

بررسی و تحلیل الگوی شکست امواج در سواحل بوشهر

کامران لاری^۱

k_lary@iau-tmb.ac.ir

علی کرمی خانیکی^{۲*}

مسعود ترابی آزاد^۱

ملیحه عبدالحی^۳

ma_abdolhay@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت: ۸۷/۵/۱۵

چکیده

فرآیند شکست موج یکی از مهم ترین فرآیندهای فیزیکی در مبانی مهندسی سواحل می باشد. این فرآیند از دیدگاه ایجاد سازه های ساحلی، توسعه صنایع ساحلی، طبیعت گردی، گرفتن انرژی از امواج و مدیریت سواحل بسیار با اهمیت و ضروری است. در این تحقیق با استفاده از پارامترهای مختلف میدانی موج ثبت شده توسط ایستگاه ساحلی بوشهر و بویه سازمان هواشناسی کشور واقع در منطقه بوشهر ($28^{\circ} 57'N$ & $50^{\circ} 44'E$) و همچنین نقشه های هیدروگرافی منطقه به بررسی شیب بستر، نوع شکست، ناحیه شکست، طول موج و ارتفاع موج و عمق در نقطه شکست و همچنین پارامترهای بدون بعد مربوط پرداخته شده است. با استفاده از داده های میدانی و روابط تجربی و شیب بستر، بیشینه ارتفاع شکست $2/65$ متر برآورد شد. کمترین فاصله شکست از خط ساحلی 42 متر می باشد در حالی که عمده شکست ها در فاصله 200 تا 600 متری از ساحل اتفاق می افتد. در مرحله بعد پارامترهای بدون بعد ارتفاع موج نسبی و تیزی محاسبه گردیده و با نتایج به دست آمده از روش های *Mc Cowan*، *Davies, Miche, Weggel* و *Sevendsen* مقایسه شد و ضرایب تصحیح تخمین زده شد. بیشینه فروآب ناشی از شکست $9/8$ سانتی متر در سواحل بوشهر برآورد شد. همچنین شکست امواج در این منطقه از نوع آشفته می باشد.

واژه های کلیدی: شکست موج، تیزی موج، ساحل بوشهر.

- ۱- دکترای فیزیک دریا- استادیار گروه فیزیک دریا دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
- ۲- دکترای فیزیک دریا- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات خاک و آبخیزداری وزارت جهاد و کشاورزی
- ۳- کارشناس ارشد فیزیک دریا- دانشکده علوم و فنون دریایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

مقدمه

اولین نظریه مهم در مورد شکست موج توسط Stokes در سال ۱۸۸۰ ارائه شد. او نشان داد که اگر زاویه امواج غیرچرخشی در مجاورت قله کم تر از 120° شود شکست اتفاق می افتد. بعد از آن Mitchell (۱۹۸۳) عنوان کرد که شکست به ازای تیزی برابر $\frac{H}{L} = \frac{1}{7}$ حاصل می شود (H ارتفاع موج و L طول موج می باشد) (۲). به طور کلی دانستن دو پارامتر بدون بعد تیزی موج $\frac{H}{L}$ و ارتفاع

موج نسبی $\frac{H}{d}$ در پیش بینی شکست موج ضروری است. در جداول ۱ و ۲ فهرستی از نتایج به دست آمده از این دو پارامتر بدون بعد توسط پژوهشگران مختلف را مشاهده می کنیم، نتایج در ژرفاب با یکدیگر سازگارترند و در آب های کم عمق نتیجه Mc Cowan از بقیه معتبرتر می باشد. این نتایج برای $\frac{d}{L}$ دلخواه نبودند اما Miche (۱۹۴۴) فرمول درون یابی شده

تجربی زیر را برای $\frac{d}{L}$ دلخواه ارائه داد:

$$\left(\frac{H}{L}\right)_{\max} = 0.142 \tanh(kd) \quad (1)$$

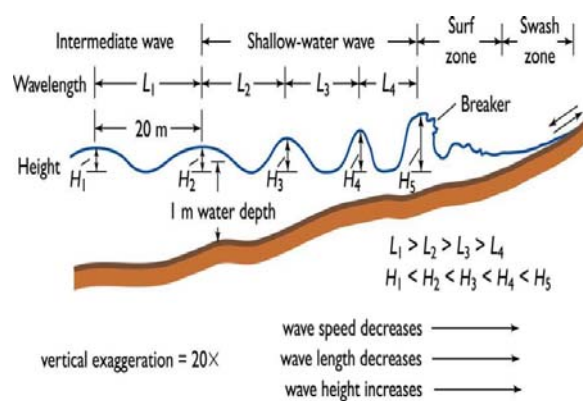
که در آن d عمق و $k = \frac{2\pi}{L}$ عدد موج می باشد. در حالت

حدی این رابطه در ژرفاب $\frac{H}{L} = 0.142$ و در آب های کم

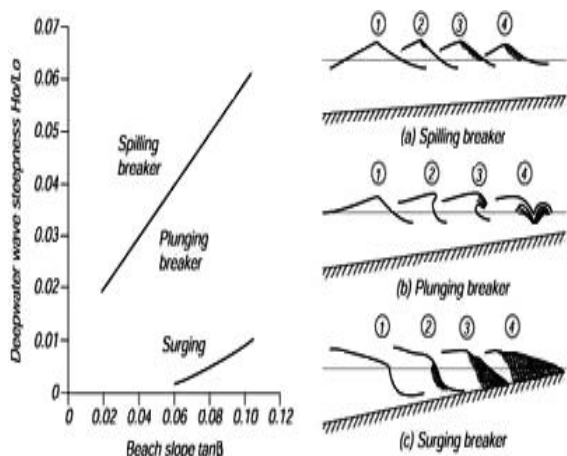
عمق $\frac{H}{d} = 0.89$ را مشخص می کند (۳).

پیش بینی شکست موج و اثرات آن در بحث مهندسی سواحل، طراحی سازه های ساحلی، بنادر و موج شکن ها بسیار با اهمیت است. شکست موج نوعی "پراکنده کردن" انرژی موج می باشد که در روند فرسایش و تخریب سازه های ساحلی و انتقال رسوب تاثیر به سزایی دارد. هنگامی که یک موج شروع به شکست می کند این فرآیند ادامه پیدا کرده و شکست در Surf Zone ساحل گسترش می یابد. دانستن فاصله نقطه شکست موج تا خط ساحلی در طراحی سازه ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

وقتی امواج به سمت ساحل می آیند، با کاهش عمق مواجه شده که باعث می شود ارتفاع آن ها افزایش و طول موج آن ها کاهش یابد، همچنین با کاهش عمق به علت اصطکاک بستر سرعت فاز موج کاهش یافته و سرعت اربیتالی ذرات بیشتر از سرعت فاز شده و در نهایت قله موج روی پایه آن واژگون گشته و موج می شکنند. همان طور که در شکل ۱ دیده می شود، از دورترین نقطه ای که موج می شکنند تا محدوده بالاروی^۱ موج را Surf Zone و جایی را که موج به سمت ساحل خیزش کرده، و روی موج بعدی به سمت دریا می لغزد را Swash Zone می گویند (۱).



شکل ۱- هرچه امواج به سمت ساحل می آیند دارای ارتفاع بیشتر و طول موج کم تر می شوند و در نهایت بعد از این که $H/L=1/7$ شد، می شکنند.



شکل ۲- طبقه بندی شکست بر اساس شیب بستر

ارتفاع موج در نقطه شکست بر اساس تیزی موج در ژرفاب با استفاده از رابطه زیر به دست می آید (۵).

$$H_b = H_0 \left[0.575 m^{0.031} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-0.254} \right] \quad (2)$$

H_0 و L_0 به ترتیب ارتفاع و طول موج در ژرفاب و m شیب ساحل می باشد. همچنین عمق آب در نقطه شکست توسط رابطه وگل^۵ به صورت زیر تعریف می شود (۶):

$$d_b = \frac{H_b}{b - a \frac{H_b}{T^2}} \quad (3)$$

که در آن ضرایب

$$b = \frac{1}{0.64(1 + e^{-19.5m})}, \quad a = 1.36(1 - e^{-19m})$$

و T دوره موج می باشد. با استفاده از عمق d_b فاصله نقطه شکست از خط ساحلی نیز به دست می آید:

$$x_b = \frac{d_b}{m} \quad (4)$$

مرکز تحقیقات مهندسی سواحل آمریکا CERC دو نمودار- شکل های ۳ و ۴ را برای محاسبه ارتفاع موج و عمق آب در نقطه شکست ارائه داده است. توضیح این که این دو شکل اثر باد را روی شکست موج بررسی نمی کنند (۷).

جدول ۱- رابطه دیمانسیون ارتفاع موج در نقطه شکست

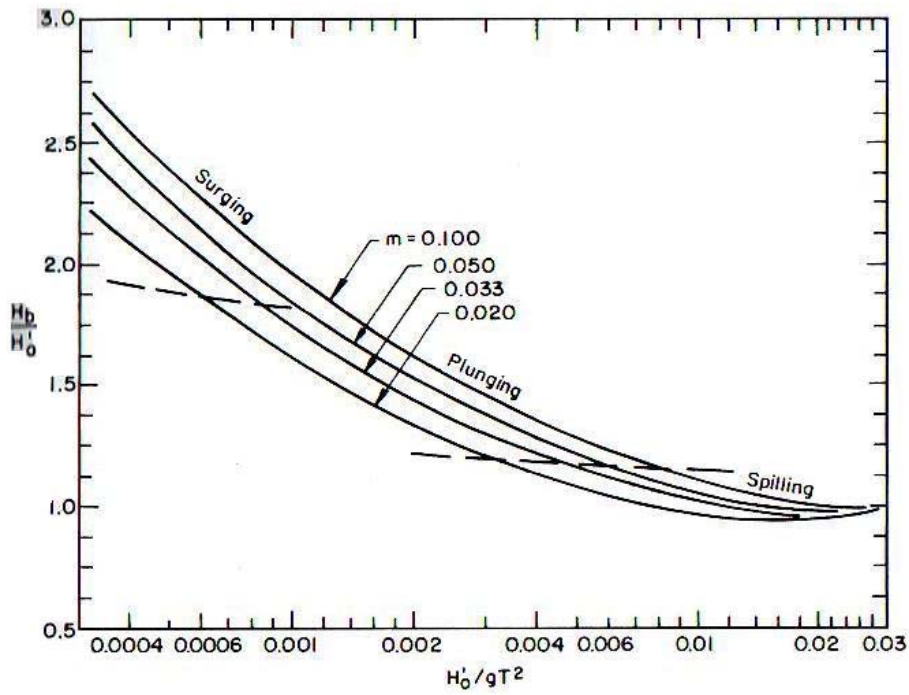
محقق	$\left(\frac{H}{d}\right)_{\max}$
Boussinesq(1871)	۰/۷۳
Mc Cowan(1894)	۰/۷۸
Gwyther(1900)	۰/۸۳
Davies(1952)	۰/۸۳
Packham(1952)	۱/۰۳
Fenton(1972)	۰/۸۵
Longuet- Higgins and Fenton(1974)	۰/۸۲۶۱

جدول ۲- مقدار بیشینه تیزی امواج

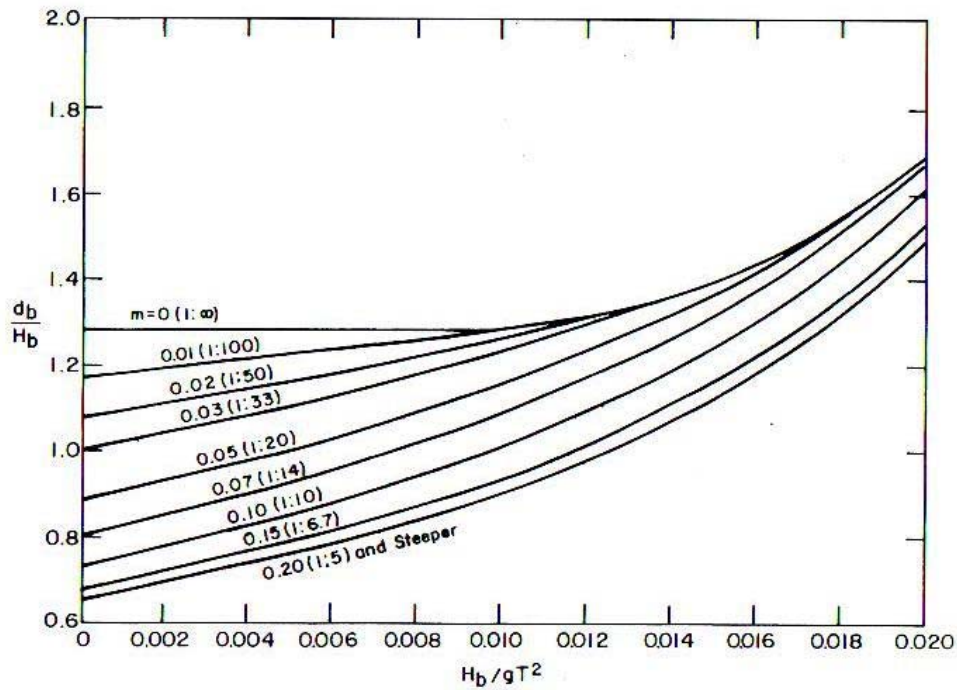
محقق	$\left(\frac{H}{L}\right)_{\max}$
Mitchell(1893)	۰/۱۴۲
Havelock(1918)	۰/۱۴۱۸
Longuet- Higgins(1975)	۰/۱۴۱۲

شکست امواج به سه نوع کلی آشفته^۱، چرخان^۲ و لغزان^۳ تقسیم بندی می شود. در نوع شکست آشفته بستر تقریباً مسطح است و شکل موج به صورت کف های سفید در جلوی موج می باشد. در نوع شکست چرخان بستر دارای شیب و موج مانند یک لوله تاخورد است و در نوع شکست لغزان بستر دارای شیب تند و به علت لغزیدن امواج بر روی یکدیگر تیزی موج به مقدار بحرانی $\frac{1}{7}$ نمی رسد. نوع دیگری از شکست نیز به عنوان شکست آواری^۴ که ترکیبی از شکست های چرخان و لغزان می باشد نیز گاهی به عنوان نوع چهارم شکست معرفی می شود (۴). در شکل ۲ طبقه بندی انواع شکست را با توجه به شیب بستر ملاحظه می کنیم. در شکست های آشفته و چرخان انرژی موج به داخل آشفستگی برمی گردد و پراکنده می شود اما در شکست لغزان اغتشاشات محدود است و باقی مانده انرژی به سمت دریا بازتابیده می شود.

- 1- Spilling breaker
- 2- Plunging breaker
- 3- Surging breaker
- 4- Collapsing breaker



شکل ۳- ارتفاع بدون بعد بر حسب تیزی موج در آب عمیق در شیب های مختلف [CERC 1984]



شکل ۴- عمق بدون بعد بر حسب تیزی موج در نقطه شکست برای شیب های مختلف [CERC 1984]

بوشهر (E 44° 50' & N 57° 28') در طول سال ۱۹۹۵ استفاده شده است. این بویه که در منطقه ای به عمق ۱۲/۷۵ متر قرار داشته، هر سه ساعت یک بار پارامترهایی همچون ارتفاع موج شاخص^۱، دوره موج، سرعت و جهت باد دمای سطح آب را اندازه گیری کرده است. گلباد فصلی بوشهر همان طور که در شکل ۵ دیده می شود توسط نرم افزار مربوط رسم گردید. در فصل بهار بادهای غالب شمال غربی و در تابستان بادهای غالب شمال غربی و جنوبی است. در فصول پاییز و زمستان بادهای غالب به ترتیب شمال غربی، شمالی و شمال شرقی است. بنابراین به طور کلی در طول سال یک باد شمال غربی در منطقه حاکم است. نمودار فراوانی امواج در هر جهت را در شکل ۶ ملاحظه می کنیم. با توجه به این که اختلاف جهت باد و موج کم تر از ۳۰° است. در این تقسیم بندی هر ۴۵° را یک جهت در نظر گرفتیم تا خطای ایجاد شده به علت این اختلاف، حداقل باشد. همان طور که دیده می شود ۶۰/۴٪ امواج از جهت شمال غرب می آیند که علت آن وجود باد غالب شمال غربی (باد شمل) در خلیج فارس می باشد که معمولا در تمام فصول سال می وزد و کم ترین میزان امواج در جهت جنوب شرقی است که ۲/۸۲٪ امواج را تشکیل می دهد که می توان از آن صرف نظر کرد.

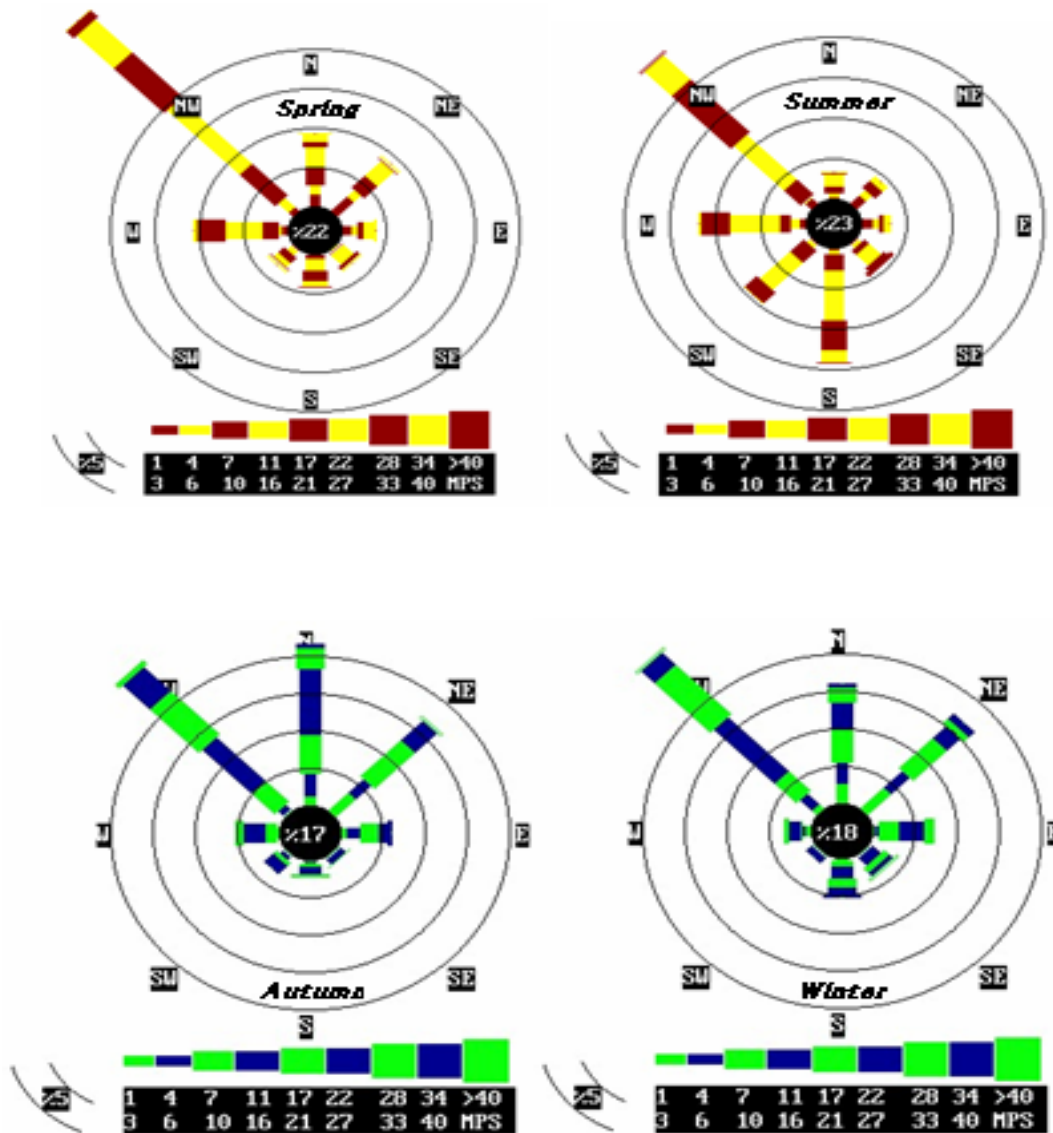
بررسی پدیده های فیزیکی دریا از جمله شکست امواج به خصوص در مناطقی که ارزش راهوری و اقتصادی دارند حایز اهمیت است. سواحل بوشهر به علت قرار گرفتن در منطقه خلیج فارس از این قاعده مستثنی نیست. در این تحقیق با استفاده از روابط و نمودارهای فوق به بررسی فرایند پیچیده شکست امواج در منطقه بوشهر می پردازیم. لازم به تذکر است که در کشور عزیزمان در زمینه امواج ناشی از باد چندین پایان نامه کارشناسی ارشد و دکترا در دانشگاه های تربیت مدرس و خرمشهر و آزاد اسلامی (علوم تحقیقات و تهران شمال) انجام شده است. همچنین طرح های تحقیقاتی توسط مرکز ملی اقیانوس شناسی، مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو و سازمان هواشناسی صورت گرفته، ولی در زمینه شکست موج تا کنون تحقیقی صورت نگرفته است، به جز یک مورد پایان نامه کارشناسی ارشد آقای عبدالرضا ثابت جهرمی در دانشگاه تربیت مدرس در سواحل دریای خزر (انزلی) که بیشتر به جریانات ناشی از شکست موج پرداخته است.

مواد و روش ها

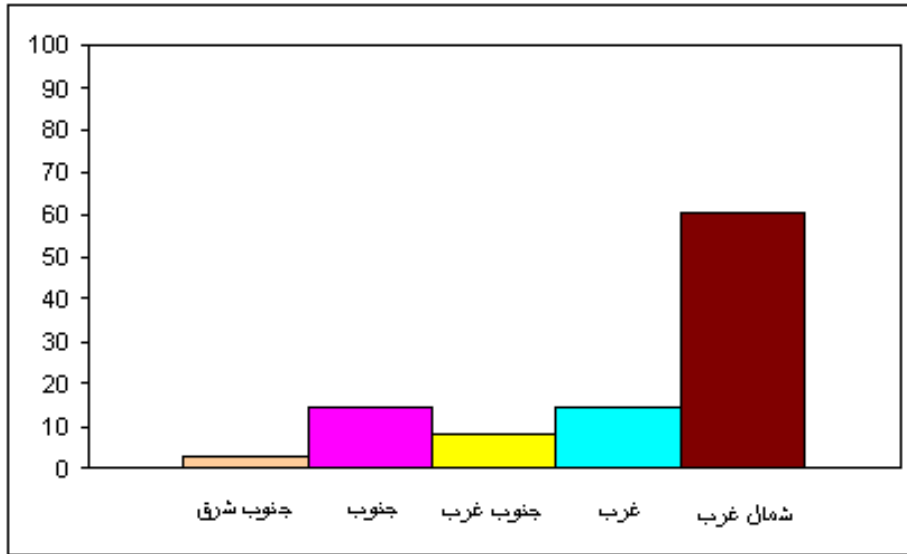
منطقه بوشهر در خلیج فارس بین طول های ۱۶' ۵۰° تا ۴۰' ۵۲° شرقی و عرض های ۲۷° ۲۰' تا ۱۴' ۳۰° شمالی واقع است. میانگین عمق خلیج فارس ۳۶ متر برآورد شده است که نشان می دهد این خلیج در رده آب های کم عمق قرار دارد. با توجه به این که شکست امواج در مناطق ساحلی کاملا به توپوگرافی بستر و تغییر عمق وابسته است، نقشه های $\frac{1}{750000}$ و $\frac{1}{25000}$ هیدروگرافی از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه شد و با دیجیتایز کردن نقشه $\frac{1}{25000}$ توسط متخصصان رشته هیدروگرافی دریا با استفاده از نرم افزارهای AUTOCAD، MAP، SDR و AUTOCAD LAND پروفایل های لازم رسم گردید. شیب در این منطقه بسیار ملایم و تقریبا یکنواخت است بنابراین بستر را مسطح و با شیب ۰/۰۰۲۳ در نظر گرفتیم.

در این بررسی از داده های بویه سازمان هواشناسی

1- Significant wave height



شکل ۵- گلبادهای فصلی بوشهر در سال ۱۹۹۵ (۲۸° ۵۷'N & ۵۰° ۴۴'E)



شکل ۶- نمودار فراوانی امواج براساس جهت باد سال ۱۹۹۵ (۲۸° ۵۷' N & ۵۰° ۴۴' E)

ارتفاع موج ثبت شده را در هر جهت مشاهده می کنیم.

با به دست آوردن ضریب انکسار (K_r)، ارتفاع موج بدون انکسار (H'_s) نیز در هر جهت محاسبه گردید که نتایج آن در جداول ۳ و ۴ دیده می شود. در شکل ۷ نمودار هیستوگرام

جدول ۳- ضرایب انکسار ارتفاع امواج در بوشهر (۲۸° ۵۷' N & ۵۰° ۴۴' E)

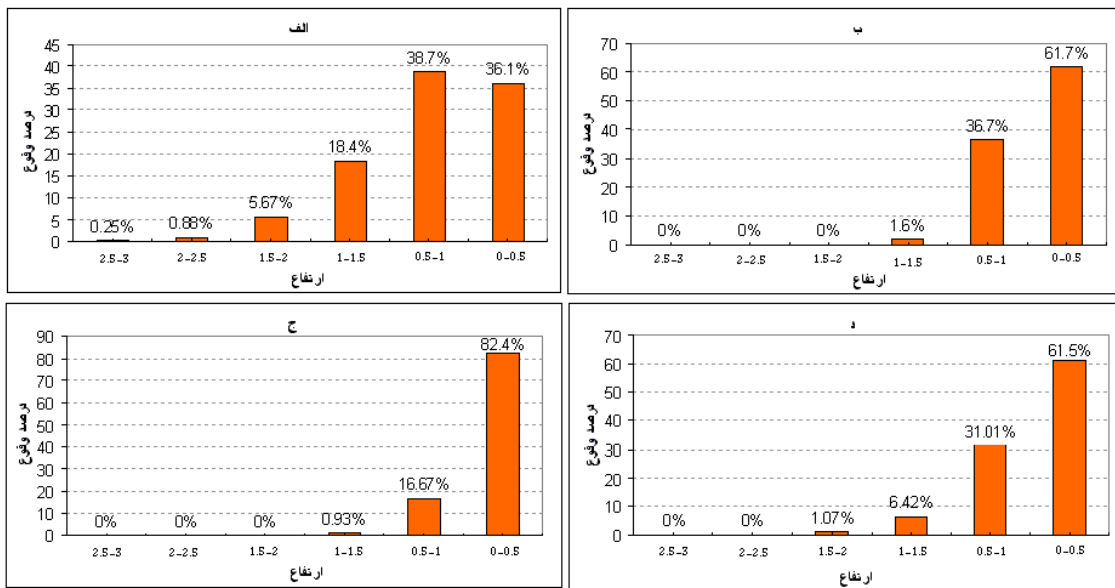
	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب
K_r	۰/۴۸۰۵۰۲	۰/۹۹۵۳۹۷	۰/۹۹۹۸۲۳	۰/۹۹۹۹۹۶

جدول ۴- ارتفاع موج شاخص و بیشینه بدون انکسار در سواحل بوشهر (۲۸° ۵۷' N & ۵۰° ۴۴' E)

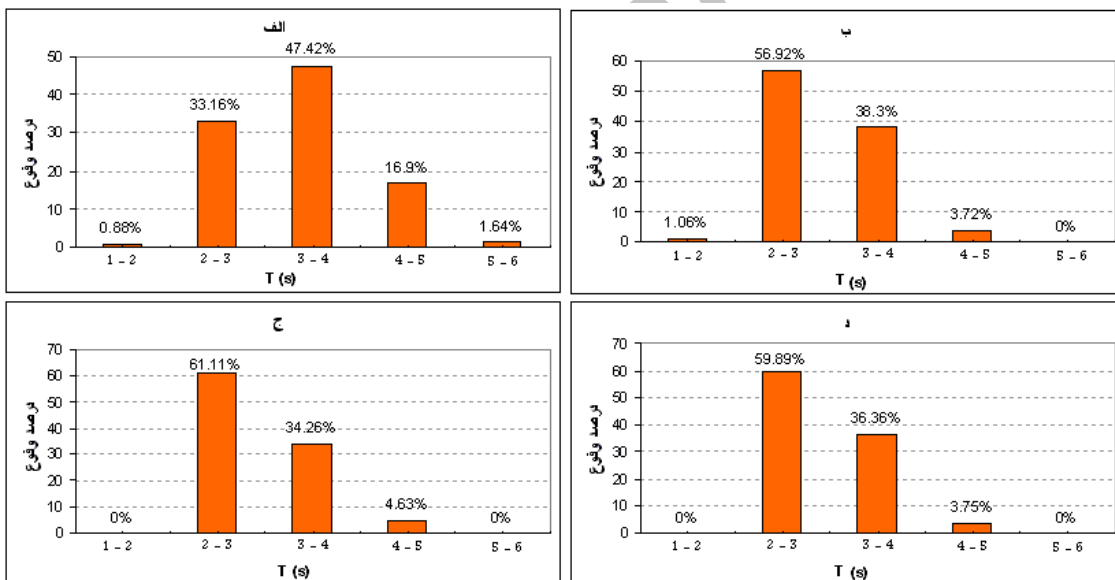
	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب
H'_s (m)	۰/۶۰	۰/۶۹	۰/۵۸	۰/۸۱
H'_{max} (m)	۱/۳۲	۱/۱۱	۱/۳۹	۰/۱۸

در جدول ۵ دوره بیشینه و شاخص برای هر جهت آمده است و در شکل ۸ نیز نمودار هیستوگرام پریود امواج در طول سال ۱۹۹۵ دیده می شود. در جهت شمال غرب پریود بین ۳ تا ۴ ثانیه با فراوانی ۴۷/۴۲٪ بیشترین میزان را به خود اختصاص داده است. در جهت غرب ۵۶/۹۲٪ امواج دارای دوره ۲ تا ۳ ثانیه می باشند و به ترتیب در جهات جنوب غرب و جنوب امواج دارای دوره بین ۲ تا ۳ ثانیه ۶۱/۱۱٪ و ۵۹/۸۹٪ بوده اند.

در جدول ۵ دوره بیشینه و شاخص برای هر جهت آمده است و در شکل ۸ نیز نمودار هیستوگرام پریود امواج در طول سال ۱۹۹۵ دیده می شود. در جهت شمال غرب پریود بین ۳ تا ۴ ثانیه با فراوانی ۴۷/۴۲٪ بیشترین میزان را به خود



شکل ۷- درصد وقوع ارتفاع موج ثبت شده توسط بویه سازمان هواشناسی بوشهر ($28^{\circ} 57'N$ & $50^{\circ} 44'E$) در سال (۱۹۹۵) (الف) - شمال غرب، (ب) - غرب، (ج) - جنوب غرب، (د) - جنوب



شکل ۸- درصد وقوع دوره ثبت شده توسط بویه سازمان هواشناسی بوشهر ($28^{\circ} 57'N$ & $50^{\circ} 44'E$) در سال (۱۹۹۵) (الف) - شمال غرب، (ب) - غرب، (ج) - جنوب غرب، (د) - جنوب

جدول ۵- دوره امواج بر حسب ثانیه ثبت شده توسط بویه سازمان هواشناسی بوشهر
(۲۸°۵۷' N & ۵۰° ۴۴' E)

	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب
T_{max} (s)	۵/۴۱	۴/۴۹	۴/۴۰	۴/۸۸
T_S (s)	۴/۱۳	۳/۵۵	۳/۴۴	۳/۵۳

جدول ۶- طول موج به دست آمده با استفاده از رابطه
Eckart در سواحل بوشهر

	شمال غرب	غرب	جنوب غربی	جنوب
L	۲۶/۵۴	۱۹/۶۶	۱۸/۴۹	۱۹/۴۲
L_{max}	۴۴/۳۱	۳۱/۲۶	۴۹/۱۸	۳۶/۶۵

سیس با استفاده از روابط (۲) و (۳) عمق و ارتفاع موج در نقطه شکست را به دست آوردیم که نتایج آن در جداول ۷ و ۸ آمده است. بیشترین عمق در نقطه شکست برای امواج شمال غربی و جنوبی به دست آمده است که می توان علت آن را با توجه به گلباد رسم شده به باد غالب شمال غربی برای تمام فصول و همچنین جنوبی برای فصل تابستان نسبت داد. Douglass در سال ۱۹۹۰ نشان داد که بادهای به سمت دور از ساحل^۲ رشد ارتفاع موج را به سمت ساحل به تاخیر می اندازند و در نتیجه سبب شکست موج در آب های کم عمق تر می شوند نسبت به شرایط بدون باد، همچنین بادهای به سمت ساحل اثر معکوس ولی با گسترش کم تر دارند (۷).

پس از مرتب شدن داده ها به صورت فوق با استفاده از دوره، ابتدا طول موج را به دست آورده و سپس با داشتن پارامتر عمق در آب های عمیق H_b و d_b و پارامترهای بدون بعد تیزی در آب عمیق $\frac{H_0}{L_0}$ و تیزی بیشینه $(\frac{H}{L})_{max}$ و ارتفاع موج نسبی $\frac{H}{d}$ را بررسی خواهیم کرد. همچنین پارامترهای بدون بعد شیب بستر نسبی S_b و پارامتر تشابه موج ζ_0 را به دست آورده و از آن جا نوع شکست از هر دو رابطه برآورد و با یکدیگر مقایسه گردیده است. همچنین فاصله نقطه شکست از خط ساحلی یعنی Surf Zone و بیشینه فروآب ناشی از شکست را نیز در این تحقیق به دست خواهیم آورد.

نتایج و بحث

ابتدا با استفاده از رابطه Eckart که در زیر آمده است طول موج به دست آمد و با توجه به عمق در نقطه استقرار بویه به دست آمد که نشان می دهد امواج در این نقطه از نوع آب عمیق^۱ می باشند. در جدول ۶ طول موج بر حسب متر برای هر جهت آمده است.

$$L \approx \frac{gT^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 d}{T^2 g}\right)} \quad (5)$$

جدول ۷- ارتفاع شکست ماکزیمم و significant در سواحل بوشهر

	شمال غرب	غرب	جنوب غربی	جنوب
H_{bs} (m)	۱/۳۰	۰/۷۷	۰/۶۷	۰/۸۶
$H_{b \max}$ (m)	۲/۶۵	۱/۲۱	۱/۳۷	۱/۸۸

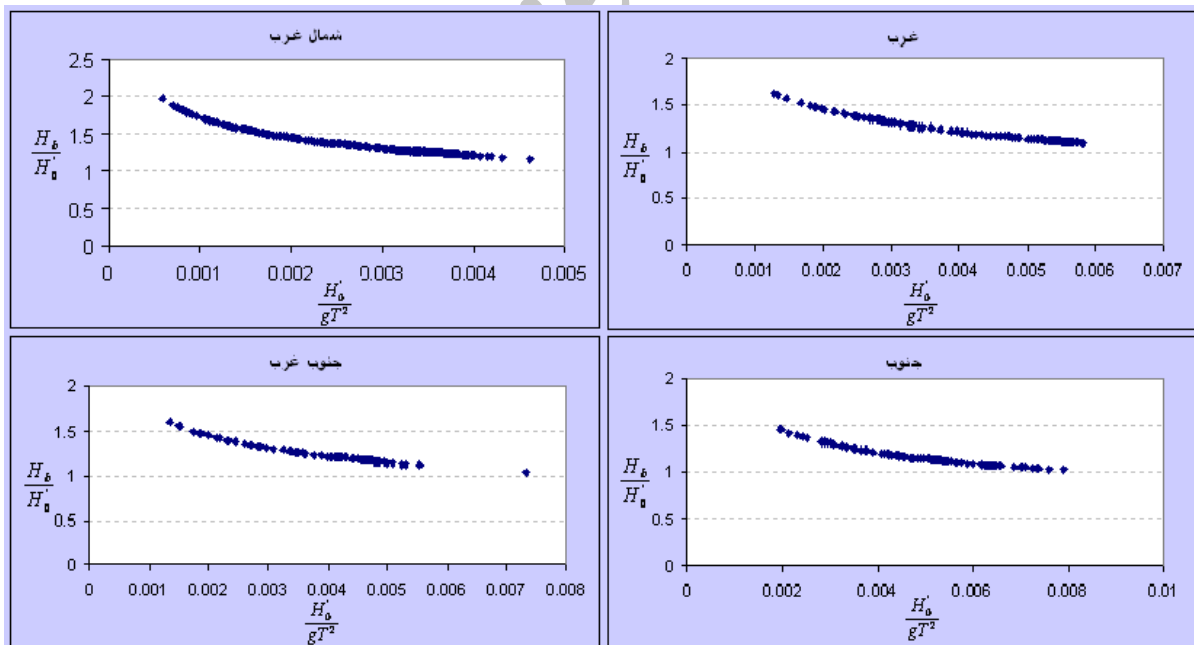
جدول ۸ - عمق آب در نقطه شکست در سواحل بوشهر (۱۹۹۵)

	شمال غرب	غرب	جنوب غربی	جنوب
d_b (m)	۱/۶۴	۰/۹۷	۰/۸۴	۱/۰۹
$d_{b \max}$ (m)	۳/۳۴	۱/۵۲	۱/۷۳	۲/۳۷

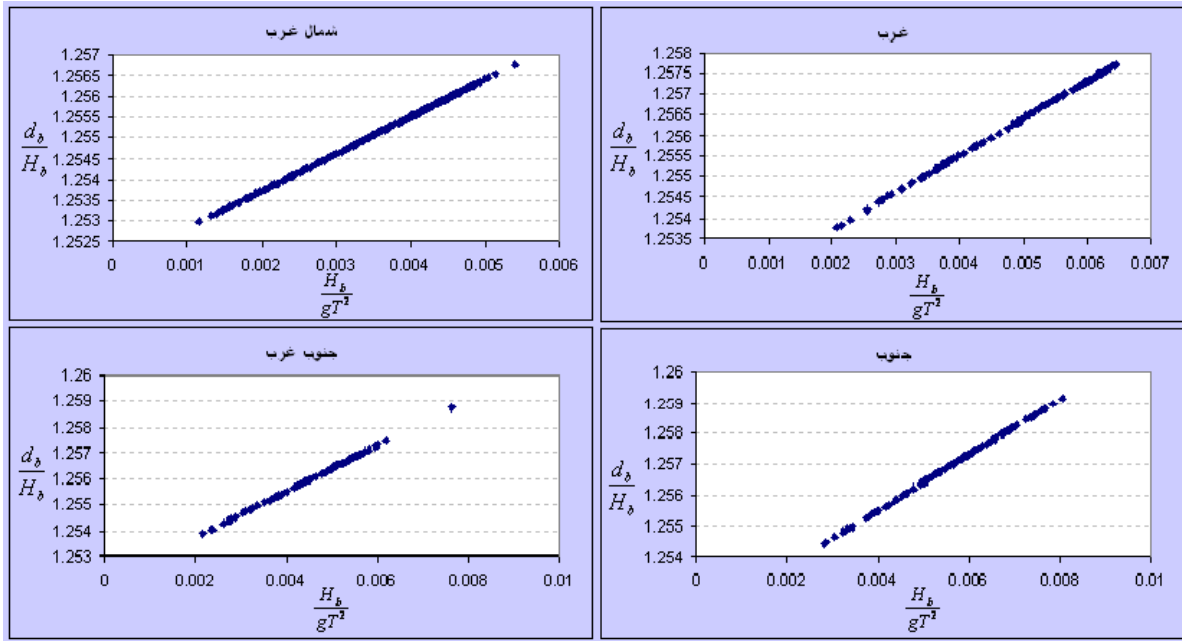
$$S_b = \frac{mL_b}{d_b} \quad (۷)$$

برای تعیین نوع شکست از دو پارامتر بدون بعد تشابه موج ساحلی ξ_0 و شیب بستر نسبی S_b استفاده کردیم که نتایج آن در جدول ۹ آمده است.

$$\xi_0 = \frac{m}{\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}} \quad (۶)$$



شکل ۹- ارتفاع بدون بعد بر حسب تیزی موج در ژرفاب در سواحل بوشهر



شکل ۱۰- عمق بدون بعد شکست در بر حسب تیزی در نقطه شکست در سواحل بوشهر

و پارامتر بدون بعد عمق شکست $\frac{d_b}{H_b}$ بر حسب پارامتر بدون بعد تیزی در نقطه شکست $\frac{H_b}{gT^2}$ در چهار جهت اصلی رسم گردید. این نمودارها همخوانی خوبی با منحنی های ارایه شده توسط مرکز CERC (شکل های ۴ و ۳ در شیب های کمتر از ۰/۰۱) دارد.

در تمامی موارد $\zeta_0 < 0.5$ و $S_b < 1.05$ بوده است که نشان می دهد نوع شکست در سواحل بوشهر نوع آشفته می باشد. با استفاده از پارامتر بدون بعد S_b امواج در نقطه شکست را نیز طبقه بندی و نتیجه گرفتیم که ۷٪ مواقع شکست در آب های کم عمق و ۹۳٪ مواقع در آب های میانی اتفاق می افتد. در شکل های ۹ و ۱۰ پارامتر بدون بعد ارتفاع

$$\frac{H_b}{H_0}$$

بر حسب پارامتر بدون بعد تیزی موج در ژرفاب $\frac{H_0}{gT^2}$

جدول ۹- پارامتر بدون بعد تشابه موج ζ_0 و شیب بستر نسبی S_b در سواحل بوشهر (۲۸° ۵۷'N & ۵۰° ۴۴'E)

	شمال غرب	غرب	جنوب غربی	جنوب
ζ_0	۰/۰۳۶	۰/۰۳۸	۰/۰۳۲	۰/۰۲۸
S_b (max)	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۶

۱۰ مقدار به دست آمده ۰/۷۹ است که قابل مقایسه با نظریه Mc Cowan (0.78) می باشد. در جدول ۱۱ پارامتر تیزی موج در بوشهر آورده شده است. در ردیف اول این جدول تیزی با استفاده از رابطه Miche محاسبه شده است. با توجه به این که شکست در ژرفاب رخ نمی دهد و رابطه میچ در ژرفاب به مقدار ۰/۱۴۲ می رسد، ضرایب به دست آمده خیلی دقیق به نظر نمی رسد. بنابراین با استفاده از طول موج به دست آمده در

با محاسبه H_b و d_b پارامتر بدون بعد ارتفاع موج نسبی $(\frac{H}{d})$ در نقطه شکست محاسبه شد. می دانیم که در

نظریه موج تنها^۱ در آبهای کم عمق $1 \rightarrow (\frac{H}{d})$ می باشد، اما امواج در دریا کاملاً به صورت مجرد نیستند. با توجه به جدول

1- Solitary wave

جدول ۱۱- تیزی در آبهای عمیق بوشهر (E ۴۴' ۵۰° & ۲۸° ۵۷' N)

ردیف	تیزی	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب
۱	$(\frac{H_b}{L_b})_{max}$	۰/۱۴۱	۰/۱۴۲	۰/۱۳۸	۰/۱۴۲
۲	$(\frac{H_b}{L_b})_{max}$	۰/۰۷۵	۰/۰۶۵	۰/۰۶۱	۰/۰۷۱
۳	$(\frac{H}{L})_{max}$	۰/۰۷۸	۰/۰۷۱	۰/۰۶۶	۰/۰۷۵

فاصله نقطه شکست از خط ساحلی را در جدول شماره ۱۲ ملاحظه می کنیم. نزدیک ترین فاصله شکست به ساحل برای امواج شمال غربی (۴۲ متر) یادداشت شده است. برای $(\frac{H}{L})_{max} = 0.5[0.142 \tanh(kd)]$ بهتر از Surf zone در شکل ۱۱ نمودار فراوانی فاصله شکست از خط ساحلی رسم شده است.

جدول ۱۲- فاصله نقطه شکست از خط ساحلی بوشهر

	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب
X_b (m)	۷۱۲/۴۸	۴۲۲/۶۴	۲۶۳/۸۰	۴۷۳/۳۴
X_b (min) (m)	۴۱/۹۲	۴۸/۹۲	۵۶/۵۲	۶۹/۲۱
X_b (max) (m)	۱۴۵۴/۳۵	۶۶۲/۷۷	۷۵۱/۴۱	۱۰۲۹/۳۵

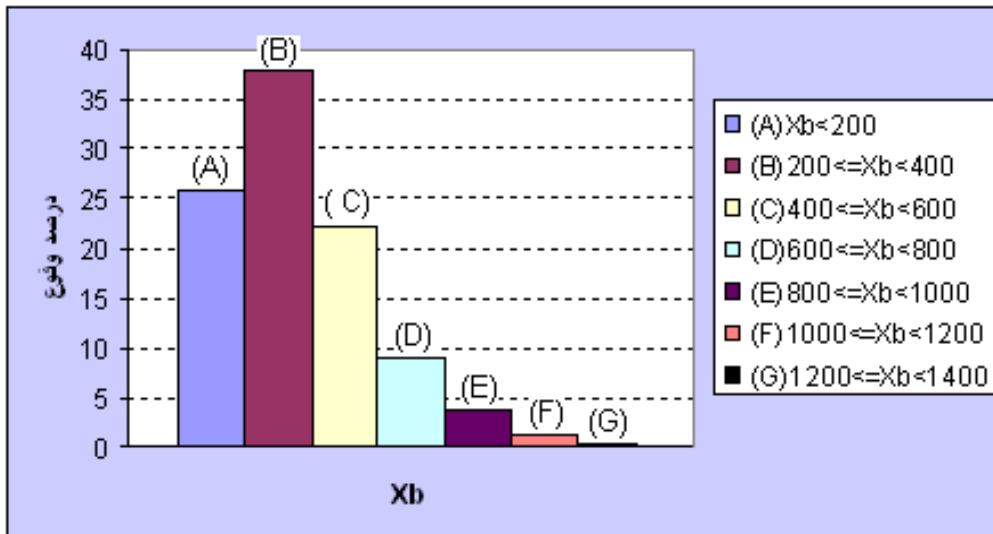
نقطه شکست توسط رابطه S_b تیزی را محاسبه نمودیم که در ردیف دوم و سوم نتایج آن را مشاهده می کنیم؛ با این تفاوت که در ردیف دوم تیزی را بر اساس H_s و T_s به دست آوردیم، اما در ردیف سوم ابتدا تیزی را به ازای تمامی داده ها محاسبه و سپس تیزی شاخص $(\frac{H}{L})_s$ را به دست آوردیم که نتایج نشان می دهد این میزان با نتایج (0.79) Mc Cowan Banner در سال ۲۰۰۰ عنوان کرد که تیزی شاخص همبستگی بیشتری با داده ها دارد [8]- و سپس ضریب تصحیحی برای رابطه Miche در منطقه بوشهر به دست آوردیم:

$$(\frac{H}{L})_{max} = 0.5[0.142 \tanh(kd)] \quad (8)$$

جدول ۱۰- پارامتر غیردیمانسیوناری ارتفاع موج نسبی در

نقطه شکست در سواحل بوشهر

	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب
$(\frac{H}{d})_{max}$	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۷۹



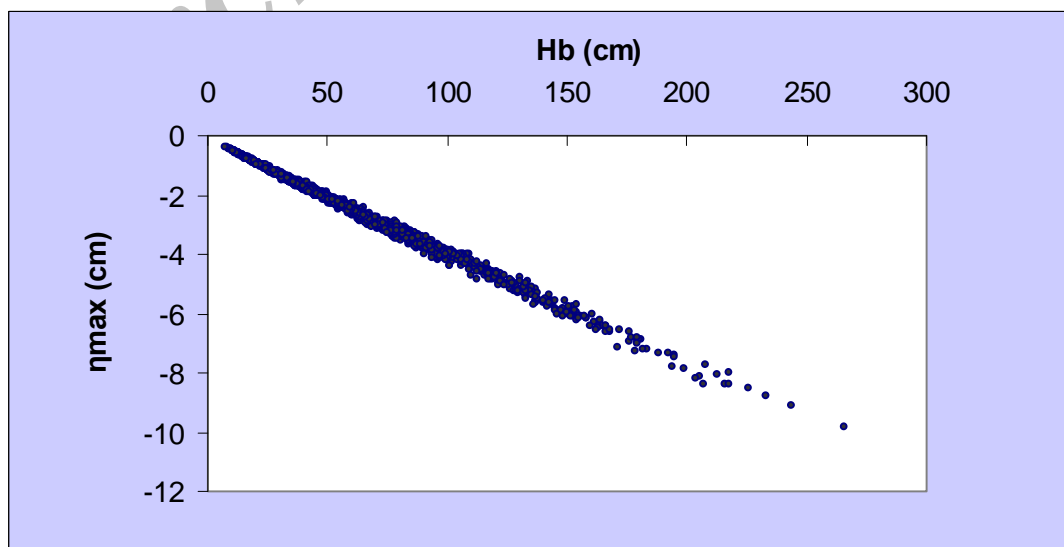
شکل ۱۱- نمودار فراوانی شکست امواج در فواصل مختلف از خط ساحلی بوشهر

است. بیشترین فروآب ناشی از شکست در منطقه شکست در حدود ۹٫۸ سانتی متر و برای امواج شمال غربی به دست آمد. این میزان برای امواج غربی به کم ترین مقدار یعنی ۵ سانتی متر زیر سطح آرام آب می رسد. در شکل (۱۲) فروآب ناشی از شکست را به ازای ارتفاع موج در نقطه شکست آمده است.

هنگامی که موج می شکند در حد فاصل ناحیه دور از ساحل تا نقطه شکست سطح تراز میانگین MWL نسبت به سطح آرام آب SWL پایین تر می آید که به آن فروآب ناشی از شکست گفته می شود و بیشترین مقدار آن در نقطه شکست می باشد که میزان آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$\eta_b = -\frac{1}{8} \frac{H_b^2 k}{\sinh(2kd_b)} \quad (9)$$

نتایج به دست آمده برای سواحل بوشهر در نمودار ۱۳ آمده



شکل ۱۲- فروآب ناشی از شکست موج برای تمامی جهات در سواحل بوشهر

جدول ۱۳- فروآب ناشی از شکست موج در سواحل بوشهر

	شمال غرب	غرب	جنوب غرب	جنوب
η_b (cm)	-۵/۲	-۳/۲	-۲/۸	-۳/۵
η_b (max) (cm)	-۹/۸	-۵/۰	-۵/۲	-۷/۴

نتایج

- با توجه به معادله Svendsen و Battjes و با محاسبه شیب بستر ($m=0.0023$) پارامترهای بدون بعد تشابه به موج ساحلی و شیب بستر نسبی محاسبه گردید. با توجه به این که در تمامی جهات $S < 1.05$ و $K_0 < 0.5$ می باشد، نوع شکستی که غالباً برای امواج در منطقه ساحلی بوشهر اتفاق می افتد از نوع آشفته می باشد.
- ارتفاع و دوره موج شاخص در هر جهت محاسبه گردید که بیشترین آن در جهت شمال غرب ($H_s = 1.25$, $T_s = 4.13$) می باشد و با توجه به این که ضریب انکسار محاسبه شده فقط در جهت شمال غرب قابل ملاحظه است ($K_r=0.48$)، ارتفاع موج بدون انکسار در این جهت $H'_s=0.60$ می باشد.
- با محاسبه $\frac{d}{L}$ در منطقه استقرار بویه نشان داده شد که بویه در منطقه deep water قرار دارد و همچنین با به دست آوردن عمق و طول موج در نقطه شکست این نسبت برای منطقه شکست نیز محاسبه گردید و نتیجه گرفتیم که شکست در ۹۳٪ موارد در Intermediate water و ۷٪ در Shallow water اتفاق می افتد.
- بیشترین ارتفاع موج شاخص در نقطه شکست (H_s) در منطقه ۱/۳۰ متر تخمین زده شد که این میزان برای امواجی که از جهت شمال غرب می آیند به دست آمده است که می توان علت آن را به بادهای غالب منطقه (شمال غربی) نسبت داد.
- در جهت شمال غرب، شکست در عمق بیشتری ($1/64m$) اتفاق می افتد. این میزان برای امواج جنوب غربی به کم ترین میزان خود ($0/84m$) می رسد.
- پارامتر بدون بعد ارتفاع موج نسبی شیب ($0/0023$) برابر $0/79$ به دست آمد که قابل مقایسه با تحقیقات McCowan ($0/78$) و همچنین Davies ($0/83$) می باشد.
- پارامتر بدون بعد تیزی به دو صورت محاسبه گردید. ابتدا با استفاده از رابطه Miche که برابر با $0/142$ به دست آمد. همچنین با استفاده از روابط weggel و Svendsen ابتدا H_b و L_b محاسبه و از آن جا تیزی در نقطه شکست $(\frac{H_b}{L_b})_{max}$ محاسبه شد و اختلاف آن به صورت ضریب تصحیح برای رابطه Miche در بوشهر پیشنهاد می شود. این ضریب تصحیح $0/5$ محاسبه گردید.
- در مجموع ۳۸٪ امواج در فاصله ۲۰۰ تا ۴۰۰ متری از خط ساحلی و ۲۶٪ نیز در فاصله کم تر از ۲۰۰ متری شکسته می شوند. اما در مواقعی که دریا متلاطم است حتی در فاصله تقریباً یک و نیم کیلومتری از ساحل نیز شکست به وقوع می پیوندد. کم ترین فاصله نقطه شکست از خط ساحلی نیز در حدود ۴۲ متر می باشد.
- بیشترین فروآب ناشی از شکست $9/8$ سانتی متر برآورد شد.

پیشنهادها

۱. بحث تولید انرژی پاک یکی از مهم ترین مسایل زیست محیطی می باشد. گرفتن انرژی از امواج یک روش پاک و ارزان در مناطق ساحلی می باشد که با شناخت مناطق شکست موج، می توان بهترین منطقه استقرار تجهیزات لازم در دریا را برای این منظور شناسایی کرد.
۲. چنانچه در این منطقه بویه های موج نگار بیشتری نصب گردد می توان در مورد مشخصات موج و پارامترهای شکست محاسبات دقیقتری انجام داد.
۳. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق از شکست امواج، می توان درگام های بعدی روی پدیده های دیگر ساحلی حاصل از شکست موج از جمله جریانان در امتداد ساحل و انتقال رسوب از اطلاعات به دست آمده سود برد.
۴. شکست موج و پدیده های مرتبط با آن اهمیت زیادی در انتقال آلودگی های مختلف صنعتی و زیست محیطی در این مناطق دارد که می تواند موضوع مناسبی جهت تحقیق علاقه مندان باشد.
۵. در بحث مهندسی سواحل و ایجاد سازه های ساحلی، بندر سازی و ساخت سکوه های نفتی، اثرات شکست موج در منطقه از موارد با اهمیتی است. امید است این تحقیق زمینه سازی باشد برای رشد و توسعه روز افزون صنعتی و اقتصادی کشور عزیزمان به ویژه منطقه راهبردی خلیج همیشگی فارس.
۶. علی رغم پژوهش انجام شده درخصوص شکست موج هنوز ناشناخته های فراوان در محدوده این پدیده وجود دارد. از جمله پراکندگی انرژی ناشی از شکست موج که نیاز به اطلاعات و داده های بیشتری از جمله انرژی موج و ترم های دیگر پراکندگی انرژی از جمله white capping و ... دارد که با کمک گرفتن از مدل های فیزیکی و ریاضی و شبیه سازی شکست موج در مقیاس آزمایشگاهی نیاز به تحقیق و

پژوهش بیشتر در این میدان گسترده وجود دارد.

سپاس گذاری

در ابتدا از زحمات بی دریغ استاد محترم جناب آقای دکتر اردکانی کمال تشکر را داریم، و با قدردانی از سازمان هواشناسی کشور و سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران که در تهیه داده ها و اطلاعات مورد نیاز ما را یاری کردند. همچنین از همکاری صمیمانه جناب آقای مهندس مجید ابره دری متخصص هیدروگرافی دریا که در این زمینه همکاری داشتند و و خانم مهندس مونا عظیمی تشکر می نمایم. در خاتمه از مسئولان دانشگاه علوم تحقیقات و تمامی عزیزانی که در این راه ما را همراهی کردند، کمال تشکر را داریم.

منابع

1. Svendsen, Ib A., 2006, "Introduction to Near Shore Hydrodynamics" pp.229-303.
2. Mitchell, J.H., 1893, "on the highest wave in water", Phil. Mag, series 5, 36, No. 222, 430-437.
3. Miche, M., 1944, "Movement ondulatoires de la mer", Annales des pontset chaussee, 144, 25-78, 131-164, 270-292
4. Galvin, C.J. 1968, "Breaker type classification on three laboratory beaches. Geophysics, Res., 73, No.12
5. Herbich, J, 1999, "Handbook of coastal Engineering" Mc Graw-Hill Companies, pp. A143-144.
6. Weggel, J.R, 1972, "Maximum Breaker Height", journal of waterways, Harbors and Coastal Engineering Division. American society of civil Engineers, vol. 98, No. ww4, pp. 529-548.
7. Robert M. Sorensen., 2007, "Basic

Probability for Dominant waves on the Surface”, American Meteorological Society, Journal of physical oceanography, vol 30, 3145-3160

Coastal Engineering”, Second edition, Chapman & Hall, pp 40-44

8. Banner, M.L., and Babanin, A. V., Young. L. R., 2000, “Breaking

Archive of SID