

*

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته فیزیک دریا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی
- ۲- استادیار پژوهشی، مرکز ملی اقیانوس‌شناسی، تهران
- ۳- استادیار گروه فیزیک دریا، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی

در این تحقیق با استفاده از روش هسن و شرت، واکنشهای مختلف خط ساحلی استان مازندران در مقابل امواج ناشی از باد و تعیین حالت‌های ساحل بررسی شد. نخست، نوع نیروهای هیدرودینامیکی حاکم بر سواحل استان بررسی و این سواحل به عنوان سواحل موج چیره شناسایی شد، سپس هشت ایستگاه در سراسر خط ساحلی انتخاب شد و با توجه به نتایج کارهای میدانی، آزمایشگاهی و محاسباتی، ویژگیهای امواج و رسوبات مربوط به اعماق مختلف در این ایستگاهها مورد ارزیابی قرار گرفت. به این طریق شاخص سرعت ته‌نشینی بی‌بعد در هر ایستگاه محاسبه شد و حالت ساحل و تغییرات آن با زمان مطالعه گردید. سرانجام، اطلاعات به‌دست آمده در محیط نرم‌افزار Arc GIS پیاده‌سازی شد و دینامیک امواج و نحوه فرسایش و رسوبگذاری در منطقه بررسی گردید. در نتایج اصلی این تحقیق آشکار شد که حالت ساحل در بخش شرقی و مرکزی استان مازندران (ایستگاههای نکا، فرح‌آباد، لاریم، نفت چال، دانشگاه مازندران، بابلسر، نور) به صورت پراکنست، به طوری که در سواحل پراکنا از سمت شرق به غرب به طور ناپیوسته از درجه پراکنایی ساحل کاسته می‌شود. به علاوه ساحل در بخش غربی این استان (ایستگاه نشتارود) در حالت میانه است.

: امواج، سواحل موج چیره، سرعت ته‌نشینی بی‌بعد، ساحل پراکنا، ساحل میانه، مازندران.

برای استفاده بهینه از سواحل در راستای نیل به اهداف مختلف اقتصادی، زیست محیطی و غیره حایز اهمیت است. به طوری که نحوه تأثیر این عوامل هیدرودینامیکی بر ساحل همواره بخشی از دغدغه‌های ذهنی محققان مختلف خصوصاً اقیانوس‌شناسان و مهندسان ساحل بوده است. این بررسیها در خارج از کشور، از دو دهه پیشین آغاز و تاکنون پیگیری شده است. از جمله تحقیقات انجام شده در این زمینه، تحقیقاتی

سواحل در اکثر نقاط جهان به صورت نهشتهای رسوبی ناشی از امواج و جریانها در فصل مشترک میان آب و هوا و خشکی ایجاد می‌شوند و نقشی دفاعی در قبال اراضی پشت ساحل ایفا می‌کنند [۱].

شناخت تمام شاخصهای مؤثر در تغییرات ساحل بویژه بررسی فرایندهای هیدرودینامیکی حاکم بر هر منطقه ساحلی

* نویسنده مسؤل مقاله: تلفن: ۰۱۲۳۲۲۴۵۱۵۰، Email: a.valipour@yahoo.com

می‌شوند که روابط $1 \leq \Omega \leq 6$ و $0.23 \leq \Omega \leq 2.0$ و $k^* \leq 2.0$ برقرار باشد. به طوری که در این سواحل امواجی مرتفع تا متوسط (0.5 تا 2.5 m) بر ساحل حاکمند و پوشش رسوبی ساحل متشکل از ماسه ریز تا متوسط است. چهار حالت گذاری در سواحل میانه عبارتند از: حالت‌های ناوه و سد رسوبی کرانه راستا^{۱۵}، دریاکنار و سد رسوبی موزون^{۱۶}، سد رسوبی مورب و جریان تند بازگشتی^{۱۷} و پشته و شیار^{۱۸}.

سواحل بازتابان سواحلی با پوشش ماسه‌ای ریز تا درشت‌دانه‌اند که در صورت حضور امواج کوتاه با دوره تناوب بلند در طیف انرژی پایتتری ایجاد می‌شوند. این نوع سواحل نسبتاً پایدارند و هنگامی ایجاد می‌شوند که روابط $\Omega < 1$ و $\Sigma > 1$ و $k^* < 1.0$ برقرار باشند [۹، ۱۰]. ساحل ایران در جنوب دریای خزر به طول حدود 800 km در غرب، توسط مرداب انزلی و در شرق توسط خلیج گرگان قطع می‌شود [۱۰]. بنابراین با توجه به شرایط ویژه و گستردگی سواحل دریای خزر به خصوص استان مازندران، به عنوان استانی که بیشترین خط ساحلی را در سواحل شمالی کشور به خود اختصاص داده است، شناخت هرچه بیشتر سواحل این استان بویژه از نظر عملکرد نیروهای هیدرودینامیکی دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای است.

تاکنون در ایران بررسیهای هیدرودینامیکی و رسوب‌شناختی سواحل جنوبی خزر به صورت غیرمستقیم و براساس بررسی گلبادهای حاصل از آمار باد سینوپتیک و مطالعات میدانی، همچنین بررسی عوارض ریخت‌شناسی رؤیت شده در ساحل، بدون در نظر گرفتن تغییرات زمانی بوده است. نتایج این تحقیقات بیانگر این واقعیت است که از تأثیر عملکرد نیروهای هیدرودینامیکی از غرب به شرق دریای خزر کاسته می‌شود.

همچنین بررسیها نشان می‌دهند سواحل استان مازندران از نظر ریخت‌شناسی به دو منطقه تقسیم می‌شوند که عبارتند

15. longshore bar-trough (BT)
16. rhythmic bar and beach (RB)
17. transverse bar and beach (TB)
18. ridge-runnel or low tide terrace (LT)

است که به‌وسیله رایت و شرت^۱ در سال ۱۹۸۵ صورت گرفت. این محققان به طبقه‌بندی سواحل مختلف جهان با توجه به شرایط هیدرودینامیکی^۲ حاکم بر ساحل و سرعت ته‌نشینی^۳ (w_s) ذرات رسوبی در هر بخش ساحل پرداختند و سواحل را در سه حالت اصلی دسته‌بندی کردند که شامل حالت‌های پراکنا^۴، بازتابان^۵ و میانه^۶ می‌باشد [۲، ۳]. سواحل پراکنا بیانگر بیشترین انرژی در ساحلند که به طور دوره‌ای در معرض امواج بلند قرار می‌گیرند. از مشخصات بارز این سواحل، منطقه خیزاب ساحلی^۷ گسترده با شیب اندک است [۴، ۵]. انرژی امواج در این نوع سواحل به وسیله یک موج شکنای آشفته^۸ در ساحل پراکنده می‌شود، امواج فرودی بتدریج به سمت ساحل انرژی خود را از دست می‌دهند و در غالب جریانهای برگشتی بستر^۹ و امواج ایستاده فروگرانشی بر منطقه خیزاب ساحلی حاکم می‌شوند [۶]. این سواحل اغلب هنگامی ایجاد می‌شوند که روابط $\Omega > 6$ و $\Sigma < 2.3$ و $k^* > 2.0$ برقرار باشند، این شاخصها در جدول ۳ معرفی شده‌اند. در حالی که سواحل میانه سواحلی‌اند که در حد واسط بین سواحل پراکنا با انرژی بالا و سواحل بازتابان با انرژی پایتتر قرار دارند. تغییرات مکانی امواج در این سواحل بیشتر و شیب منطقه نزدیک ساحل تندتر است، در نتیجه امواج تابشی هنگامی که تیزی نسبتاً کمی دارند، تمایل به شکستن در قالب امواج شکنای چرخان^{۱۳} یا آشفته دارند. از ویژگیهای برجسته سواحل میانه، دارا بودن منطقه ساحلی افقی تکه تکه با سدهای رسوبی و جریانهای تند بازگشتی^{۱۴} است [۷، ۸]. این سواحل اغلب هنگامی ایجاد

1. Wright & Short
2. hydrodynamic condition
3. fall velocity
4. dissipative (D)
5. reflective (R)
6. intermediate
7. surf zone
8. spiling breaker wave
9. beach stability
10. dimensionless
11. surf similarity index
12. beach stability
13. plunging waves
14. rip currents

از: ناحیه‌ای نسبتاً پرشیب با شیب ملایم در بخش خشک ساحلی با وجود عوارض ریخت‌شناسی از قبیل سدهای رسوبی و مردابهای حاشیه‌ای و تپه‌های ماسه‌ای بادرفتی همراه با رژیم رسوبی ماسه‌ای ریزدانه تا متوسط (منطقه وسیع مازندران مرکزی و شرقی) و ناحیه‌ای دارای نوار پرشیب و باریک ساحلی همراه با بستر عمیق و پرشیب دریایی با وجود عوارض ریخت‌شناسی شایعی مانند پرتگاه‌ها و سدهای زیرآبی و رودخانه‌های فصلی با رژیم رسوبی درشت‌دانه (منطقه ساحلی غرب مازندران) [۱۰، ۱۱].

در حالی که در این تحقیق با کمک ارزیابی ویژگیهای امواج ناشی از باد و مشخصات رسوب و به‌طور کلی مطالعه خصوصیات عمومی ساحل، واکنش سواحل این استان در مقابل امواج ناشی از باد و ارزیابی تغییرات حالت ساحل با زمان بررسی شد. همچنین قابلیت فرسایش سواحل این استان در مقابل امواج ناشی از باد ارزیابی گردید و ضمن ارائه توصیه‌های لازم برای استفاده در مباحثی نظیر مدیریت خطوط ساحلی و مهندسی ساحل سعی شد راه برای انجام تحقیقات مربوط به انتقال رسوب هموارتر گردد.

گسترده‌ی حوزه تغییرات هر یک از شاخصهای هیدرودینامیکی و رسوب شناختی موجب استفاده از میانگین مقدار این شاخصها در تعیین حالت میانگین ساحل شده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که ارتفاع شکست موج در هر ایستگاه تابع ارتفاع میانگین موج سالیانه و شیب عمومی ساحل است. ارتفاع میانگین موج سالیانه نیز در هر ایستگاه به کمک تحلیل و بررسی گلموجهای حاصل از نتایج مدل ذکر شده در هر ایستگاه محاسبه می‌شود. میانگین دوره تناوب امواج در هر ایستگاه نیز با کمک محاسبه دوره تناوب قطع تراز صفر ($T_{0.2}$) که به‌وسیله مدل در غالب یک تجزیه حدی به صورت زیر ارائه شده است، قابل محاسبه است:

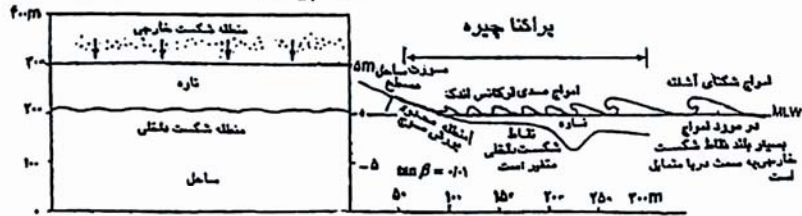
$$T_{0.2} = 3/17 H_s^{1/5} \quad (1)$$

که شاخص H_s در این رابطه ارتفاع موج شاخص محسوب می‌شود [۱۲].

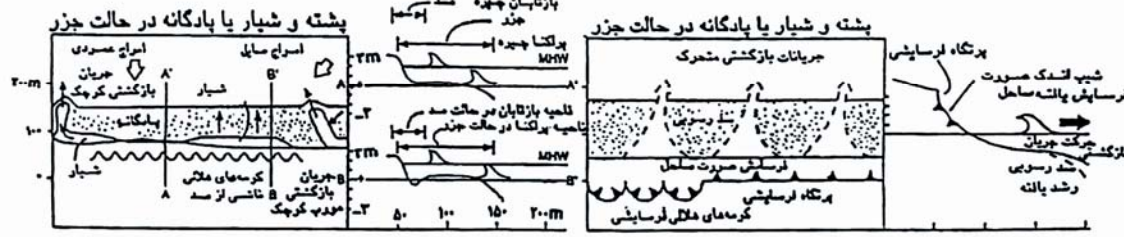
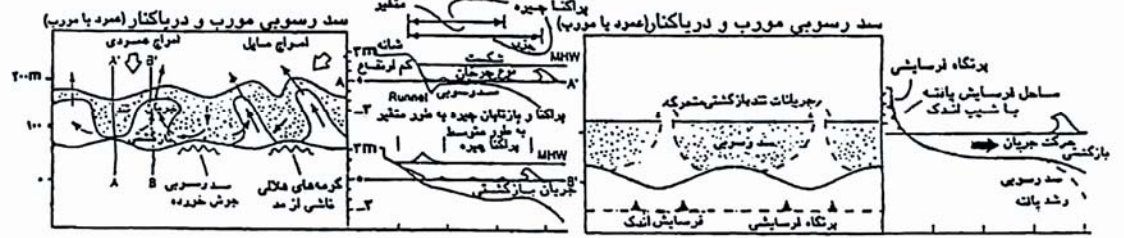
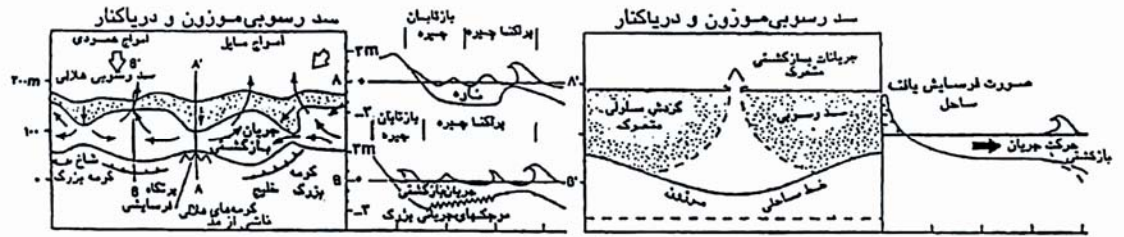
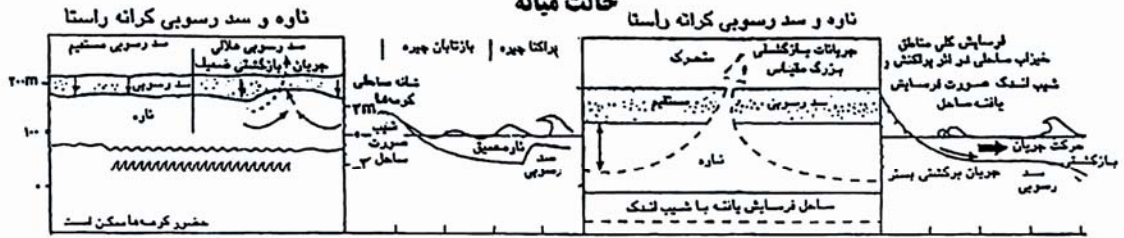
طبق طبقه‌بندی هنسن^۱ و برقراری رابطه $RTR = TR/H_b < 3$ در بخشهای مختلف سواحل استان مازندران، سواحل این استان جزء سواحل موج چیره محسوب می‌شوند که در این رابطه TR محدوده کشندی و H_b ارتفاع موج شکناست (شکل ۱). بنابراین به کمک طبقه‌بندی شرت و همکاران در غالب سواحل موج چیره از طریق محاسبه شاخص سرعت ته‌نشینی بی‌بعد ($\Omega = H_b/W_s T$) و سایر فرمولهای مشابه، حالت ساحل تعیین گردید، سپس نیمرخ ساحل در هر ایستگاه متناسب با شرایط هیدرودینامیکی و عوارض ریخت‌شناسی

1. Hanson (1988)

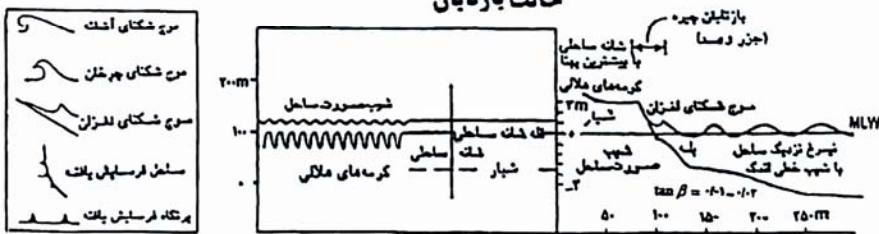
حالت پراکنا



حالت میانه

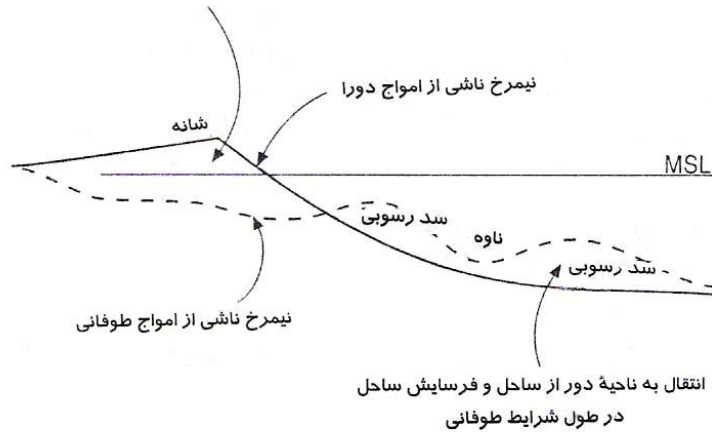


حالت بازتابان

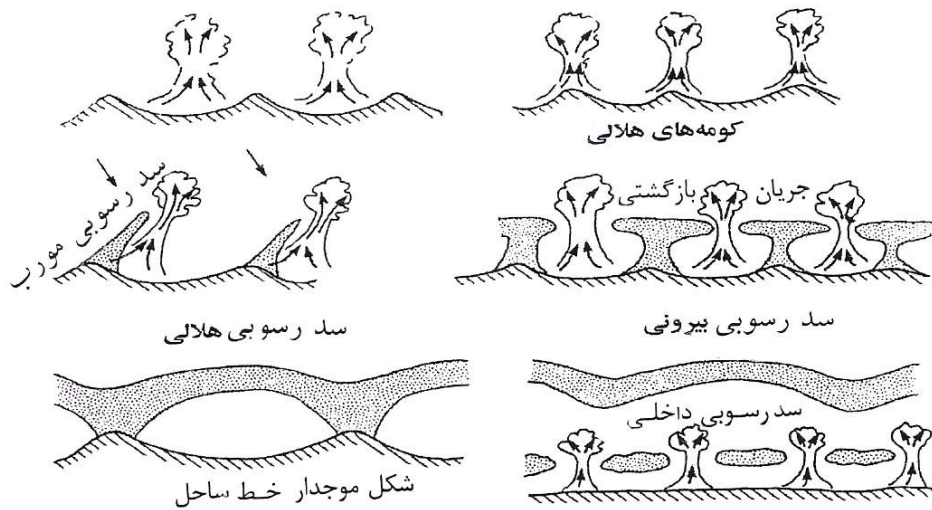


حالات مختلف ساحل در سواحل موج چیره [۱۵]

انتقال به ناحیه بر ساحلی و نهشت رسوبات در ساحل
در طول شرایط حاکم بودن امواج دورای کم ارتفاع



نیمرخ ساحل در شرایط هیدرو دینامیکی مختلف (فرسایش و نهشت) [۱۵]



چگونگی تغییرات ساحل از نظر ریخت‌شناسی و جریانهای حاکم بر ساحل در سواحل با حالت میانه [۷]

کاهش ژرفا و انکسار در حالت تراز مستقیم و موازی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$H = H_0 \left(\frac{C_0}{\gamma n c} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\cos \theta_0}{\cos \theta} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

برای آب کم عمق این رابطه به طور تقریبی عبارت است از:

$$H = H_0 \left(\frac{C_0}{\gamma \sqrt{g d}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\cos \theta_0}{1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

اگر فرض شود که زاویه شکست موج کوچک باشد، با استفاده از رابطه ۵ می‌توان نوشت:

$$K d_b = H_0 \left[\frac{C_0}{\gamma \sqrt{g d_b}} (\cos \theta_0) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$d_b = \frac{1}{g^{\frac{1}{2}} k^{\frac{1}{2}}} \left(\frac{H_0^2 C_0 \cos \theta_0}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

که در رابطه بالا g شتاب گرانشی، H_0 ارتفاع میانگین موج آب عمیق، $C_0 = \frac{g T}{2\pi}$ سرعت موج آب عمیق و θ_0 زاویه انتشار امواج غالب است [۱۳].

مقدار d_b به دست آمده از رابطه فوق در رابطه ۵ جایگذاری می‌شود، سپس H_b حاصل شده با مقدار عددی H_{bh} فرضی مقایسه می‌گردد. برای تعیین ارتفاع شکست میانگین در هر ایستگاه ضروری است این عملیات به صورت متوالی تکرار شود تا رابطه $H_b \approx H_{bh}$ برقرار شود. بنابراین به واسطه اجرای چنین روش سعی و خطایی، شاخص ارتفاع موج شکننا در هر ایستگاه محاسبه می‌شود. برای تعیین میزان بالاروی و نوع شکست امواج در هر ایستگاه، مقدار شاخصهای η_s و η_b نیز در

برای تعیین شیب عمومی ساحل در این تحقیق، نخست نقشه‌های هیدروگرافی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ با کمک نرم‌افزار R_2V رقومی سازی شد و بعد از ایجاد توپوگرافی برای نقشه در منطقه مورد مطالعه، با کمک نرم‌افزار Arc Info سیستم مختصات از سیستم لامبرت به سیستم جغرافیایی تغییر یافت، پس از محاسبه فاصله خط هم عمق مورد نظر تا خط ساحل در محیط نرم‌افزار Arc view، شیب عمومی ساحل در هر ایستگاه تعیین شد. سپس دست‌یابی به این دو شاخص، میانگین ارتفاع شکست امواج در طول سال با استفاده از روابط مربوط به شکست امواج در آب کم عمق و روابط ارائه شده به وسیله وگل^۱ محاسبه شد. رابطه وگل، وابستگی ارتفاع موج شکننا به شیب ساحل را به وسیله روابط زیر به اثبات می‌رساند:

$$k = b(m) - a(m) \frac{H_{bh}}{g T^2} \quad (2)$$

$$a(m) = 43/8 (1/0 - e^{-19m}) \quad (3)$$

$$b(m) = 1/56 (1/0 + e^{-19/5m})^{-1} \quad (4)$$

که در آنها m شاخص شیب عمومی ساحل و k شاخص شکست موج است. هنگامی که شیب ساحل به سمت صفر میل می‌کند، k به مقدار $0/78$ نزدیک می‌شود. شاخصهای $a(m)$ و $b(m)$ نیز، شاخصهای بی‌بعد و H_{bh} در این رابطه ارتفاع فرضی موج شکنناست. امواج وقتی می‌شکنند که ارتفاع آنها مساوی کسری از عمق آب شود به عبارت دیگر، هنگامی که رابطه زیر برقرار باشد:

$$H_b = K d_b \quad (5)$$

به طوری که d_b عمق موج شکننا محسوب می‌شود. عمق شکست امواج در صورت معلوم بودن خصوصیات موج دور از ساحل، به صورت تقریبی با استفاده از فرمولهای

2. Irbaren number

1. Weggel (1972)

جدول ۱ محاسبه و ثبت شده است.

همچنین به منظور بررسی روند تغییرات حالت ساحل با زمان به بررسی چگونگی تغییرات شاخصهای مؤثر در تعیین حالت ساحل با زمان به کمک روشهای مشابه پرداخته شد. به این ترتیب پس از دستیابی به شاخصهای مؤثر در تعیین حالت ساحل و بررسی تغییرات این شاخصها با زمان، حالت حاکم بر ساحل و تغییرات آن در هر ایستگاه تعیین گردید. با توجه به حالت میانگین حاکم بر هر منطقه ساحلی در طول سال در مورد نحوه فرسایش و رسوبگذاری در نیمرخ ساحل و شرایط هیدرودینامیکی و مورفودینامیکی حاکم بر ساحل اظهار می‌شود. لازم به ذکر است که نتایج این مطالعه با عکسهای هوایی مربوط به دو دوره زمانی مختلف (با اختلاف زمانی سی سال) مقایسه شد، اما به دلیل گستردگی خط ساحلی در منطقه مورد مطالعه، تصویر مربوط به موزائیک عکسهای هوایی برای ارائه در این تحقیق از وضوح کاملی برخوردار نیست و تنها در نرم‌افزار خاص خود قابل بررسی است. در مرحله نهایی تمام اطلاعات مربوط به حالت‌های مختلف ساحل در هر ایستگاه پس از انجام محاسبات به کمک نرم‌افزار (Arc GIS) روی نقشه پیاده‌سازی و اجرا شد (شکل ۴).

اطلاعات هیدرودینامیکی و رسوب‌شناختی حاصل از محاسبات و اندازه‌گیریهای آزمایشگاهی نشان می‌دهد که سواحل این استان به دو حالت ساحلی قابل تفکیک است (جدولهای ۱ و ۲).

با توجه به جدول ۳ و شکل ۴ از هشت ایستگاه منتخب در سواحل این استان در ایستگاههای نکا (۸)، فرح‌آباد (۷)، لاریم (۶)، نفت‌چال (۵)، دانشگاه مازندران (۴)، بابلسر (۳) و نور (۲) حالت ساحل به طور میانگین در طول سال پراکناست و در ایستگاه نشتارود (۱) حالت ساحل به صورت میانه (پشته و شیار) است.

مطابق جدول ۳ در هفت ایستگاه ساحلی که حالت ساحل در آنها پراکناست، بیشترین پراکنایی در ایستگاههای نفت‌چال و بابلسر و کمترین پراکنایی در ایستگاه نور و

برای تعیین حالت ساحل در هر ایستگاه، شناخت و ارزیابی ویژگیهای رسوبی هر منطقه ساحلی نیز ضروری است. سرعت ته‌نشینی بی‌بعد ذرات رسوبی (W_s) طبق فرمولهای زیر متناسب با مقدار عددی شاخص شناوری (B) محاسبه می‌شود:

$$B = \left[\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) g \frac{d_{50}^3}{\nu^2} \right] \quad (10)$$

$$W_s = \left[\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) g \right] \frac{d_{50}^2}{18\nu} \quad B < 39 \quad (11)$$

$$W_s = \left(\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) g \right)^{1/7} \frac{d_{50}^{11}}{6\nu^{1/4}} \quad 39 < B < 10^4 \quad (12)$$

$$W_s = \left(\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) g \frac{d_{50}}{0.199} \right)^{1/5} \quad 10^4 < B \quad (13)$$

که در آنها γ_s وزن مخصوص دانه، γ وزن مخصوص سیال، g شتاب جاذبه گرانشی، d_{50} قطر ۵۰٪ رسوبات و ν لزجت سینماتیکی سیال می‌باشد [۱۴].

در این تحقیق طی یک عملیات آزمایشگاهی و با استفاده از تحلیل نرم‌افزاری و ترسیم نمودارهای دانه‌بندی، برای نمونه‌های رسوبی اعماق ۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰m، شاخصهای وزن مخصوص ذرات رسوبی (γ_s) و قطر ۵۰٪ رسوبات (d_{50}) در هر کدام از این اعماق تعیین شد، سپس از اطلاعات مربوط به اعماق مختلف میانگین گرفته شد. به این ترتیب متناسب با وضعیت رسوب شناختی حاکم بر هر ایستگاه میانگین سرعت ته‌نشینی بی‌بعد ذرات رسوبی و مقیاس سایر عوارض مورفودینامیکی (x_{bar} و Z_{step} و B_h و B^*) در هر منطقه تعیین شد (جدول ۲).

۱. پهنای باند شکست یا فاصله قله سد رسوبی از خط ساحل (در صورت وجود یک سد رسوبی)
۲. ارتفاع پله
۳. ارتفاع شانه (berm height)
۴. مقدار شاخص B^* بیانگر تعداد سدهای رسوبی است.

چشمگیر امواج بر ساحل است. نوع شکست امواج به طور غالب در این ایستگاه از نوع امواج شکنای آشفته می باشد، اما با ورود ساحل به حالت بازتابان احتمال وقوع شکست لغزان افزایش می یابد، در حالی که الگوی گردش جریان و شکل نیمرخ ساحل در این منطقه تفاوت های آشکاری با سواحل بخش شرقی و مرکزی دارد. مقادیر ϵ_b در جدول ۱ نشان می دهد که نوع شکست امواج در تمام ایستگاههای پراکنا از نوع امواج شکنای آشفته است [۱۵].

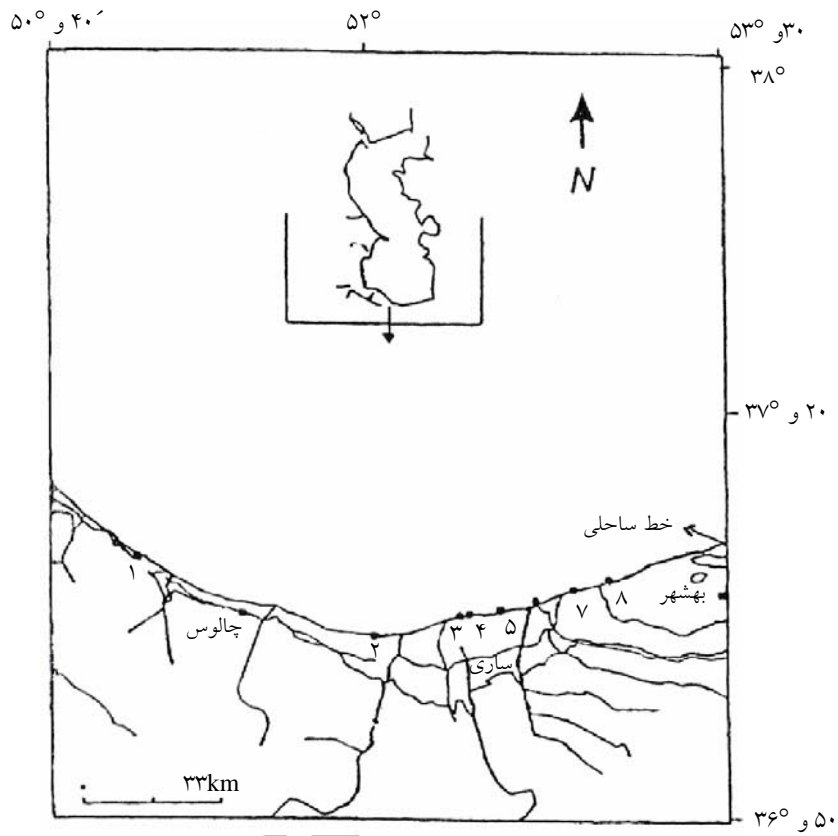
فرح آباد مشاهده می شود. براساس اطلاعات هیدرودینامیکی ثبت شده در جدول ۱، در تمام سواحل پراکنا به طور میانگین ارتفاع امواج در طول سال بین $0.7-0.8m$ متغیر است، بنابراین متناسب با درجه پراکنایی حالت ساحل انرژی امواج به طور عمده در این ایستگاهها پراکنده می شود. ایستگاه نشتارود نیز از شرایط هیدرودینامیکی مطلوبی برخوردار است، همچنین شیب عمومی نسبتاً زیاد و حضور ساحل در حالت میانه در اکثر اوقات سال در این منطقه، بیانگر تأثیر

اطلاعات مربوط به ویژگیهای هیدرودینامیکی ایستگاههای مختلف سواحل استان مازندران

η_s (m)	ϵ_b	H_b	d_b (m)	K	θ_0	$L_0 = C_0 T$	C_0 (m/s)	T(s)	H(m)
۰/۱۷۳	۰/۰۱۸	۰/۵۹۱	۰/۷۵۳	۰/۷۸۴	۳۳۰	۱۱/۳۰۸	۴/۲۰۴	۲/۶۹	۰/۷۲۲
۰/۱۷۲	۰/۰۲۳	۰/۵۸۵	۰/۷۴۵	۰/۷۸۵	۳۳۰	۱۱/۲۱	۴/۱۸	۲/۶۸	۰/۷۱
۰/۱۷۴	۰/۰۲۵	۰/۵۹۳	۰/۷۵۴	۰/۷۸۶	۳۳۰	۱۱/۳۵۹	۴/۲۱	۲/۶۹	۰/۷۲۴
۰/۱۷۳	۰/۰۲۶	۰/۵۸۹	۰/۷۴۹	۰/۷۸۶	۳۳۰	۱۱/۲۹	۴/۱۹۸	۲/۶۹	۰/۷۲
۰/۱۷۷	۰/۰۲۴	۰/۶۰۲	۰/۷۶۶	۰/۷۸۵	۳۳۰	۱۱/۵۳	۴/۲۴	۲/۷۱	۰/۷۳
۰/۱۸۰	۰/۰۲۱	۰/۶۱۳	۰/۷۸۰	۰/۷۸۵	۳۳۰	۱۱/۷۴۵	۴/۲۸۱	۲/۷۴	۰/۷۴۹
۰/۲۲	۰/۰۴۲	۰/۷۷۲	۰/۹۷۸	۰/۷۸۸	۰	۱۳/۹۴	۴/۶۶	۲/۹۸	۰/۸۸
۰/۲۱۴	۰/۰۲۹	۰/۷۳۲	۰/۹۴۲	۰/۷۷	۰	۱۳/۳۳	۴/۵۶	۲/۹۱	۰/۸۴

اطلاعات مربوط به ویژگیهای رسوب شناختی و مورفودینامیکی ایستگاههای مختلف سواحل استان مازندران

B_h (m)	Z_{step} (m)	x_{bar} (m)	W_s (m/s)	B	γ_s ($\frac{gr}{cm^3}$)	D (ϕ)	d
۰/۴۴۴	۰/۰۹۳	۱۱۰/۳۲	۰/۰۱۸۲	۴۷/۴۲۶	۲/۶۷	۲/۶۶	۰/۱۵۸
۰/۴۴۳	۰/۰۹۳۹	۸۸/۳۱	۰/۰۱۸۶	۴۹/۸۵	۲/۶۹	۲/۶۴	۰/۱۱۶
۰/۴۵۵	۰/۰۹۰	۸۰/۳۶۱	۰/۰۱۶۹	۳۸/۳۹	۲/۷۱۳	۲/۷۷	۰/۱۴۶
۰/۴۴۳	۰/۰۷۸	۷۷/۱۵۹	۰/۰۱۳	۲۵/۸۳	۲/۷۱۳	۲/۹۶	۰/۱۲۸
۰/۴۵۲	۰/۰۹۱	۸۲/۹۰	۰/۰۱۷۱	۳۸/۳۹	۲/۷۲	۲/۷۶	۰/۱۴۷
۰/۴۶۱	۰/۰۸۸	۹۰/۱۱۳	۰/۰۱۵۴	۳۳/۱۲۹	۲/۷۵	۲/۸۵	۰/۱۳۸
۰/۵۶۷	۰/۱۳۹	۶۰/۸۳	۰/۰۲۸	۱۴۹/۸۵	۲/۷۱	۲/۱۰	۰/۲۳
۰/۵۳۹	۰/۳۴	۸۱/۲۵	۰/۱۸۷	۸۸۵۴۵/۶	۲/۷۱	-۰/۹۵	۱/۹۳



موقعیت ایستگاههای شماره ۱ تا ۸ بعد از پیاده‌سازی اطلاعات در نرم‌افزار Arc GIS

شاخصهای مختلف مربوط به تعیین حالت ساحل در ایستگاههای مختلف سواحل استان مازندران

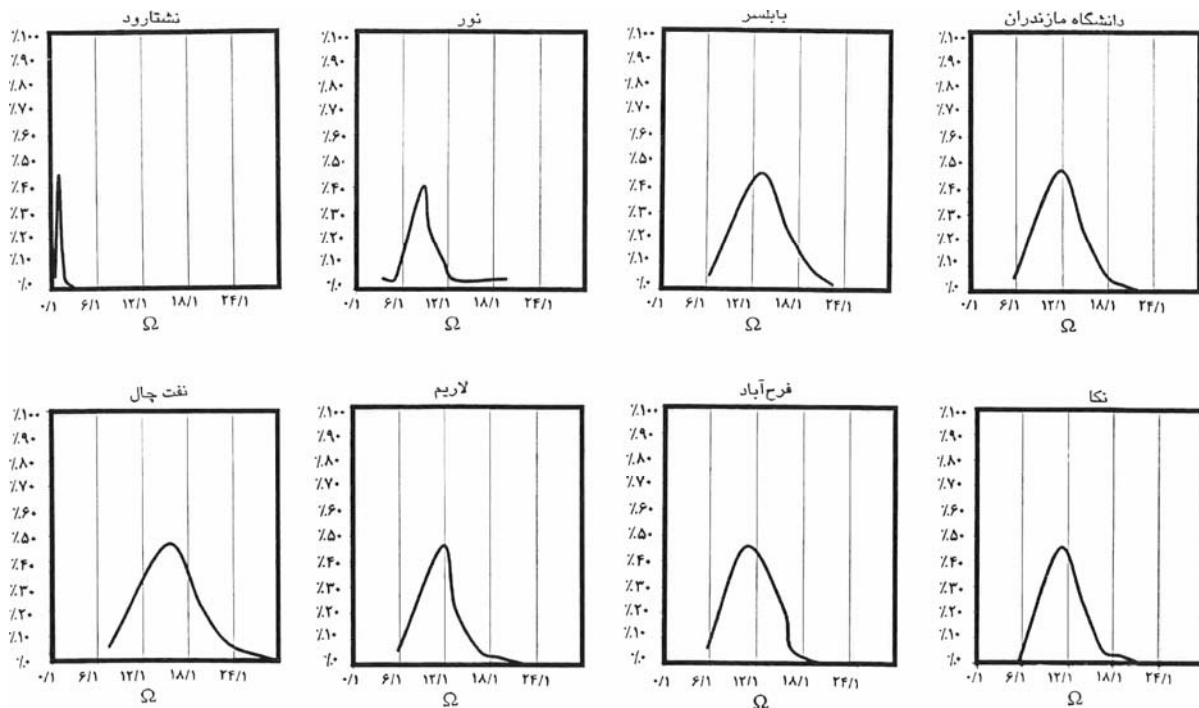
$\Sigma = \frac{\tan\beta}{\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.5}}$	$k^* = \frac{H_b^2}{gT^2d_0}$	$\Omega = \frac{H_b}{w_s T}$		
۰/۰۲۹	۳/۳۲۷	۱/۳۱		
۰/۰۳۹	۲۹/۷۷	۹/۱۹		
۰/۰۲۱	۳۷	۱۴/۵۱۱		
۰/۰۲۲	۳۴/۲۵	۱۲/۹۴		
۰/۰۲۳	۳۸/۲۱	۱۶/۸۴		
۰/۰۲۲	۳۳/۹۶	۱۳		
۰/۰۲۰	۳۰/۵۵	۱۱/۷۳		
۰/۰۱۶	۵۲/۷۶	۱۲/۰۵۳		

در این شرایط، در اثر شکست امواج در منطقه نزدیک ساحل جریانهای تند بازگشتی با شدتهای متفاوتی متناسب با مقدار شاخص Ω و شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر هر ایستگاه تشکیل می‌شوند. به دلیل برخورداری دو ایستگاه نور و بابلسر از شرایط هیدرودینامیکی نسبتاً قویتر نسبت به سایر ایستگاهها و با توجه به ارتباط متقابل ارتفاع امواج و سرعت جریانهای بازگشتی، این جریانها در این دو ایستگاه نسبت به سایر ایستگاههای پراکنا از سرعت بیشتری برخوردارند. پرتگاههای فرسایشی از عوارض موجود در این هفت ایستگاه با حالت پراکنا می‌باشند. به طوری که مرتفع‌ترین پرتگاههای فرسایشی در ایستگاه نکا ایجاد می‌شوند. این امر به علت کاهش شیب عمومی و بخش خشک ساحل و سایر شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر این ایستگاه ساحلی می‌باشد. سدهای رسوبی از عوارض دیگر موجود در این سواحل محسوب می‌شوند. به طوری که تعداد این عوارض در منطقه خیزاب ساحلی در هر ایستگاه متناسب با شاخص B^* متغیر است. همچنین فاصله قله اولین سد رسوبی از ساحل (\bar{X}) در هر ایستگاه متفاوت است، به طوری که طبق اطلاعات ثبت شده در جدول ۲ مقدار شاخص \bar{X} نیز به طور میانگین در طول سال در ایستگاه نکا بیشتر از سایر ایستگاههاست. به دلیل گستردگی محاسبات انجام شده، ارائه نتایج محاسبات مربوط به محاسبه تعداد سدهای رسوبی متناسب با مدهای مختلف دوره تناوب موج لبه‌ای در این مبحث نمی‌گنجد.

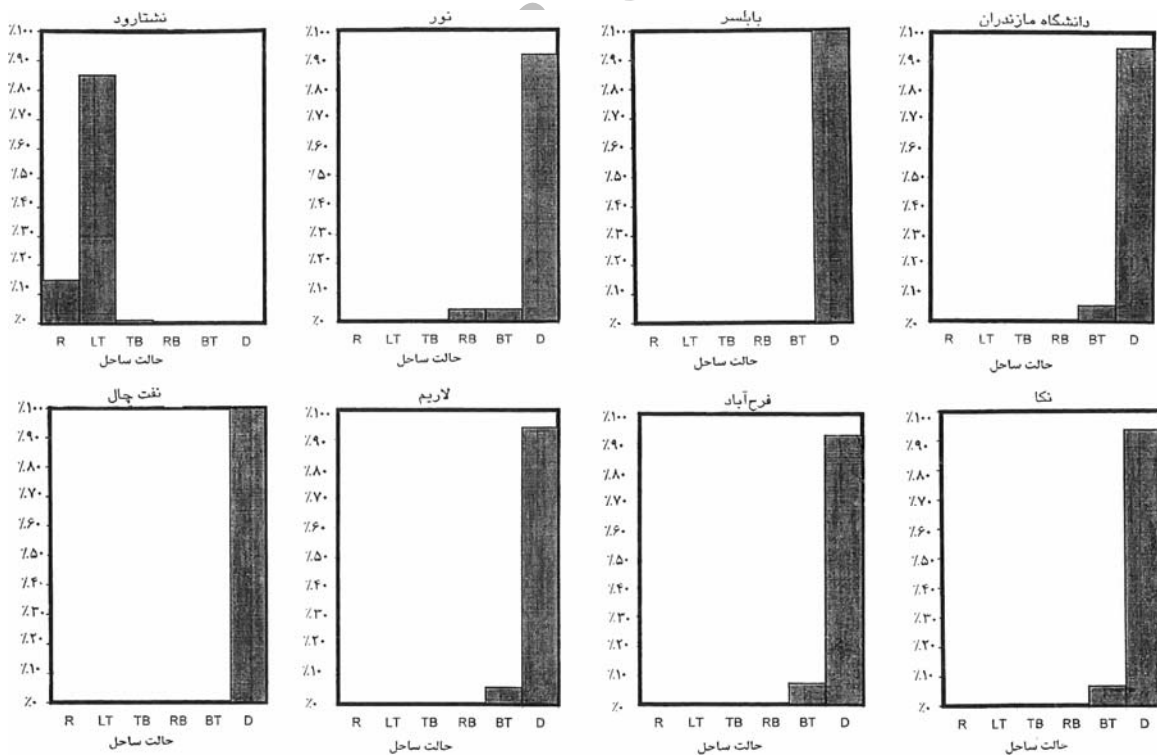
مطابق اطلاعات جدول ۲، عوارض مرفودینامیکی معمول در ایستگاههای با حالت پراکنا تقریباً یکسان است و متناسب با درجه پراکنایی ساحل در هر ایستگاه از مقیاس متفاوتی برخوردار می‌باشد. برای مثال سواحل بخش شرقی استان مازندران، شانه‌های کم ارتفاع تر و منطقه خیزاب ساحلی گسترده‌تر و کم‌شیب‌تری نسبت به سایر بخشهای ساحلی دارند.

مقادیر مربوط به شاخص Ω در جدول ۳ نشان می‌دهد که در هر منطقه ساحلی وجود رودخانه‌های محلی در کوتاه‌مدت و ساخت سازه‌های دریایی (آب‌شکنها و جتیه‌ها) در درازمدت، از طریق تأثیر در دانه‌بندی و رژیم هیدرودینامیکی منطقه در تغییر حالت ساحل مؤثر است. به طوری که در ایستگاه فرح‌آباد وجود موج‌شکنهای منطقه و نحوه دانه‌بندی رسوبات رودخانه‌های محلی، موجب کاهش شاخص Ω و رسوبگذاری ساحل در پشت این سازه‌ها در درازمدت شده است. مطالعه عکسهای هوایی مربوط به دو دوره زمانی مختلف نیز با نتایج این بررسی مطابقت می‌نماید.

بررسی تغییرات زمانی حالت ساحل در سواحل استان مازندران نشان می‌دهد در ایستگاههای با حالت پراکنا تغییرات زمانی حالت ساحل بسیار اندک است، به طوری که با بررسی شکل ۶ آشکار می‌شود که ساحل در همه این ایستگاهها در بیش از ۹۰٪ از مواقع سال در حالت پراکنا باقی می‌ماند. در میان این هفت ایستگاه ساحلی، ایستگاههای نفت‌چال و بابلسر طی سال در حالت پراکنا باقی می‌مانند. اطلاعات مربوط به تغییرات شاخص Ω متناسب با درصد وقوع سالانه در شکل ۵ نیز بیانگر تمایل منحنی تغییرات به سمت راست می‌باشد. بنابراین فرسایش در این دو ایستگاه نسبتاً شدیدتر از سایر ایستگاههاست و رسوبات جابجا شده از بخشهای مختلف نیمرخ ساحل در این دو ایستگاه نسبت به سایر بخشها به کندی جایگزین می‌شود. تغییرات مکانی حالت ساحل نیز از طریق بررسی میزان تغییر حالت ساحل در ایستگاههای بخش شرقی و مرکزی که با فواصل اندک انتخاب شدند، نشان می‌دهد که این تغییرات بسیار جزئی است (شکل ۶).



تغییرات شاخص Ω متناسب با درصد وقوع سالیانه در هشت ایستگاه تعیین شده در سواحل استان مازندران



تغییرات حالت ساحل متناسب با درصد وقوع سالیانه در هشت ایستگاه تعیین شده در سواحل استان مازندران

نحوه انتقال رسوب در نیمرخ ساحل در طول سال، متناسب با تغییر حالت ساحل متفاوت است، به طوری که شناخت حالت ساحل متناسب با تغییر ویژگیهای امواج، خود عامل مؤثری در پیش‌بینی نحوه انتقال رسوب در بخشهای مختلف ساحلی این استان می‌باشد.

روند تغییرات حالت ساحل با زمان نشان می‌دهد که در سواحل استان مازندران یک چرخه فرسایشی یا نهشتی به طور کامل به وقوع نمی‌پیوندد، زیرا میزان تغییر شرایط هیدرودینامیکی برای پیمایش چنین چرخه‌هایی کافی نیست. همچنین تغییر حالت ساحل در سواحل این استان به ترتیب درجه اهمیت، تابعی از دانه‌بندی رسوبات منطقه خیزاب ساحلی، شرایط هیدرودینامیکی متوسط حاکم بر ساحل و شیب بخشهای مختلف به خصوص شیب عمومی ساحل است.

حالت ساحل و نحوه تغییرات نیمرخ ساحل با زمان از یکسو به ویژگیهای هیدرودینامیکی و از سوی دیگر به خصوصیات رسوب شناختی و شیب عمومی بستر دریا در هر منطقه وابسته است.

شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر ایستگاههای مختلف مورد بررسی در این تحقیق از طریق بررسی گلموجهای حاصل از نتایج مدل SW بیانگر این مطلب می‌باشد که در سواحل غربی شرایط هیدرودینامیکی قویتری نسبت به سواحل مرکزی و شرقی بر ساحل حاکم است و روند تغییر شرایط هیدرودینامیکی از غرب به شرق ناپیوسته است. این مطلب از طریق مقایسه مقادیر مختلف شاخصهای مربوط به ویژگیهای هیدرودینامیکی در جدول ۱، به خصوص از طریق بررسی ارتفاع امواج در ایستگاههای مختلف به وضوح قابل رؤیت است. در حالی که نتایج مطالعات پیشین نشان می‌دهد که عملکرد نیروهای هیدرودینامیکی در سواحل جنوبی دریای خزر از غرب به شرق کاهش می‌یابد [۱۱]. در واقع در این

تحقیق ناپیوستگی رؤیت شده در عملکرد نیروهای هیدرودینامیکی با انتخاب ایستگاههایی با فواصل اندک نمایان شده است، به طوری که وجود سازه‌های ساحلی در سواحل بخش شرقی روند تغییر شرایط هیدرودینامیکی و رسوب‌شناختی منطقه را با تغییرات جزئی مواجه کرده است.

همچنین مطابق مطالعات پیشین، آبهای خزر جنوبی از نظر رژیم موج به دو ناحیه غربی و شرقی تقسیم می‌شوند. در بخش غربی در طول سال امواج شمالی غالبند و در بخش شرقی امواج از جهت شمال غربی بیشترین فراوانی را دارند [۱۰]. بررسی مقادیر شاخص θ_0 در جدول ۱ نیز در این مورد نتایج مشابهی را ارائه می‌کند. عوارض ریخت‌شناسی شناسایی شده در سواحل این استان متناسب با حالت حاکم بر هر ایستگاه متفاوت است، به طوری که نتایج مربوط به عوارض ریخت‌شناسی در این تحقیق با نتایج مطالعات صحرایی مرتبط در منطقه سازگار است [۱۱]، اما در این مطالعه مقیاس این عوارض نیز با توجه به ویژگیهای هیدرودینامیکی حاکم بر منطقه در طول سال محاسبه شد و تعداد و تغییرات آنها با زمان قابل پیش‌بینی است. مقیاس برخی از این عوارض در جدول ۲ ثبت شده است.

برحسب طبقه‌بندی انجام شده در سواحل استان مازندران در مقابل اثر امواج آشکار شده است که حالت ساحل به طور میانگین در طول سال در بخشهای شرقی و مرکزی استان به صورت پراکنا و در بخش غربی به حالت میانه (پشته و شیار) می‌باشد.

در این تحقیق، روند بررسی تغییرات شرایط هیدرودینامیکی و نحوه انتقال رسوب، از طریق بررسی روند تغییر الگوی فرسایش و رسوبگذاری در نیمرخ ساحل در ایستگاههای مختلف امکان‌پذیر شد. روند تغییر حالت ساحل با گذشت زمان در تمام سواحل پراکنا به این صورت است که با آغاز فصل سرد سال، به دلیل افزایش ارتفاع امواج و افزایش قدرت جریانهای بازگشتی فرسایشی، سدهای رسوبی داخلی بیشترین فاصله را از خط ساحل می‌گیرند و از ساحل به واسطه

در این ایستگاه در طول سال معادل 0.8m است. اما با افزایش ارتفاع امواج، نیمرخ ساحل در اثر فرسایش ناشی از امواج مرتفع بتدریج دچار تغییر شکل می‌گردد. روند این تغییر شکل به صورتی است که موجب افزایش شدت جریانهای تند بازگشتی می‌شود. به طوری که در فصول سرد سال بر اثر پایین‌روی قوی ناشی از هجوم امواج مرتفع به ساحل، کانالهای جریان بازگشتی بتدریج لایروبی می‌شوند. در این حالت هنوز برخی از قسمتهای سد رسوبی به ساحل متصلند. در این وضعیت ساحل وارد حالت دریاکتار و سد رسوبی مورب می‌گردد. به دلیل هجوم این امواج به وجه ساحل، ارتفاع پرتگاههای فرسایشی افزایش می‌یابد و شکل خط ساحل در این شرایط از حالت مستقیم خارج می‌شود و به شکل موجدار درمی‌آید (شکل ۱). طبق اطلاعات به دست آمده از این تحقیق، ساحل در 96% از سال در این ایستگاه در این وضعیت باقی می‌ماند. فرآیندهای هیدرودینامیکی و عوارض ریخت‌شناسی ساحل در این حالت در شکل ۳ مشخص شده است.

با آغاز فصل گرم بتدریج از ارتفاع امواج کاسته می‌شود و ساحل بتدریج پس از بازگشت به حالت پشته و شیار وارد حالت بازتابان می‌شود، در این حالت میانگین ارتفاع پله در این ایستگاه معادل 0.3m است. البته ساحل در این ایستگاه هرگز به حالت بازتابان کامل نمی‌رسد و معمولاً نوع شکست امواج به طور غالب در این ایستگاه از نوع امواج شکنای آشفته می‌باشد. اما با ورود ساحل به حالت بازتابان احتمال وقوع شکست لغزان^۱ افزایش می‌یابد. به این ترتیب ساحل در فصول گرم سال روند نهشتی را دنبال می‌کند و شاخص Ω در این فصول حتی به 0.53 هم می‌رسد (شکل‌های ۵ و ۶).

به طور کلی مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات مرتبط انجام شده در سواحل دریای خزر نشان می‌دهد که این تحقیق تکمیل‌کننده نتایج سایر مطالعات می‌باشد به طوری که در این تحقیق مشخص می‌شود الگوی فرسایش و رسوبگذاری در هر ایستگاه به حالت ساحل و تغییرات حالت ساحل با زمان

یک ناوه گسترده با عمق متوسط جدا می‌شوند. به این ترتیب با افزایش ارتفاع امواج در این هفت ایستگاه، ساحل روندی فرسایشی را در پیش می‌گیرد. بررسی شکل ساحل در حالت پراکنا در شکل ۱ وضعیت ساحل را در این مرحله به وضوح نمایان می‌سازد. همچنین خطوط تیره در شکل ۲ نیمرخ ساحل را در چنین شرایطی به صورت نیمرخ فرسایشی نشان می‌دهد.

در این شرایط، مقدار شاخص Ω افزایش می‌یابد. با توجه به شرایط هیدرودینامیکی متفاوت در این هفت ایستگاه، تنها ایستگاه نفت چال به پراکنایی کامل می‌رسد (شکل‌های ۵ و ۶). به طور مجدد با کاهش ارتفاع امواج در آغاز فصل گرم، سواحل پراکنا روند نهشتی به خود می‌گیرند. این سواحل بتدریج وارد حالت ناوه و سد رسوبی کرانه راستا می‌گردند.

در این تحقیق بررسی نمودارهای مربوط به تغییرات حالت ساحل با زمان نشان می‌دهد که تغییرات زمانی ساحل در این وضعیت بسیار اندک است. همچنین بررسی تغییرات مکانی حالت ساحل از طریق بررسی وضعیت ایستگاههایی با فواصل اندک نشان می‌دهد که این تغییرات بسیار جزئی است و این امر نیز با ویژگیهای سواحل پراکنا سازگار است.

در ایستگاه نشتارود تغییرات زمانی حالت ساحل برخلاف سواحل شرقی و مرکزی گسترده‌تر است و نیمرخ ساحل در این ایستگاه ناپایدارتر از سایر ایستگاههاست که این امر نیز با ویژگیهای سواحل میانه سازگار است. این مطلب در نمودار مربوط به این ایستگاه در شکل ۶ به وضوح قابل رؤیت است. بنابراین نتیجه بررسی تغییرات حالت ساحل در سواحل استان مازندران، کاملاً با مطالعات انجام گرفته به وسیله شرت و رایب منطبق است. نحوه وقوع فرآیندهای فرسایشی و نهشتی در سواحل غربی به این صورت است که در نیمرخ ساحل و در منطقه نزدیک ساحل، عوارضی به شکل پشته‌های رسوبی (پادگانه) و شیار ایجاد می‌شوند. همچنین به علت ماندن ساحل در این وضعیت به طور میانگین در طول سال، کانالهای جریان بازگشتی بسیار باریک و سرعت این جریانها بسیار ضعیف می‌باشد. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که میانگین ارتفاع امواج

1. surging breaker

لاهیجانی که برخی اطلاعات مربوط به دانه‌بندی رسوبات برداشت شده از مناطق مورد مطالعه را در اختیار قرار دادند و کارشناسان محترم مرکز تحقیقات منابع آب دریای خزر میسر شده است که به این وسیله از آنها تقدیر و تشکر می‌شود. همچنین از اساتید محترم آقایان دکتر شرت و دکتر رایت به خاطر راهنمایی‌های مفید و ارزنده‌شان در ارائه تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

بستگی دارد. بنابراین با تشخیص حالت ساحل در هر موقعیت زمانی خاص می‌توان به قابلیت فرسایش ساحل و نحوه انتقال رسوب در نیمرخ ساحل در هر منطقه پی برد.

امکان انجام این تحقیق با مساعدتها و راهنمایی‌های مسئولان محترم مرکز ملی اقیانوس‌شناسی، بویژه آقای دکتر علیزاده

- [1] Trenhaile A. S.; Coastal Dynamic and landforms; 1997; pp. 85-116.
- [2] Finkl ch.w.; Coastal classification: systematic approaches to consider in the development of a comprehensive scheme, *Journal of coastal Research*; 2003; pp. 166-213.
- [3] Short A. D.; Wave power and beach stages, A global model. Proceedings 16th international conference on coastal Engineering (ASCE): 1978; pp. 1146-1162.
- [4] Wright L. D., Short A. D.; Morphodynamic variability of surf zones and beaches, *Marine geology*; 1984; Vol 56: pp. 93-118.
- [5] Wright L. D.; Morphodynamic of reflective and dissipative beach and inshore systems: southeastern Australia - Reply, *Marine geology*, Vol 37; 1980; pp. 373-376.
- [6] Wright L. D.; Dynamics of a high-energy dissipative surf zone, *Marine geology*; Vol 45: 1982; pp. 41-62.
- [7] Crear R.; Coastal engineering manual; 2002. pp. 49-57.
- [8] Short A. D., wright L. D., Green M.O.; Short-term

changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones, *marine geology*; 1985; Vol 62: pp. 339-364.

- [9] Dean R. G.; Coastal processes with engineering application; 2003; pp 109-112.

[۱۰] علیزاده لاهیجانی ح.; مقدمه‌ای بر ویژگی‌های دریای خزر؛ مرکز ملی اقیانوس‌شناسی؛ ۱۳۸۳؛ صص ۳۶-۴۰.

[۱۱] خوشروان ه.; پروژه ارزیابی خطر فرسایش‌پذیری و ناپایداری ساختار سواحل جنوبی دریای خزر؛ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی؛ ۱۳۸۲؛ صص ۵۵-۵۷.

[۱۲] گزارش پروژه مدل‌سازی امواج دریا‌های ایران (ISWM)؛ مرکز ملی اقیانوس‌شناسی؛ ۱۳۸۴؛ بخش ۶، صص ۹-۱ و بخش ۴، صص ۱-۱۰.

[۱۳] چگینی و.; نظریه‌های موج؛ شرکت جهاد تحقیقات خاک و آبخیزداری؛ ۱۳۷۷؛ صص ۱۰۸-۱۱۱.

- [14] Steel J. H., Turekian k. k., Thrope S. A.; Encyclopedia of ocean sciences; vol .1: 2001. pp. 245-254.

- [15] Short A. D.; Hand book of beach and shore face morphodynamics, University of sydney, 1999; pp 174-203.