

طبقه‌بندی هیدرودینامیکی سواحل جنوبی دریای خزر-استان مازندران

فرشته کمیجانی

دکتری فیزیک دریا، شرکت نواندیشان محیط‌های رودخانه و دریا؛ komijani@namrood.com

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>در تحقیق حاضر طبقه‌بندی سواحل استان مازندران با به‌کارگیری مدل‌های هیدرودینامیکی RTR، Ω و k^* انجام شده است. این امر از طریق بررسی مشخصه‌ی امواج، ریخت‌شناسی بستر، رسوبات منطقه‌ی خیزاب ساحلی و بررسی نقشه‌های آبنگاری در ۷ ایستگاه شرقی (نکا، لاریم و بابلسر)، مرکزی (محمودآباد و کهنه‌سرا) و غربی (نوشهر و نشتارود) استان مازندران صورت گرفته است. نتایج نشان داد که سواحل استان مازندران جزء سواحل موج‌چیره هستند که با پیشروی از شرق به غرب، با کاهش انرژی و افزایش پریود موج و قطر سنگدانه‌ها، ساحل از حالت پراکنا به میانه و سپس بازتان تغییر می‌نماید. همچنین بررسی‌های فصلی قدرت امواج و ویژگی‌های مورفودینامیکی منطقه نشان داد که تغییرات ریخت‌شناسی بستر و دینامیک امواج منطقه، تغییر فصلی حالت سواحل را به دنبال نداشته است.</p>	<p>تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷</p> <p>کلمات کلیدی: استان مازندران طبقه‌بندی سواحل هیدرودینامیک امواج ریخت‌شناسی بستر تغییرات فصلی</p>

Beach Hydrodynamic Classification of South Coasts of Caspian Sea-Mazandaran Province

Fereshte Komijani

Ph.D of Physical oceanography, Namrood Consulting Engineering CO; komijani@Namrood.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 14 Dec. 2015

Accepted: 27 Nov. 2016

Keywords:

Mazandaran Province
Beach Classification
wave hydrodynamics
Bed morphology
Seasonal variation

ABSTRACT

In this study, Mazandaran province's coasts have been classified by using Relative Tide Range, Ω and k^* hydrodynamic models. For this, investigations of waves hydrodynamics, measurement of bed morphology's profiles and sediment characteristics along surfzone, and analyzing of hydrographic maps at 7 stations in east (Neka, Larim and Babolsar), middle (Mahmudabad and Kohnesara) and west parts (Nushahr and Nashtarud) of Mazandaran province have been done. results show that Mazandaran coasts are wave dominate that, by wave energy decreasing and wave period and sediment diameter increasing from east to west of Mazandaran, beach states have been changed from Dissipative to Intermediate and Reflective states, respectively. Seasonal investigations of wind power and morphodynamical structures show that variations in bed morphology and wave dynamics do not cause beach state's changes, seasonally.

۱- مقدمه

تعیین نوع ساحل به پیش‌بینی واکنش خط ساحلی در برابر امواج، تعیین نوع شکست موج و جریان برگشتی حاکم در منطقه و تخمین میزان انتقال رسوب در نیمرخ ساحل می‌انجامد که در بحث‌هایی همچون مدیریت خطوط ساحلی، طراحی مناسب در بخش مهندسی سواحل و استفاده‌ی بهینه از سواحل بسیار حایز اهمیت است.

طبقه‌بندی سواحل با معیارهای مختلفی همچون عوامل زمین-شناختی، نیروی هیدرودینامیکی غالب در منطقه و غیره انجام می-پذیرد [۱] که در هر یک مشخصه‌های مختلفی از ساحل مورد توجه قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه هر حالت ساحل تحت شرایط معینی از هیدرودینامیک و ساختار نیمرخ بستر رخ می‌دهد، لذا

شناسی منطقه و شکل‌گیری عوارض ساحلی و بستری را در پی داشته است [۶ و ۴]. همچنین جریان‌های بستری که در سواحل پراکنا رخ می‌دهد، فرسایش بستر در پای سازه‌ها را به دنبال داشته که تهدیدی است برای به خطر انداختن پایداری و مقاومت سازه. از این رو تعیین حالت ساحل از نقطه نظرهای مختلفی مانند پیش-بینی رخداد انواع جریان‌های ساحلی (به منظور ایجاد طرح‌های سالم‌سازی دریا)، پیش‌بینی مخاطرات دریایی، مدیریت بنادر، حفاظت زیست محیطی و غیره در سواحل استان مازندران لازم و ضروری است. لذا در این مطالعه به پیش‌بینی هیدرودینامیک حالت ساحل در طول سواحل استان مازندران پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

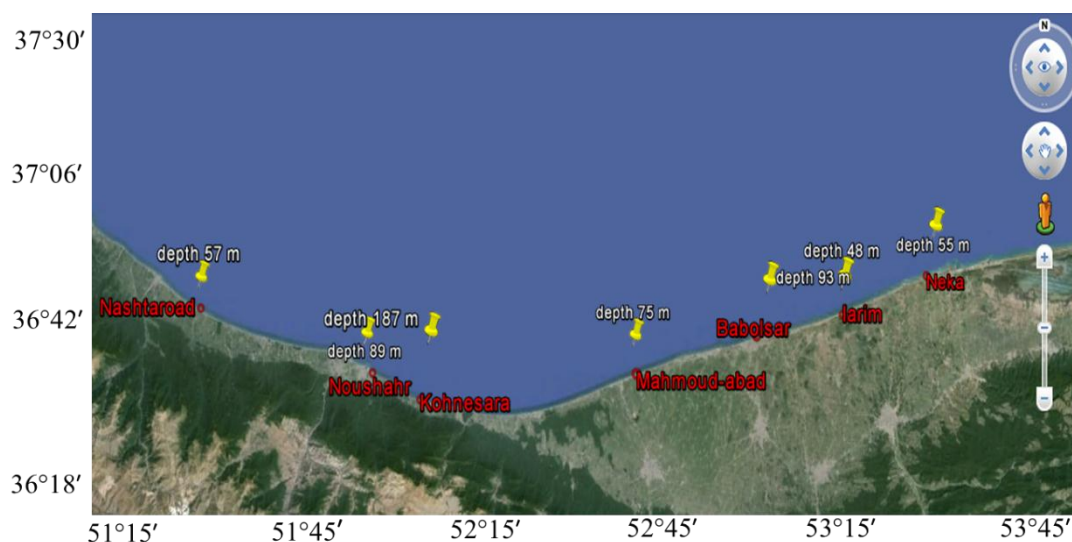
به منظور بررسی سواحل استان مازندران، ۷ ایستگاه در شرق (نکا، لاریم و بابلسر)، مرکز (محمودآباد و کهنه‌سرا) و غرب (نوشهر و نشتارود) استان مازندران انتخاب گردید تا از این طریق بخش‌های مختلف سواحل استان مورد مطالعه قرار گیرد. مشخصه‌ی امواج هر ایستگاه، از اطلاعات بلند مدت و ارزشمند امواج دریای خزر که برای بازه‌ی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ در فاز دوم پروژه "مدلسازی امواج دریا‌های ایران" [۷] صحت‌سنجی شده است، استخراج گردید. مقایسه‌ی جامع اطلاعات باد ECMWF^۸ مورد استفاده در این پروژه با داده‌های باد ایستگاه‌های سینوپتیکی و همچنین کیفیت تحقیق صورت گرفته در پروژه مذکور، منجر به دستیابی نتایج دقیق برای مشخصه امواج دریا‌های ایران شده است لذا اطلاعات موج حاصله، از اطمینان بالایی برای استفاده در سایر مطالعات برخوردار است که سبب انتخاب آن برای استفاده در تحقیق حاضر شده است. اطلاعات مربوط به مشخصه ریخت‌شناسی بستر و رسوبات از طریق اندازه‌گیری همزمان فصلی نیمرخ بستر و برداشت رسوب از ساحل تا منطقه‌ی خیزاب ساحلی (عمق حدود ۱۵ متر) هر ایستگاه، که توسط سازمان بنادر و دریانوردی انجام شده است، تهیه شده است. لازم به ذکر است که برای تعیین حالت ساحل مناسب است که از اطلاعات بلند مدت موج استفاده گردد. این امر بدان معنی است که نیاز به به‌کارگیری اطلاعات همزمان مشخصه موج و ریخت‌شناسی بستر برای تعیین حالت ساحل نیست. موقعیت ایستگاه‌ها به همراه محل و عمق استخراج اطلاعات موج آب عمیق برای هر یک در شکل ۱ نشان داده شده است.

در طبقه‌بندی رایب و شرت (از طریق مدل Ω) و سونامورا (از طریق مدل k^*) که ساحل را بر اساس خصوصیات همچون شیب ساحل، قطر رسوبات و ویژگی‌های هیدرودینامیکی (مانند شرایط باد، موج و کشند) مدل‌بندی می‌نماید، ساحل به ۳ حالت، بازتابان^۱، پراکنا^۲ و میانه^۳ تقسیم‌بندی می‌شود [۲ و ۳]. سواحل پراکنا: سواحلی با شیب ملایم هستند که تحت فرایند رسوب‌گذاری قرار می‌گیرند. امواج بیشترین انرژی خود را در این نوع از سواحل دارند و شکستی از نوع آشفته در آن رخ خواهد داد. ساحل بازتابی: سواحلی با طیف انرژی پایین‌تر هستند [۱] که نیمرخ بستر آن تحت فرسایش، شیب‌دار و یکدست می‌شود. با توجه به شیب بالای این سواحل، امواج یکرست در نزدیک ساحل می‌شکنند. سواحل میانه: سواحلی هستند که در حد وسط انرژی بین سواحل پراکنا و بازتابی قرار دارند. وجود تغییرات کرانه راستای بستر، به شکل وجود کانال یا تپه ماسه‌ای، از ویژگی‌های سواحل میانه است [۱] شکست موج در سواحل میانه از نوع چرخان است. سواحل میانه چهار حالت مختلف دارند: ناوه و سد رسوبی کرانه راستا^۴، دریاکنار و سد رسوبی موزون^۵، جریان بازگشتی و سد رسوبی مورب^۶ و حالت پادگانه در جزر^۷ (که مورد آخر به نام حالت "پشته و شیار" نیز مشهور است) [۴].

در طول سواحل جنوبی دریای خزر بنادر متعدد با اهداف مختلف نظامی، شیلاتی و غیره احداث شده است. از طرف دیگر این مناطق به دلیل زیبایی، سالانه پذیرای گردشگران بسیاری است که برای تفریح و شنای ساحلی، به آنجا مسافرت می‌کنند، لذا مطالعات گسترده‌ی سواحل در این مناطق امری لازم و ضروری است. از این رو، این مطالعه به طبقه‌بندی سواحل استان مازندران بر اساس مدل‌های مختلف هیدرودینامیکی اختصاص داده شده است. همچنین بررسی تغییرات زمانی حالت ساحل استان مازندران تحت شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

سواحل زیبای استان مازندران دارای منابع مختلف شیلاتی، سدها و بنادر مهم است که تحت تأثیر هیدرودینامیک قوی‌ای قرار دارد. این امر پتانسیل شکل‌گیری حالت‌های مختلف ساحل را موجب شده است. حضور جریان‌های شکافنده در سواحل میانه‌ی مازندران سبب افزایش تعداد مغروقین ۲۰۰ تا ۳۰۰ نفر در این منطقه شده است [۵] که به علت انتقال رسوب ناشی از این جریان، تغییر ریخت-



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های تعیین شده در ساحل استان مازندران جهت طبقه‌بندی ساحل

که در این رابطه $s=2.65$ (چگالی ویژه^۹) و θ ضریب گرانیروی سینماتیکی^{۱۰} است.

۲-۵- محاسبه ارتفاع، پیروید و سرعت موج در محل آب عمیق، با میانگین‌گیری داده‌های ارتفاع موج شاخص H_s و پیروید میانگین T_{02} از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ محاسبه شده‌اند. سرعت موج در محل آب عمیق از رابطه ۴ به دست می‌آید [۹]:

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \quad (۴)$$

۲-۶- محاسبه عمق شکست موج: عمق شکست موج با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شده است [۹]:

$$d_b = \frac{1}{g^{1/5} k^{4/5}} \left(\frac{H_0^2 C_0 \cos \theta_0}{2} \right)^{2/5} \quad (۵)$$

۲-۷- محاسبه ارتفاع شکست موج با در نظر گرفتن انکسار^{۱۱} و ژرفاکاستگی^{۱۲}، برای موجی که تقریباً عمود بر ساحل بشکند با رابطه ۶ انجام شده است [۹]:

$$H_b = \left(\frac{k}{g} \right)^{1/5} \left(\frac{H_0^2 C_0 \cos \theta_0}{2} \right)^{2/5} \quad (۶)$$

در روابط ارائه شده در جدول ۱، H_b ، \bar{W}_s ، T ، d_{50} و H_0 به ترتیب ارتفاع شکست موج، متوسط سرعت سقوط رسوب، پیروید موج، قطر میانگین رسوب، ارتفاع و طول موج آب عمیق است.

در مرحله‌ی بعدی نقشه‌ی آب‌نگاری با دقت ۱:۲۵۰۰۰ که شامل پربندهای عمقی با گام ۱ متر است، از سازمان نقشه برداری تهیه شده است تا از این طریق به بررسی مشخصه‌هایی عمومی ساحل و تغییرات کرانه راستای عمق‌نگاری هر ایستگاه پرداخته شود. در نهایت، تعیین حالت ساحل از طریق مدل‌های Ω و k^* انجام شده است که در جدول ۱ محدودی تغییر آنها برای حالت‌های مختلف ساحل قرار گرفته است.

تعیین حالت ساحل طی مراحل زیر انجام شده است:

۲-۱- محاسبه شیب ساحل از خط ساحلی تا منطقه خیزاب ساحلی

۲-۲- محاسبه زاویه خط ساحل

۲-۳- تعیین میانگین قطر رسوبات بر اساس منحنی رسوبات برداشت شده از خط ساحل تا منطقه خیزاب ساحلی

۲-۴- محاسبه سرعت سقوط ذرات بر اساس روابط استوکس [۸]:

$$W_s = [(s-1)g] \frac{d_{50}^2}{18\theta} \quad d_{50} \leq 100 \mu m \quad (۱)$$

$$W_s = \left[\left(1 + \frac{0.01(s-1)gd_{50}^3}{\theta^2} \right)^{.5} - 1 \right] \frac{10\theta}{d_{50}} \quad d_{50} < 1000 \mu m < 100 \quad (۲)$$

$$W_s = 1.1[(s-1)gd_{50}]^{.5} \quad d_{50} \geq 1000 \mu m \quad (۳)$$

جدول ۱- محدوده تغییر پارامترهای تعیین کننده حالت ساحل [۱۰]

حالت میانه	حالت پراکنا	حالت بازتابان	نام پارامتر	رابطه پارامتر
$1 <= <= 6$	> 6	< 1	سرعت ته‌نشینی بی‌بعد ^{۱۳}	$\Omega = \frac{H_b}{W_s T}$
$3/5 <= <= 20$	> 20	$< 3/5$	پارامتر بی بعد پایداری ساحل ^{۱۴}	$k^* = \frac{H_b^2}{gd_{50} T^2}$

ایستگاه‌های نکا و لاریم در شکل ۲ آورده شده است و گلموج سالانه و فصلی ایستگاه بابلسر در شکل ۳ نشان داده شده است. مقایسه‌ی شکل‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد که برای ایستگاه‌های شرقی استان مازندران، امواج با ارتفاع ۰/۵-۰/۲ متر و سپس با ارتفاع ۰/۵-۱ متر بیشترین فراوانی را در کل جهات و همچنین در جهت موج غالب (راستای شمال غربی-شمال) به خود اختصاص داده است. همچنین قدرت امواج در نیمه‌ی شمال غربی این ایستگاه‌ها بیش از نیمه‌ی شمال شرقی است. با توجه به گلموج‌های فصلی نشان داده شده در شکل ۳، علاوه بر اینکه در فصل‌های پاییز و زمستان فراوانی امواج نیمه‌ی شمال شرقی نسبت به شمال غربی ایستگاه بابلسر افزایش یافته است، قدرت امواج نیمه‌ی شمال غربی نیز افزایشی را تجربه کرده است. گلموج فصل‌های بهار و تابستان شباهت‌های کلی دارند، بجز افزایش فراوانی موج شمال غربی، به همراه کاهش فراوانی و افزایش قدرت موج شمالی در فصل تابستان مقادیر محاسبه شده‌ی Ω و k^* برای ایستگاه‌های شرقی در جدول ۳ آورده شده است. مقادیر نشان می‌دهد که ساحل تا بخش خیزاب ساحلی این مناطق، به طور متوسط در کل سال در حالت پراکنا قرار دارند که در فصل‌های پاییز و زمستان با توجه به اینکه هیدرودینامیک امواج قویتر می‌شود، بر پراکنايي ساحل افزوده شده است. اما تغییرات فصلی هیدرودینامیک امواج و ریخت‌شناسی بستر به اندازه‌ای نبوده که سبب تغییر حالت فصلی سواحل شرقی گردد. چراکه نیروی هیدرودینامیک امواج از فصلی به فصل دیگر تغییرات بسیار چشمگیری نداشته است و این مسئله از طریق مقایسه گلموج‌های فصلی نیز به دست آمده است. این امر سبب شده که محدوده تغییرات پارامترهای Ω و k^* همواره یک حالت از ساحل را طی فصل‌های مختلف سال نشان دهند. با مقایسه پراکنايي ۳ ایستگاه نکا، لاریم و بابلسر مشاهده می‌شود که از نکا به طرف بابلسر بر پراکنايي ساحل افزوده شده است. با توجه به شباهت هیدرودینامیک امواج این مناطق، علت آن در تغییر ویژگی ریخت-شناسی بستر و از جمله در کاهش قطر سنگدانه‌ها جستجو می‌شود.

۸-۲- تعیین نیروی حاکم بر ساحل: تعیین حالت‌های ساحل مستلزم ارزیابی عملکرد نیروهای هیدرودینامیکی حاکم بر ساحل است. در تحقیق حاضر به بررسی رفتار سواحل استان مازندران تحت تأثیر عملکرد نیروهای هیدرودینامیکی خصوصاً اثر امواج پرداخته شده است. این طبقه‌بندی از مطالعه‌ی دینامیک منطقه‌ی خیزاب ساحلی و بررسی خصوصیات عمومی ساحل، ویژگی‌های امواج ناشی از باد و مشخصات رسوب مورد استفاده در مدل‌های Ω و k^* انجام شده است. با توجه به اینکه مدل‌های Ω و k^* برای سواحل موج‌چیره تعریف شده‌اند، در ابتدا این مسئله از طریق دسته‌بندی هنسن [۱۱] مورد بررسی قرار گرفته است. در دسته-بندی یاد شده، سواحل بر اساس قدرت نسبی نیروهای حاکم بر ساحل، به ساحل موج‌چیره ($RTR < 3$)، باد چیره و کشند چیره ($RTR < 15$) تقسیم‌بندی می‌شوند:

$$RTR = \frac{TR}{H_b} \quad (7)$$

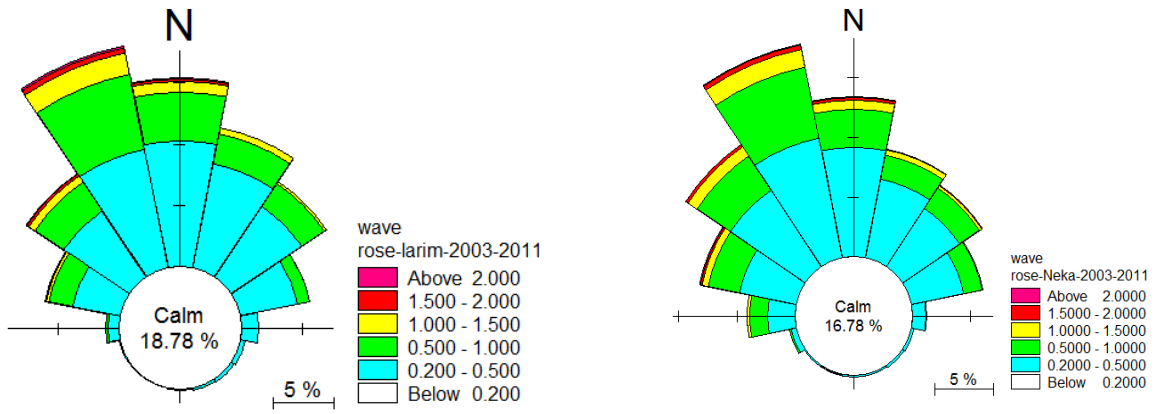
که در این رابطه TR محدوده‌ی کشند است. با توجه به اینکه نرخ کشند برای دریای خزر در حد صفر است [۱]، لذا سواحل مازندران از نوع موج‌چیره طبقه‌بندی می‌شوند. مشخصه‌های حاصل از بررسی نیمرخ بستر بخش‌های مختلف سواحل استان مازندران در جدول ۲ آورده شده است. قابل ذکر است که با توجه به اینکه هیدرودینامیک امواج و مشخصه‌های ریخت‌شناسی سواحل تحت تأثیر تغییرات فصلی است، لذا در این مطالعه به منظور بررسی تغییرات زمانی حالت سواحل، مراحل ۱-۲ تا ۸-۲ برای هر فصل به طور جداگانه انجام شده است.

۳- نتایج

۳-۱- ایستگاه‌های شرقی: بر اساس دسته‌بندی ارائه شده توسط ونت‌ورس [۱۲]، ایستگاه‌های نکا، لاریم و بابلسر دارای رسوبات از نوع ماسه‌ای ریزدانه هستند و بستر آنها در بخش خیزاب ساحلی شیب ملایمی دارد (جدول ۲). اما ایستگاه بابلسر دارای رسوبات ریزدانه‌تری نسبت به ایستگاه‌های نکا و لاریم است و شیب ملایمتری نسبت به لاریم دارد (جدول ۲). گلموج سالانه آب عمیق

جدول ۲- مشخصه هر ایستگاه شامل موقعیت، شیب و زاویه خط ساحل، قطر رسوب در هر ایستگاه

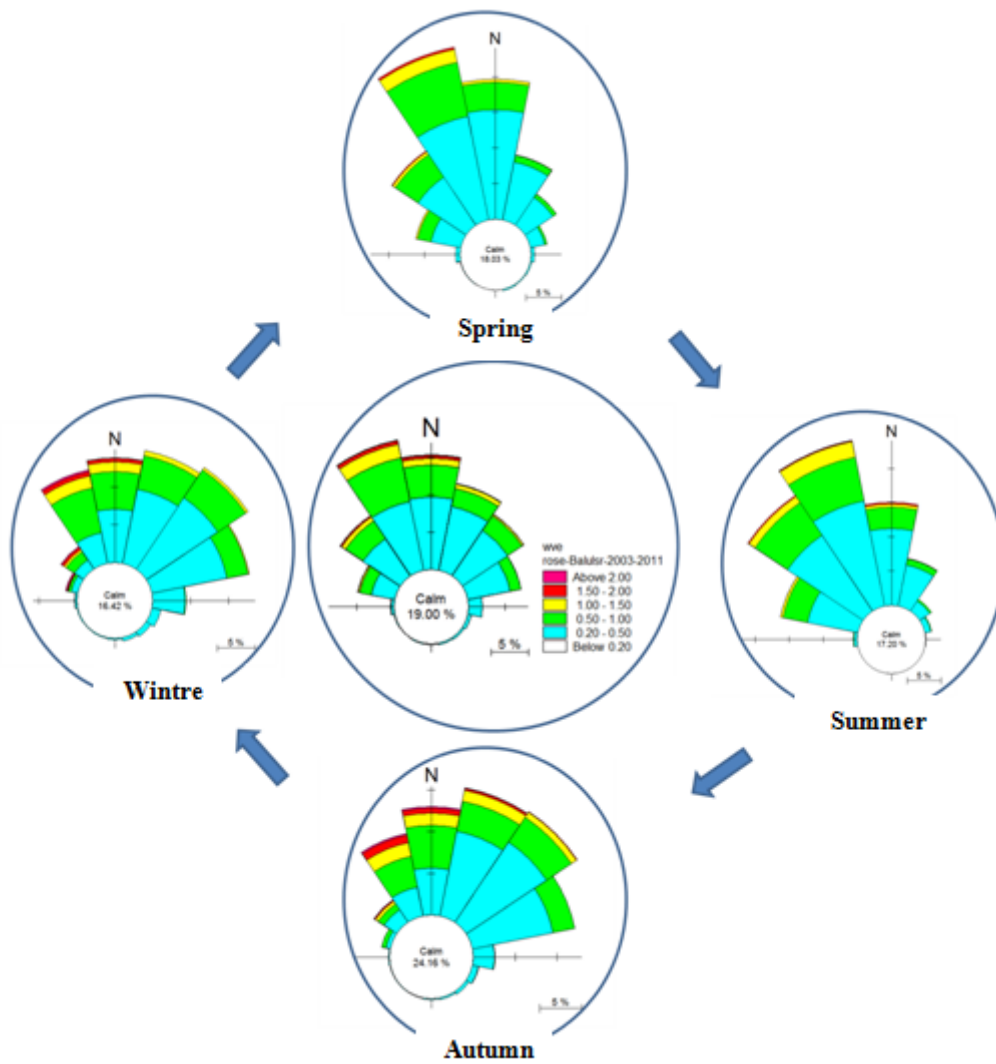
ایستگاه	مختصات ایستگاه	شیب ساحل	زاویه خط ساحل (درجه)	میانگین قطر رسوب (mm)	سرعت سقوط ذرات (m/s)
نکا	(۵۳/۱۸ و ۳۶/۸۳)	۰/۰۰۴۲	۱۸	۰/۱۵۸	۰/۰۱۶
لاریم	(۵۲/۹۳ و ۳۶/۷۶)	۰/۰۰۵۸	۱۳	۰/۱۴۶	۰/۰۱۴
بابلسر	(۵۲/۶۷ و ۳۶/۷۲)	۰/۰۰۵۳	۱۱	۱/۱۳۸	۰/۰۱۳
محمودآباد	(۵۲/۳۱ و ۳۶/۶۴)	۰/۰۲۲۶	۱۴/۵۳	۰/۲۳	۰/۰۳۹
کهنه‌سرا	(۵۱/۶۷ و ۳۶/۶۰)	۰/۰۸۵۸	-۱۴	۰/۲۵	۰/۰۳۳
نوشهر	(۵۱/۵۳ و ۳۶/۶۵)	۰/۰۳۹	-۲۵/۸۴	۱/۰۱۸	۱/۱۱۸
نشتارود	(۵۱/۰۲ و ۳۶/۸۸)	۰/۰۰۷	-۲۶	۱/۹۳	۰/۱۷



(ب)

(الف)

شکل ۲- گلموج سالانه آب عمیق در ایستگاه نکا برای عمق ۵۵ متری و (ب) در ایستگاه لاریم در عمق ۴۸ متری



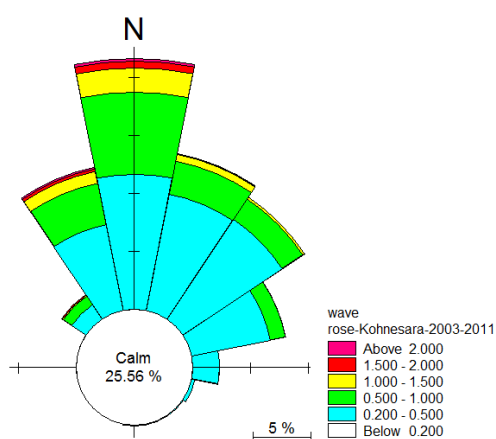
شکل ۳- گلموج سالانه و فصلی آب عمیق در ایستگاه بابلسر برای عمق ۹۳ متری

جدول ۳- مشخصه محاسبه شده امواج و پارامترهای تعیین کننده حالت ساحل در ایستگاه نکا، لاریم و بابلسر

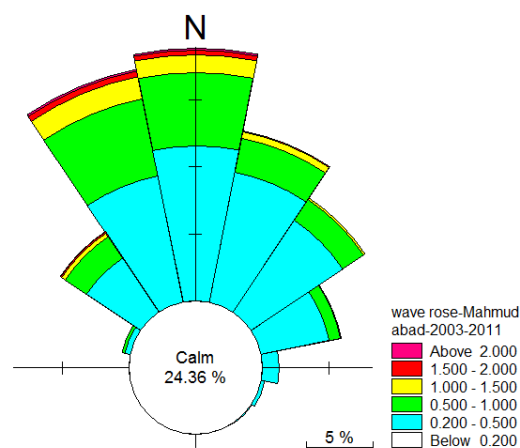
مشخصه	ایستگاه	سالانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
میانگین ارتفاع موج آب عمیق (m)	نکا	۰/۴۴	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۶
	لاریم	۰/۴۲	۰/۴۰	۰/۴۲	۰/۴۳	۰/۴۵
	بابلسر	۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۴۴	۰/۴۶
میانگین پررود موج آب عمیق (s)	نکا	۱/۸۵	۱/۸۳	۱/۸۸	۱/۸۳	۱/۸۶
	لاریم	۱/۹۰	۱/۸۷	۱/۹۳	۱/۸۹	۱/۹۲
	بابلسر	۱/۹۴	۱/۹۰	۱/۹۷	۱/۹۳	۱/۹۵
ارتفاع شکست موج (m)	نکا	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۳۴	۰/۳۶
	لاریم	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۶
	بابلسر	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۷
پارامتر Ω	نکا	۱۲/۲۹	۱۱/۹۴	۱۱/۸۴	۱۱/۵۵	۱۲/۲۷
	لاریم	۱۳/۴۰	۱۲/۸۲	۱۲/۹۱	۱۳/۰۶	۱۳/۵۸
	بابلسر	۱۴/۷۸	۱۴/۰۳	۱۴/۲۴	۱۴/۵۲	۱۵/۰
پارامتر k^*	نکا	۲۴/۸۲	۲۳/۴۱	۲۳/۰۴	۲۱/۹۵	۲۴/۷۴
	لاریم	۲۴/۲۱	۲۲/۱۷	۲۲/۴۸	۲۲/۹۹	۲۴/۸۵
	بابلسر	۲۵/۴۶	۲۲/۹۴	۲۳/۶۴	۲۴/۵۷	۲۶/۲۳

گلموج ایستگاه محمودآباد و کهنه سرا چنین به دست می آید که فراوانی امواج شمالی در ایستگاه کهنه سرا نسبت به ایستگاه محمودآباد بیشتر شده است و این در حالی است از فراوانی امواج شمال غربی-شمال کاسته شده است. با توجه به مقادیر Ω و k^* (جدول ۴)، به طور متوسط ایستگاه های مرکزی در حالت میانه قرار دارند که شیب میانه ی بستر (۰/۳-۰/۱) و وجود رسوبات متوسط-ریزدانه (۱ mm-۰/۲۵) [۱۳] از عوامل اصلی قرارگیری ساحل در این حالت است.

۲-۳- ایستگاه های مرکزی: ساحل ایستگاه محمودآباد بسیار دست خورده است و با پیشروی به سمت غرب افزایش قلوه سنگ و کاهش ماسه در ساحل وجود دارد. برای ایستگاه کهنه سرا که به فاصله ۹۳۵ در غرب دهانه ی رودخانه قرار دارد، آورد رسوب رودخانه موجب شده که قطر رسوبات منطقه در محدوده متوسط تا میانه قرار گیرد [۱۲]. با توجه به شکل ۴ امواج غالب این مناطق از محدوده ی شمال به سمت ساحل می آیند که قویترین امواج (با ارتفاع ۲ متر) نیز در این راستا قرار دارد. همچنین فراوانی امواج از سمت شمال به سمت شرق کاهش را تجربه کرده است. در مقایسه



(ب)



(الف)

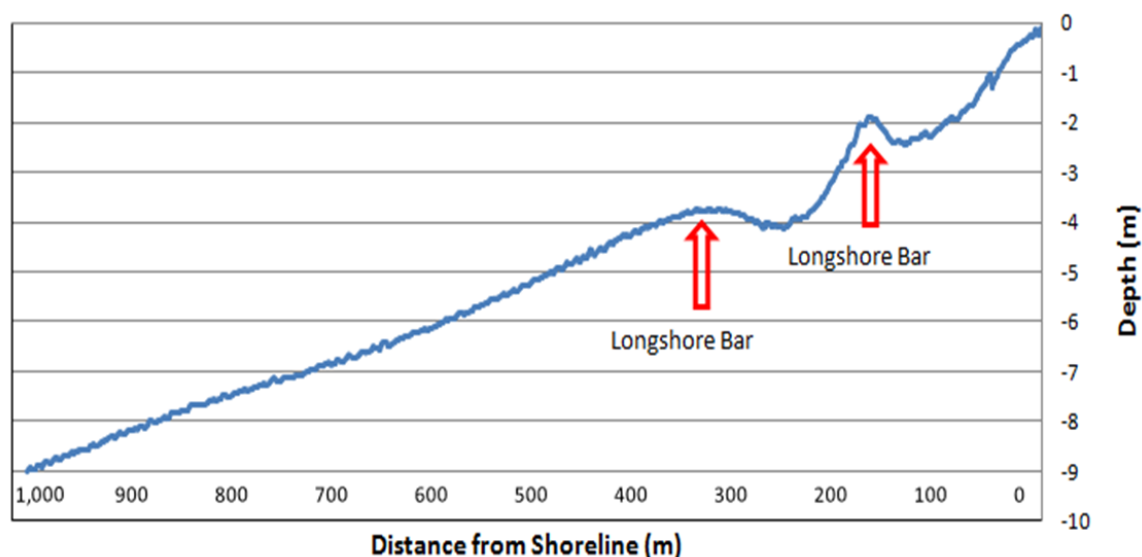
شکل ۴- گلموج سالانه آب عمیق در الف) ایستگاه محمودآباد برای عمق ۷۵ متری و ب) در ایستگاه کهنه سرا برای عمق ۱۸۸ متری

جدول ۴- مشخصه محاسبه شده امواج و پارامترهای تعیین کننده حالت ساحل در ایستگاه محمودآباد و کهنه سرا

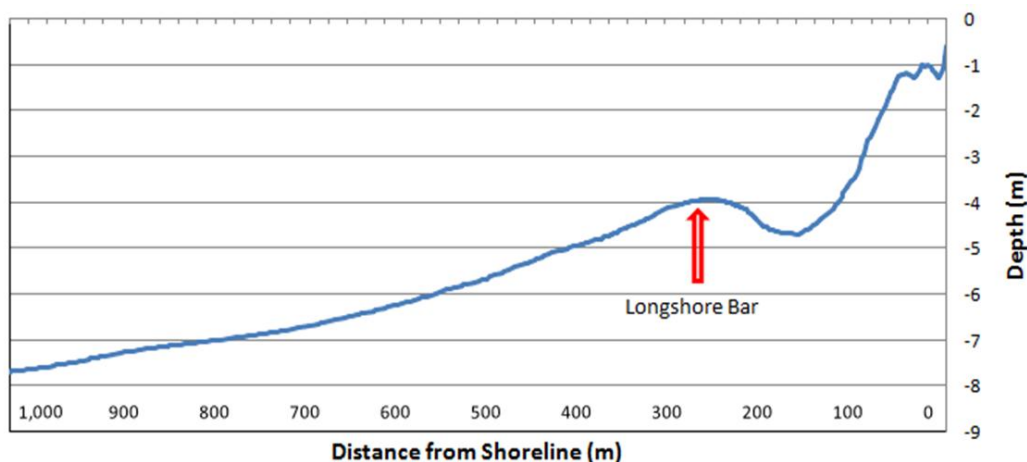
ایستگاه محمود آباد	ایستگاه	سالانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
میانگین ارتفاع موج آب عمیق (m)	محمودآباد	۰/۴۰	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۴۳
	کهنه سرا	۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۴۳
میانگین پرپود موج آب عمیق (S)	محمودآباد	۲/۰۴	۱/۹۸	۲/۱۰	۲/۰۳	۲/۰۳
	کهنه سرا	۲/۱۰	۲/۰۵	۲/۱۶	۲/۰۹	۲/۰۹
ارتفاع شکست موج (m)	محمودآباد	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۵
	کهنه سرا	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۳۷
پارامتر Ω	محمودآباد	۴/۳۵	۴/۱۶	۴/۲۹	۴/۳۱	۴/۴۲
	کهنه سرا	۵/۱	۴/۶۶	۴/۷۹	۵/۳۳	۵/۳۸
پارامتر k^*	محمودآباد	۱۰/۱۵	۹/۲۸	۹/۸۵	۹/۹۸	۱۰/۵۱
	کهنه سرا	۱۱/۲۷	۹/۴۵	۹/۹۷	۱۲/۴۰	۱۲/۶۰

RBB را تأیید می‌نماید. بررسی فصلی نیمرخ بستر حاکی از عدم تغییر شکل آن در فصل‌های مختلف سال بوده است. به طور نمونه، مقایسه نیمرخ بستر منطقه کهنه سرا برای فصل‌های بهار و تابستان که به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ آورده شده است گویای حضور دائمی پشته‌ی ماسه‌ای مغروق در بستر منطقه و در عمقی مشخص است که تغییرات فصلی را تجربه ننموده است. این مسئله برای سایر ایستگاه‌ها نیز به دست آمده است. به علاوه، تغییرات محدود قدرت فصلی امواج سبب عدم تغییر فصلی حالت ساحل منطقه مورد مطالعه شده است.

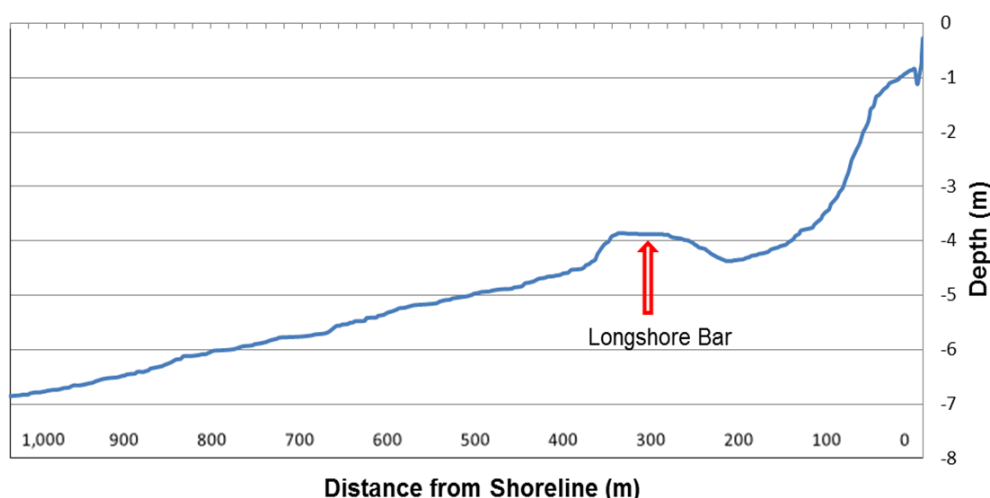
از مشخصه‌های اصلی این نوع سواحل، وجود عوارض توپوگرافیکی و پشته‌ی رسوبی در بستر منطقه خیزاب ساحلی است [۱]. برخی نتایج بررسی فصلی نیمرخ بستر محمودآباد و کهنه سرا در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. شکل ۵ وجود ۲ عارضه به شکل پشته ماسه‌ای مغروق در عمق‌های ۳ و ۵ متری را در بستر محمودآباد نشان می‌دهد که نشان دهنده‌ی قرارگیری ساحل در یکی از دو حالت میانه‌ی LBT یا RBB است. وجود عوارض بستری در منطقه خیزاب ساحلی ایستگاه کهنه سرا (شکل ۶) که به شکل پشته‌ی ماسه‌ای مغروق در عمق ۵ متری وجود دارد نیز میانه بودن حالت ساحل و قرارگیری در یکی از دو حالت میانه‌ی LBT یا



شکل ۵- نمودار نیمرخ بستر در ایستگاه محمودآباد برای فصل تابستان



شکل ۶- نمودار نیمرخ بستر در ایستگاه کهنه‌سرا برای فصل بهار



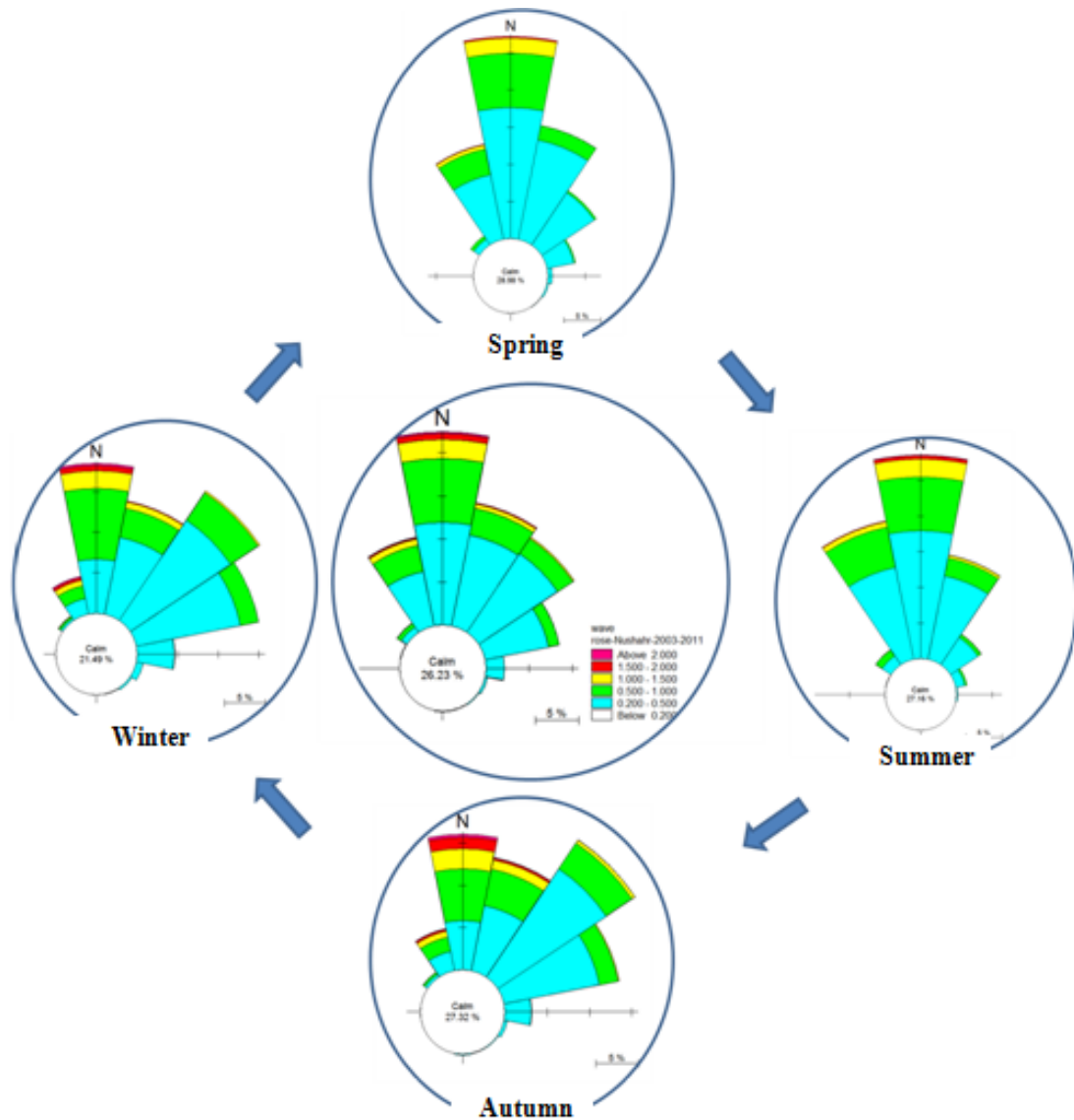
شکل ۷- نمودار نیمرخ بستر در ایستگاه کهنه‌سرا برای فصل تابستان

وجود رسوبات درشت‌دانه و شیب‌دار بودن بستر مهمترین عوامل در رسیدن حالت سواحل غربی مازندران به شرایط بازتابان است. گلموج سالانه و فصلی نوشهر در شکل ۸ نشان داده شده است و گلموج سالانه نشتارود در شکل ۹ آورده شده است. موج غالب ایستگاه‌های غربی همواره از جهت شمال به خط ساحل نزدیک می‌شود. با توجه به شکل ۸، در فصل‌های پاییز و زمستان نوشهر علاوه بر اینکه نسبت به سایر فصل‌های فراوانی امواج نیمه‌ی شمال شرقی افزایش را تجربه کرده است، همچنین قدرت امواج در راستای موج شمالی با فراوانی اندک تا ارتفاع بیش از ۲ متر افزایش داشته است. در مقایسه شکل‌های ۸ و ۹ می‌توان دید که به طور کلی گلموج ایستگاه نشتارود بسیار مشابه نوشهر است، به استثناء کاهش فراوانی امواج در راستای شمال غربی-شمال و افزایش فراوانی موج شمال غربی-غرب.

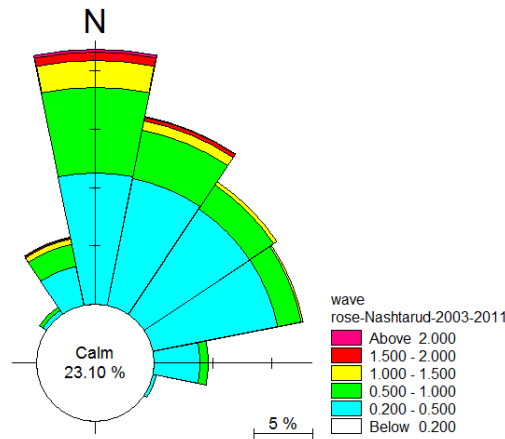
۳-۳- ایستگاه‌های غربی: ایستگاه نوشهر که در سمت شرق بندر نوشهر قرار دارد، در موقعیت خود دارای رسوبات ماسه‌ای بسیار درشت‌دانه است [۱۲] و علت آن، آورد رسوبات درشت دانه‌ی رودخانه‌های غرب مازندران است. برای ایستگاه نشتارود وجود رسوبات ماسه‌ای بسیار درشت‌دانه [۱۲] به علت دخالت انسانی است که ساحل را بسیار دستخورد کرده است. با توجه به مقادیر ارایه شده در جدول ۵، نوشهر در مرز بین حالت میانه و بازتابان است. اما با توجه به نبود تغییرات کرانه راستای توپوگرافیکی در بستر منطقه‌ی خیزاب ساحلی، که از نشانه‌های ساحل بازتابان است [۱۴]، و به علت شیب بالای بستر منطقه می‌توان گفت که ساحل نوشهر در حالت بازتابان قرار دارد. در ایستگاه نشتارود حالت بازتابان به عنوان حالت غالب فصلی و سالانه این ایستگاه است.

جدول ۵- مشخصه محاسبه شده امواج و پارامترهای تعیین کننده حالت ساحل در ایستگاه نوشهر و نشتارود

ایستگاه نوشهر	ایستگاه	سالانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
میانگین ارتفاع موج آب عمیق (m)	نوشهر	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۴۲
	نشتارود	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۴۴	۰/۴۵
میانگین پیروی موج آب عمیق (S)	نوشهر	۲/۱۵	۲/۰۹	۲/۲۵	۲/۱۳	۲/۱۳
	نشتارود	۲/۱۴	۲/۰۵	۲/۲۵	۲/۱۵	۲/۱۰
ارتفاع شکست موج (m)	نوشهر	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۳۷
	نشتارود	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۳۹
پارامتر Ω	نوشهر	۱/۳۷	۱/۲۳	۱/۲۶	۱/۴۶	۱/۴۷
	نشتارود	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۰	۱/۰۵	۱/۰۷
پارامتر k^*	نوشهر	۲/۶۰	۲/۱۱	۲/۲۱	۲/۹۷	۳/۰۰
	نشتارود	۱/۵۱	۱/۲۷	۱/۲۵	۱/۶۸	۱/۷۸



شکل ۸- گلموج سالانه و فصلی آب عمیق در ایستگاه نوشهر برای عمق ۸۹ متری



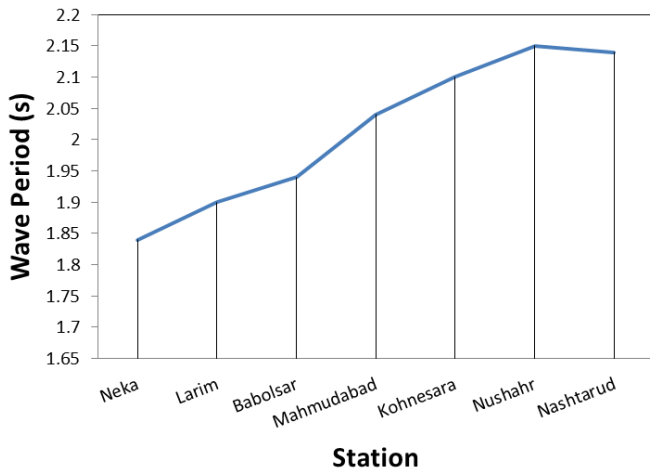
شکل ۹- گلموج سالانه و فصلی آب عمیق در ایستگاه نشتارود برای عمق ۵۷ متری

۴- بحث و نتیجه‌گیری

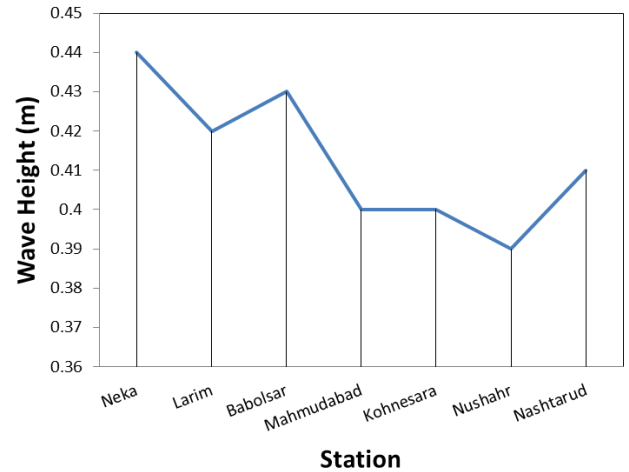
با مقایسه گلموج ایستگاه‌ها چنین بدست آمد که با پیشروی از شرق به غرب استان مازندران با وجودی که جهت موج غالب با تغییر اندکی از شمال غربی-شمال به شمال تغییر یافته است اما بر قدرت امواج این راستا افزوده شده است. با این وجود افزایش فراوانی امواج کم‌ارتفاع (ارتفاع کمتر از ۰/۵ متر) سبب شده که به طور متوسط هیدرودینامیک موج از شرق به غرب مازندران کاهش یابد (شکل ۱۰-الف). همچنین از شرق به غرب مازندران افزایش فراوانی امواج نیمه‌ی شمال شرقی با کاهش فراوانی امواج نیمه‌ی شمال غربی همراه است. مقایسه گلموج‌های فصلی ایستگاه‌ها، نشان داد که قدرت امواج با فراوانی اندکی در فصل‌های پاییز و زمستان بیشتر می‌شود.

در حالی که از سمت ایستگاه‌های شرقی به غربی، میانگین ارتفاع موج و لذا انرژی امواج کاهش یافته است (شکل ۱۰-الف)، پیوند موج افزایش داشته است (شکل ۱۰-ب). همچنین رسوبات سواحل شرقی به سمت سواحل غربی استان مازندران از ماسه‌ای ریزدانه به ماسه‌ای بسیار درشت‌دانه تغییر کرده است. مجموع این عوامل سبب شده است که Ω و k^* با پیشروی از شرق به سمت غرب استان مازندران به ترتیب افزایش و کاهش را تجربه نماید. نقشه‌ی پهنه‌بندی منطقه بر اساس هر یک از مدل‌های ذکر شده به ترتیب در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ آورده شده است. لذا در سواحل شرقی که بیشترین میزان انرژی امواج، کمترین قطر رسوبات و پیوند موج در این مناطق وجود دارد، عارضه‌ای شبیه به کانال‌های در بستر آنها

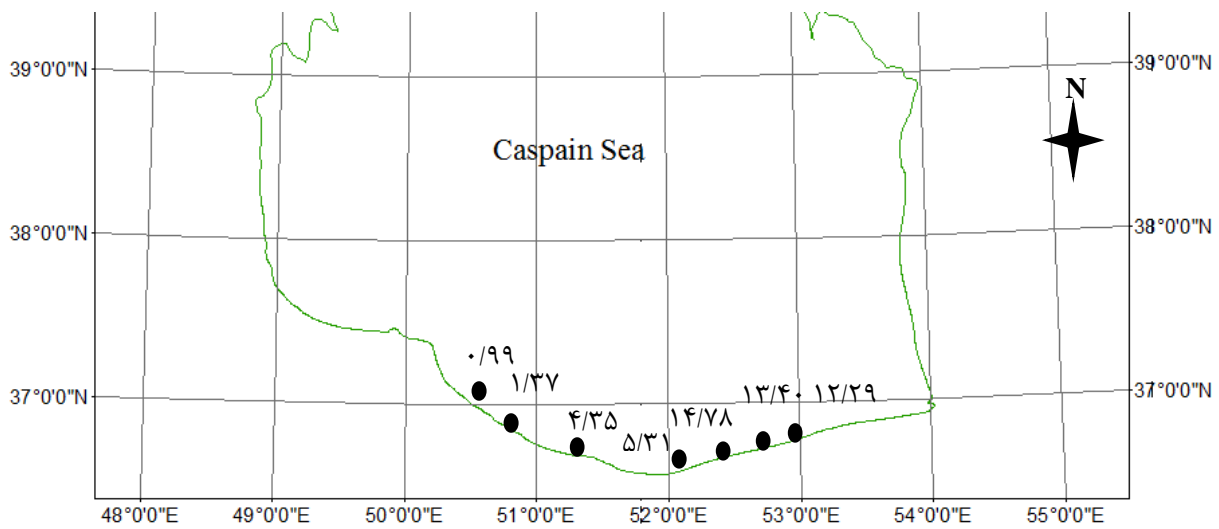
شکل نگرفته و ساحل در حالت پراکنا به سر می‌برند. سواحل غربی که کمترین انرژی امواج، بیشترین پیوند موج و قطر رسوبات را دارند، در حالت بارتابان قرار دارند. برای سواحل مرکزی محمودآباد و کهنه‌سرا که رسوباتی ریز تا متوسط دانه دارند و انرژی امواج میانه است، وجود عواض توپوگرافیکی در بستر منطقه‌ی خیزاب ساحلی سبب شده است که ساحل حالت میانه داشته باشد. با توجه به بررسی نیمرخ فصلی بستر، این عوارض در سواحل مرکزی استان مازندران تقریباً در طول سال دایمی هستند. چنین ارتباطی بین ویژگی‌های مورفودینامیک ساحل و حالت ساحل همخوان با تقسیم‌بندی کلی سواحل [۱۰] به دست آمده است. بررسی و مقایسه فصلی قدرت امواج (از طریق مقایسه گلموج‌های فصلی در هر ایستگاه) نشان داد که قدرت امواج از فصلی به فصل دیگر تغییرات چشمگیری نداشته است. همچنین برداشت فصلی ویژگی‌های نیمرخ بستر، نوع رسوبات و بررسی محل و نوع عوارض بستری در هر ایستگاه نشان داد که بستر سواحل استان مازندران در طول سال شکل تقریباً ثابتی دارد (مانند بررسی فصلی ایستگاه کهنه‌سرا که در شکل‌های ۶ و ۷ آورده شده است). مجموع عوامل به همراه بررسی فصلی مدل‌های Ω و k^* محاسبه شده در هر منطقه نیز نشان داد که به طور کلی سواحل استان مازندران در طول سال حالت خود را حفظ می‌نمایند.



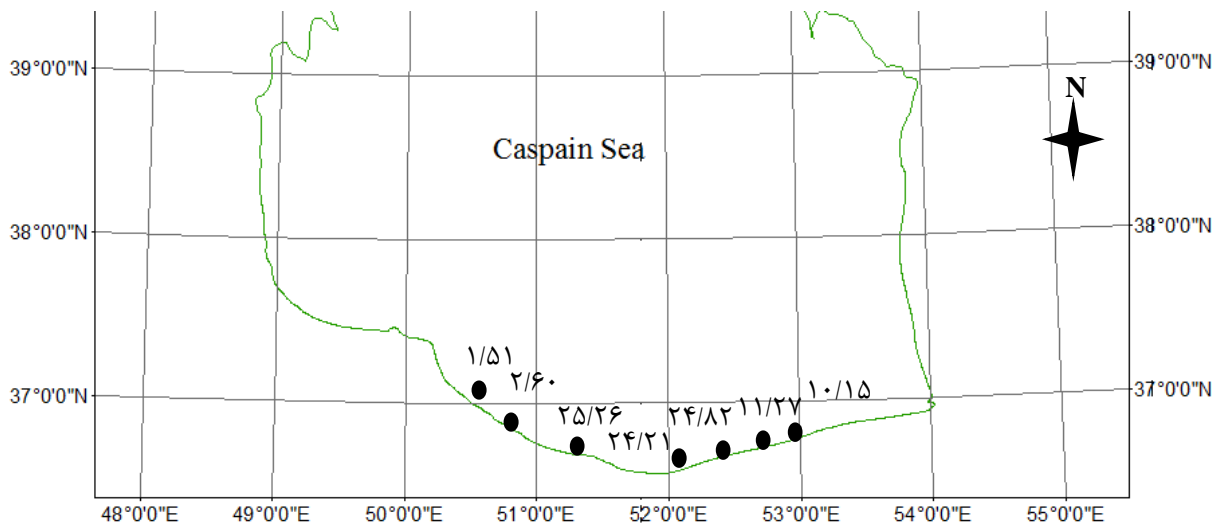
شکل ۱۰-ب- مقدار متوسط پریود موج در هر ایستگاه



شکل ۱۰-الف- مقدار متوسط ارتفاع موج در هر ایستگاه



شکل ۱۱- پهنه‌بندی ساحل بر اساس مدل Ω در سواحل استان مازندران



شکل ۱۲- پهنه‌بندی ساحل بر اساس مدل k^* در سواحل استان مازندران

راهنمایی نمودند کمال قدردانی را بنمایند. همچنین مولف از پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی و سازمان بنادر و

۵- تشکر و قدردانی

مولفین بر خود لازم می‌دانند که از جناب آقای پروفسور شرت که با راهنمایی‌های ارزشمند خود، نویسنده را در نگارش این مقاله

5-Safavi, B., (2009), Death Current in Caspian's Waves, JamJam newspaper, No.2628, date 1388/5/17, p. 12. (In Persian).

6-Fowler, R.E. and Dalrymple, R.A., (1990), *WAVE GROUP FORCED NEARSHORE CIRCULATION*, Proc. 22nd International Conference of Coastal Engineering, Delft, The Netherlands, ASCE, Vol. 1.

7-Mazaheri, S., Hajivalie, F., and Kamranzad, B., (2013), *Preparing the Wave Atlas of the Persian gulf, the Gulf of Oman and the Caspian Sea*, Report, Iranian National Institute for oceanography and Atmospheric Science press, Ocean Engineering and Technology Research center, Tehran, IR Iran, Publication No. 392-105-01. (In Persian).

8-Van Rijn, L.C., (1993), *Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas*, Aqua Publications, Amsterdam, The Netherlands, 690 p.

9-Chegini, V., (1998), *Water Wave Theories, Ocean Engineering Series*, Jahad Water & Watershed Management Research Company (JWRC), Vol. 1, p. 301. (In Persian).

10-Short, A.D., (1999), *Hand book of beach and shore face morphodynamics*, university of Sydney. 368 p.

11-Hansen, J.A., (1987), *The dynamics of benthic microtidal communities at Davies Reef*, Central Great Barrier Reef, Coral Reefs, Vol. 6, p. 63-70.

12-Wentworth, C.K., (1922), *A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediment*, The Journal of Geology, Vol. 33, p. 377-392.

13-Sonu, C.J., (1972), *Field observation of nearshore circulation and meandering currents*, Journal of Geophys Research, Vol. 77, p. 3232-3247.

14-Nelko, V., (2012), *The Prediction of Rip Currents*, Ph.D thesis, Johns Hopkins University, Maryland. 161 p.

دریابوردی که برخی اطلاعات مورد نیاز در تحریر این مقاله را در اختیار آنها قرار دادند، کمال تشکر را دارند.

کلید واژگان

- 1-Reflective
- 2-Dissipative
- 3-Intermediate
- 4-Longshore Bar-Trough (LBT)
- 5-Rhythmic Bar and Beach (RBB)
- 6-Transverse Bar and Rip (TBR)
- 7-Low-Tide Trace (LTT)
- 8- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
- 9-Specific gravity
- 10-Kinematic viscosity coefficient
- 11-Refraction
- 12-Shoaling
- 13-Dimensionless fall velocity
- 14-Beach stability (transport direction)

۶- منابع

1-Valipour, A., (2007), *Study and investigation of the various reactions of Mazandaran province shoreline against wind wave*, Master's thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, IR Iran. (In Persian).

2-Sunamura, T.T.I., (1984), *Landard migration of inner bars*, Marine Geology Journal, Vol. 60, p. 63-78.

3-Wright, L.D. and short, A.D., (1984), *morphodynamic variability of surf zones and beaches*, Marine Geology Journal, Vol. 56, p. 93-118

4-Merrick, C., (1999), *RIP CURRENT DYNAMICS AND NEARSHORE CIRCULATION*, Ph.D thesis of Civil Engineering of the University of Delaware.