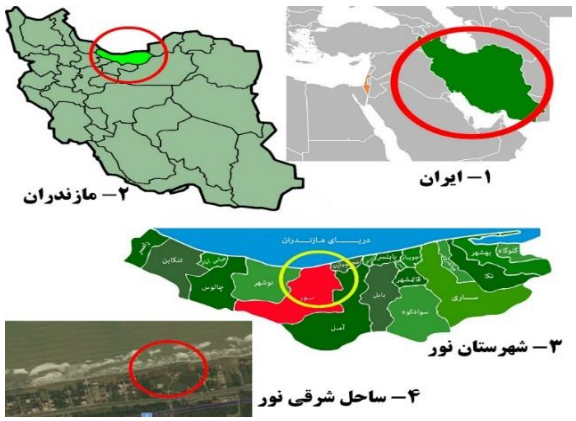
اکثر اتفاقات منطقه شکست به صورت بصری قابل بررسی هستند و فرد با داشتن تجربه و علم کافی می‌تواند مشخصات موج را تخمین بزند [۱۳].

شهرستان نور در استان مازندران یکی از مقاصد مهم گردشگری است که همه‌ساله شمار زیادی از مسافران را در خود جای می‌دهد و طبیعتاً در کنار توجه به زیبایی ساحل و استحکام سازه‌های ساحلی، امنیت ساحلی مسافران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و این امر مستلزم تحقیقات گسترده در مورد موضوعاتی چون امواج و جریانات ساحلی می‌باشد.

در این مقاله ویژگی‌های منطقه شکست امواج با تمرکز بر ارتباط بین ارتفاع موج شکنا، عرض منطقه شکست و تعداد دفعات شکست در ساحل شرقی نور به صورت مشاهداتی و پردازش تصاویر ویدئویی گرفته شده توسط دوربین‌های معمولی و دوربین پهپاد در فصل زمستان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در قسمت جنوبی دریا (و یا دریاچه) خزر و ساحل شرقی شهر نور (شکل ۱) انجام گرفته است. این ساحل در محدوده عرض جغرافیایی N "۳ ' ۳۵ ° ۳۶ و در امتداد خط ساحلی در حد فاصل نقاط با طول های جغرافیایی E "۳۸ ' ۲ ° ۵۲ و E "۰۱ ' ۲ ° ۵۲ قرار گرفته است. منطقه دریایی نور در قسمت مرکزی دریای خزر واقع شده است. در این منطقه، شیب بستر دریا بیشتر از مناطق شرقی و غربی خزر بوده و با حرکت در امتداد عمود بر ساحل عمق آب با سرعت بیشتری افزایش یافته و به عمق های بالای چند صد متر و نهایتا به عمیق ترین منطقه دریای خزر با عمق بیشینه ۱۰۲۵ متر می رسد. منطقه ساحلی نور در بخش مورد مطالعه در این تحقیق از جنس ماسه و دارای عمق تا حدود ۶ متر است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.3.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.113]

۳- روش کار

۳-۱مشاهدات میدانی

در این تحقیق، اندازه گیری میدانی پارامترهای مورد نیاز چون ارتفاع موج، عرض شکست و تعداد شکست به صورت مشاهده چشمی (Visual observation) در یک بازه ۲ ماهه انجام شده است. جدول ۱ نمونه داده های ثبت شده را در ۳ روز مختلف نمایش می دهد.

جدول ۱- نمونه ثبت روزانه داده‌ها.

ردیف	تاریخ	ساعت	موج		منطقه شکست		تعداد شکست
			ارتفاع موج (m)	جهت موج (°)	خارجی (m)	داخلی (m)	
۱	۱۳۹۶/۱۲/۱۱	۱۴	۰/۵	۱۸۰	۳۵	۲	۴
۲	۱۳۹۶/۱۲/۱۲	۱۴	۰/۶	۱۸۰	۴۰	۳	۵
۳	۱۳۹۶/۱۲/۱۳	۱۴	۰/۴	۱۹۰	۳۰	۱	۴

در روش تخمین و برآورد چشمی محقق مشرف به ابعاد کار اندازه گیری پدیده های مورد نظر را با تمرین مداوم و کالیبره نمودن اندازه گیری ها و برآوردهای چشمی خود در محیط های کنترل شده و با استفاده از اشیاء و طول هائی که اندازه آن ها قبلا با دقت به کمک متر یا ابزار اندازه گیری مشابه مشخص شده است، برآورد کرده و پس از کسب تجربه کافی وارد محیط اصلی اندازه گیری های محیطی می شود.

از مزایای این روش کم هزینه تامین اطلاعات مورد نیاز با دقت قابل قبول در شرائط کمبود یا نبود امکانات اندازه گیری دقیق تر است. از این روش توسط بسیاری از محققین و مراکز تحقیقاتی معتبر خارجی نیز استفاده شده است [۱۴ تا ۱۶].

اطلاعات و داده های مورد نیاز با حضور منظم روزانه در محل تحقیق طی یک بازه ۶۰ روزه از تاریخ ۹۶/۱۰/۱۷ تا تاریخ ۹۶/۱۲/۱۷ و بر حسب برنامه‌ریزی مشخص ثبت شده است.

۳-۲ استفاده از پهپاد

با تصویربرداری محدود به تعداد ۲ بار توسط پهپاد فانتوم۴ از ارتفاع ۵۰۰ متری ، شکل ۲، نیز ضمن ارائه یک روش جدید برای بررسی مشخصات منطقه شکست، داده‌های ارزشمندی به دست آمد که برای کنترل داده های مشاهداتی مورد استفاده قرار گرفت. از جمله مشخصات این پهپاد می توان به مواردی ذیل اشاره کرد:

- فیلم برداری K ۴ با ۳۰ فریم بر ثانیه که در حالت کاملا اچ دی (FULL HD) این کیفیت به ۱۲۰ فریم بر ثانیه تبدیل می شود.
- رزولوشن ۱۲ مگاپیکسل
- گیمبال ۳ محوره
- وزن ۱۳۸۰ گرم
- ۲۸ دقیقه پرواز با یک بار شارژ کامل باتری
- حداکثر سرعت ۷۲ کیلومتر و
- قابلیت پرواز در شرائط وجود باد با سرعت تا ۴۰ کیلومتر بر ساعت.

تصاویر پهپاد با توان تفکیک بسیار بالایی معادل ۲ سانتی‌متر در هر پیکسل تهیه شده است که دقت کار را تا حد بسیار زیادی بالا برده است. همچنین به دلیل اینکه پهپاد محدوده شکست را از بالا در قاب دوربین خود دارد در برگیرنده تمام محدوده شکست می‌باشد و سطح دید آن به مراتب از چشم انسان بیشتر است و حداکثر عرض شکست در منطقه با کمک آن دقیقاً اندازه‌گیری می‌شود و تعداد شکست نیز به آسانی و با دقت بیشتر در تصویر شمارش می‌گردد شکل۲.



شکل ۲- نمونه ای از تصاویر برداشت شده توسط پهپاد –مقدار عرض شکست با استفاده از خط کش گوگل ارث در تصویر الف ۶۷ متر و در تصویر ب ۱۰۵ متر است. تصویر ب وضعیت منطقه شکنا در زمان وقوع بیش‌ترین عرض شکست را طی دوره مطالعاتی نشان می‌دهد.

در تصاویر پهپاد اندازه‌گیری ارتفاع موج کار دشواری است و در این مورد مشاهده چشمی نتایج بهتری را در بر دارد.

در پردازش تصاویر پهپاد با استفاده از نرم‌افزار فتوشاپ به بهبود رنگ‌ها و با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث (Google Earth) تصاویر زمین مرجع شده و به اندازه‌گیری فاصله‌ها پرداخته شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.3.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.113]

بررسی دقت نرم‌افزار گوگل ارث (Google Earth) با اندازه‌گیری فاصله بین نقاطی مشخص در روی زمین که فاصله حقیقی آن با متر اندازه‌گیری شده انجام گرفت. به این صورت که این فواصل و طول های اندازه گیری شده به عنوان مرجع استفاده شد و سپس همان فواصل با استفاده از نرم افزار گوگل ارت (Google Earth) نیز اندازه‌گیری شد. شکل ۳



شکل ۳- محاسبه میزان خطای نرم افزار گوگل ارث.

مقایسه نتایج به دست آمده از نرم‌افزار گوگل ارث (Google Earth) با داده‌های میدانی نشان داد که میزان خطای این نرم‌افزار ناچیز است. مطابق جدول ۲ میانگین درصد خطای نسبی این روش ۱/۶درصد است.

جدول ۲- محاسبه خطای نرم‌افزار گوگل ارت.

	RMSE (m)	درصد خطای نسبی	خطای نسبی	خطای مطلق (m)	واقعی (m)	اندازه‌گیری شده (m)
	۰/۰۲	۳	۰/۰۳	۰/۳	۱۰	۹/۷۰
		۱/۱	۰/۰۱۱	۰/۴۲	۴۰	۳۹/۵۸
		۰/۸-	- ۰/۰۰۸	۰/۱۶-	۲۰	۲۰/۱۶
		۰/۸	۰/۰۰۸	۰/۹۳	۱۱۰	۱۰۹/۰۷
		۰/۲-	- ۰/۰۰۲	۰/۱۱-	۷۰	۷۰/۱۱
متوسط		۱/۶	۰/۰۲	۰/۵۵	۵۰	۴۲/۷۲

۳-۳استفاده از دوربین عکاسی

به منظور مقایسه، در برخی از روزها با توزیع تصادفی در دوره اندازه‌گیری‌ها از منطقه مورد مطالعه با دوربین گوشی همراه عکس-برداری شد؛ شکل ۴. شکل ۴ نشان دهنده آن است که تصاویر به دست آمده از گوشی همراه نیز می‌توانند به تخمین مشخصات موج در منطقه شکست کمک کنند. در دسترس بودن و استفاده آسان مزیت مهم این روش است. البته عدم پوشش تمام منطقه شکست به دلیل بزرگی در روزهای طوفانی مشکل بزرگ آن می‌باشد. با این حال این تصاویر نیز کمک زیادی به محقق می‌کند. این تصاویر در واقع به عنوان ابزار کمکی در کنار روش چشمی کاربرد دارند.



شکل ۴- تصویر گرفته‌شده با دوربین گوشی همراه.

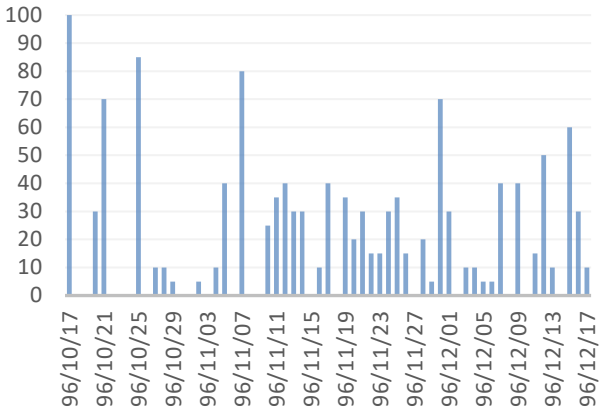
۴- نتایج و بحث

داده‌های به دست آمده در این تحقیق، نخست به صورت مجزا تحلیل و بررسی‌شده و سپس با یکدیگر مقایسه شدند و میزان همبستگی آن‌ها مطالعه گردید که نتایج آن به شرح ذیل می‌باشد.

۴-۱ عرض شکست

شکل ۵ نشان دهنده اطلاعات ثبت شده عرض منطقه شکست و نحوه تغییرات آن در بازه مورد بررسی است. عرض منطقه شکست تابعی از وضعیت امواج است که معمولا در زمستان شاهد بلندترین امواج و در نتیجه بیشترین عرض منطقه شکست در منطقه مطالعاتی می باشیم. براساس آنالیز داده‌ها میانگین عرض شکست دراین منطقه حدود ۲۷ متر و حداکثر عرض شکست ثبت‌شده به صورت چشمی نیز ۱۰۰متر است. خلاصه اطلاعات آماری استخراج شده برای پارامتر عرض شکست در منطقه و بازه تحقیق

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.3.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.113]

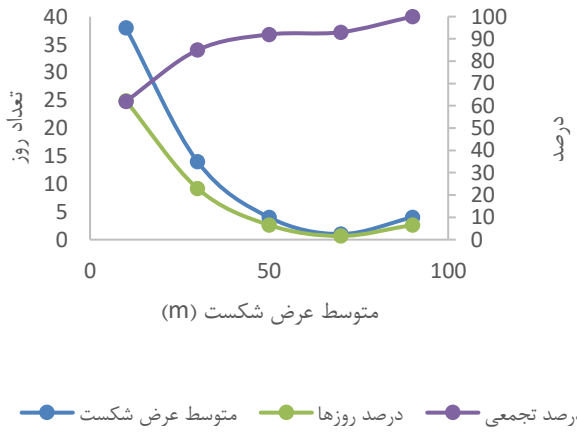


شکل ۵- نمودار سری زمانی عرض منطقه شکست مشاهده شده طی روزهای مختلف بازه مطالعاتی.

در جدول ۳ ارائه شده است. شایان ذکر است که حداکثر عرض تخمین زده شده بر اساس تصاویر پهپاد (شکل ۲) ۱۰۵ متر می باشد.

جدول ۳ - خلاصه مشخصات آماری عرض منطقه شکست در منطقه و بازه تحقیق.

خلاصه آماری عرض شکست (m)	
میانگین	۲۷/۴
میانه	۲۲/۵
مد	۱۰
انحراف معیار	۲۴/۲
کمینه	۰
بیشینه	۱۰۰

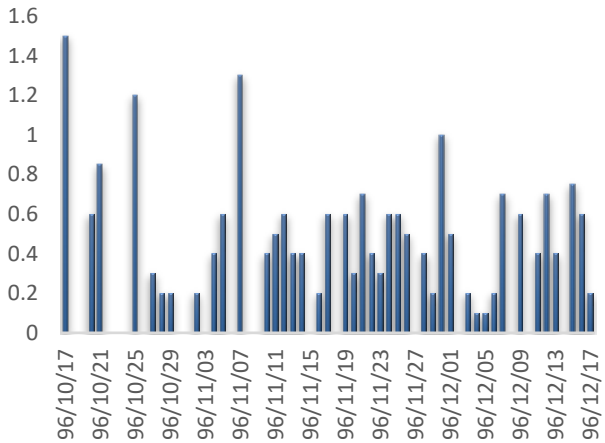


شکل ۶- نمودار توزیع تعداد و درصد عرض شکست های مختلف در منطقه.

مطابق اندازه‌گیری‌ها و تحلیل های انجام‌گرفته، شکل ۶، نحوه پراکنش داده‌ها به صورتی است که در ۶۲ درصد اوقات (منحنی بیانگر درصد روزها) متوسط عرض شکست کمتر از ۲۰ متر و در ۲۳ درصد اوقات متوسط عرض شکست بین ۲۰ تا ۴۰ متر و فقط در ۱۵ درصد اوقات (منحنی بیانگر درصد تجمعی روزها) متوسط عرض شکست بیشتر از ۴۰ متر و تنها در ۷ درصد اوقات متوسط عرض شکست بیشتر از ۸۰ متر و تا حدود ۱۰۰ متر است.

۴-۲ ارتفاع موج

شکل ۷ نشان دهنده اطلاعات ثبت شده ارتفاع موج شکنا و نحوه تغییرات آن در بازه مورد بررسی است. مطابق مشاهدات و اندازه‌گیری‌های انجام‌شده، در دوره انجام این تحقیق امواج دریا در منطقه شکست از ارتفاع های مختلف و متنوعی برخوردار بوده است. در برخی از روزها دریا دارای امواج بلندی بوده به طوری که بیشینه ارتفاع ثبت‌شده ۱/۵ متر است. گاهی دریا نیز وضعیت آرامی داشته و لذا عرض منطقه شکست نیز حدود صفر بوده است. میانگین ارتفاع موج این منطقه در بازه مورد بررسی ۴۷ سانتی متر است (شکل ۷). همچنین حداقل ارتفاع موج نیز ناچیز و به طور اسمی در حد ۰ بوده که این حالت در روزهائی اتفاق افتاده که دریا آرام بوده و امواج قابل رویت و توجهی وجود نداشته است.

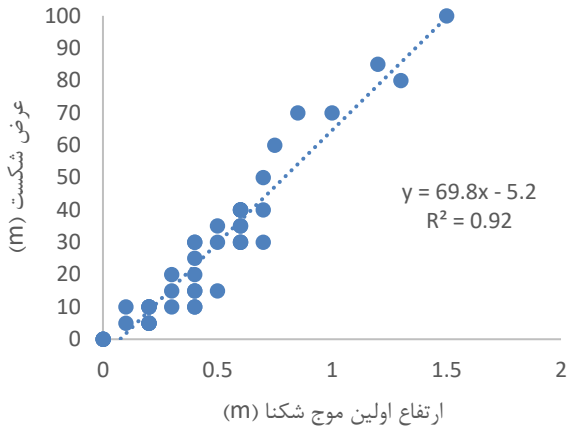


شکل ۷- نمودار سری زمانی ارتفاع اولین موج شکنای مشاهده شده طی روزهای مختلف بازه مطالعاتی.

با بررسی ارتباط و همبستگی بین دو پارامتر عرض منطقه شکست و ارتفاع موج شکنا در منطقه مطالعاتی، همان طور که از شکل ۸ پیداست، مشخص می شود که بین عرض منطقه شکست و ارتفاع موج شکنا ارتباط مستقیمی با ضریب همبستگی ۰/۹۲ وجود دارد (شکل ۸). بنابراین در روزهایی که امواج آب عمیق و در نتیجه امواج

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.3.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.113]

شکنای بلندتری در منطقه داشته باشیم انتظار می رود عرض منطقه شکست نیز بیشتر باشد. مقدار عرض منطقه شکست را می توان از فرمول ارائه شده در شکل ۸ و برای امواج شکنای با ارتفاع تا ۱/۵ متر تخمین زد.



شکل ۸- همبستگی بین عرض شکست و ارتفاع اولین موج شکنا.

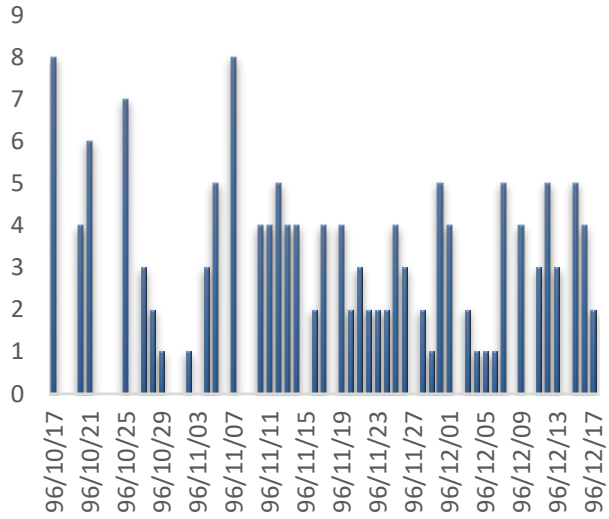
در تحقیقی ارتفاع امواج شکنا در مناطق محمود آباد و کهنه سرا (در اطراف منطقه نور) برای فصول مختلف به طور متوسط ۰/۳۴ متر محاسبه و گزارش شده است [۱۷]. همچنین، مقدار کمینه متوسط ارتفاع موج شکنا ۰/۳۱ در فصل بهار در منطقه کهنه سرا و مقدار بیشینه این کمیت برابر ۰/۳۷ در فصل بهار در منطقه کهنه سرا محاسبه و گزارش شده است. ضمنا، در مورد عرض منطقه شکست و تعداد امواج شکنا در آن تحقیق مطلبی ارائه نشده است. در حالی که مطابق نتایج به دست آمده در این تحقیق در منطقه نور مقدار متوسط ارتفاع های موج شکنای مشاهده و ثبت شده به صورت روزانه در بازه اندازه گیری شده طی ماه های بهمن و اسفند، شکل ۷، ۰/۴۷ متراست. مقدار تفاوت مطلق و نسبی متوسط ارتفاع موج شکنا بین نتایج این دو تحقیق به ترتیب ۰/۱۰ متر و ۰/۲۱ است، جدول ۴، که در حد قابل قبول ارزیابی می گردد. ضمنا، در مورد علل بروز این تفاوت می توان به تفاوت مناطق و ویژگی های هیدرودینامکی و مورفولوژیکی آن ها و نیز روش های به کار برده شده در دو تحقیق اشاره کرد.

جدول ۴- مقایسه متوسط ارتفاع امواج شکنای حاصل از این تحقیق برای منطقه دریایی نور و یک تحقیق دیگر برای مناطق دریایی محمودآباد و کهنه سرا واقع در شرق و غرب منطقه دریایی نور.

متوسط ارتفاع موج شکنا (این تحقیق) (m)	متوسط ارتفاع موج شکنا (مرجع ۱۷) (m)	تفاوت مطلق (m)	تفاوت نسبی (-)
۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۱۰	۰/۲۱

۳-۴ تعداد شکست

از آنجایی که با هر بار شکسته شدن موج مقداری از انرژی آن تخلیه می‌شود، بررسی ارتباط بین تعداد دفعات شکست و ارتفاع بلندترین موج منطقه در یک زمان خاص اهمیت دارد. شکل ۹ نشان دهنده داده های ثبت شده تعداد شکست در منطقه در شرائط و روزهای مختلف طی بازه مورد مطالعه است.



شکل ۹- نمودار سری زمانی تعداد شکست مشاهده شده طی روزهای مختلف بازه مطالعاتی.



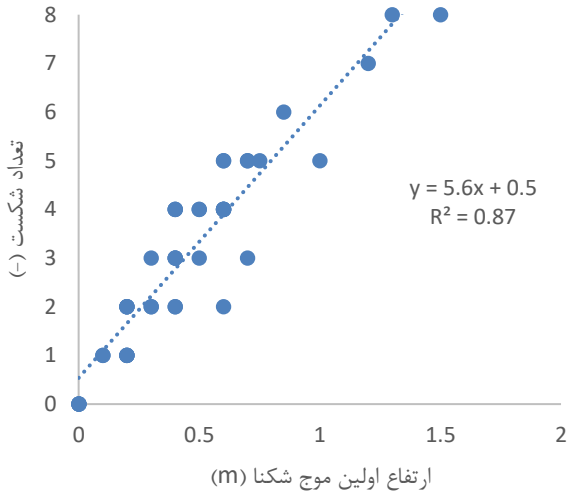
شکل ۱۰ – پراکندگی تعداد شکست موج.

شکست موج در شرایط و دینامیزم خاصی اتفاق می‌افتد [۱۸] و طبیعتا تعداد شکست نشان‌دهنده میزان حضور و تعامل عوامل موثر بر شکست مثل ارتفاع و پریود موج و عمق آب می‌باشد [۳]. همچنین منحنی درصد تجمعی در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که در ۸۲ درصد روزها تعداد شکست در ساحل شرقی نور ۴ دفعه و یا

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.3.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.113]

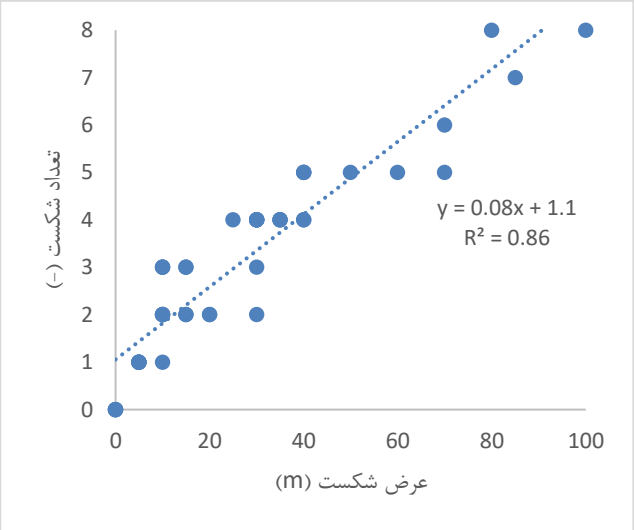
کمتر از ۴ دفعه بوده است و تنها در ۸ درصد از اوقات تعداد شکست امواج ۶، ۷ یا ۸ بار بوده است.

بررسی نمودار مرتبط کننده تعداد شکست و ارتفاع موج شکنا همبستگی مستقیم بین داده‌های مربوط به این دو پارامتر را نشان می‌دهد؛ شکل ۱۱. طوری که مطابق رابطه رگرسیونی ارائه شده، تعداد شکست با افزایش ارتفاع موج شکنا به طور خطی و با ضریب رگرسیون ۰/۸۷ افزایش می یابد.



شکل ۱۱ – همبستگی بین ارتفاع موج شکنا و تعداد شکست.

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، تعداد شکست و عرض شکست همبستگی با ضریب همبستگی ۰/۸۶ دارند؛ شکل ۱۲. این مسئله با کمی دقت روی میزان فضای لازم برای هر بار شکستن موج قابل تصور است. زیرا وقتی تعداد شکست می تواند عملا بیشتر باشد که عرض منطقه شکست نیز در حد کافی بزرگ باشد.



شکل ۱۲ – همبستگی بین تعداد شکست و عرض شکست.

همچنین به صورت تجربی صرفا به عنوان یک موضوع جانبی در حین این تحقیق دیده شده که فاصله بین اولین شکست با دومین شکست معمولاً بیشتر از فاصله بین دومین شکست و سومین شکست است. یعنی طیف موج هر چه به ساحل نزدیک تر می‌شود باریک تر شده و در نتیجه فاصله بین خطوط شکست نیز کاهش می‌یابد. البته بررسی این مورد چون در موضوع تحقیق گنجانده نشده بود، به هنگام داده برداری اطلاعات مربوط به فاصله زمانی شکست های مختلف در جدول های ثبت داده ها یادداشت نشده و لذا ارائه منحنی خاص برای آن در این مقطع امکان پذیر نیست. ولیکن، پیشنهاد می گردد که محققین محترم در پژوهشهای بعدی خود در این زمینه مطالعه و تحقیق نمایند.

۴-۴ بررسی منابع خطا

از جمله خطاهای قابل ذکر مرتبط در این روش می توان به خطای انسانی برای تخمین پارامترهای مورد اندازه گیری نظیر ارتفاع موج و عرض منطقه شکست اشاره کرد. در برخی روزها محدوده شکست به طور کامل در دید انسان قرار نمی‌گیرد و همچنین با افزایش عرض شکست در روزهای طوفانی، به دلیل نبود مراجع دریایی پایدار، عملاً امکان تخمین درست عرض شکست وجود ندارد. این روش بیشتر در روزهایی کاربرد مفید دارد که عرض شکست کمتر از ۲۰۰ متر است.

به طور خلاصه، در شرایط این تحقیق منابع خطایی ممکن است به صورت زیر بروز کرده باشند.

۱- عدم امکان تفکیک بین امواج دور آ و امواج محلی.
۲- خطای اندازه‌گیری ارتفاع موج شکنا.
۳- خطای انسانی در برآورد عرض شکست و تعداد شکست.

۵- نتیجه‌گیری

مطالعه پدیده شکست امواج و اثرات آن در منطقه ساحلی بسیار مهم است. گرانی دستگاههای اندازه گیری و خطرات محیطی از یک طرف و نیز عدم دقت و کفایت مدل‌ها و تصاویر ماهواره‌ای در مناطق ساحلی از طرف دیگر توجه به روش‌های دیگر عاری از این معایب را ضروری می‌سازد. به کمک تصاویر پهپاد و استفاده از فرمول‌های ارائه‌شده در این مقاله می‌توان امیدوار بود که در آینده برای مطالعه منطقه شکست امواج، ظرفیت‌های بیشتری وجود داشته باشد. در این تحقیق نشان داده شد که در ۸۲ درصد روزها تعداد شکست در ساحل شرقی نور ۴ دفعه و یا کمتر از ۴ دفعه بوده است و تنها در ۸ درصد از اوقات تعداد شکست امواج ۶، ۷ یا ۸ بار بوده است. همچنین، در ۶۲ درصد اوقات (منحنی بیانگر درصد روزها) متوسط عرض شکست کمتر از ۲۰ متر و تنها در ۷ درصد اوقات متوسط عرض شکست بیشتر از ۸۰ متر و تا حدود ۱۰۰ متر است. بنابراین،

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.3.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.113]

می توان نتیجه گرفت که شرائط برای شنا و تفریحات آبی و دیگر فعالیت ها در روزهای بسیاری در منطقه فراهم است و با انجام مطالعات و تحقیقات بیشتر می توان برنامه ریزی بهتری برای کاهش تلفات انسانی در دریا انجام داد.

۶- تشکر و قدردانی

از کمک‌های علمی آقای دکتر هرمز سهرابی که یاری گر ما در تهیه تصاویر پهپاد بودند، سپاسگزاری می‌شود.

۷- منابع

1- Sverdrup, K. A., Duxbury, A., & Duxbury, A. C. (2006). *Fundamentals of oceanography*. McGraw-Hill Higher Education. Week 2011. Wichmann Verlag, Heidelberg, p. 65–77.

2- Robertson, B., Hall, K., Nistor, I., Zytner, R., & Storlazzi, C. (2013). *Remote sensing of irregular breaking wave parameters in field conditions.* Journal of Coastal Research, 31(2), P. 348-363.

3- Azarmsa, S. A., & Yasuda, T. (1997). *Deformation and decay of different classes of breakers*. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 123(4), 200-207.

4- Van der Westhuysen, A. J. (2010). *Modeling of depth-induced wave breaking under finite depth wave growth conditions*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 115(C1).

5- Eldeberky, Y. (2011). *Modeling spectra of breaking waves propagating over a beach*. Ain Shams Engineering Journal, 2(2), 71-77.

6- Lee, J. I., Shin, S., & Kim, Y. T. (2014). *Experimental and numerical studies on wave breaking characteristics over a fringing reef under monochromatic wave conditions*. The Scientific World Journal, 2014.

7- Xie, Z. (2017). *Numerical modelling of wind effects on breaking waves in the surf zone*. Ocean Dynamics, 67(10), 1251-1261.

8- Azarmsa, S. A. (2007). *A boundary integral model for simulating spilling breakers.* Iranian Journal of Science and Technology (Sciences), 31(2), 213-217.

9- Lari, K., Karami Khaniki, A., Torabi Azad, M. and Maliheh Abdolhey, (2012) *Investigating and Analyzing the Wave Failure Pattern on the Coast of Bushehr*, Environmental Sciences and Technology, Winter 2012, Volume 14, Number 4 (55); From page 89 to page 104. (In Persian)

10- Yamani, M. and Noahhegar, A (2006) *Coastal geomorphology of the East of Strait of Hormoz*, Hormozgan University Press. (In Persian)

11- Cramer, M. (2011). *Geometry Perfect–Radiometry Unknown. In Proceedings*, Photogrammetric Week Vol. 11, p. 65-77.

12- Simon, patric,. 2010, *Remote Sensing in Geomorphology*, Newdelhi, Oxford Book Company.

13- Balsillie, J. H., & Carter, R. W. G. (1984). *The visual estimation of shore-breaking wave heights.* Coastal engineering, 8(4), p. 367-385.

14- Thomas, L. J., & Seabergh, W. C. (1997). *LEO Littoral Environment Observations (no. cetn-i-8).* coastal engineering research center Vicksburg ms.

15- Bascom, Willard*: Waves and Beaches*, Anchor Books, New York 1964.

16- Bascom, Willard: *The Crest of the Wave - Adventures in Oceanography*, Harper and Rowe Publishers, New York 1988.

17- Komijani, F. (2016) *Beach Hydrodynamic Classification of South Coasts of Caspian Sea-Mazandaran Province*, Marine Engineering, No 42., pp. 53~64.

18- Azarmsa S. A. (2019). *An Introduction to Wind Induced Water Waves*, Tarbiat Modares University Press, p. 348.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-04]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.30.3.3]
[DOI: 10.29252/marineeng.15.30.113]