

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی آب و محیط زیست

تأثیر نوسانات سطح آب دریا بر نیمرخ عرضی سواحل ماسه ای

سهیل عطایی حسن کیاده

اساتید راهنما :

دکتر مهدی عجمی

دکتر میر احمد لشته نشایی

استاد مشاور :

مهندس سید حسین یعصوبی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۴

فرم شماره ۶: صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد ختم/ آقای سهیل عطایی حسن کیاده به شماره دانشجویی ۹۲۰۹۹۹۴ رشته مهندسی عمران گرایش سازه های دریایی تحت عنوان تأثیر نوسانات سطح آب دریا بر نیمرخ عرضی سواحل ماسه ای که در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> قبول (با درجه : امتیاز)	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input type="checkbox"/> مردود
---------------------------------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر مهدی عجمی	۱- استاد راهنمای اول
	دانشیار	دکتر میر احمد لشته نشایی	۲- استاد راهنمای دوم
		مهندس سید حسین یعقوبی	۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر حسین پهلوان	۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	دانشیار	دکتر احمد احمدی	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر سید فضل الله ساغروانی	۶- استاد ممتحن دوم

رئیس دانشکده: دکتر احمد احمدی

گر یک نفست ز زندگانی گذرد

مگذار که جز به شادمانی گذارد

هشدار که سرمایه سودای جهان

عمرست چنان کش گذرانی گذرد

خیام

با عشق و احترام

تقدیم به

پدرو مادر

عزیز و دوست داشتنی ام

شکر خداوند متعال را به جای آورده که توفیق نصیب من نمود تا این پایان نامه را به پایان برسانم. در اینجا لازم می دانم از تمام عزیزانی که با مساعدت های بی دریغ خود در پیشبرد اهداف این پایان نامه مؤثر بوده اند، کمال تشکر و قدردانی را به جای آورم.

از زحمات اساتید راهنمای بنده، **جناب آقای دکتر مهدی عجمی و جناب آقای دکتر میراحمد لشته نشایی**، که راهنمایی ها و مساعدت های فکری ایشان راهگشای بسیاری از مشکلات موجود در پایان نامه بود، سپاس و قدردانی فراوان داشته و از ایزد منان برای ایشان آرزوی توفیق و سلامتی می طلبم.

همچنین از مساعدت استاد مشاور گرامی، **جناب آقای مهندس سید حسین یعصوبی**، کارشناس پژوهشی مهندسی سواحل، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر به جهت راهنمایی های بسیار سودمند و در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز در راستای تکمیل فرایند تحقیق، کمال سپاسگزاری را دارم.

درضمن از مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر - موسسه تحقیقات آب - وزارت نیرو که در پشتیبانی از این پایان نامه کمال مساعدت را داشته اند، سپاسگزاری نموده و از **جناب آقای مهندس جواد ملک**، مدیریت مرکز مطالعات و تحقیقات دریای خزر نیز صمیمانه قدردانی می شود.

جای دارد از **پروفسور Dean R. G.** یادی کنم؛ ایشان یکی از اصلی ترین ارکان در زمینه مهندسی سواحل بودند و تلاش بسیاری در جهت توسعه این علم نمودند و نظریه های مهم بسیاری در زمینه نیمرخ های ساحل و پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی ارائه نمودند. به جرات می توان ایشان را پدر علم مهندسی سواحل دانست (روحش شاد).

با تشکر و سپاس فراوان از اساتید و مهندسين گرامی

تعهد نامه

اینجانب **سپهیل عطایی حسن کیاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی عمران** - **سازه های دریایی** دانشکده **مهندسی عمران** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **تاثیر نوسانات سطح آب دریا بر نیمرخ عرضی سواحل ماسه ای** تحت راهنمایی **دکتر مهدی عجمی و دکتر میراحمد لشته نشایی** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در بازه سال های ۱۹۷۰ میلادی تا به امروز محقق هایی سعی در ارائه معادلاتی متناسب با نحوه تغییر شکل بستر دریا تحت عنوان نیمرخ تعادلی ساحل، نموده اند؛ این معادلات در تعیین پارامترهای مهم مربوط به طراحی سازه های ساحلی و بنادر همواره دارای خطاهایی بوده است، که این امر باعث تحمیل ریسک طراحی بالاتر و در نتیجه آن صرف هزینه های گزافی می شود. همچنین، نیمرخ های تعادلی با توجه به تعادل حجم رسوب فرسایش یافته و انباشته شده جهت بررسی تغییرات خطوط ساحلی، کاربرد دارد. جهت پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی، بروون تئوری خود را تحت عنوان Bruun Rule ارائه داده است. در جهت بهبود پیش بینی های Bruun Rule، رزاتی و دین انتقال رسوب ساحلی را در آن لحاظ نمودند که نتایج مطلوب تری را حاصل نمود.

در این پژوهش با استفاده از داده های موجود برخی از سواحل استان های گیلان، مازندران و گلستان، بهینه ترین و منطبق ترین معادله از بین معادلات ارائه شده نیمرخ های عرضی تعادلی ساحل جهت بهبود پارامترها و کاهش خطاهای طراحی و بهینه سازی هزینه های آن، انتخاب شد تا بتوان یک معادله شاخص را برای سواحل جنوبی دریای خزر جهت طراحی ها در آینده در نظر گرفت. همچنین، Bruun Rule و قانون اصلاح شده آن بر اساس انتقال رسوب ساحلی در جهت پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی در اثر تغییر تراز آب، برای دریای خزر مورد بررسی قرار گرفته است تا پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی و اختلاف این پیش بینی ها با داده های واقعی بدست آید و با اعمال ضریب اصلاحی در معادله رزاتی و دین که وابسته به میانگین ارتفاع امواج در ناحیه شکست و اندازه متوسط ذرات بستر است، پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی بهینه سازی شده است.

کلیدواژه: معادله نیمرخ تعادلی ساحل، نیمرخ عرضی ساحل، تغییرات خط ساحلی، تغییر تراز دریا، Bruun Rule، دریای خزر.

مقالات برگرفته از پایان نامه و چاپ شده در مراجع معتبر:

1. Ataei, S., Adjami, M., Lashteh Neshaei, M. A., & Haghhighifar, M. (2014), "Classification of equilibrium beach profile in the Caspian Sea". *The 11th International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures (ICOPMAS 2014)*, Tehran, Iran.
2. Ataei, S., Adjami, M., Lashteh Neshaei, M. A., & Haghhighifar, M. (2015), "Classification of equilibrium beach profile in the Caspian Sea". *International Geoinformatics Research and Development Journal*, Vol. 6, Issue 2, June 2015 (In cooperation with ICOPMAS).
۳. عطایی س.، عجمی م.، لشته نشایی م. ا.، یعصوبی س. ح.، (۱۳۹۴)، "تاثیر نوسانات تراز آب دریا بر تغییرات خطوط ساحلی دریای خزر"، *مجله علمی - پژوهشی مهندسی دریا* (ارسال شده - در مرحله داوری).
4. Ataei, S., Adjami, M., Lashteh Neshaei, M. A., & Ya'asubi, S. H. (2016), "A new modification on the modified Bruun Rule for landward transport in coastal zone". *Marine Geology, Elsevier Publication* (Submitted).

فهرست مطالب

ش	فهرست شکل ها	.....
ظ	فهرست جدول ها	.....
ع	فهرست علامت های اختصاری	.....

فصل اول (کلیات و تعاریف)

۲	۱-۱ مقدمه	.....
۴	۲-۱ تعاریف	.....
۵	۱-۲-۱ طبقه بندی ناحیه ساحلی	.....
۶	۲-۲-۱ جریان های ساحلی	.....
۷	۳-۲-۱ انتقال رسوب و تغییر شکل نیمرخ ساحل	.....
۷	۳-۱ تغییرات تراز آب دریا	.....
۸	۱-۳-۱ دریای خزر	.....
۱۲	۴-۱ سوالات و فرضیه های پژوهشی	.....
۱۳	۵-۱ ضرورت بررسی موضوع	.....
۱۳	۶-۱ اهداف و روش های تحقیق	.....
۱۴	۷-۱ تحقیقات گذشته	.....
۱۵	۸-۱ ساختار پایان نامه و روند بررسی و تحلیل موضوع	.....

فصل دوم (نیمرخ های تعادلی ساحل)

۱۸	۱-۲ پیشگفتار	.....
۱۹	۲-۲ پارامترهای مؤثر در تغییر شکل بستر سواحل	.....

- ۲۱ ۳-۲ معادلات نیمرخ تعادلی سواحل ماسه ای
- ۲۲ ۱-۳-۲ معادله نیمرخ تعادلی دین
- ۲۴ ۲-۳-۲ معادله نیمرخ تعادلی اصلاحی دین
- ۲۵ ۳-۳-۲ معادله نیمرخ تعادلی ولینگا
- ۲۵ ۴-۳-۲ معادله نیمرخ تعادلی کومار
- ۲۶ ۵-۳-۲ معادله نیمرخ تعادلی وانگ
- ۲۸ ۴-۲ نیمرخ سواحل جنوبی دریای خزر
- ۲۹ ۱-۴-۲ نیمرخ ساحلی انزلی
- ۳۰ ۲-۴-۲ نیمرخ ساحلی دستک
- ۳۰ ۳-۴-۲ نیمرخ ساحلی نمک آبرود
- ۳۱ ۴-۴-۲ نیمرخ ساحلی محمودآباد
- ۳۱ ۵-۴-۲ نیمرخ ساحلی لاریم
- ۳۲ ۶-۴-۲ نیمرخ ساحلی میانکاله
- ۳۲ ۵-۲ مقایسه معادلات نیمرخ تعادلی ساحل با نیمرخ سواحل دریای خزر
- ۳۵ ۱-۵-۲ تحلیل نیمرخ تعادلی دین
- ۳۷ ۲-۵-۲ تحلیل نیمرخ تعادلی اصلاحی دین
- ۳۹ ۳-۵-۲ تحلیل نیمرخ تعادلی ولینگا
- ۴۰ ۴-۵-۲ تحلیل نیمرخ تعادلی کومار
- ۴۲ ۵-۵-۲ تحلیل نیمرخ تعادلی وانگ
- ۴۴ ۶-۲ جمع بندی

فصل سوم (نوسانات تراز آب دریا و تغییرات خطوط ساحلی)

- ۳-۱ پیشگفتار ۴۸
- ۳-۲ تغییر تراز سطح آب دریا ۴۹
- ۳-۲-۱ مطالعات تغییر تراز در سواحل امریکا ۵۰
- ۳-۲-۲ مطالعات تغییر تراز دریای خزر در سواحل ایران ۵۰
- ۳-۳ تغییر خطوط ساحلی ناشی از تغییر تراز سطح آب دریا ۵۲
- ۳-۴ پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی ۵۲
- ۳-۴-۱ قانون بروون ۵۳
- ۳-۴-۲ قانون اصلاح شده بروون بر اساس انتقال رسوب ساحلی ۵۷
- ۳-۵ دریای خزر، یک مدل آزمایشگاهی بزرگ مقیاس ۵۹
- ۳-۵-۱ سواحل جنوبی دریای خزر ۵۹
- ۳-۶ تحلیل قانون بروون و انتقال رسوب ساحلی ۶۰
- ۳-۶-۱ تطبیق قانون بروون با شرایط کاهش تراز سطح آب دریا ۶۲
- ۳-۷ اصلاح معادله تغییر خطوط ساحلی بر اساس انتقال رسوب ساحلی برای دریای خزر ۶۹
- ۳-۸ جمع بندی ۷۳

فصل چهارم (نتیجه گیری و پیشنهادات)

- ۴-۱ نتیجه گیری ۷۶
- ۴-۲ پیشنهادات ادامه کار ۷۸
- ۴-۲-۱ پیشنهاد ها در زمینه نیمرخ های ساحلی ۷۹
- ۴-۲-۲ پیشنهاد ها در زمینه پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی ۷۹

پیوست ها

- پیوست الف. بررسی و محاسبات مربوط به نیمرخ عرضی بندر انزلی ۸۲
- پیوست ب. بررسی و محاسبه پارامترها جهت تعیین تغییرات خطوط ساحل بر اساس معادلات بروون و رزاتی ۹۲
- پیوست پ. بهینه سازی معادله تغییر خطوط ساحلی بر اساس انتقال رسوب ساحلی برای دریای خزر با اعمال A_s ۹۳
- پیوست ت. مقاله " Classification of Equilibrium Beach Profile in the Caspian Sea - " ۹۵
- " International Geoinformatics Research and Development Journal "*

منابع و مراجع

- مراجع فارسی ۱۰۸
- مراجع انگلیسی ۱۰۹

فهرست شکل ها

فصل اول (کلیات و تعاریف)

- شکل ۱-۱ مقطع عرضی ساحل با جزئیات آن ۴
- شکل ۲-۱ پیش بینی پیشروی آب دریا بر اثر افزایش سطح آب ۸
- شکل ۳-۱ نمای کلی دریای خزر ۹
- شکل ۴-۱ میزان ورودی آب از رودخانه های اطراف دریای خزر ۱۰
- شکل ۵-۱ نمودار تغییرات تراز سطح آب دریای خزر از سال ۱۸۴۰ تا ۲۰۰۶ میلادی ۱۱

فصل دوم (نیمرخ های تعادلی ساحل)

- شکل ۱-۲ نیمرخ پیشنهادی اینمان و همکاران ۲۷
- شکل ۲-۲ ناحیه جنوبی دریای خزر ۲۹
- شکل ۳-۲ مقایسه نیمرخ ساحل انزلی با سایر نیمرخ های تعادلی حاصل از معادلات ۳۴
- شکل ۴-۲ مقایسه نیمرخ ساحل دستک با سایر نیمرخ های تعادلی حاصل از معادلات ۳۴
- شکل ۵-۲ مقایسه نیمرخ ساحل نمک آبرود با سایر نیمرخ های تعادلی حاصل از معادلات ۳۴
- شکل ۶-۲ مقایسه نیمرخ ساحل محمودآباد با سایر نیمرخ های تعادلی حاصل از معادلات ۳۴
- شکل ۷-۲ مقایسه نیمرخ ساحل لاریم با سایر نیمرخ های تعادلی حاصل از معادلات ۳۵
- شکل ۸-۲ مقایسه نیمرخ ساحل میانکاله با سایر نیمرخ های تعادلی حاصل از معادلات ۳۵
- شکل ۹-۲ مقایسه نیمرخ تعادلی دین با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (الف) ۳۶
- شکل ۹-۲ مقایسه نیمرخ تعادلی دین با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (ب) ۳۶
- شکل ۹-۲ مقایسه نیمرخ تعادلی دین با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (پ) ۳۶
- شکل ۹-۲ مقایسه نیمرخ تعادلی دین با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (ت) ۳۶
- شکل ۹-۲ مقایسه نیمرخ تعادلی دین با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (ث) ۳۷

- شکل ۲-۱۳ مقایسه نیمرخ تعادلی وانگ با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (ت) ۴۳
- شکل ۲-۱۳ مقایسه نیمرخ تعادلی وانگ با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (ث) ۴۴
- شکل ۲-۱۳ مقایسه نیمرخ تعادلی وانگ با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (ج) ۴۴

فصل سوم (نوسانات تراز آب دریا و تغییرات خطوط ساحلی)

- شکل ۳-۱ ساحل دریای خزر - بندرکیاشهر ۵۱
- شکل ۳-۲ مشخصات Bruun Rule ۵۵
- شکل ۳-۳ مشخصات نرخ پسروی ساحل و افزایش تراز آب و شیب طبیعی ساحل ۵۵
- شکل ۳-۴ مشخصات نیمرخ تغییر یافته پس از افزایش تراز آب دریا ۵۸
- شکل ۳-۵ ساحل دریای خزر - بندر انزلی ۵۹
- شکل ۳-۶ مناطق بررسی نیمرخ ها واقع در سواحل جنوبی دریای خزر ۶۰
- شکل ۳-۷ تغییرات تراز ۶۰ سال دریای خزر بر اساس تراز آب های آزاد ۶۲
- شکل ۳-۸ تغییرات خط ساحلی از نیمرخ های مشاهده شده در سواحل مورد مطالعه (الف) ۶۴
- شکل ۳-۸ تغییرات خط ساحلی از نیمرخ های مشاهده شده در سواحل مورد مطالعه (ب) ۶۴
- شکل ۳-۸ تغییرات خط ساحلی از نیمرخ های مشاهده شده در سواحل مورد مطالعه (پ) ۶۴
- شکل ۳-۸ تغییرات خط ساحلی از نیمرخ های مشاهده شده در سواحل مورد مطالعه (ت) ۶۵
- شکل ۳-۸ تغییرات خط ساحلی از نیمرخ های مشاهده شده در سواحل مورد مطالعه (ث) ۶۵
- شکل ۳-۸ تغییرات خط ساحلی از نیمرخ های مشاهده شده در سواحل مورد مطالعه (ج) ۶۵
- شکل ۳-۹ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل با داده های واقعی (الف) ۶۷
- شکل ۳-۹ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل با داده های واقعی (ب) ۶۷
- شکل ۳-۹ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل با داده های واقعی (پ) ۶۷
- شکل ۳-۹ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل با داده های واقعی (ت) ۶۷

- شکل ۳-۹ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل با داده های واقعی (ث) ۶۸
- شکل ۳-۹ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل با داده های واقعی (ج) ۶۸
- شکل ۳-۱۰ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل پس از اعمال ضریب As (الف) ۷۱
- شکل ۳-۱۰ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل پس از اعمال ضریب As (ب) ۷۱
- شکل ۳-۱۰ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل پس از اعمال ضریب As (پ) ۷۲
- شکل ۳-۱۰ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل پس از اعمال ضریب As (ت) ۷۲
- شکل ۳-۱۰ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل پس از اعمال ضریب As (ث) ۷۲
- شکل ۳-۱۰ نمودار مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل پس از اعمال ضریب As (ج) ۷۲

فهرست جدول ها

فصل اول (کلیات و تعاریف)

جدول ۱-۱ روند بررسی و تحلیل موضوع پایان نامه ۱۶

فصل دوم (نیمرخ های تعادلی ساحل)

جدول ۱-۲ اطلاعات امواج دریای خزر ۲۸

جدول ۲-۲ مقادیر پارامتر های محاسبه شده جهت تعیین نیمرخ های تعادلی ساحل ۳۲

فصل سوم (نوسانات تراز آب دریا و تغییرات خطوط ساحلی)

جدول ۱-۳ پارامتر های بدست آمده جهت استفاده در معادلات پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی .. ۶۱

جدول ۲-۳ مقادیر پارامتر های مورد محاسبه در جهت تخمین پیش بینی تغییرات خطوط ساحل ... ۶۶

جدول ۳-۳ مقادیر پارامتر های مورد محاسبه در جهت تخمین پیش بینی تغییرات خطوط ساحل پس

از اعمال ضریب A_s ۷۰

فهرست علامت های اختصاری

پارامتر	واحد	تعریف پارامتر
A	$m^{1/3}$	پارامتر مقیاس رسوبی
A_1	$m^{1/3}$	پارامتر مقیاس رسوبات مربوط به ناحیه ساحل تا فرورفتگی قبل از پشته
A_2	$m^{1/3}$	پارامتر مقیاس رسوبات مربوط به ناحیه پشته تا عمق پایانی
A_s	-	ضریب وابسته به ارتفاع امواج در ناحیه شکست و اندازه متوسط ذرات بستر
B	m	ارتفاع حداکثر بالاروی آب بر روی ساحل در اثر امواج
C	-	ضریب وابسته به فروپاشی موج در ناحیه شکست
D_{50}	m	اندازه متوسط ذرات رسوبی
g	m/s^2	شتاب گرانش (ثقل) زمین
$H_{0\ max}$	m	ارتفاع حداکثر امواج در آب عمیق
H_{0s}	m	ارتفاع موج مشخصه در آب عمیق
H_B	m	ارتفاع امواج در ناحیه شکست
$H_{B\ max}$	m	ارتفاع حداکثر امواج در ناحیه شکست
$H_{B\ mean}$	m	ارتفاع متوسط امواج در ناحیه شکست
H_s و $H_{0\ mean}$	m	متوسط ارتفاع امواج در آب عمیق
h	m	عمق آب
h^* و h_c	m	عمق پایانی
h_{bt}	m	عمق آب در ناحیه پشته
h_t	m	عمق محاسباتی فرورفتگی قبل از پشته (حوض)
h_{tr}	m	عمق ناحیه فرورفتگی قبل از پشته (حوض)

پارامتر	واحد	تعریف پارامتر
k	-	پارامتر وابسته به عمق پایانی و شیب ساحل
m	-	شیب محاسباتی بستر
m_1	-	شیب تجربی ساحل در ناحیه خط ساحلی تا حوض قبل از تشکیل پشته
m_2	-	شیب تجربی ساحل در ناحیه قله پشته تا عمق پایانی
R	m	نرخ تغییرات افقی خط ساحل
$RMSE$	-	خطای جذر میانگین مربعات
S	m	تغییرات تراز آب دریا
S_0	-	شیب ساحل در قسمت ناحیه ساحلی
S_c	-	شیب طبیعی ساحل
s	-	چگالی مخصوص
T	sec	پریود امواج
$T_{0\ mean}$	sec	پریود متوسط امواج در آب عمیق
$T_{0p\ max}$	sec	پریود حداکثر امواج در آب های عمیق
T_B	sec	پریود امواج در ناحیه شکست
$T_{B\ mean}$	sec	پریود متوسط امواج در ناحیه شکست
T_{BP}	sec	پریود حداکثر امواج در ناحیه شکست
U_0	m/s	سرعت مرزی آب در خط ساحل
V_{crit}	m^3/m	حجم بحرانی آورد رسوبی به سمت ساحل
V_D	m^3/m	حجم رسوب انتقال یافته به سمت خشکی
W و x_c	m	فاصله افقی ساحل تا محل عمق پایانی

تعریف پارامتر	واحد	پارامتر
فاصله عمق پایانی تا خط ساحلی پس از تغییرات تراز آب دریا	m	W_*
سرعت ته نشینی رسوبات	m/s	W_f
فاصله افقی از خط ساحل به سمت دریا	m	x
فاصله افقی محاسباتی محل فرورفتگی قبل از پشته تا ساحل	m	x_0
فاصله عرض از مبدأ ناحیه نزدیک به ساحل با تراز متوسط سطح آب	m	x_2
فاصله پشته تا ساحل	m	x_{bt}
فاصله ناحیه فرورفتگی قبل از پشته تا ساحل	m	x_{tr}
عرض انتقال رسوب ساحلی	m	y_L
عرض بحرانی حداقل آورد رسوبی به سمت ساحل	m	$y_{L\text{ crit}}$
چگالی سینماتیکی	m^2/s	ν
شیب طبیعی ساحل پس از افزایش تراز آب دریا	-	$\tan \theta_*$

فصل اول

کلیات و تعاریف

۱-۱. مقدمه

علم مهندسی عمران در شاخه مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، مرتبط به تحلیل و طراحی ها در سه زمینه است. تحقیقات فراساحل^۱ که مربوط به تحلیل و طراحی سازه و سکوه های اکتشاف، حفاری و استخراج منابع نفت و گاز و لوله های انتقال این فرآورده ها است؛ تحقیقات بندری که مرتبط با تحلیل و طراحی انواع سازه های موج شکن، اسکله های پهلوگیری، سامانه های تخلیه بار کشتی ها و حوضچه های بندر است؛ همچنین، تحقیقات در حیطه مهندسی سواحل، که به تحلیل و بررسی امواج و نحوه شکل گیری آنها، جریان های طولی و عرضی دریایی، انتقال رسوب طولی و عرضی، نیمرخ های طولی و عرضی^۲ و نیز تغییرات خطوط ساحلی^۳ می پردازد.

علم مهندسی سواحل نسبت به سایر علوم مورد بحث، جوان تر است و وسعت کار تحقیقاتی بسیاری دارد. تا به امروز مطالعات در زمینه نیمرخ های ساحلی (طولی و عرضی)، در کشورهایی که دارای مرز دریایی بسیاری هستند بیشتر مورد توجه قرار گرفته است؛ کشورهایی چون امریکا، هلند، انگلیس، استرالیا و نروژ از جمله کشورهای پیشگام در این زمینه هستند.

بیش از ۹۰ درصد سواحل دنیا ماسه ای هستند. نیمرخ های عرضی سواحل ماسه ای، نقش بسزایی در تحلیل و طراحی مناطق بندری اعم از بنادر تجاری و ماهیگیری دارند؛ زیرا نیمرخ عرضی، تعیین کننده رفتار دریا در محدوده ساحلی خواهد بود و روند تغییرات عمق را در این محدوده مشخص می کند. نیمرخ های عرضی در اثر طوفان های دریایی دچار تغییرات بسیاری می شوند و با توجه به شدت طوفان ها این تغییرات متفاوت خواهند بود. خطوط ساحلی، که مرز مشترک بین ناحیه خشکی و دریا است، یکی از پارامتر های مهم و تاثیر گذار در تعیین حریم دریا و ماهیت کلی رفتار دریا خواهد بود؛ به صورتی که با بررسی تغییرات خطوط ساحلی در دراز مدت و پیش بینی تغییرات آن در آینده، نقش

¹ Offshore

² Cross-shore and Long-shore Profiles

³ Coastlines

بسزایی در تعیین محدوده شهر های ساحلی و ایجاد ساخت و ساز های مرتبط به این شهرها و نیز تعیین محل احداث بنادر به طوری که عمر مفید آنها بهتر ارزیابی شود، ایفا می کند.

شیب ساحل، جنس بستر دریا، جریان های دریایی، انتقال رسوب، امواج و باد از جمله عواملی هستند که نیمرخ های عرضی و خطوط ساحلی را تحت تاثیر قرار می دهند. تغییرات تراز آب دریا که عوامل مختلفی در تعیین آن نقش دارند نیز از جمله پارامترهای تاثیر گذار بر نیمرخ های عرضی و تغییرات خطوط سواحل خواهد بود.

تغییرات هیدرودینامیکی^۴ و مورفولوژیکی^۵ در نواحی ساحلی توسط دو عامل بادهای جزر و مد^۶ به وقوع می پیوندند. وزرش باد مستقیماً عامل انتقال ماسه در ساحل خشک و عامل تولید امواج، جریان ها و تغییرات تراز سطح آب می باشد؛ در حالی که جزر و مد در دوره زمانی متناوب، سطح آب را بالا و پایین برده و جریان های دریایی را تولید می کند.

سرعت های شعاعی امواج، جریان ها و به خصوص جریان های گردابی^۷ آب در ناحیه شکست موج^۸، موجب می شوند که رسوبات از بستر دریا جدا شده و به صورت معلق در آیند. جریان ها در ناحیه ساحلی موجب انتقال رسوبات در امتداد ساحل و عمود بر ساحل می شوند. کشش زیرین دریایی^۹ سبب انتقال رسوبات معلق به سمت دریا شده و ناحیه فوقانی موج باعث انتقال رسوبات به سمت ساحل می شود. همچنین، انتقال رسوب به سمت ساحل در نزدیکی بستر نیز به علت عدم تقارن جریان های شعاعی رخ می دهد. در جهت دریای ناحیه شکست^{۱۰} در اثر عدم تقارن موج ها، انتقال رسوب به سمت ساحل به وقوع می پیوندد و نیروهای ثقلی باعث کاهش اثر نیروها در این ناحیه می شوند (لشته نشایی و غبرایی، ۱۳۸۵).

⁴ Hydrodynamic

⁵ Morphologically

⁶ Tide

⁷ Eddy currents

⁸ Wave breaking

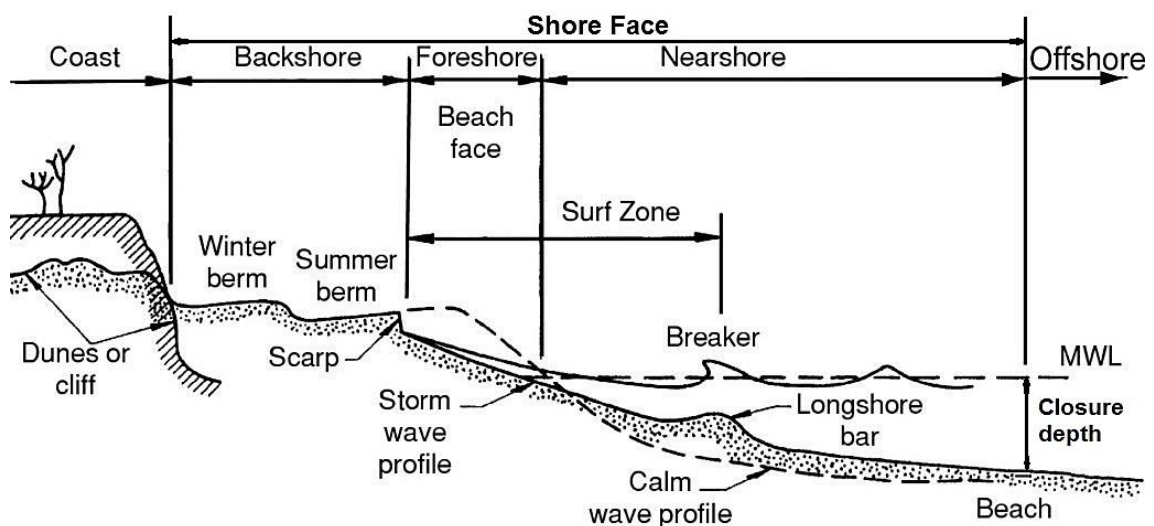
⁹ under tow

¹⁰ Breaker zone

در مطالعه روندهای ساحلی اغلب لازم است تا تمایزی بین انتقال رسوبات در راستای خط ساحل و انتقال رسوبات متقاطع با خط ساحل قائل شویم. به طور کلی انتقال رسوبات در امتداد ساحل از عوامل تغییرات دراز مدت در خط ساحل است؛ در حالی که انتقال عرضی عامل تغییرات کوتاه مدت می باشد. انتقال عرضی نیز می تواند موجب فرسایش یا افزایش ساحل در دراز مدت باشد اما اغلب شناخت آن دشوار است، زیرا شرایط طبیعی بسیار گوناگونی عوامل این انتقال هستند.

۲-۱. تعاریف

منطقه ساحلی در علم مهندسی سواحل دسته بندی مشخصی دارد و جهت درک بهتر مفاهیم، هر ناحیه با توجه به ماهیت خود نامگذاری شده است. در شکل ۱-۱ جزئیات ساختاری ناحیه ساحلی که سورنسن^{۱۱} (۲۰۰۶) ارائه نمود، آمده است.



شکل (۱-۱). مقطع عرضی ساحل با جزئیات آن (سورنسن، ۲۰۰۶)

¹¹ Sorensen R. M.

۱-۲-۱. طبقه بندی ناحیه ساحلی

همان طور که در شکل ۱-۱ مشاهده می شود، خط ساحل یعنی محل تلاقی خشکی و دریا، جایی که در معرض حمله امواج، جزر و مد و بادهای قرار می گیرد و خشکی برای مقابله با این حملات و اتلاف انرژی دریا به نحوی واکنش نشان می دهد. در واقع خط ساحل، محدوده پس کرانه^{۱۲} را شامل می شود که تقابل خشکی و دریا در این ناحیه در طول سال بسیار زیاد است.

به ناحیه ای که از ابتدای خط ساحل با مرز خشکی آغاز می شود و تا ناحیه عمق پایانی^{۱۳} ادامه پیدا می کند، وجه ساحل^{۱۴} گفته می شود. در این ناحیه بیشترین فعل و انفعالات ساحلی و اتلاف انرژی و جابجایی رسوبی رخ می دهد. به عمقی از آب دریا که بعد از آن فعل و انفعالات رسوبی رخ نمی دهد و مرز بین وجه ساحل با ناحیه دور از ساحل است را عمق پایانی می نامند.

به منطقه شکست موج تا ابتدای وجه ساحل از سمت دریا را ناحیه زوال موج^{۱۵} می گویند؛ در این ناحیه موج پس از شکست با از دست دادن انرژی به ساحل نزدیک می شود. به ناحیه ای که موج مرده بر روی ساحل حرکت رفت و برگشتی را انجام می دهد، ناحیه شستگی^{۱۶} یا دریا کنار^{۱۷} گفته می شود.

ناحیه نزدیک ساحل^{۱۸}، به ناحیه ای اطلاق می شود که از عمق پایانی آغاز می گردد و تا ابتدای ناحیه شستگی از سمت دریا پیش می رود؛ در واقع امواج در این محدوده می شکنند.

در اثر امواج، نیمرخ های عرضی دچار تغییر می شوند که این تغییرات در شرایط امواج طوفانی نسبت به امواج عادی متفاوت خواهد بود. نیمرخ هایی که از امواج عادی شکل می گیرند به نیمرخ های ملایم یا تابستانی^{۱۹} معروف هستند؛ در این نوع نیمرخ ها، انتقال رسوب به سمت ساحل به نحوی ادامه پیدا

¹² Backshore

¹³ Closure depth

¹⁴ Shore face

¹⁵ Surf zone

¹⁶ Swash zone

¹⁷ Foreshore

¹⁸ Nearshore

¹⁹ Summer profile

می کند که رسوبات به بالاترین ناحیه ساحلی حمل می شوند و ایجاد تپه^{۲۰} تابستانی می کنند. در این شرایط شیب ساحل به سمت دریا تندتر خواهد بود. نیمرخ هایی که بر اثر امواج در شرایط طوفانی شکل می گیرند را نیمرخ های طوفانی یا زمستانی^{۲۱} می گویند؛ در این نوع نیمرخ ها به دلیل ماهیت وحشی امواج، رسوبات فرصت رسیدن به ناحیه پس کرانه را به طور کامل بدست نمی آورند و فقط مقدار کمی از رسوبات به شکل تپه زمستانی در این ناحیه انباشته می شوند و اکثر رسوبات به شکل پشته^{۲۲} در محدوده شکست امواج انباشته خواهند شد (سورنسن، ۲۰۰۶).

۱-۲-۲. جریان های ساحلی

به دلیل متفاوت بودن توپوگرافی مناطق ساحلی، الگوهای جریان های نزدیک ساحل بسیار پیچیده هستند. جریان های ساحلی می توانند تحت تاثیر عوامل مختلفی شکل بگیرند. به طور کلی از عوامل اصلی که در به وجود آوردن جریان های ساحلی نقش دارند می توان به شکست امواج، نوسانات جزر و مدی، باد و امواج محلی اشاره نمود. در سواحل باز، جریاناتی که توسط شکست امواج مایل ایجاد می شوند عامل اصلی حاکم بر انتقال رسوبات محسوب می شوند. اگرچه بادهای قوی محلی نیز می توانند منجر به ایجاد جریان های قوی در ناحیه شکست شوند. این مجموعه جریان ها علاوه بر پتانسیل انتقال رسوب، بر الگوی پخش آلودگی در نواحی نزدیک ساحل نیز موثر هستند (چگینی، ۱۳۹۰؛ عطایی آشتیانی و همکاران، ۱۳۸۴).

الف- جریان های موازی با ساحل: عامل اصلی ایجاد این نوع جریان ساحلی، شکست امواج و تاثیر بادهای محلی است. شدیدترین مقدار این نوع جریان ها در بخش داخلی ناحیه شکست موج رخ می دهد و با حرکت به سمت دور از ساحل، به سرعت از شدت آن کاسته می شود. به طور کلی این نوع

²⁰ Berm

²¹ Winter profile

²² Bar

جریان‌ها سرعتی در حدود $0/3$ متر بر ثانیه یا کمتر دارند؛ همچنین تغییرات سرعت جریان در عمق برای این گونه جریان‌ها ناچیز می‌باشد (چگینی، ۱۳۹۰).

ب- جریان‌های عمود بر ساحل: مؤلفه سرعت جریان عمود بر ساحل که حاصل از شکست امواج است، دلیل اصلی به وجود آمدن جریان‌های عمود بر ساحل می‌باشد. بر خلاف امواج موازی با ساحل، تغییرات سرعت برای جریان‌های عمود بر ساحل در راستای عمق قابل‌نظر کردن نیست (چگینی، ۱۳۹۰).

ج- جریان‌های بازگشتی: جریان‌های بازگشتی^{۲۳}، جریان‌هایی قوی با عرض کم و رو به دریا هستند که در ناحیه شکست، شکل می‌گیرند. این جریان‌ها در واقع حرکت برگشتی آبی هستند که تحت اثر امواج وارد شده به ناحیه شکست و امواج ناشی از باد، در منطقه کرانه ساحلی انباشته شده و بار دیگر به سمت دریا باز می‌گردند. این گونه جریان‌ها اغلب به صورت دوره‌ای در امتداد عمود بر خط ساحل ایجاد می‌شوند (چگینی، ۱۳۹۰).

۱-۲-۳. انتقال رسوب و تغییر شکل نیمرخ ساحل

در سواحل ماسه‌ای امواج پس از شکست از بدنه ساحل بالا رفته و باعث تغییر شکل آن می‌شوند. تغییر شکل‌های مداوم ساحل به دلیل عدم ثبات مشخصات موج (ارتفاع، پریود، زاویه نزدیک شدت موج) برای محدوده زمانی مشخصی است. تغییر شکل نیمرخ‌های ساحل توسط آشفتگی حاصل از امواج شکنا و بالا و پایین رفتن آب از بدنه ساحل در ناحیه شستگی به وجود آمده و توسط جریان‌های ناشی از امواج در ناحیه شکست گسترش می‌یابند (برگی، ۱۳۸۷).

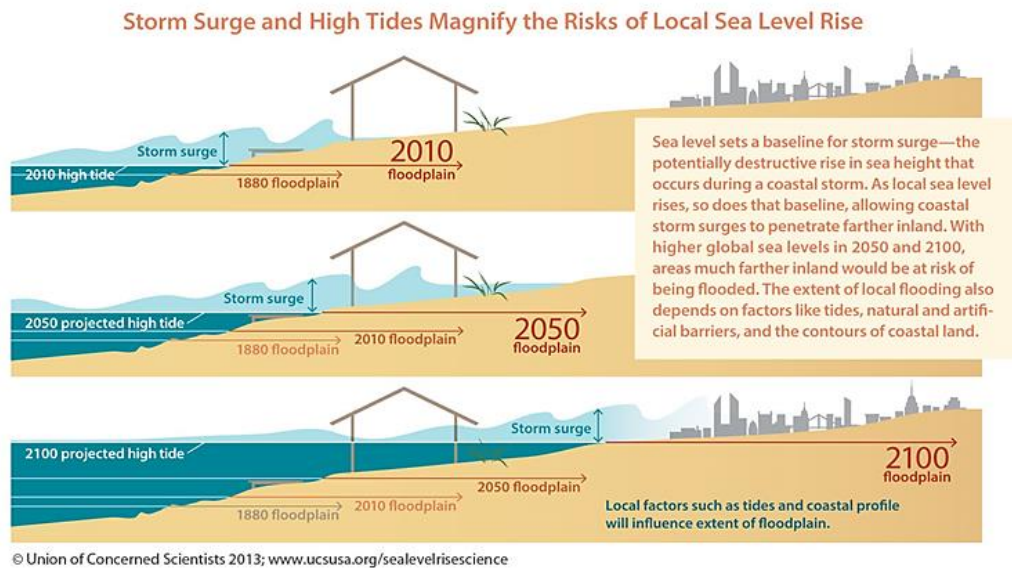
۱-۳. تغییرات تراز آب دریا

با توجه به مشکلات پیش آمده در سال‌های اخیر ناشی از پیشروی آب دریا و اثر آن بر تغییرات بستر

²³ Rip currents

سواحل که منجر به تغییرات رژیم جریان ساحلی می گردد، در سال های اخیر توجه محققین مهندسی سواحل و سازه های دریایی بر پیش بینی پیامد های ناشی از این نوسانات که در نهایت، طراحی سازه های ساحلی را تحت الشعاع قرار می دهد، قرار گرفته است.

با توجه به عواملی نظیر گرمای هوا و روند ذوب شدن یخ های قطبی که باعث افزایش سطح تراز آب دریا می شوند، می توان به صورت شماتیک این پیشروی را برای سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ میلادی در شکل ۱-۲ برای آب های آزاد مشاهده کرد؛ در این شکل اثرات مد حداکثری و طوفان نیز لحاظ شده است.



شکل (۱-۲). پیش بینی پیشروی آب دریا بر اثر افزایش سطح آب در حالت مد حداکثر و شرایط طوفانی (اتحادیه دانشمندان نگران^{۲۴}، ۲۰۱۳)

۱-۳-۱. دریای خزر^{۲۵}

دریای خزر بزرگترین آبگیر بسته کره زمین است. طول آن ۱۲۰۰-۱۰۳۹ کیلومتر و عرض آن ۴۳۵ کیلومتر می باشد. وسعت آن ۳۷۸-۳۹۰ هزار کیلومتر مربع و حجم آب آن ۷۶-۷۸ هزار کیلومتر مکعب

²⁴ Union of Concerned Scientists

²⁵ Caspian Sea

که برابر ۴۴ درصد ذخیره آب دریاچه های جهان است. حداکثر عمق آن ۱۰۲۵ متر بوده و با دریاچه‌هایی مانند دریای سیاه، دریای بالتیک و دریای زرد قابل قیاس بوده و بر دریای آدریاتیک و اژه و تیران برتری دارد. عمیق ترین نواحی این دریا نزدیک به سواحل ایران است (شاهینی، ۱۳۸۵).

نمای کلی دریای خزر در شکل ۱-۳ آورده شده است؛ ایران در ناحیه جنوبی این دریاچه بزرگ قرار دارد.



شکل (۱-۳). نمای کلی دریای خزر - Google Earth

اصلی ترین منبع ورودی آب به دریای خزر، رودخانه ولگا است که در حدود ۸۰ درصد آب های ورودی به دریای خزر از این رودخانه تامین می شود. در شکل ۱-۴ میزان آب ورودی از حریم چند رودخانه

مهم به مرز های دریای خزر مشخص شده است.

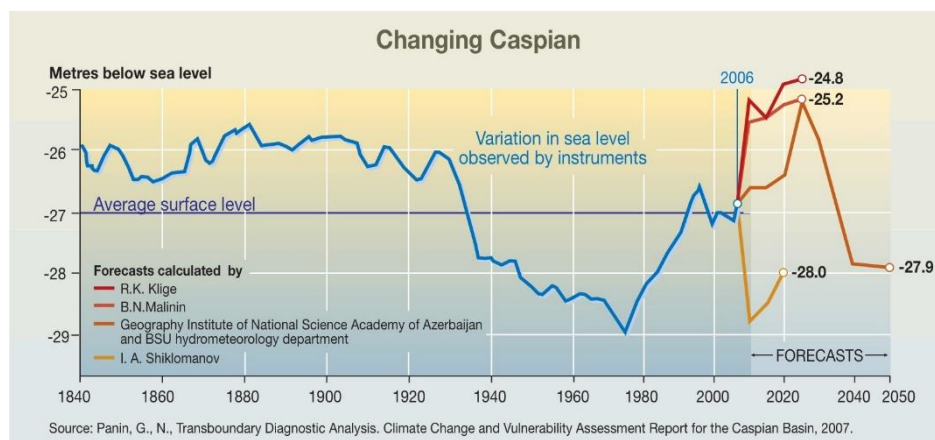
Annual discharge into the Caspian Sea



شکل (۱-۴). میزان ورودی آب از رودخانه های اطراف دریای خزر (بانک اطلاعات دریاچه های جهان^{۲۶}، ۲۰۰۵)

بر طبق بررسی های انجام گرفته در گذشته، تغییرات سطح آب دریای خزر مورد مطالعه قرار گرفته است که این بررسی توسط نموداری در شکل ۱-۵ نشان داده شده است. همان طور که از پیش بینی های انجام شده در این شکل بر می آید، تا سال ۲۰۲۵ میلادی افزایش چشم گیری در تراز سطح آب دریای خزر رخ خواهد داد.

تراز آب دریای خزر ۲۷ متر پایین تر از سطح اقیانوس قرار دارد. دریای خزر دارای رژیم هیدرولوژی بسیار ناپایدار است. از ویژگی های بارز دریای خزر نوسانات ادواری تراز آب می باشد. حداکثر دامنه تغییرات تراز آب در ده هزار سال گذشته تا ۲۵ متر و در ۲/۵ هزار سال گذشته تا ۱۵ متر می باشد که علت آن وجود مجموعه ای از فرایندهای اقلیمی، هیدرولوژی و زمین شناختی که در حوضه آن رخ می دهد، است (شاهینی، ۱۳۸۵). بر اساس نمودار شکل ۱-۵ و همچنین مطالعات صورت گرفته می توان چرخه تغییرات سطح تراز آب دریای خزر را مورد بررسی قرار داد. از سال ۱۹۳۳ تا ۱۹۴۰ میلادی، سطح تراز آب دریای خزر چیزی در حدود ۲ متر پایین آمد و سپس این روند تا سال ۱۹۷۷ میلادی با نرخ کمتری (در حدود ۳ سانتی متر در هر سال) ادامه پیدا کرد. از سال ۱۹۷۸ میلادی، سطح تراز آب دریای خزر با نرخ متوسط ۱۲ سانتی متر در هر سال شروع به افزایش کرد، که این روند صعودی تا سال ۱۹۹۳ میلادی ادامه پیدا کرد، در واقع در طی ۱۵ سال چیزی در حدود ۱/۸ متر بالا آمده است (کازناوا^{۲۷} و همکاران، ۱۹۹۷). با توجه به نمودار شکل ۱-۵، واضح است که در سال های ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۰ میلادی، تراز سطح آب دریای خزر در حدود ۵۰ سانتی متر کاهش یافته و بین سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶ میلادی تقریباً ثابت باقی مانده است. بر اساس پیش بینی های انجام گرفته در این نمودار، می توان گفت که تراز سطح آب دریای خزر تا سال ۲۰۲۵ میلادی در حدود ۲ متر افزایش خواهد یافت.



شکل (۱-۵). نمودار تغییرات تراز سطح آب دریای خزر از سال ۱۸۴۰ تا ۲۰۰۶ میلادی (پانین^{۲۸}، ۲۰۰۷)

²⁷ Cazenave A.

²⁸ Panin, G. N.

۴-۱. سوالات و فرضیه های پژوهشی

در دهه های اخیر، گرم شدن مداوم زمین در اثر عواملی چون تغییرات اقلیمی، گازهای گلخانه ای، دخالت ها و تغییر و تحولات بشر و همچنین ساخت و ساز در طبیعت، منجر به ذوب شدن یخ های قطبی و نیز گرم شدن آب های کره زمین شده است؛ این امر موجب افزایش سطح آب در هر سال خواهد شد.

پیش بینی ها حاکی از این است که سطح آب های آزاد جهانی بین سال های ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ میلادی چیزی در حدود ۲۸۰ تا ۳۴۰ میلیمتر افزایش خواهد یافت (چرچ^{۲۹} و وایت^{۳۰}، ۲۰۰۶). با توجه به پایین تر بودن سطح آب دریای خزر نسبت به آب های جهانی، میزان تغییرات تراز سطح آب این دریا بسیار متفاوت از آب های آزاد است؛ بر اساس پیش بینی های صورت گرفته بر روی دریای خزر، سطح آب از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۵ میلادی چیزی در حدود ۲۰۰۰ میلیمتر افزایش خواهد یافت (شکل ۴-۱).

اما سوالات مطرح این است:

✓ تغییرات تراز سطح آب دریا، چه اثراتی بر بستر دریا ایجاد می کند و نحوه تغییر شکل بستر

دریا به چه شکلی خواهد بود؟

✓ آیا این تغییر شکل، اثر مطلوبی بر توپوگرافی دریا خواهد داشت یا خیر؟

✓ این تغییرات چه تاثیری در رژیم انتقال رسوب و ماهیت آن خواهد داشت؟

✓ این تغییرات تراز، خطوط ساحلی را به چه شکلی تغییر خواهد داد؟

✓ تغییر شکل بستر سواحل چه نقشی در محیط زیست منطقه می تواند ایجاد کند؟

✓ این تغییر شکل چه تاثیری بر سازه های ساحلی و بنادر موجود و ساخته شده می تواند داشته

باشد؟

در این پژوهش سعی خواهد شد تا حدودی به برخی از این سوالات پاسخی مناسب و علمی داده شود

²⁹ Church J. A.

³⁰ White N. J.

تا بتوان در مقابل این پدیده، منطقی ترین و مهندسی ترین عکس العمل ها را در پیش گرفت.

۱-۵. ضرورت بررسی موضوع

با توجه به پیش بینی ها و برآوردهای انجام گرفته در خصوص تغییرات تراز سطح آب های آزاد و همچنین دریای خزر، این امر الزامی است که در مورد عواملی نظیر تغییرات نیمرخ ساحلی، نرخ انتقال رسوب، تغییرات خطوط ساحلی و... که از این موضوع تاثیر پذیر هستند بررسی های کامل و علمی به عمل آید تا در جهت برآورد مسایل و مشکلات احتمالی بوجود آمده در زمینه های توریستی - تفریحی، از جمله ساحل سازی ها و محدوده های شنا و همچنین اقتصادی و حمل و نقل، از جمله نگهداری، بهسازی و بهره برداری سازه ها و ابنیه موجود و ساخت بنادر جدید و حمل و نقل دریایی در سواحل کشور و نیز مسایل زیست محیطی، اقدامات کامل و جامعی صورت پذیرد.

۱-۶. اهداف و روش های تحقیق

با توجه به موارد بیان شده، در این تحقیق هدف این است که با بررسی نزدیک ترین مدل تحلیلی از نیمرخ تعادلی ساحل^{۳۱} با ویژگی های دریای خزر و با اعمال پارامتر افزایش و یا کاهش سطح آب دریا به معادله تحلیلی ارائه شده، معادله موجود توسعه داده شود. این معادله باید شرایطی را فراهم کند که تغییرات نیمرخ ساحل را با دخالت دادن عوامل تاثیرگذار بیشتر، بهتر و دقیق تر پیش بینی کند. این معادله، در پیش بینی و تخمین تغییرات خط ساحلی و تاثیرات آن بر سازه های ساحلی از جمله موج شکن ها و بنادر تجاری و همچنین در مبحث ساحل سازی جهت ارائه امکانات توریستی - تفریحی، در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

³¹ Equilibrium Beach Profile

پس از بررسی و توسعه معادله تحلیلی موجود و با توجه به مقادیری که از این معادله بدست می آید، می توان با در دست داشتن اطلاعات دقیق تری از تغییر شکل نیمرخ ساحل و نیز تغییرات خطوط ساحلی، به بررسی پارامترهای زیست محیطی منطقه در اثر این تغییرات و همچنین به حل مشکلات احتمالی که امکان وقوع آن برای سواحل و بنادر وجود دارد، پرداخته شود.

در مورد نیمرخ ساحلی و تغییرات آن، تحقیقاتی در گذشته انجام شده است و پارامترهای مختلفی جهت بررسی بهتر و دقیق تر این تغییرات در معادلات پیش بینی شده اعمال شده است، اما تاکنون به بررسی اثر تغییرات سطح آب دریا بر نیمرخ ساحلی به طور جدی پرداخته نشده است. با در نظر گرفتن این پدیده در معادلات، موجب می شود که میزان خطا در محاسبات و طراحی ها به نحو قابل توجهی کاهش یابد که این امر خود باعث صرفه جویی قابل توجهی در هزینه ها خواهد داشت.

اثر دادن تغییرات سطح آب بر تغییر شکل بستر سواحل و پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی، نوآوری ای در زمینه تغییرات در رژیم رسوب گذاری و فرسایش و علم مهندسی سواحل در بر خواهد داشت.

۱-۷. تحقیقات گذشته

در زمینه بررسی های عرضی سواحل، افرادی همچون دین^{۳۲}، کومار^{۳۳}، لارسن^{۳۴}، ولینگا^{۳۵} و وانگ^{۳۶} معادلاتی را پیشنهاد داده اند و در این زمینه مطالعات آزمایشگاهی و میدانی صورت گرفته است. این معادلات پاسخ های تغییر شکل عادی سواحل ماسه ای در اثر طوفان های عادی در طول سال را به تقریب نسبتا خوبی پیش بینی می کنند. در زمینه پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی در اثر تغییرات

³² Dean R. G.

³³ Komar P. D.

³⁴ Larson M.

³⁵ Vellinga P.

³⁶ Wang P.

خطوط ساحلی، افرادی چون بروون^{۳۷}، دین، دالریمپل^{۳۸} و رزاتی^{۳۹} سعی در بررسی و ارائه معادلاتی نموده اند تا بتوان تغییرات خطوط ساحلی را در دراز مدت پیش بینی نمود. این معادلات با اعمال پارامترهای تاثیر گذار در روند تغییرات خطوط ساحلی، پیش بینی هایی بهتر از ساختار اولیه خود را ارائه داده اند.

۸-۱. ساختار پایان نامه و روند بررسی و تحلیل موضوع

در فصل دوم، ابتدا معادلات ارائه شده در زمینه پیش بینی و ترسیم معادلات نیمرخ های تعادلی ساحل بررسی شده است و سپس بر اساس داده های اندازه گیری شده موجود از سواحل دریای خزر، از میان معادلات ارائه شده در زمینه نیمرخ های عرضی سواحل ماسه ای، معادلاتی که بهترین تطبیق را با سواحل دریای خزر دارند، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند تا بتوان بر اساس نیمرخ های تعادلی پیش بینی شده و ارتباط آن با تعادل حجمی رسوبات فرسایش یافته و انباشه شده، تغییرات خطوط ساحل را مورد بررسی قرار داد.

در فصل سوم، با توجه به نتایج حاصل از نیمرخ های عرضی و حجم تعادلی رسوبات، تغییرات خطوط ساحلی بررسی شد و بر اساس تغییرات تراز آب دریا و معادلات پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی، تئوری های ارائه شده مورد بررسی قرار گرفتند؛ سپس با توجه به داده های موجود از سواحل جنوبی دریای خزر و پارامترهای موثر در تغییرات خطوط ساحلی، با بررسی های تحلیلی و آماری، روابطی در جهت بهبود پیش بینی های تغییرات خطوط ساحل ارائه گردید تا با استفاده از این روابط بتوان خطای پیش بینی تغییرات خطوط ساحل را کاهش داد.

در فصل پایانی نیز به تحلیل نتایج پرداخته شد و به یک ساختار کلی و اجمالی در جهت تعیین معادلات نیمرخ های تعادلی و معادلات پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی برای دریای خزر اشاره شد. جدول بندی مراحل پایان نامه در جدول ۱-۱ آمده است.

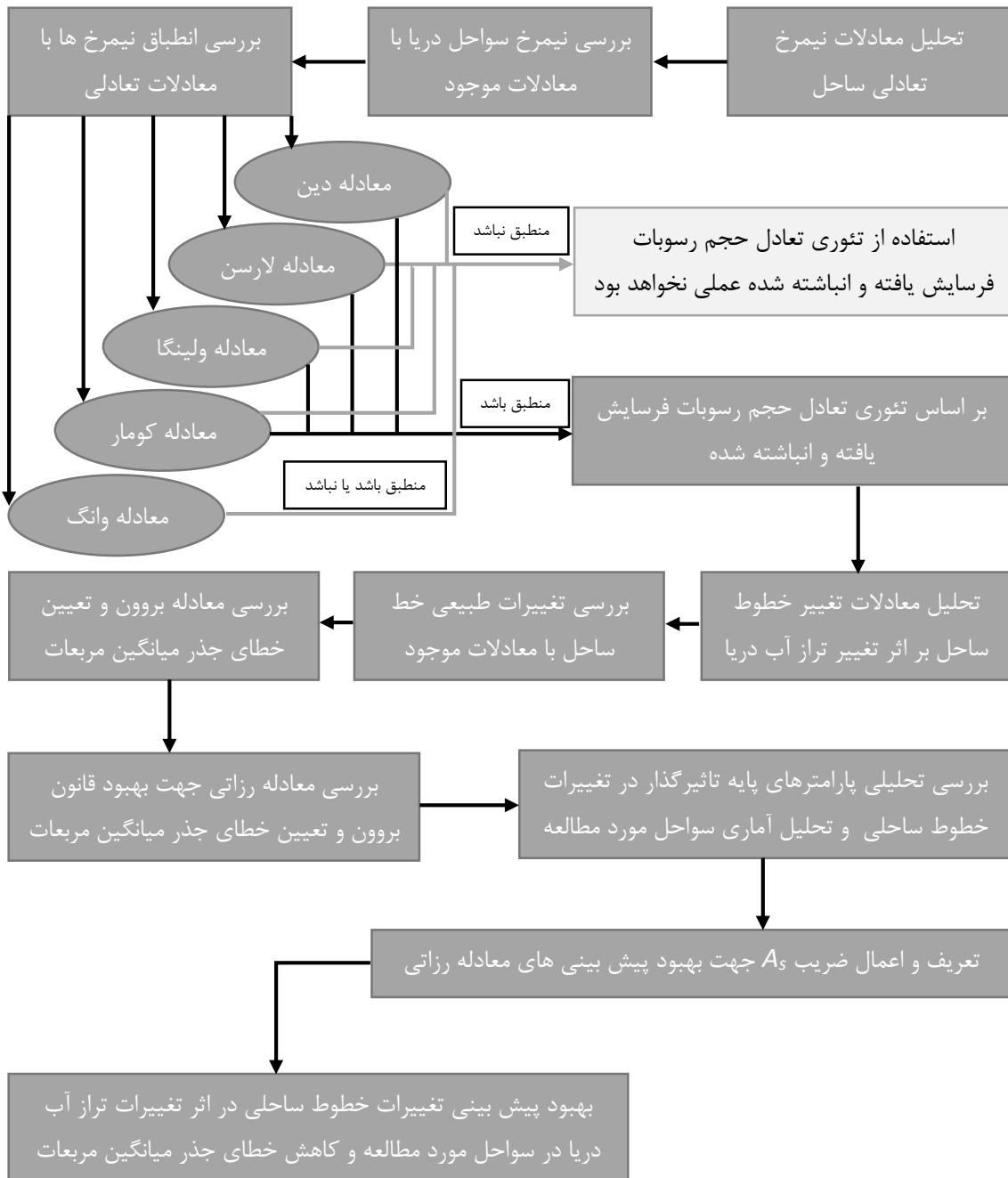
³⁷ Bruun P.

³⁸ Dalrymple R. A.

³⁹ Rosati J. D.

با توجه به مراحل ساختاری پایان نامه، مرور ادبیات فنی و تحقیقات انجام شده در گذشته به صورت مستقل در پایان نامه ارائه نشده است و در روند توضیحات معادلات، به مرور به آنها اشاره خواهد شد. به همین دلیل در بخش ۱-۷ صرفاً به توضیحات مختصری از تحقیقات گذشته بسنده شده است.

جدول (۱-۱). روند بررسی و تحلیل موضوع پایان نامه



فصل دوم

نیمرخ های تعادلی ساحل

۲-۱. پیشگفتار

تغییرات بستر دریا نتیجه مستقیم تغییرات در حمل و نقل رسوبات می باشد، چه به لحاظ حجم و چه به لحاظ زمان، هنگامی که انتقال رسوبات کاهش می یابد ارتفاع بستر افزایش یافته و برعکس با افزایش انتقال، فرسایش رخ می دهد. در نواحی دریایی، تغییرات بستر معمولا باعث تغییر موقعیت خط ساحل شده و این تغییر عامل تصمیم گیری در این خصوص است که آیا فرسایش روی داده است یا خیر.

گاهی اوقات تغییرات بستر در اثر یک طوفان ممکن است قابل ملاحظه باشد، در صورتی که تغییرات آب و هوایی و امواج در طول سال ممکن است تغییراتی را موجب شود که کوتاه مدت در نظر گرفته شود. انتقال عرضی رسوبات و در پی آن تغییرات نیمرخ ساحلی عموما نوسانات کوتاه مدت در نظر گرفته می شوند؛ در حالی که تغییرات دراز مدت خط ساحلی توسط انتقال رسوب کرانه ای به وقوع می پیوندند. بنابراین توجه لازم را بایستی ابتدا به توسعه و تغییرات نیمرخ های ساحلی معطوف نمود.

شکل نیمرخ های ساحلی و گوناگونی آنها عمدتا توسط حمل و نقل عرضی رسوبات پدید می آیند. این انتقال، رابطه نزدیکی با حرکت امواج داشته و به دلیل انواع مختلف امواج در طبیعت، این نیمرخ ها نیز گوناگون می باشند. این گوناگونی نزدیک ساحل بیشتر است، یعنی محلی که انتقال عرضی بیشتری روی می دهد.

در حالت کلی نیمرخ ها را به دو دسته تقسیم می کنند، نیمرخی که در اثر طوفان ها شکل می گیرد که آن را نیمرخ زمستانی و یا طوفانی می نامند و نیمرخی که در شرایط عادی دریا و در اثر امواج ملایم و جریانات متعادل عرضی شکل می گیرد که به آن نیمرخ تابستانی، معمولی و یا شیروانی می گویند. در طبیعت، شکل یک نیمرخ ساحلی که در حال تعادل دینامیکی بوده، توسط شرایط متداول امواج و عوامل دیگری چون تغییرات سطح آب و جریان های جزر و مدی تعیین می گردد. در طبیعت نیمرخ های ساحلی تحت اثر شرایط هیدرولیکی متغیر، به صورت پیوسته تغییر شکل می دهند؛ خصوصا در نواحی که این شرایط تغییرات عمیقی داشته باشند، یک نیمرخ متعادل هرگز تشکیل نمی شود. از

این جهت بسیار دشوار و یا حتی غیر ممکن است که بتوان رابطه دقیق و واقعی بین وضعیت هندسی نیمرخ در طبیعت و شرایط امواج تعیین نمود.

در بازه سال های ۱۹۷۰ میلادی تا به امروز محققین اندکی از جمله دین، ولینگا، کومار و ... سعی در ارائه معادلاتی متناسب با نحوه تغییرات شکل بستر دریا با توجه به پارامتر های مختلف از جمله قطر دانه های بستر، چگالی دانه ها، ارتفاع شکست موج و ... تحت عنوان نیمرخ تعادلی ساحل، نموده اند؛ این معادلات در تعیین پارامترهای مهم مربوط به طراحی سازه های ساحلی و بنادر همواره دارای خطاهایی بوده اند، که این امر باعث تحمیل ریسک طراحی بالاتر و در نتیجه آن صرف هزینه های گزافی می شود.

۲-۲. پارامترهای مؤثر در تغییر شکل بستر سواحل

سواحل به طور پیوسته در معرض هجوم امواج قرار داشته و بنابراین نیمرخ عرضی آنها به صورت متناوب در حال تغییر می باشد؛ این تغییرات عمدتاً در مجاورت ناحیه ساحلی که در آن اثرات ناشی از شکست امواج مشهودتر است، رخ می دهد. منظور از ناحیه ساحلی ناحیه ای است که از آن به بعد موج پیش رونده ایجاد شده در آب عمیق، وارد منطقه کم عمق ساحلی شده و اثرات بستر بر روی موج محسوس می باشد. عرض ناحیه ساحلی که در آن پدیده شکست امواج صورت می گیرد، تابعی از ارتفاع موج و وضعیت توپوگرافی بستر دریا می باشد. امواج دریا پس از رسیدن به محدوده مرز ناحیه ساحلی به دلیل افزایش ارتفاع موج نسبت به عمق محدود آب، دچار شکست شده و در اثر ریزش موج و جریان آشفته ناشی از شکست موج و تداخل هوا با آب، انرژی قابل توجهی از موج به بستر دریا منتقل می شود که این انرژی عامل عمده ای در تحریک ذرات بستر و نقل و انتقال رسوبات ساحلی در مجاورت سواحل می باشد.

عمقی را که امواج دریا شروع به جابجایی رسوبات کف بستر کرده و آنها را به پشت ساحل انتقال می دهند، عمق پایانی می نامند. این عمق با افزایش ارتفاع و پیروود موج، افزایش می یابد و در حالت حداکثر خود به حدود ۳۰ متر می رسد (لشته نشایی و غبرایی، ۱۳۸۵). با حرکت موج به سمت ساحل به علت کاهش عمق، افزایش انتقال رسوب صورت می گیرد؛ به همین علت در نزدیکی ساحل یک شیروانی با شیب تندتر دیده می شود.

شرایط زمین شناسی^۱ بر روی اندازه ذرات و طبیعت بستر دریا اثر می گذارد. معمولاً دامنه تشکیل شیب بستر بسیار زیاد می باشد. منابع تأمین رسوب بر روی ویژگی های ساحل نقش مؤثری دارند؛ برای تشکیل ساحل باید به مقدار کافی رسوب وجود داشته باشد تا بر اثر امواج تجمع یابد. نوع رسوب، بر اساس اندازه رسوب و نوع کانی دسته بندی می شود. معمولاً سواحل از ذرات ریز تا متوسط ماسه (در عرض جغرافیایی کم تا متوسط) یا شن (در عرض جغرافیایی بالاتر) تشکیل شده اند. در اکثر مواقع اندازه رسوبات، بر روی شیب ساحل و انتقال رسوب اثر می گذارد. کانی اصلی موجود در ماسه سواحل، دانه های کوارتز با وزن مخصوص ۲/۶۵ می باشند. به جز سواحل سنگی^۲، در اکثر سواحل شنی و ماسه ای قطر دانه های بستر، در حدود ۰/۱ تا ۱ میلیمتر می باشد. معمولاً نماینده ذرات بستر یک ساحل و رسوبات آن، D_{50} است (یعنی قطری که ۵۰٪ دانه ها از آن ریزتر یا درشت ترند). به تجربه ثابت شده است که هرچه ساحل درشت دانه تر باشد، شیب آن تندتر خواهد بود (لشته نشایی و غبرایی، ۱۳۸۵).

موج همراه با رسوب، اساسی ترین نیاز برای تشکیل ساحل می باشد. با افزایش پیروود موج، نوع ساحل دستخوش تغییر می گردد؛ همچنین، انرژی موج که موجب تغییر ساحل می گردد، تابعی از پیروود و مربع ارتفاع موج می باشد. وجود جزر و مد برای تشکیل ساحل الزامی نیست، اما افزایش میزان جزر و مد در ترکیب با حالات موج در تغییر شکل بستر، نقش عمده ای دارد. ماسلینک و بلاک^۳ (۱۹۹۵)

¹ Geological Boundary Conditions

² Shingle

³ Masselink G. and Black K.P.

نشان دادند که وقتی محدوده جزر و مد افزایش می یابد، عرض ساحل زیادتر و شیب ساحل کمتر می گردد.

وزش باد و سرعت آن، عامل دیگری جهت تغییرات بستر و انتقال رسوبات است. بادهای ساحلی موجب انتقال رسوبات نهشته های بادی شده و ممکن است تپه های ماسه ای که به عنوان منبع ایجاد ساحل بکار می روند را از بین ببرند.

۲-۳. معادلات نیمرخ تعادلی سواحل ماسه ای

چهره بستر واژه ای است که بارل^۴ (۱۹۱۲) و جانسون^۵ (۱۹۱۹) برای تعریف بستر کرانه ساحل که دارای شیب کمتری نسبت به فراساحل بوده و شکستگی های متعددی در شیب آن دیده می شود، بکار برده اند. مشکل اساسی در تعریف چهره بستر، عدم وجود همیشگی شکستگی در شیب بستر است. عاملی که در تمام سواحل نقش اصلی را بازی می کند، امواج ثقلی (امواج بادی و خیزابی^۶) می باشند. این امواج به طور قطع عامل انتقال رسوبات و شکل گیری چهره بستر به صورت دو شکل مجزا می باشند، یعنی یک نیمرخ مقعر رو به بالا ناشی از عکس العمل رژیم امواج نواحی کم عمق در سمت دریا و یک نیمرخ مقعر دیگر در سمت ساحل و در قسمت میانی یک نیمرخ محدب دیده می شود. در قسمت فوقانی سطح بستر، فرسایش و تجمع رسوبات ارتفاع بستر را در هر سال تغییر می دهد. تغییرات بستر ساحل معمولاً در کرانه ساحل بیشتر بوده و به طور فزاینده ای این تغییرات با دور شدن از ساحل کاهش می یابد. با توجه به تعریف سطح بستر، به این نتیجه می رسیم که ناحیه ساحلی نیز در این منطقه قرار دارد. در طول فرسایش ساحل، نه تنها رسوبات ماسه ای به سمت پشته های ناحیه ساحلی حرکت می کنند، بلکه مقداری فاصله و کشیدگی در آن سوی ناحیه ساحلی ایجاد می شود؛

⁴ Barrell J.

⁵ Jonson B.

⁶ Swell

بنابراین قسمت درونی و بالای سطح بستر کوتاه شده و عرض ناحیه فراساحل زیاد می شود. تغییرات قائم بستر به دو دلیل موجب افزایش ناحیه ساحلی می شود: ۱- شدت حرکت آب در قسمت نزدیک بستر با دور شدن از ساحل کاهش می یابد. ۲- ستون های ماسه ای که همان تجمع رسوبات هستند، تحت اثر این حالت، از تجمع موضعی خارج شده و گسترش می یابند. معمولا سواحل عادی تعادل دینامیکی دارند، یعنی با این که در اثر تغییرات فصلی و طوفان های کوتاه مدت دائما شکل ساحل و حرکت رسوبات متغیر است، اما در دراز مدت (مثلا پرپود یک ساله) در نهایت بالانس و تعادل رسوبی در ساحل مشاهده می شود.

علاوه بر مطالعات انجام شده با هدف تعریف معیارهای تعیین نوع نیمرخ های ساحلی، تلاش های متعددی برای شرح نیمرخ تعادلی صورت گرفته است. بر اساس تحلیل های انجام شده در سواحل کالیفرنیا^۷ توسط بروون (۱۹۵۴) نیمرخ تعادلی با یک تابع ساده توانی تعریف گردید.

۲-۳-۱. معادله نیمرخ تعادلی دین

با بررسی ملاحظات فیزیکی در خصوص نیروهای مختلف وارد شده بر نواحی ساحلی، دین (۱۹۷۷) تعریف زیر را ارائه نمود:

$$h = Ax^m \quad (1-2)$$

تصور کلی فوق بر اساس آنالیزهای مبسوطی بر پاسخ ساحل بر امواج طوفانی به دست آمده است. با فرض یک مدل شکست ریزشی^۸ و زایل شدن یکنواخت انرژی موج در واحد حجم آب، m در معادله فوق با مقدار $0/67$ ارائه خواهد شد. در ادامه، دین (۱۹۹۱) معادله تعادلی سواحل ماسه ای را با آخرین تغییرات مد نظر خود به صورت زیر ارائه داد:

⁷ California (USA)

⁸ Spilling

$$h = Ax^{2/3} \quad (2-2)$$

در این معادله h عمق آب از تراز سطح دریا تا بستر بر حسب متر است، A پارامتر مقیاس رسوبی و x فاصله افقی از خط ساحلی به سمت دریا بر حسب متر است. پارامتر مقیاس رسوبی از رابطه زیر محاسبه می شود (سم - بخش ۹۳، ۲۰۰۶):

$$A = 2.25 \left(\frac{W_f^2}{g} \right)^{1/3} \quad (3-2)$$

که در آن، W_f سرعت ته نشینی رسوبات بر حسب متر بر ثانیه می باشد و g شتاب ثقل زمین بر حسب متر بر مجذور ثانیه است. سرعت ته نشینی ذرات وابسته به قطر متوسط ذرات بستر است که با توجه به قطر ذرات به صورت زیر می توان آن را محاسبه کرد (ون راین^{۱۰}، ۲۰۱۱):

$$W_f = \frac{(s-1)gD_{50}^2}{18\nu} \quad 0.001 < D_{50} < 0.1mm \quad (4-2)$$

$$W_f = \frac{10\nu}{D_{50}} \left[\left(1 + \frac{0.01(s-1)gD_{50}^3}{\nu^2} \right)^{1/2} - 1 \right] \quad 0.1 < D_{50} < 1mm \quad (5-2)$$

$$W_f = 1.1 \left[(s-1)gD_{50} \right]^{1/2} \quad D_{50} > 1mm \quad (6-2)$$

در معادلات بالا، s چگالی مخصوص ذرات بستر دریا که مقدار آن $2/65$ است، D_{50} قطر متوسط ذرات بستر بر حسب متر و ν چگالی سینماتیکی آب دریا که مقدار آن 10^{-6} است. مشاهده می شود که دین در معادله تعادلی خود، قطر متوسط ذرات بستر را به عنوان یک عامل اساسی و نیز شکل نیمرخ تعادلی ساحل را به صورت سهمی در نظر گرفته است.

⁹ CEM – Part III
¹⁰ Van Rijn L. C.

۲-۳-۲. معادله نیمرخ تعادلی اصلاحی دین

لارسن (۱۹۹۹) با تحقیقاتی که انجام داد متوجه شد که رفتار نیمرخ ساحل تا عمق فرورفتگی قبل از پشته با تقریب قابل قبولی نزدیک به رفتار خطی است. در نتیجه می توان رفتار نیمرخ تعادلی ساحل که توسط دین ارائه شده را با حفظ قالب اصلی که در معادله (۲-۲) آمده است و با اصلاح هندسی در ساختار x آن را به فرم زیر بهبود بخشید:

$$h = mx \quad x \leq x_0 \quad (۷-۲)$$

$$h = Ax^{2/3} \quad x > x_0 \quad (۲-۲)$$

در معادله (۷-۲)، m شیب محاسباتی بستر و x_0 فاصله افقی محل فرورفتگی قبل از پشته تا ساحل بر حسب متر می باشد. فاصله افقی محل فرورفتگی قبل از پشته تا ساحل از معادله زیر محاسبه می شود:

$$x_0 = \frac{h_t}{m} + \left(\frac{h_t}{A}\right)^{3/2} \quad (۸-۲)$$

که در آن h_t عمق فرورفتگی قبل از پشته بر حسب متر است. مقادیر عمق فرورفتگی قبل از پشته و نیز شیب محاسباتی بستر، به ترتیب از معادلات زیر محاسبه می شوند:

$$h_t = \frac{4}{9} \times \frac{A^3}{m^2} \quad (۹-۲)$$

$$m = 0.15 \left(\frac{W_f T}{H_b}\right)^{1/2} \quad (۱۰-۲)$$

در معادلات بالا، H_b ارتفاع حداکثر امواج در ناحیه شکست بر حسب متر و T پریود نظیر آن بر حسب ثانیه است.

۳-۳-۲. معادله نیمرخ تعادلی ولینگا

ولینگا (۱۹۸۶) با توجه به تقریب های معادله نیمرخ تعادلی اولیه دین که در سال ۱۹۷۷ ارائه داده بود و بر اساس مطالعات متعدد بر فرسایش تپه ها در هنگام امواج طوفانی، سعی در توسعه آن نمود تا نزدیک ترین معادله ممکن برای نیمرخ تعادلی را بتوان ترسیم نمود. وی یک توصیف ریاضی را برای فرسایش نیمرخ ها به دست آورد:

$$\left(\frac{7.6}{H_{0s}}\right)h = 0.47 \left[\left(\frac{7.6}{H_{0s}}\right)^{1.28} \left(\frac{W_f}{0.0268}\right)^{0.56} x + 18 \right]^{-0.5} \quad (11-2)$$

در این معادله، H_{0s} ارتفاع موج مشخصه در آب عمیق است؛ همچنین x فاصله از پای تپه ماسه ای به سمت دریا بر حسب متر است. واحد سایر پارامترها همانند معادلات قبل است.

۴-۳-۲. معادله نیمرخ تعادلی کومار

پس از ارائه معادله نیمرخ تعادلی ساحل توسط بادج^{۱۱} (۱۹۹۵)، دو محقق در سال ۱۹۹۴ سعی کردند تا با اعمال پارامترهای شیب واقعی بستر و ارتفاع و پیروود موج طوفان در معادله اولیه؛ نتایج دقیق تری را از نیمرخ تعادلی ساحل بدست آورند (کومار و مک دوگال^{۱۲}، ۱۹۹۴):

$$h = \frac{S_0}{k} (1 - e^{-kx}) \quad (12-2)$$

در این معادله، S_0 شیب ساحل در قسمت ناحیه ساحلی و k پارامتری وابسته به عمق پایانی و شیب ساحل هستند که از رابطه های زیر محاسبه می شوند:

$$k = \frac{1}{h_c} (S_0 - S_c) \quad (13-2)$$

¹¹ Bodge K.R.

¹² McDougal W.G.

$$S_0 = 0.12 \left[\frac{H_b^2}{gD_{50}T_b^2} \right]^{-1/4} \quad (14-2)$$

در معادله های بالا، h_c عمق پایانی، H_b حداکثر ارتفاع موج در ناحیه شکست، D_{50} قطر ذرات بستر بر حسب متر، T_b پریود نظیر ارتفاع شکست بر حسب ثانیه و S_c شیب طبیعی ساحل هستند. عمق پایانی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$h_c = 6.75H_s \quad (15-2)$$

H_s میانگین ارتفاع امواج در آب های عمیق بر حسب متر است. با توجه به رابطه هندسی مثلثی بین پارامترهای عمق و فاصله افقی و شیب بستر، شیب طبیعی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$S_c = \frac{h_c}{x_c} \quad (16-2)$$

۲-۳-۵. معادله نیمرخ تعادلی وانگ

در سال ۱۹۹۸، دو محقق بر روی معادله ای که اینمان^{۱۳} و همکارانش (۱۹۹۳) برای نیمرخ تعادلی ساحل ارائه داده بودند، کار کرده و آن را به فرم زیر بهینه و کاربردی نمودند (وانگ و دیویس^{۱۴}، ۱۹۹۸):

$$h = A_1 x^{m_1} \quad 0 < x \leq x_{tr} \quad (17-2)$$

$$h = h_{tr} + \frac{h_{bt} - h_{tr}}{x_{bt} - x_{tr}} (x - x_{tr}) \quad x_{tr} < x < x_{bt} \quad (18-2)$$

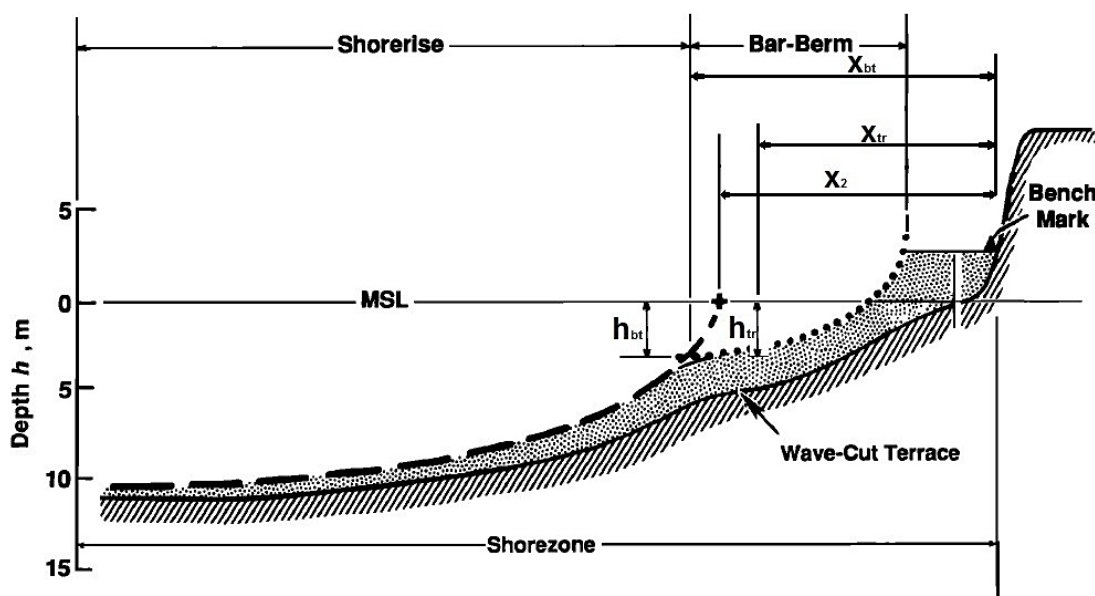
$$h = A_2 (x - x_2)^{m_2} \quad x_{bt} \leq x < x_c \quad (19-2)$$

که در معادلات بالا، A_1 و A_2 به ترتیب پارامتر مقیاس رسوبات مربوط به ناحیه ساحل تا فرورفتگی قبل

¹³ Inman D.L.

¹⁴ Davis Jr. R.A.

از پشته و ناحیه پشته تا عمق پایانی و m_1 و m_2 شیب تجربی ساحل در ناحیه خط ساحلی تا حوض قبل از تشکیل پشته و ناحیه قله پشته تا عمق پایانی که مقدار آنها به ترتیب $0/67$ و $0/8$ تا $0/85$ است، x_{tr} و h_{tr} به ترتیب عمق و فاصله ناحیه فرورفتگی قبل از پشته تا ساحل، h_{bt} و x_{bt} به ترتیب عمق و فاصله پشته تا ساحل و x_2 فاصله عرض از مبدأ ناحیه نزدیک به ساحل با تراز متوسط سطح آب می باشند (شکل ۱-۲).



شکل (۱-۲). نیمرخ پیشنهادی اینمان و همکاران (۱۹۹۳)

مقدار x_2 به صورت زیر بدست می آید:

$$x_2 = 0.652x_{bt} \quad (2-20)$$

معادله اینمان، رفتار نیمرخ ساحل را به شکل دو سهمی مقعر و یک سهمی محدب در نظر می گیرد (با توجه به تشکیل پشته در ناحیه شکست موج و نیز فرورفتگی قبل و بعد از آن)؛ که این کار باعث می شود تا رفتار معادله با رفتار نیمرخ طبیعی ساحل ماسه ای تشابه بیشتری داشته باشد.

۲-۴. نیمرخ سواحل جنوبی دریای خزر

در این تحقیق جهت دست یابی به نتایجی دقیق و قابل قبول، سعی شده است تا داده های عمق آب از بیشترین سواحل شهرهای موجود واقع در نواحی جنوبی دریای خزر برداشت شود. در این راستا سواحل انزلی و دستک از استان گیلان، سواحل نمک آبرود، محمودآباد و لاریم از استان مازندران و ساحل میانکاله از استان گلستان مورد بررسی قرار گرفته اند. در جدول ۲-۱ اطلاعات اندازه متوسط ذرات رسوبی و اطلاعات امواج آمده است؛ همچنین در شکل ۲-۲ نمای ناحیه جنوبی دریای خزر مشاهده می شود.

جدول (۲-۱). اطلاعات امواج دریای خزر (مدل سازی امواج دریاهای ایران، جلد اول: دریای خزر، ۱۳۸۷)

پارامترها	انزلی	دستک	نمک آبرود	محمودآباد	لاریم	میانکاله
اندازه متوسط ذرات بستر (m)	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۱۷
تغییرات تراز آب دریا (۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳ - m)	-۰/۱۳۲	-۰/۱۳۲	-۰/۱۳۲	-۰/۱۳۲	-۰/۱۳۲	-۰/۱۳۲
ارتفاع حداکثر امواج در آب عمیق (m)	۵/۸۶	۵/۸۶	۶/۳	۶/۳	۵/۳۲	۵/۳۲
متوسط ارتفاع امواج در آب عمیق (m)	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۶۷
پریود حداکثر امواج در آب عمیق (sec)	۱۲/۹۳	۱۲/۹۳	۱۳/۲۵	۱۳/۲۵	۱۲/۰۲	۱۲/۰۲
پریود متوسط امواج در آب عمیق (sec)	۴/۸۶	۴/۸۶	۴/۲۵	۴/۲۵	۴/۷	۴/۷
ارتفاع حداکثر امواج در ناحیه شکست (m)	۵/۲۲	۵/۲۲	۵/۸۰	۵/۸۰	۴/۷۹	۴/۷۹
ارتفاع متوسط امواج در ناحیه شکست (m)	۰/۶۸	۰/۶۸	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۶۶
پریود حداکثر امواج در ناحیه شکست (sec)	۱۳/۱	۱۳/۱	۱۳/۴۲	۱۳/۴۲	۱۲/۱۹	۱۲/۱۹
پریود متوسط امواج در ناحیه شکست (sec)	۴/۸۷	۴/۸۷	۴/۲۶	۴/۲۶	۴/۷۲	۴/۷۲

همان طور که در جدول ۱-۲ مشاهده می شود، اندازه متوسط ذرات در سواحل دریای خزر محدوده تقریباً یکسانی دارد و در حدود $0/0002$ متر است؛ البته همین اختلاف اندک در اندازه متوسط ذرات موجب می شود که تابع رفتاری نیمرخ ها با یکدیگر متفاوت باشند و در نتیجه هر ساحل رفتار مختص به خود را داشته باشد. با توجه به داده های مربوط به دوره بازگشت ۱۲ ساله در سواحل جنوبی دریای خزر، ارتفاع حداکثر امواج در آب های عمیق در شرایط طوفانی معادل $5/8$ متر و پریود نظیر آن نیز در حدود $12/7$ ثانیه است که در این حالت ارتفاع امواج در ناحیه شکست موج چیزی در حدود ۵ متر خواهد بود؛ این اعداد نشان می دهند که دریای خزر ماهیتی تقریباً طوفانی دارد. در شرایط طبیعی و میانگین امواج در طول دوره ۱۲ ساله، ارتفاع آن در آب های عمیق چیزی در حدود $0/67$ متر با پریود $4/7$ ثانیه است، که این شرایط حاکی از رفتار نرمال دریای خزر در شرایط جوی خوب و آرام خواهد داشت.



شکل (۲-۲). ناحیه جنوبی دریای خزر - Google Maps

۲-۴-۱. نیمرخ ساحلی انزلی

شهرستان انزلی در استان گیلان و در ناحیه جنوب غربی دریای خزر واقع شده است که از شرق به شهرستان رشت و از سمت غرب به شهرستان رضوانشهر و از جنوب به شهرستان صومعه سرا متصل

است. انزلی یکی از مهمترین شهرهای بندری ایران واقع در دریای خزر است که بزرگترین خط ترانزیتی دریایی ایران با کشورهای حاشیه دریای خزر به حساب می آید.

شیب متوسط اندازه گیری شده سواحل انزلی $0/011$ است؛ همچنین قطر متوسط ذرات بستر در حدود $0/0002$ متر و سرعت ته نشینی آن نیز $0/0257$ متر بر ثانیه است (مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ۱۳۹۴). سرعت ته نشینی ذرات بستر در ناحیه پشته تا عمق پایانی نیز برابر $0/01$ متر بر ثانیه است (لشته نشایی و غبرایی، ۱۳۸۵).

۲-۴-۲. نیمرخ ساحلی دستک

بخش دستک زیر مجموعه شهرستان آستانه اشرفیه در استان گیلان و در ناحیه جنوبی دریای خزر واقع شده است. آستانه اشرفیه از سمت شرق و غرب به ترتیب با شهرستان های لاهیجان و رشت همسایه است.

شیب متوسط اندازه گیری شده سواحل دستک $0/011$ است؛ همچنین قطر متوسط ذرات بستر در حدود $0/00019$ متر و سرعت ته نشینی آن نیز $0/0238$ متر بر ثانیه است (مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ۱۳۹۴). سرعت ته نشینی ذرات بستر در ناحیه پشته تا عمق پایانی نیز برابر $0/01$ متر بر ثانیه است (لشته نشایی و غبرایی، ۱۳۸۵).

۲-۴-۳. نیمرخ ساحلی نمک آبرود

شهر نمک آبرود در استان مازندران واقع شده است که به چالوس و کلارآباد متصل است. این شهر در ناحیه شمالی خود، بخشی از سواحل جنوبی دریای خزر را در بر می گیرد.

شیب متوسط اندازه گیری شده سواحل نمک آبرود برابر با $0/013$ است؛ قطر متوسط ذرات بستر این سواحل $0/00023$ متر و همچنین سرعت ته نشینی آنها نیز $0/0314$ متر بر ثانیه است (مرکز ملی

مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ۱۳۹۴). سرعت ته نشینی ذرات بستر در ناحیه پشته تا عمق پایانی نیز برابر ۰/۰۱ متر بر ثانیه است (لشته نشایی و غبرایی، ۱۳۸۵).

۴-۴-۲. نیمرخ ساحلی محمودآباد

شهرستان محمودآباد در ناحیه مرکزی استان مازندران واقع شده است که به شهرستان های نور و بابلسر متصل است. این شهرستان در ناحیه شمالی خود، بخشی از سواحل جنوبی دریای خزر را در بر می گیرد.

شیب متوسط اندازه گیری شده سواحل شهرستان محمودآباد برابر با ۰/۰۱۵ است؛ قطر متوسط ذرات بستر این سواحل ۰/۰۰۰۱۹ متر و همچنین سرعت ته نشینی آنها نیز ۰/۰۲۳۸ متر بر ثانیه است (مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ۱۳۹۴). سرعت ته نشینی ذرات بستر در ناحیه پشته تا عمق پایانی نیز برابر ۰/۰۱ متر بر ثانیه است (لشته نشایی و غبرایی، ۱۳۸۵).

۴-۴-۵. نیمرخ ساحلی لاریم

منطقه لاریم در استان مازندران و در ناحیه جنوب شرقی دریای خزر واقع شده است که از سمت غرب به بابلسر و از جنوب به ساری و نیز از سمت شرق به میانکاله متصل است.

شیب متوسط اندازه گیری شده سواحل لاریم ۰/۰۱۰ است؛ همچنین قطر متوسط ذرات بستر در حدود ۰/۰۰۰۱۷ متر و سرعت ته نشینی آن نیز ۰/۰۲۰۰ متر بر ثانیه است (مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ۱۳۹۴). سرعت ته نشینی ذرات بستر در ناحیه پشته تا عمق پایانی نیز برابر ۰/۰۱ متر بر ثانیه است (لشته نشایی و غبرایی، ۱۳۸۵).

۲-۴-۶. نیمرخ ساحلی میانکاله

میانکاله در ناحیه غربی استان گلستان واقع شده است که به شهرهای بهشهر و گلوگاه متصل است. این شهر در ناحیه شمالی خود، بخشی از سواحل جنوبی دریای خزر را در بر می گیرد. شیب متوسط اندازه گیری شده سواحل میانکاله برابر با ۰/۰۰۵ است؛ قطر متوسط ذرات بستر این سواحل ۰/۰۰۰۱۷ متر و همچنین سرعت ته نشینی آنها نیز ۰/۰۲۰۰ متر بر ثانیه است (مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، ۱۳۹۴). سرعت ته نشینی ذرات بستر در ناحیه پشته تا عمق پایانی نیز برابر ۰/۰۱ متر بر ثانیه است (لشته نشایی و غبرایی، ۱۳۸۵).

۲-۵. مقایسه معادلات نیمرخ تعادلی ساحل با نیمرخ سواحل دریای خزر

محققین سعی بر ارائه معادله تعادلی نیمرخ ساحلی داشتند تا بتوان رفتار سواحل را بر اساس تئوری‌ها به بهترین شکل توصیف کرد تا از آنها در مطالعات علم مهندسی سواحل و همچنین طراحی سازه‌های ساحلی و بندری استفاده کرد. با بررسی این معادلات با داده‌های سواحل مورد مطالعه نواحی جنوبی دریای خزر واقع در ایران، می‌توان رفتار هر یک از این معادلات را با رفتار سواحل مورد نظر و در کل مجموعه رفتاری نواحی ساحلی دریای خزر در منطقه ایران مقایسه نمود. در جدول ۲-۲ مقادیر پارامترهای محاسبه شده از معادلات اشاره شده در بالا، جهت تعیین نیمرخ‌های تعادلی ساحل آمده است.

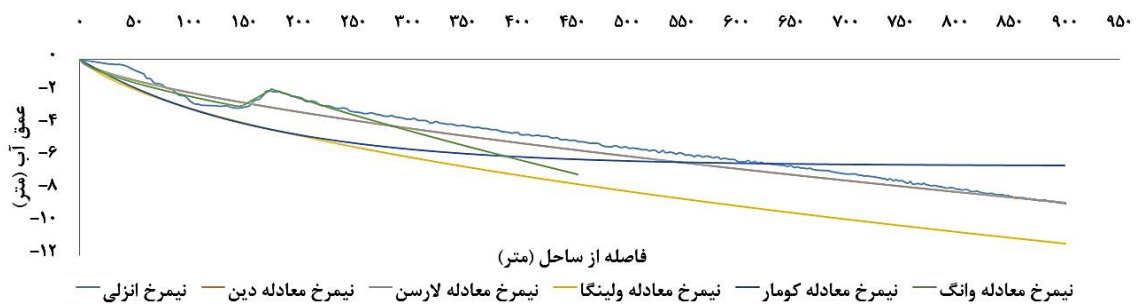
جدول (۲-۲). مقادیر پارامترهای محاسبه شده جهت تعیین نیمرخ‌های تعادلی ساحل

پارامترها	انزلی	دستک	نمک آبرود	محمودآباد	لاریم	میانکاله
سرعت ته نشینی رسوبات (m/s)	۰/۰۲۵۷	۰/۰۲۳۸	۰/۰۳۱۴	۰/۰۲۳۸	۰/۰۲۰۰	۰/۰۲۰۰
پارامتر مقیاس رسوبی ($m^{1/3}$)	۰/۰۹۱۶	۰/۰۸۷۰	۰/۱۰۴۶	۰/۰۸۷۰	۰/۰۷۷۵	۰/۰۷۷۵
شیب محاسباتی بستر - معادله لارسن (m)	۰/۰۳۸	۰/۰۳۷	۰/۰۴۰	۰/۰۳۵	۰/۰۳۴	۰/۰۳۴

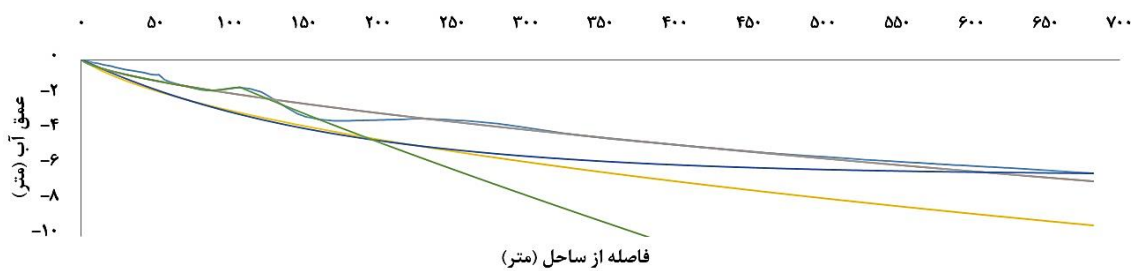
جدول (۲-۲). مقادیر پارامترهای محاسبه شده جهت تعیین نیمرخ های تعادلی ساحل (ادامه)

۰/۱۸۰	۰/۱۸۰	۰/۲۳۶	۰/۳۱۱	۰/۲۱۷	۰/۲۳۵	عمق فرورفتگی قبل از پشته - معادله لارسن (m)
۸/۸۷۰	۸/۸۷۰	۱۱/۱۶۲	۱۲/۸۲۰	۹/۸۸۱	۱۰/۲۶۸	فاصله افقی محل فرورفتگی قبل از پشته تا ساحل (m)
۴/۵۲۳	۴/۵۲۳	۴/۳۸۸	۴/۳۸۸	۴/۷۹۳	۴/۷۹۳	عمق پایانی (m)
۸۸۵/۳۶۹	۴۵۴/۸۵۸	۲۹۶/۸۰۵	۳۲۷/۸۵۶	۴۵۱/۰۴۴	۴۵۴/۴۳۷	فاصله خط ساحل تا عمق پایانی (m)
۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	شیب طبیعی ساحل
۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۳۸	۰/۰۴۰	۰/۰۳۹	۰/۰۴۰	شیب ساحل در ناحیه ساحلی - معادله کومار
۰/۰۰۷۴۲	۰/۰۰۶۳۵	۰/۰۰۵۲۷	۰/۰۰۶۰۲	۰/۰۰۶۰۲	۰/۰۰۶۱۵	ضریب وابسته به عمق پایانی - معادله کومار (K)
۱/۸۹۷	۳/۵۲۳	۱/۱۰۷	۳/۲۵۳	۱/۷۶۰	۲/۹۷۳	عمق ناحیه فرورفتگی قبل از پشته (m)
۱۰۱/۷۵۹	۱۵۹/۳۳۸	۳۱/۷۱۵	۹۷/۱۰۷	۸۷/۸۴۳	۱۴۳/۷۰۶	فاصله ناحیه فرورفتگی قبل از پشته تا ساحل (m)
۱/۲۱۷	۲/۱۰۰	۱/۰۳۰	۲/۶۰۷	۱/۵۸۰	۱/۹۰۰	عمق پشته (m)
۱۲۲/۴۲۹	۱۸۶/۷۸۸	۴۹/۶۹۵	۱۳۴/۲۶۶	۱۰۶/۱۱۳	۱۷۳/۰۱۶	فاصله پشته تا ساحل (m)
۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۲۰	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۲۳	اندازه متوسط ذرات رسوبی در ناحیه ساحل تا حوض - معادله وانگ (m)
۰/۰۰۰۱۰	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱۵	اندازه متوسط ذرات رسوبی در ناحیه پشته تا عمق پایانی - معادله وانگ (m)
۰/۰۲۲	۰/۰۱۹	۰/۰۲۶	۰/۰۳۰	۰/۰۲۴	۰/۰۳۱	سرعت ته نشینی رسوبات در ناحیه ساحل تا حوض - معادله وانگ (m/s)
۰/۰۰۸	۰/۰۱۰	۰/۰۱۳	۰/۰۱۶	۰/۰۱۵	۰/۰۱۶	سرعت ته نشینی رسوبات در ناحیه پشته تا عمق پایانی - معادله وانگ (m/s)
۰/۰۸۳	۰/۰۷۶	۰/۰۹۲	۰/۱۰۰	۰/۰۸۹	۰/۱۰۳	پارامتر مقیاس رسوبی در ناحیه ساحل تا حوض - معادله وانگ ($m^{1/3}$)
۰/۰۴۲	۰/۰۴۸	۰/۰۵۹	۰/۰۶۷	۰/۰۶۴	۰/۰۶۶	پارامتر مقیاس رسوبی در ناحیه پشته تا عمق پایانی - معادله وانگ ($m^{1/3}$)
۷۹/۸۲۴	۱۲۱/۷۸۶	۳۲/۴۰۱	۸۷/۵۴۱	۶۹/۱۸۶	۱۱۲/۸۰۶	فاصله عرض از مبدأ ناحیه ساحلی با تراز متوسط سطح آب - معادله وانگ (m)

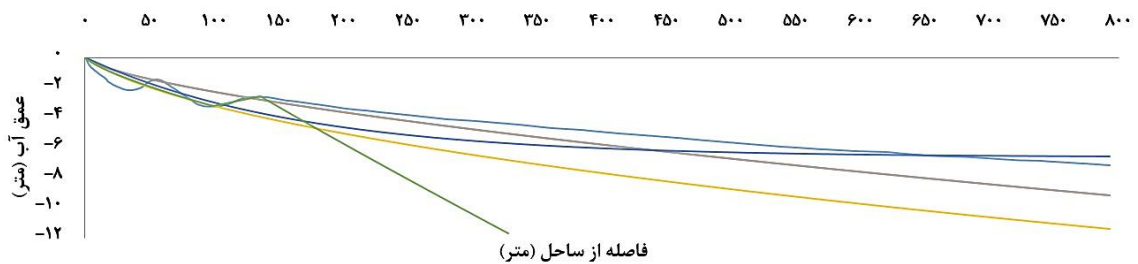
با توجه به جدول ۲-۲ و محاسبه پارامترهای موثر در تعیین نیمرخ‌های تعادلی، نتایج حاصل از تحلیل معادلات تعادلی و مقایسه آنها با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه در شکل‌های ۲-۳ تا ۲-۷ آمده است.



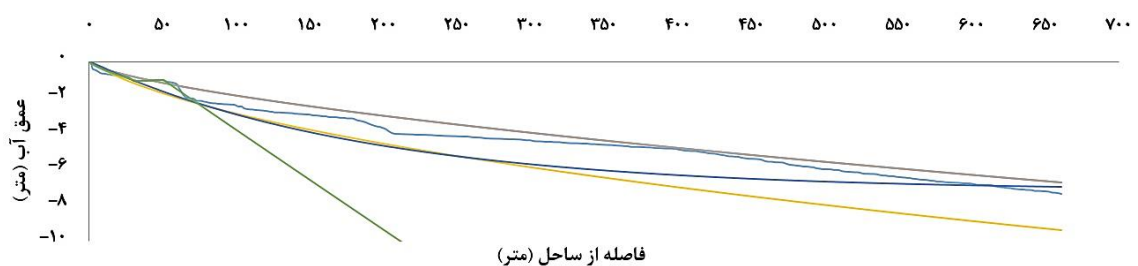
شکل (۲-۳). مقایسه نیمرخ ساحل انزلی با سایر نیمرخ‌های تعادلی حاصل از معادلات



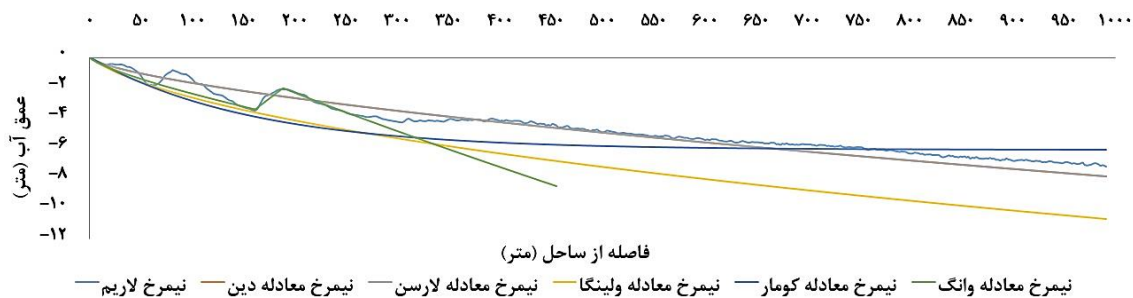
شکل (۲-۴). مقایسه نیمرخ ساحل دستک با سایر نیمرخ‌های تعادلی حاصل از معادلات



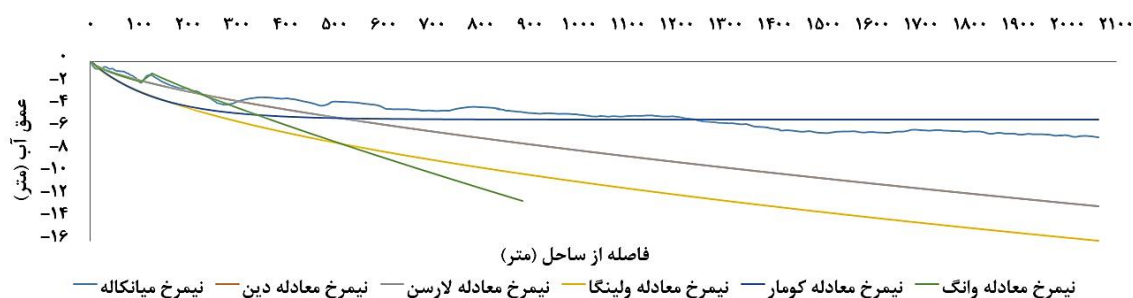
شکل (۲-۵). مقایسه نیمرخ ساحل نمک آبرود با سایر نیمرخ‌های تعادلی حاصل از معادلات



شکل (۲-۶). مقایسه نیمرخ ساحل محمودآباد با سایر نیمرخ‌های تعادلی حاصل از معادلات



شکل (۷-۲). مقایسه نیمرخ ساحل لاریم با سایر نیمرخ های تعادلی حاصل از معادلات



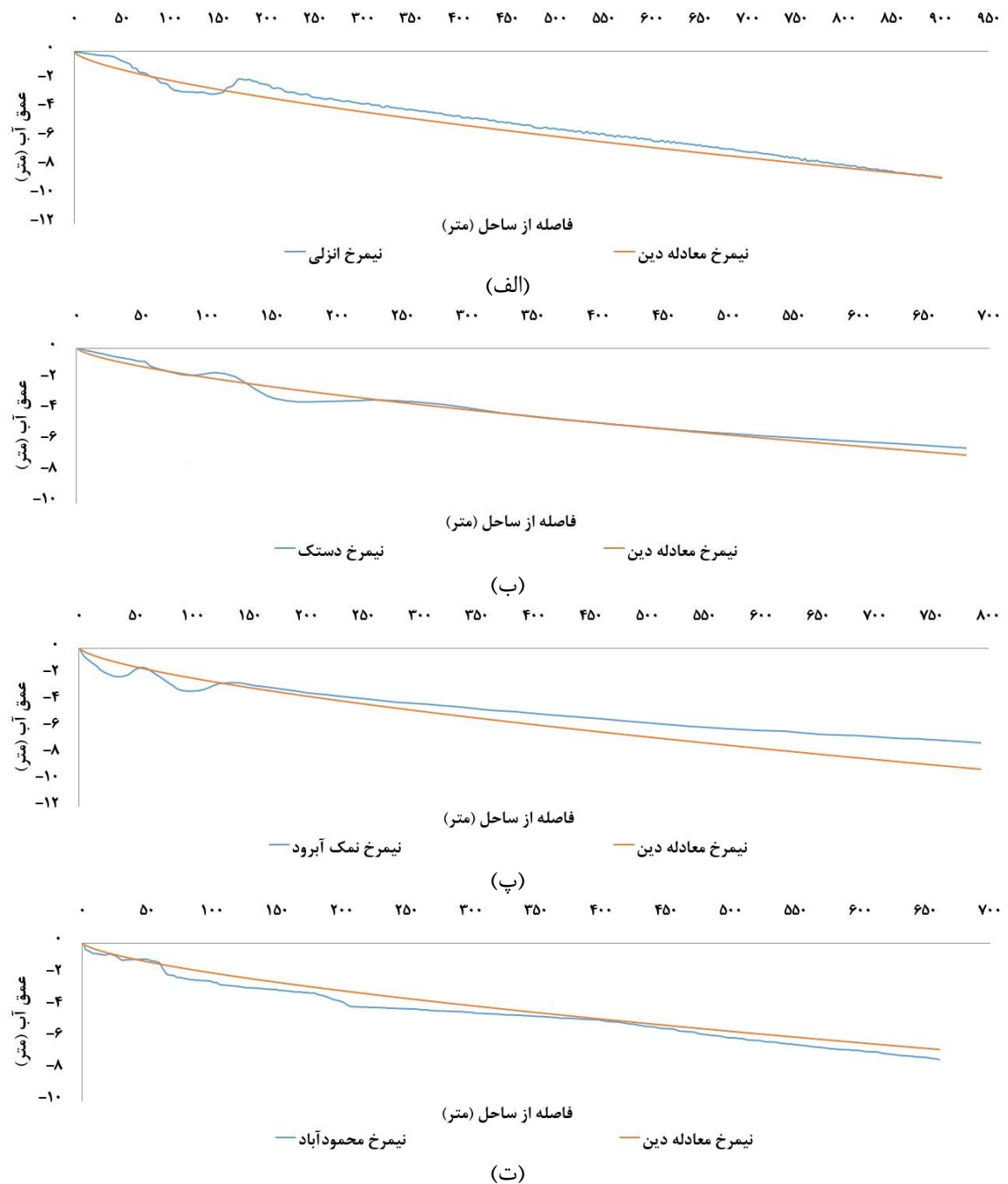
شکل (۸-۲). مقایسه نیمرخ ساحل میانکاله با سایر نیمرخ های تعادلی حاصل از معادلات

همانطور که از نمودارها مشاهده می شود، معادلات تعادلی نیمرخ عرضی ساحل که تا کنون ارایه شده است رفتار سواحل ماسه ای را می توانند تا حدودی پیش بینی نمایند، اما رفتار سواحل سنگی (صخره ای) و تا حدودی ریزدانه که رس دار هستند را قادر به پیش بینی دقیقی نیستند. در پیوست الف برای نمونه، جدول محاسبات نیمرخ انزلی آمده است.

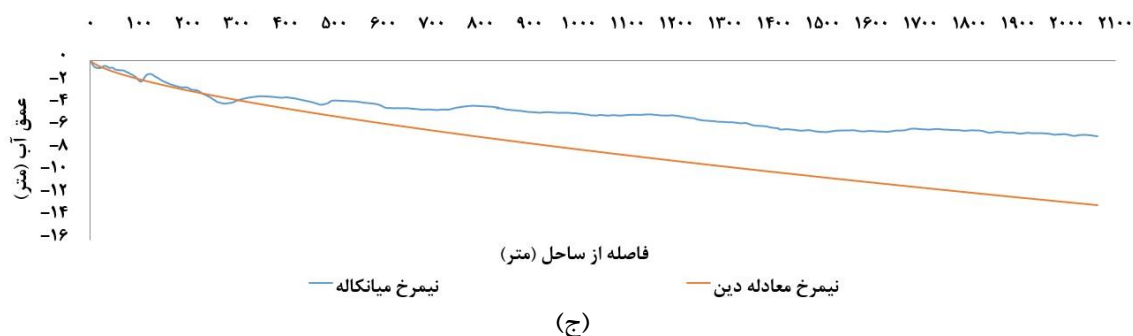
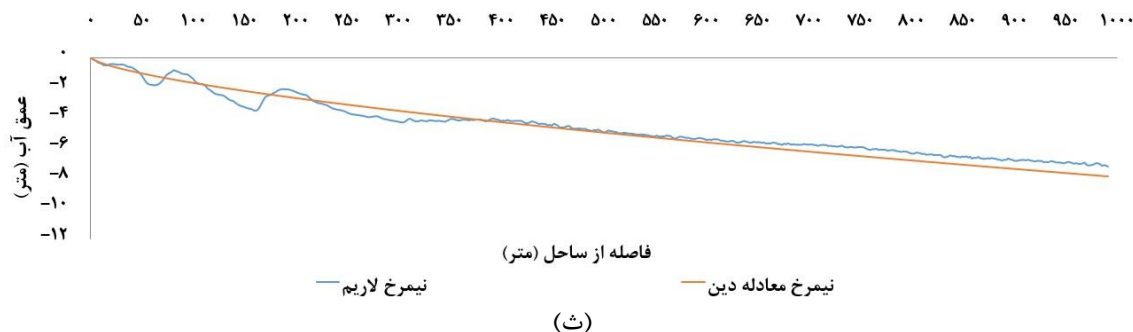
۲-۵-۱. تحلیل نیمرخ تعادلی دین

دین در معادله خود نیمرخ تعادلی ساحل را سهمی شکل در نظر گرفته است و بر اساس اندازه متوسط ذرات بستر، نیمرخ را ترسیم می کند. همان طور که در شکل ۲-۹ مشاهده می شود، معادله نیمرخ تعادلی دین، به جز منطقه میانکاله در تمامی سواحل پیش بینی خوب و منطقی ای را بر اساس هندسه نیمرخ تعادلی نشان می دهد. منطقه میانکاله با توجه به ماهیت منطقه ای، دارای بستری ریزدانه و از جنس ترکیبی رس و ماسه است (علیزاده و همکاران، ۲۰۰۹)؛ به دلیل خاصیت چسبنده بودن خاک های رسی، شیب این منطقه نسبت به شیب سایر سواحل مورد مطالعه کمتر است و تفاوت جنس

بستر باعث بروز خطا در محاسبات نیمرخ های تعادلی شده است. البته با توجه به نمودار منطقه میانکاله، معادله پیشنهادی دین تا فاصله ۳۰۰ متری ساحل پیش بینی خوبی را انجام داده است.



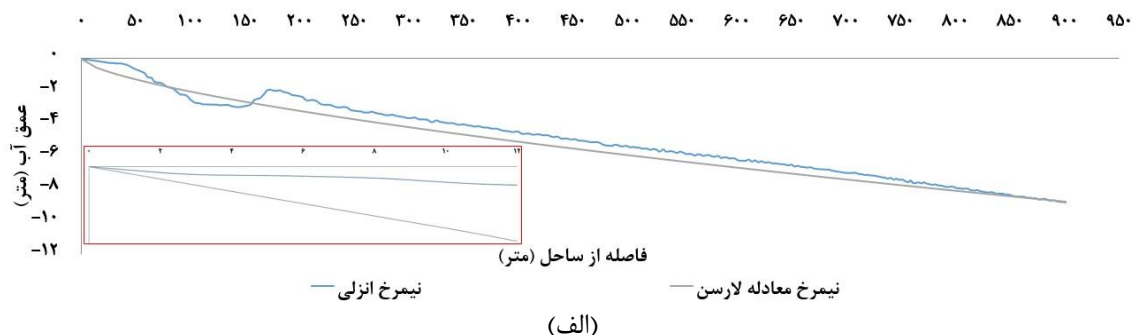
شکل (۲-۹). مقایسه نیمرخ تعادلی دین با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه؛ الف) انزلی، ب) دستک، پ) نمک آبرود، ت) محمودآباد، ث) لاریم، ج) میانکاله.



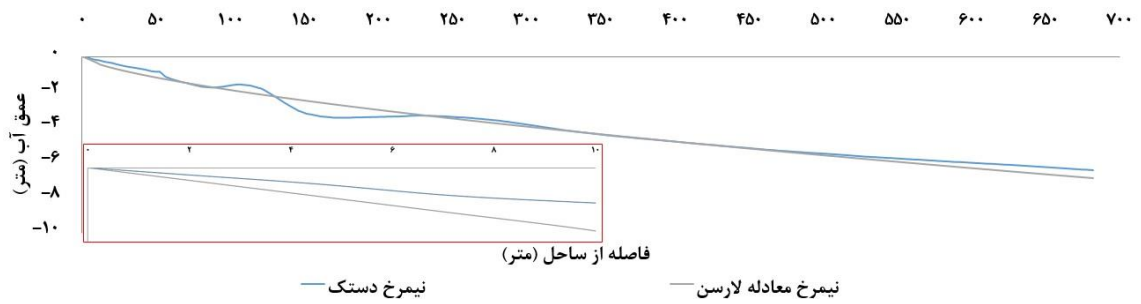
شکل (۲-۹). مقایسه نیمرخ تعادلی دین با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (ادامه)

۲-۵-۲. تحلیل نیمرخ تعادلی اصلاحی دین

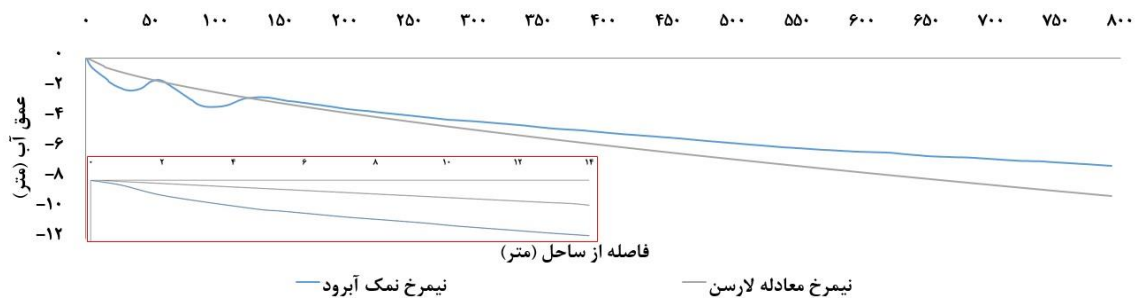
بر اساس معادله اصلاحی که لارسن ارائه نموده است، رفتار ناحیه ابتدایی ساحل (حد فاصل خط ساحل تا حدوداً ۱۴ متری مناطق مورد مطالعه) را خطی در نظر می‌گیرد و بعد از آن را همان رفتار سهمی معادله دین لحاظ می‌کند. اما تحلیل‌ها حاکی از این هستند که لزوماً سواحل در ناحیه ابتدایی خود رفتار خطی ندارند؛ این رفتار غیر خطی را در سواحل نمک‌آبرود، محمودآباد و لاریم می‌توان به وضوح مشاهده نمود. در شکل ۲-۱۰ تحلیل نیمرخ تعادلی اصلاحی دین آمده است.



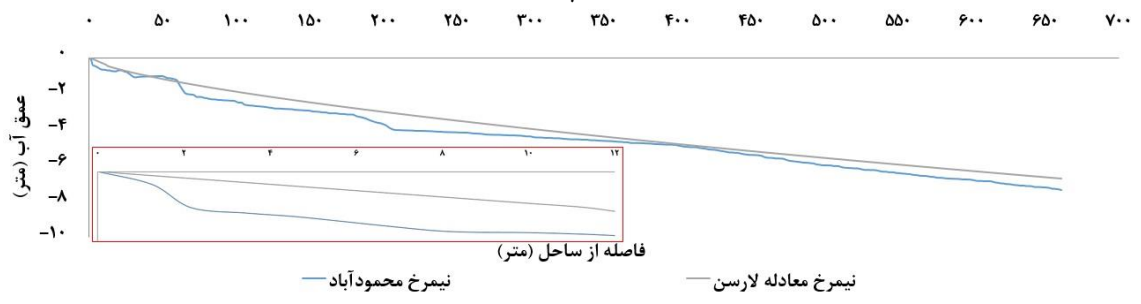
شکل (۲-۱۰). مقایسه نیمرخ تعادلی اصلاحی دین با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه؛ الف) انزلی، ب) دستک، پ) نمک‌آبرود، ت) محمودآباد، ث) لاریم، ج) میانکاله.



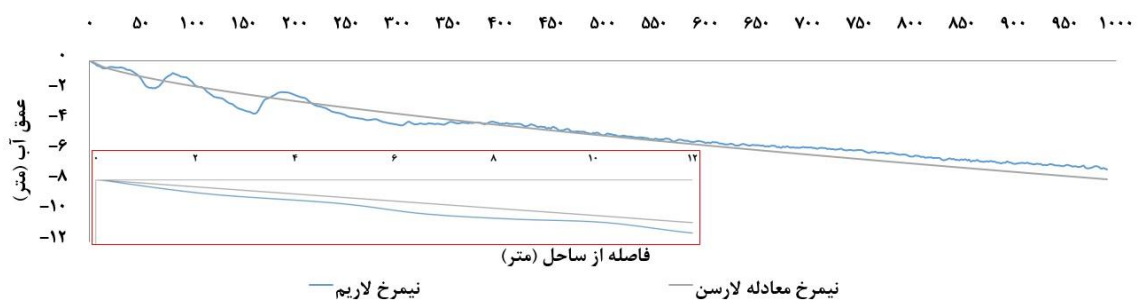
(ب)



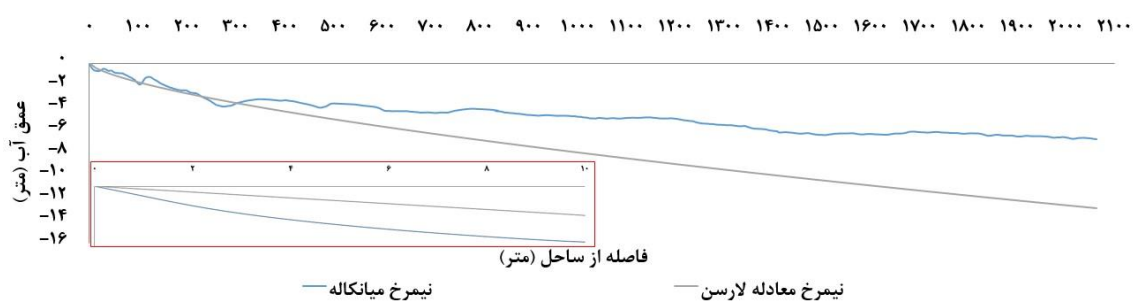
(پ)



(ت)



(ث)

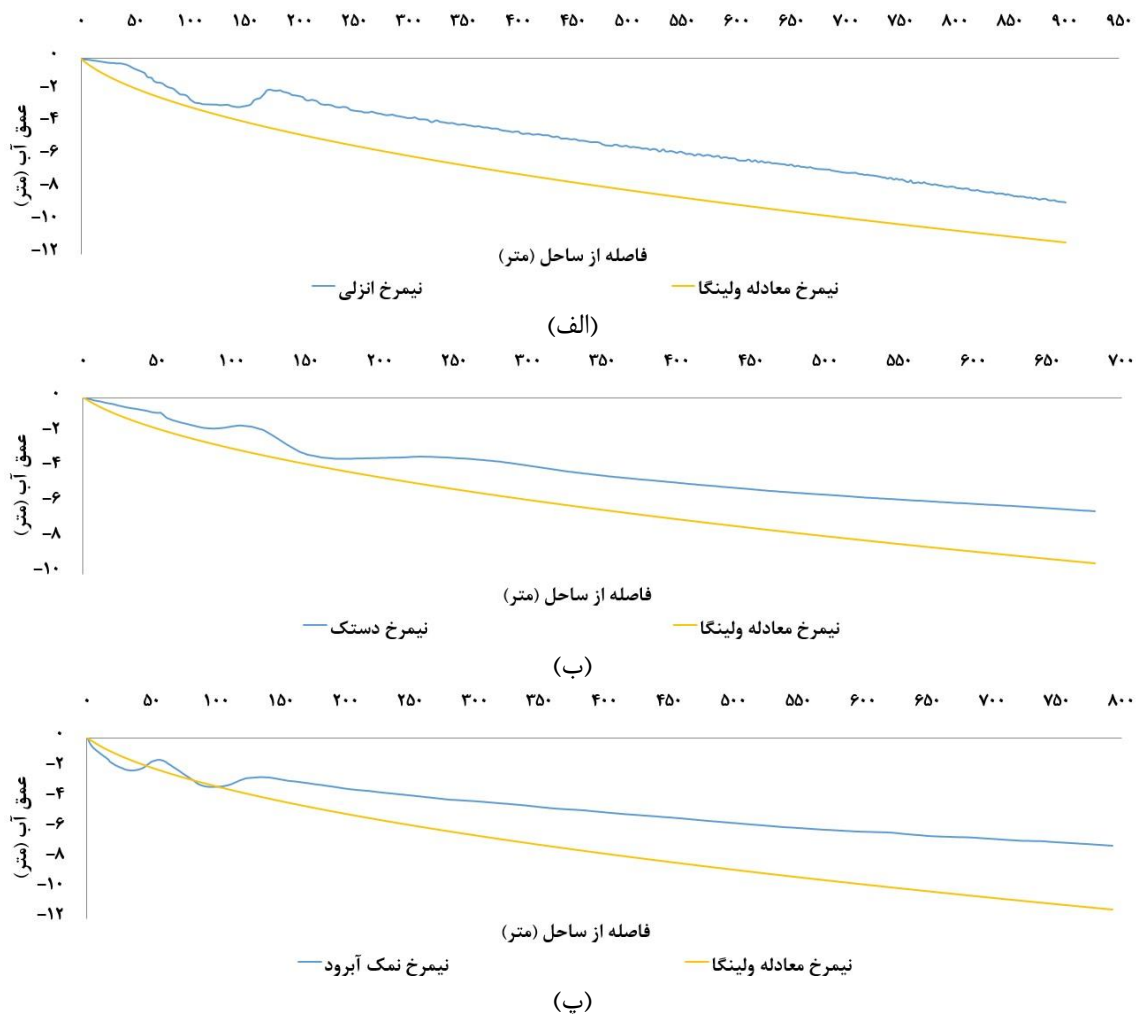


(ج)

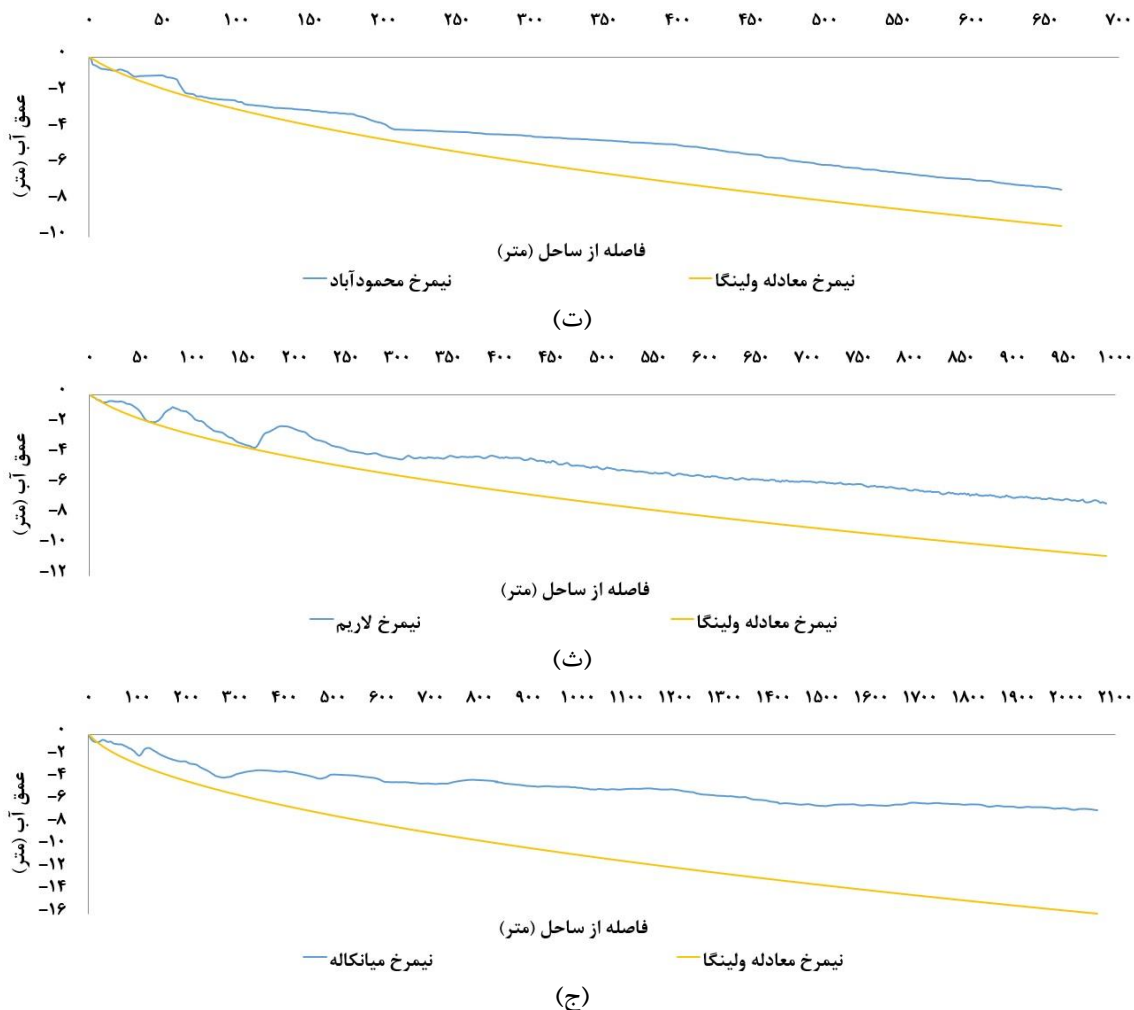
شکل (۲-۱۰). مقایسه نیمرخ تعادلی اصلاحی دین با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (ادامه).

۳-۵-۲. تحلیل نیمرخ تعادلی ولینگا

ولینگا در معادله پیشنهادی خود، اندازه متوسط ذرات بستر که تعیین کننده سرعت ته نشینی آن در آب است را به همراه ارتفاع حداکثر امواج در آب عمیق در نظر گرفته است. مدل ولینگا نیز مانند مدل دین، رفتار ساحل را به صورت سهمی نشان می دهد، اما نیمرخ تعادلی ساحل را نسبت به معادله دین با خطای بیشتری تخمین می زند. شکل ۲-۱۱ خروجی معادله ولینگا را به همراه نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه نشان می دهد.



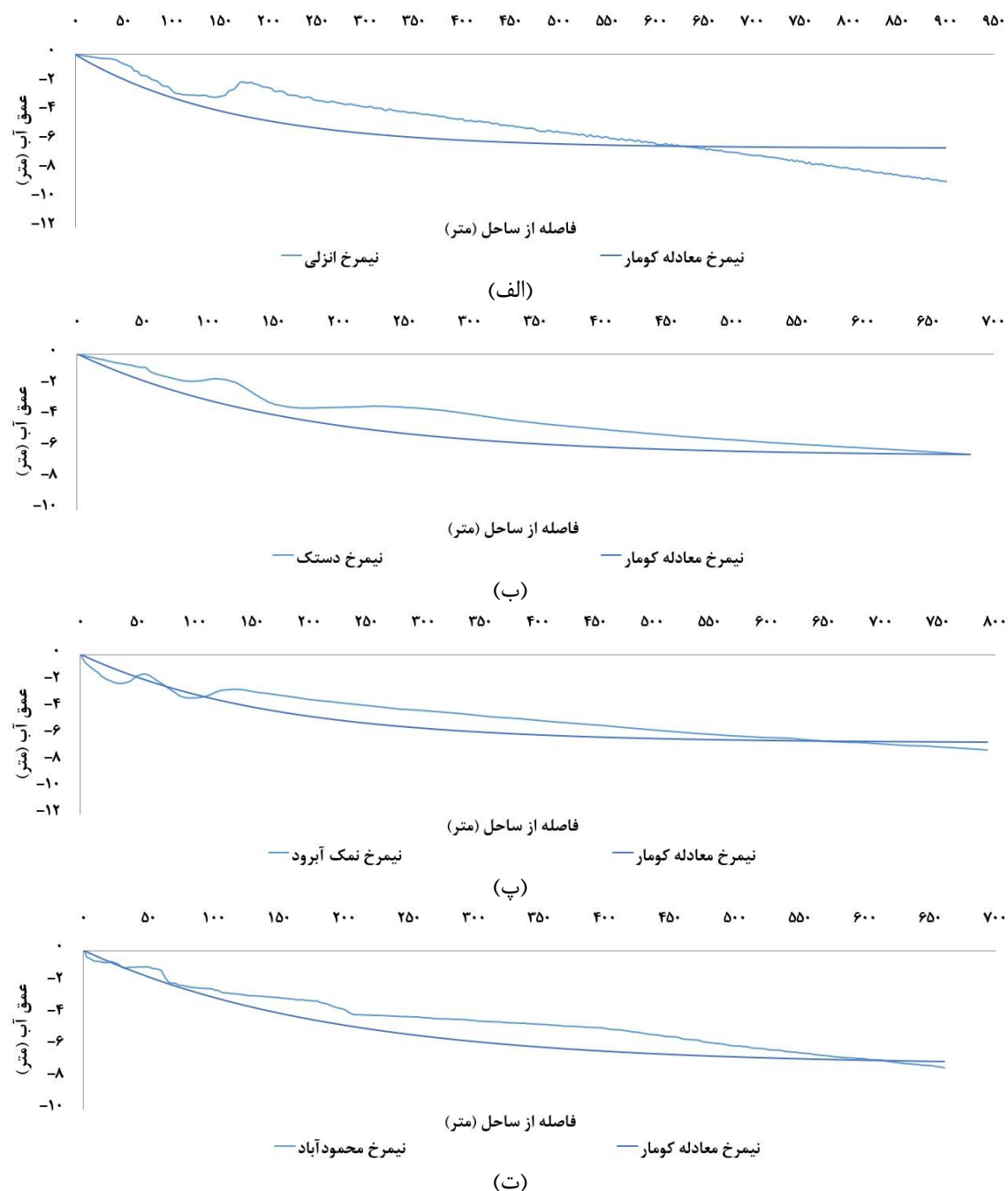
شکل (۲-۱۱). مقایسه نیمرخ تعادلی ولینگا با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه؛ الف) انزلی، ب) دستک، پ) نمک آبرود، ت) محمودآباد، ث) لاریم، ج) میانکاله.



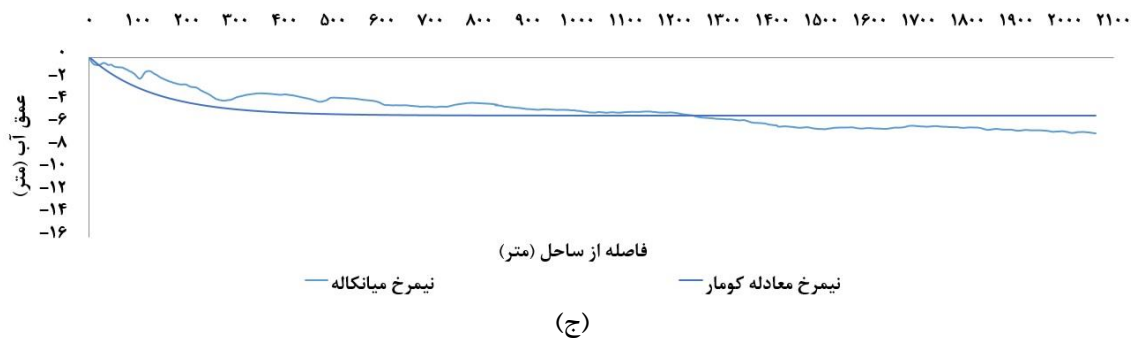
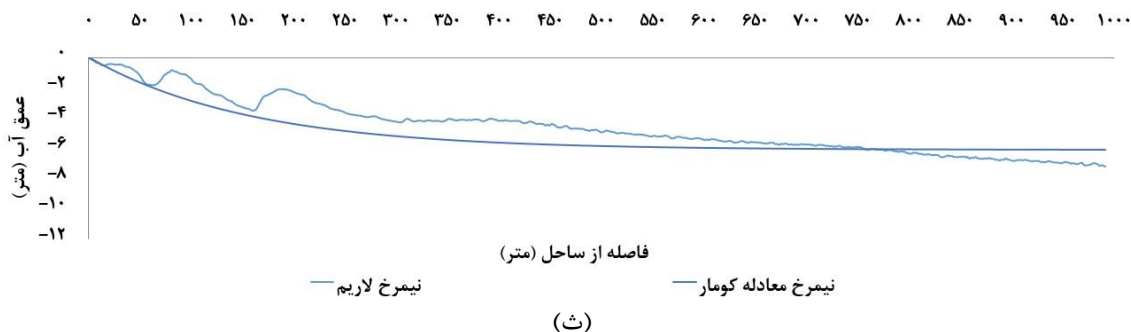
۲-۵-۴. تحلیل نیمرخ تعادلی کومار

کومار و مک دوگال در معادله ای که توسعه دادند با اعمال پارامتر هایی چون ارتفاع متوسط امواج در آب عمیق، عمق پایانی و شیب ساحل نسبت به عمق پایانی، اندازه متوسط ذرات بستر، ارتفاع حداکثر امواج در ناحیه شکست و تعریف شیب بستر در ناحیه ساحلی توانستند نیمرخ تعادلی سهمی شکلی را ارائه دهند که مانند معادله پیشنهادی دین رفتار نیمرخ ساحل را به نسبت خوب پیش بینی کند؛ با این حال شیب ابتدایی نیمرخ در ناحیه ساحلی کمی بیش از نیمرخ طبیعی ساحل مشاهده می شود و درواقع نیمرخ های پیشنهادی با شیب تندتری افزایش عمق می گیرند و با توجه به شکل ۲-۱۲ در اکثر موارد زیر نیمرخ طبیعی ساحل قرار می گیرند. کومار و مک دوگال با اعمال پارامتر های موثر بیشتری

در معادله تعادلی خود، پیش بینی تغییرات نیمرخ های ساحلی را با دامنه وسیع تری از اندازه ذرات بستر ممکن ساختند؛ همان طور که مشاهده می شود، این معادله پیش بینی مناسبی را برای ساحل ماسه ای - رسی میانکاله انجام داده است.



شکل (۲-۱۲). مقایسه نیمرخ تعادلی کومار با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه؛ (الف) انزلی، (ب) دستک، (پ) نمک آبرود، (ت) محمودآباد، (ث) لاریم، (ج) میانکاله.



شکل (۲-۱۲). مقایسه نیمرخ تعادلی کومار با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (ادامه).

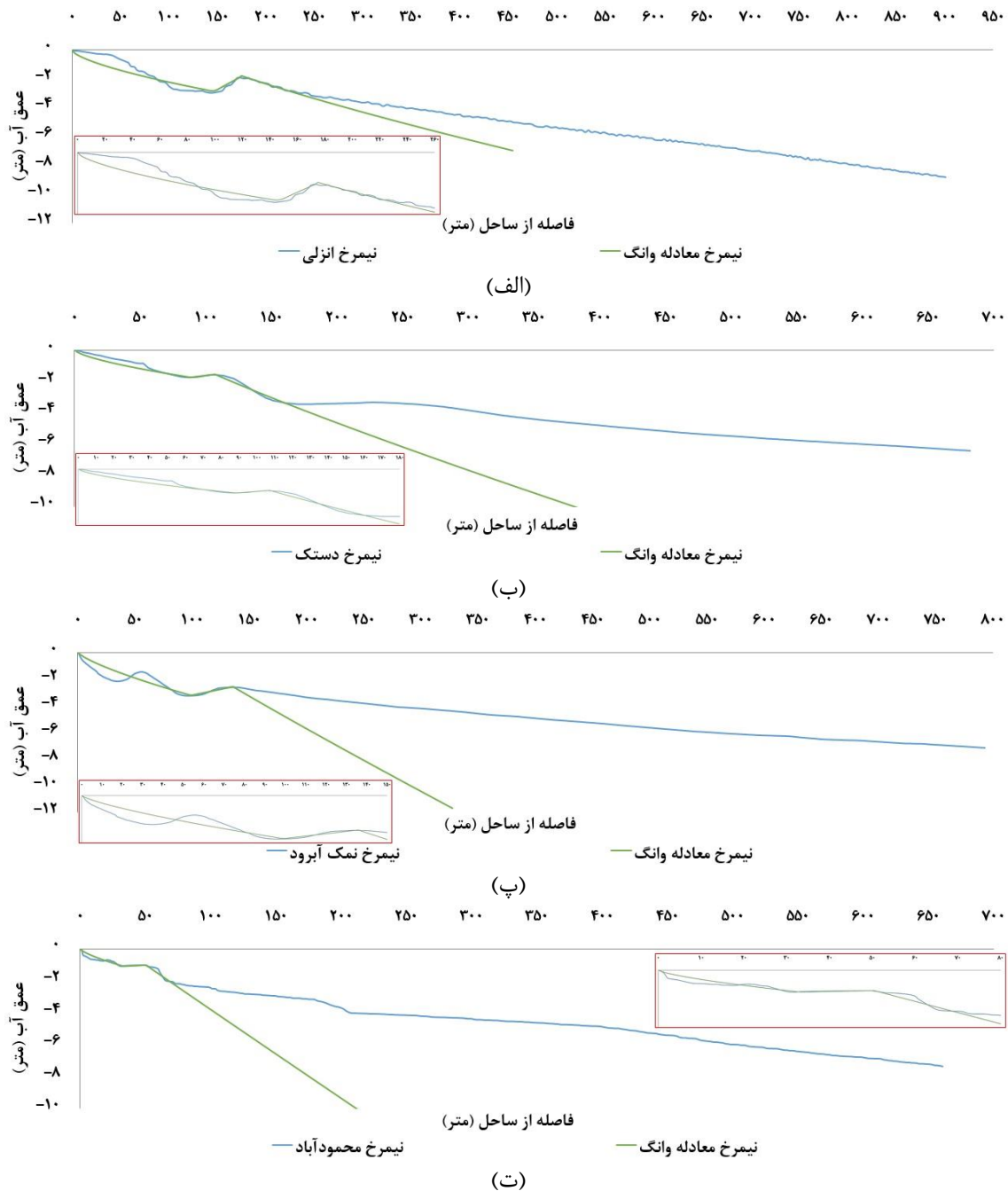
۲-۵-۵. تحلیل نیمرخ تعادلی وانگ

واقعیت این است، هرچقدر هم که شرایط امواج دریا آرام باشد، اما نیمرخ تعادلی ساحل دست کم در ناحیه کم عمق ساحلی رفتار سهمی ندارند و حداقل یک پشته با ارتفاع کم تشکیل خواهد شد؛ بنابراین معادله ارائه شده توسط اینمان و همکارانش (۱۹۹۳) که وانگ و دیویس آن را در سال ۱۹۹۸ توسعه دادند. با توجه به در نظر گرفتن این شرایط در معادله تعادلی و تفکیک آن به سه معادله سهمی شکل که ساحل را به سه ناحیه خط ساحلی تا حوض قبل از محل پشته، ناحیه پشته و ناحیه بعد از پشته تا عمق پایانی تقسیم می کند، رفتار طبیعی ساحل بهتر نشان داده می شود.

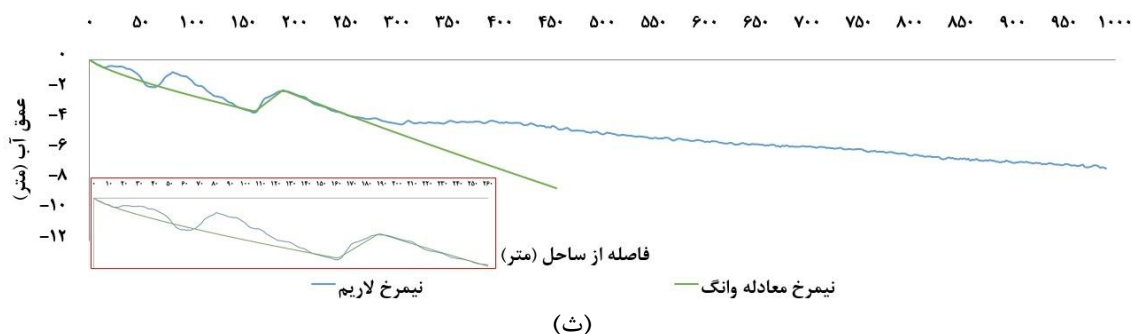
کومار و دیویس با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند قطر متوسط ذرات بستر، عمق آب در ناحیه حوض و پشته و همچنین تفکیک ساحل به دو ناحیه قبل و بعد از پشته و در نظر گرفتن دو شیب با مقادیر تجربی از تحلیل سواحل فلوریدا^{۱۵} برای ساحل (ناحیه خط ساحل تا قبل از پشته و ناحیه بعد از پشته تا عمق پایانی)، تحلیل منطقی ای از رفتار نیمرخ تعادلی انجام دادند. این معادله از ناحیه پشته تا عمق

¹⁵ Florida

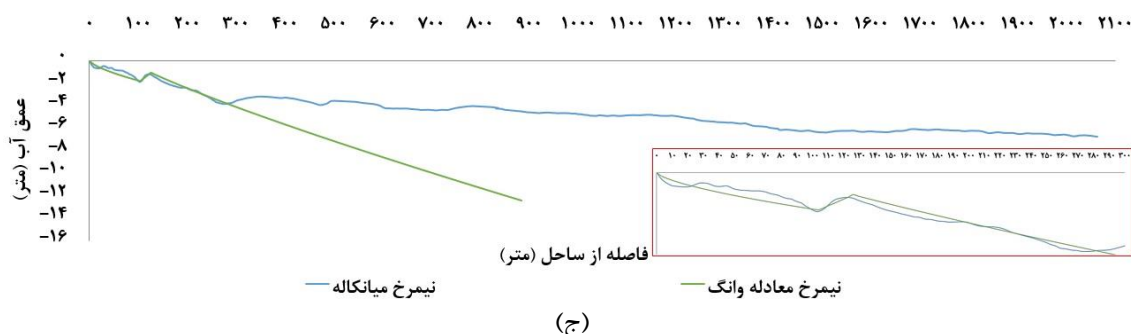
پایانی (سهمی سوم) را با خط تخمین می زند. مقایسه نمیرخ های معادله وانگ با نمیرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه در شکل ۲-۱۳ نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۳). مقایسه نیمرخ تعادلی وانگ با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه؛ الف) انزلی، ب) دستک، پ) نمک آبرود، ت) محمودآباد، ث) لاریم، ج) میانکاله.



(ث)



(ج)

شکل (۲-۱۳). مقایسه نیمرخ تعادلی وانگ با نیمرخ طبیعی سواحل مورد مطالعه (ادامه).

۲-۶. جمع بندی

معادله ولینگا با توجه به اختلاف قابل توجه آن با نیمرخ های طبیعی، جهت تحلیل و بررسی آن در سواحل جنوبی دریای خزر قابل استناد نخواهد بود. همچنین معادله اصلاحی دین که لارسن آن را توسعه داد، تنها تفاوت آن با معادله دین، خطی در نظر گرفتن تغییرات نیمرخ در ناحیه کم عمق ساحلی است که با مقایسه آن با نیمرخ های طبیعی ساحل مشاهده شد که رفتار ساحل عموماً خطی نیست. نیمرخ های حاصل از معادله وانگ با توجه به سه سهمی در نظر گرفتن شکل نیمرخ، تجربه موفق و زیبایی را از رفتار نیمرخ ساحل در ناحیه ساحلی تا محل تشکیل پشته حاصل نمود؛ اما عدم پیش بینی منطقی و درست نیمرخ ساحلی از ناحیه تشکیل پشته به سمت فراساحل و همچنین محدودیت پیش بینی نیمرخ عرضی تا عمق پایانی باعث خواهد شد که این معادله جهت تخمین نیمرخ تعادلی ساحل با خطای تقریباً زیادی همراه باشد.

نیمرخ معادله کومار با توجه به استفاده از پارامتر های موثر بیشتری در ناحیه ساحلی، شکل درستی از نیمرخ تعادلی ساحل پیش بینی می کند و حتی در سواحل با جنس بستر ماسه - رسی تحلیل های

نزدیکی را انجام می دهد؛ اما به دلیل در نظر گرفتن قوس ابتدایی زیاد در نیمرخ (ایجاد ناحیه شکمی در ناحیه عمق کم که در اکثر مناطق زیر نیمرخ طبیعی قرار می گیرد) باعث می شود که خطای پیش بینی نسبت به معادله دین کمی قابل توجه باشد.

دین با سهمی در نظر گرفتن نیمرخ تعادلی ساحل با توجه به ماهیت نیمرخ های تابستانی و زمستانی ساحل و نیز اعمال پارامتر اندازه متوسط ذرات بستر در معادله پیشنهادی خود، بهترین نیمرخ تعادلی را برای سواحل ماسه ای ترسیم نموده است. با توجه به نمودارهای ارائه شده، مشاهده می شود که معادله تعادلی دین با تمامی سواحل ماسه ای به خصوص پنج منطقه انزلی، دستک، نمک آبرود، محمود آباد و لاریم هماهنگی بسیاری دارد و ماهیت سهمی شکل این سواحل را به نحوی متناسب و قابل قبول پیش بینی می کند.

با توجه به مقایسه نیمرخ های تعادلی با هم و نیز با نیمرخ طبیعی سواحل ماسه ای جنوبی دریای خزر و همچنین بررسی عوامل تاثیر گذار در هر یک از معادلات نیمرخ تعادلی ساحل، مشاهده می شود که بهترین و نزدیک ترین معادله تعادلی با نیمرخ سواحل طبیعی، معادله تعادلی دین و کومار است که می توان از آن در حوزه علم مهندسی سواحل و همچنین طراحی های سازه های دریایی در نواحی جنوبی دریای خزر بهره برد.

فصل سوم

نوسانات تراز آب دریا و

تغییرات خطوط ساحلی

۳-۱. پیشگفتار

انتقال رسوبات و در نتیجه تغییر شکل بستر و موقعیت خط ساحلی در بیشتر موارد توسط اثر مستقیم امواج و جریان ها اتفاق می افتد. بیشتر تغییرات در ناحیه زوال موج رخ می دهد، یعنی جایی که امواج شکسته شده و در عمق های کم بر ساحل اثر می گذارند. در این ناحیه به علت شکست امواج، انرژی آنها آزاد شده و جریان های گردابی ایجاد می شود. اثر موج باعث افزایش میانگین ارتفاع آب در ناحیه شکست می شود. موج بر ساحل یورش و بازگشت دارد؛ در هنگام یورش مقدار جرم به ساحل اضافه شده و در هنگام بازگشت کاسته می شود؛ همچنین، ناحیه تاج موج های شکسته شده باعث انتقال آب به سمت ساحل می شود.

اکثر خطوط ساحلی دریا شامل سواحل ماسه ای است که متشکل از سواحل طولانی هستند که در برخی نقاط با رودخانه، مدخل جزر و مدی^۱ یا دماغه سنگی^۲ قطع می شوند. امواجی که به سواحل ماسه ای می رسند، شکسته شده و به سمت ساحل بالا می روند و به طور پیوسته ساحل را تغییر شکل می دهند. تغییر شکل های مداوم به این دلیل اتفاق می افتد که مشخصات موج (ارتفاع، پریود و زاویه نزدیک شدن) برای محدوده زمانی مشخص به ندرت ثابت می باشد. تغییر شکل ساحل توسط جریانات ناشی از موج برخوردی که در ناحیه شکست امواج گسترش می یابند و توسط عمل مستقیم امواج از طریق آشفستگی ایجاد شده از امواج شکسته و همچنین از بالا و پایین رفتن آب روی بدنه ساحل به وجود می آید. تغییر شکل همزمان ساحل به دلیل انتقال رسوب ناشی از موج هم در جهت های به سمت ساحل و دور از ساحل و هم در جهت امتداد ساحل رخ می دهد.

اندازه گیری نیمرخ ساحلی عمود بر خط ساحل در طول منطقه فعال فرایندهای ساحلی در مطالعات مهندسی سواحل از اهمیت زیادی برخوردار است. سواحل به طور پیوسته در معرض هجوم امواج قرار داشته و بنابراین نیمرخ عرضی آنها به صورت متناوب در حال تغییر می باشد؛ این تغییرات عمدتاً در

¹ Tidal inlet

² Rocky promontory

مجاورت ناحیه ساحلی که در آن اثرات ناشی از شکست امواج مشهودتر است، رخ می دهد. منظور از ناحیه ساحلی ناحیه ای است که از آن به بعد موج پیش رونده ایجاد شده در آب عمیق، وارد منطقه کم عمق ساحلی شده و اثرات کف بستر بر روی موج محسوس می باشد (سورنسن، ۲۰۰۶).

در اکثر نقاط ساحلی امواج طوفانی غالباً در ماه های زمستانی روی داده و امواج آرام تر در تابستان اتفاق می افتد. بنابراین عناوین نیمرخ های تابستانی و زمستانی اغلب جهت تعریف دو نوع نیمرخ بستر به کار می رود. سکوی پله ای ساحلی در زمان امواج ملایم، زمانی که موج روی وجه ساحل بالا می رود و ماسه ته نشین می شود، تشکیل می گردد. در نتیجه ارتفاع تاج سکوی پله ای به شدت وابسته به تراز متوسط بالاروی موج هنگام تشکیل وجه ساحل می باشد.

۲-۳. تغییر تراز سطح آب دریا

وقتی که تراز متوسط دریا در مکان های متعددی از ساحل و در طول مدت زمان طولانی اندازه گیری می شود، ملاحظه می گردد که این تراز نسبت به خشکی تغییر می کند. این تغییر ناشی از یک بالا آمدگی کلی در تراز متوسط دریاها به علاوه احتمال بالا آمدگی یا فرونشینی زمین ساختی^۳ ساحل می باشد (دین، ۱۹۸۳)

گمان می رود که بالا آمدن تراز کلی دریاها طی یک قرن گذشته بر اثر گرم شدن جو و در نتیجه آب شدن توده های یخی و گسترش آب دریاها باشد. پیش بینی هایی در خصوص سریع تر شدن بالا آمدگی تراز کلی دریاها طی قرن آتی وجود دارد. چنان چه این امر رخ دهد، اثرات آن در خط ساحلی قابل ملاحظه خواهد بود (نیکولز^۴ و کازناو، ۲۰۱۰؛ واریک و اورلمنز^۵، ۱۹۹۰).

تغییرات زیادی در تراز متوسط آب در دریاچه های بزرگ مشاهده شده است. این مساله اصولاً ناشی از

³ Tectonic uplift or subsidence

⁴ Nicholls R. J.

⁵ Warrick R. A. & Oerlemans J.

تغییرات فصلی و بارندگی طولانی مدت می باشد. این دریاچه ها دارای تغییرات متوسط فصلی برابر ۰/۳ متر و یا بیشتر و تغییرات بلند مدت برابر ۱ تا ۲ متر در طی چند سال خواهند بود (برگی، ۱۳۸۷).

۳-۲-۱. مطالعات تغییر تراز در سواحل امریکا

در اکثر سواحل امریکا، تراز نسبی آب دریا بالا آمده است، به غیر از برخی از نواحی ساحلی آلاسکا^۶ که نرخ بالا آمدگی ساحل از بالا آمدگی کلی تراز دریاها بیشتر است و این امر باعث پایین بودن تراز نسبی آب دریا می باشد. هایکس و هایکمن^۷ (۱۹۸۸) گزارش سالیانه تراز متوسط نسبی آب دریا برای ۴۵ ایستگاه در سواحل امریکا را با توجه به ۵۰ تا بیش از ۱۰۰ سال آمار جزر و مدی ارائه نمودند. تراز نسبی آب دریا در ۲۵ نقطه از سواحل اقیانوس اطلس در امریکا دارای تغییراتی از ۱/۷۹+ تا ۴/۳۳+ میلیمتر در سال بوده است، در حالی که چهار ایستگاه در آلاسکا دارای تغییرات تراز متوسط آبی از ۰/۰۹- تا ۱۲/۴- میلیمتر در سال می باشد. بالا آمدگی تراز دریا از ۲ تا ۴ میلیمتر در سال باعث بالا آمدگی برابر ۰/۲ تا ۰/۴ متر در یک قرن خواهد شد. این موضوع می تواند اثرات قابل توجهی بر روی ساحل داشته باشد، به این معنی که تراز متوسط آب در جلوی ساحل بالا آمده و عقب نشینی وجه ساحل در اثر این بالا آمدگی تراز دریا حاصل می گردد؛ همچنین، این امر دارای اثرات معنی دار در طراحی سازه های دریایی و ساحلی خواهد بود (برگی، ۱۳۸۷).

۳-۲-۲. مطالعات تغییر تراز دریای خزر در سواحل ایران

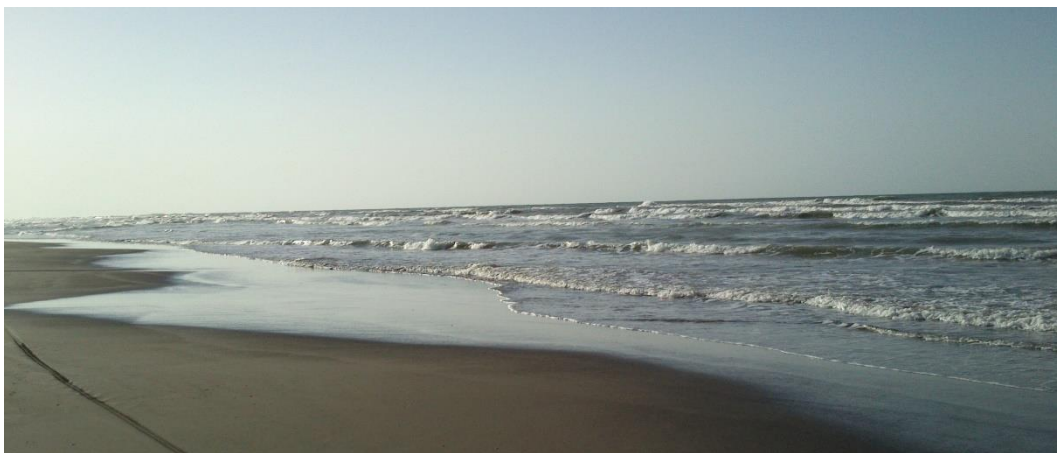
تغییرات تراز آب دریای خزر در بازه های زمانی مختلف، بسیار زیاد بوده است؛ این تغییرات در دوره هایی کاهشی و در دوره هایی نیز افزایشی بوده است (اداره کل بنادر و دریانوردی استان گیلان، ۱۳۹۴).

⁶ Alaska

⁷ Hicks S. D. & Hickman L. E.

تراز آب دریای خزر ۲۷ متر پایین تر از سطح اقیانوس قرار دارد. دریای خزر دارای رژیم هیدرولوژی بسیار ناپایدار است. از ویژگی های بارز دریای خزر نوسانات ادواری تراز آب می باشد. حداکثر دامنه تغییرات تراز آب در ده هزار سال گذشته تا ۲۵ متر و در ۲/۵ هزار سال گذشته تا ۱۵ متر می باشد که علت آن وجود مجموعه ای از فرایندهای اقلیمی، هیدرولوژی و زمین شناختی^۸ که در حوضه آن رخ می دهد، است (شاهینی، ۱۳۸۵). از سال ۱۹۳۳ تا ۱۹۴۰ میلادی، سطح تراز آب دریای خزر چیزی در حدود ۲ متر پایین آمد و سپس این روند تا سال ۱۹۷۷ میلادی با نرخ کمتری (در حدود ۳ سانتی متر در هر سال) ادامه پیدا کرد. از سال ۱۹۷۸ میلادی، سطح تراز آب دریای خزر با نرخ متوسط ۱۲ سانتی متر در هر سال شروع به افزایش کرد، که این روند صعودی تا سال ۱۹۹۳ میلادی ادامه پیدا کرد، در واقع در طی ۱۵ سال چیزی در حدود ۱/۸ متر بالا آمده است (کازناوا و همکاران، ۱۹۹۷).

از آن جایی که تغییرات تراز آب این دریا در کوتاه مدت عموماً مقدار زیادی است، پیشروی و پسروی خطوط ساحلی^۹ نیز در اثر کاهش و افزایش تراز آب دریا به مراتب زیاد خواهد بود؛ بنابراین بررسی و پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی در دریای خزر بسیار با اهمیت است. در شکل ۳-۱ ساحل دریای خزر در منطقه بندر کیاشهر نشان داده شده است.



شکل (۳-۱). ساحل دریای خزر - بندر کیاشهر

⁸ Geologically

⁹ Forward and retreat of the coastline

۳-۳. تغییر خطوط ساحلی ناشی از تغییر تراز سطح آب دریا

علاوه بر تغییرات نیمرخ های ساحل ناشی از برخورد امواج، در صورتی که تغییرات نسبی در تراز متوسط دریا (همانند اکثر سواحل جهان که این پدیده اتفاق افتاده است) رخ دهد، تغییراتی در نیمرخ ساحل ایجاد می گردد. هنگام افزایش تراز آب دریا، همراه با غرقاب شدن نیمرخ، وقتی که ماسه به دور از ساحل منتقل می شود و موقعیت تراز متوسط آب دریا روی وجه ساحل به سمت خشکی جابجا می گردد، بازآرایی نیمرخ به وجود می آید. بروون (۱۹۵۴ و ۱۹۶۲) این فرایند را توضیح داده و روشی را ارایه نموده است که با توجه به بالا آمدن مقدار کمی در تراز متوسط آب دریا بتوان فاصله ای را که خط ساحل تغییر می کند، محاسبه نمود. Bruun rule وابسته به پارامترهای افزایش تراز آب دریا، عمق پایانی، فاصله عمق پایانی تا خط ساحل و ارتفاع حداکثر بالاروی آب بر روی ناحیه ساحلی در اثر امواج است. همچنین در جهت بهبود پیش بینی های Bruun rule، رزاتی و دین (۲۰۱۳) انتقال رسوب ساحلی^{۱۰} را نیز در آن لحاظ نمودند که نتایج مطلوب تری را حاصل نمود.

تغییرات خطوط ساحلی (پیشروی و یا پسروی) بر اثر عوامل بیان شده، برای مناطق مسکونی ساحلی و خصوصا مناطق بندری از اهمیت ویژه ای برخوردار است. روند پیش بینی این تغییرات، آینده شهرهای ساحلی را رقم می زند و باعث اخذ تصمیماتی مبنی بر مقابله با پیشروی خطوط ساحلی به سمت مناطق مسکونی جهت کنترل آن و آسیب نرسیدن به این مناطق، خواهد شد؛ همچنین باعث خواهد شد تا برنامه ریزی های منطقی تری در طراحی و سیستم اقتصادی بنادر مهم تجاری و ماهیگیری صورت گیرد.

۳-۴. پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی

در زمینه پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی معادلات زیادی ارائه نشده است. بروون (۱۹۵۴) معادله ای

¹⁰ Landward sediment transport

بر پایه تعادل حجم فرسایش یافته و انباشته شده انتقال رسوبات عرضی ارایه نمود که بر اساس تغییرات تراز آب دریا، تغییر خط ساحل را پیش بینی می کند؛ رزاتی و دین (۲۰۱۳) علاوه بر تغییرات حجم فرسایش یافته از ساحل و انباشت آن در ناحیه ساحلی، حجم آورد رسوبی به سمت خشکی را نیز مدنظر قرار دادند.

تعادل حجم رسوب فرسایش یافته و انباشته شده بر اساس نیمرخ تعادلی دین (۱۹۷۷) بررسی شده است. همانطور که در فصل دوم اشاره شد، رفتار نیمرخ تعادلی سواحل دریای خزر به نیمرخ تعادلی دین بسیار نزدیک است و بنابراین تعادل حجم رسوبی که در معادلات تغییرات خطوط ساحلی آمده است، قابل قبول خواهد بود.

۳-۴-۱. قانون بروون

Bruun rule نرخ تغییرات افقی خط ساحل را با تغییرات تراز آب دریا، عمق پایانی، فاصله عمق پایانی تا خط ساحل و نیز ارتفاع قائم حداکثر پیشروی موج در ناحیه شستگی، مرتبط می داند که بر این اساس معادله زیر پیشنهاد شده است (بروون، ۱۹۵۴ و ۱۹۶۲):

$$R = S \frac{W_*}{h_* + B} \quad (۱-۳)$$

در معادله فوق R نرخ تغییرات افقی خط ساحل، S تغییرات تراز سطح آب دریا، B ارتفاع حداکثر بالاروی آب در اثر امواج بر حسب متر هستند؛ h_* و W_* نیز به ترتیب عمق پایانی و فاصله عمق پایانی تا خط ساحلی پس از تغییرات تراز آب دریا بر حسب متر هستند که معادلات آنها به صورت زیر است:

$$h_* = h_c \quad (۲-۳)$$

$$W_* = W + R \quad (۳-۳)$$

که در این معادلات، h_c عمق پایانی و W فاصله عمق پایانی تا خط ساحل قبل از تغییرات تراز آب دریا بر حسب متر هستند. در شکل ۳-۲ جزییات Bruun rule نشان داده شده است. جهت محاسبه عمق پایانی، مرکز تحقیقات مهندسی سواحل ارتش امریکا رابطه ای به صورت زیر ارائه داده است (سورنسن، ۲۰۰۶):

$$h_c = 6.75H_s \quad (۴-۳)$$

H_s میانگین ارتفاع امواج در آب های عمیق بر حسب متر است.

ارتفاع حداکثر بالاروی آب بر روی ناحیه ساحلی در اثر امواج بر حسب متر نیز از معادله زیر حاصل می شود (بالداک و هلمز^{۱۱}، ۱۹۹۹):

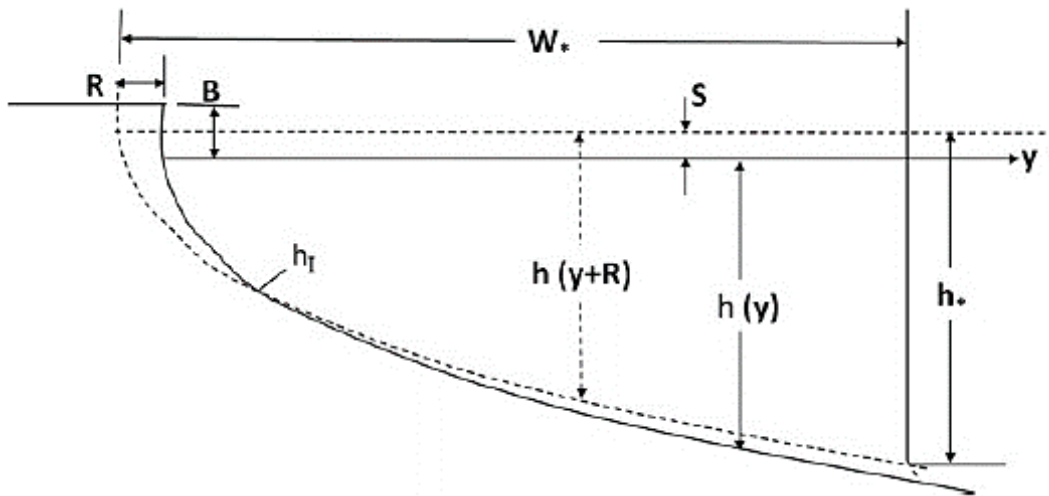
$$B = \frac{U_0^2}{2g} \quad (۵-۳)$$

که در آن g شتاب گرانش زمین بر حسب متر بر مجذور ثانیه و U_0 سرعت مرزی آب در خط ساحل بر حسب متر بر ثانیه است که از معادله زیر بدست می آید:

$$U_0 = C\sqrt{gH_B} \quad (۶-۳)$$

در این معادله H_B ارتفاع موج در ناحیه شکست بر حسب متر است؛ همچنین، C ضریب وابسته به فروپاشی موج در ناحیه شکست است که مقدار آن بین ۱ تا ۲ خواهد بود؛ در شرایط ساده که تمام انرژی پتانسیل به جنبشی تبدیل می شود، مقدار این ضریب برابر ۲ خواهد بود.

¹¹ Baldock T. E. & Holmes P.

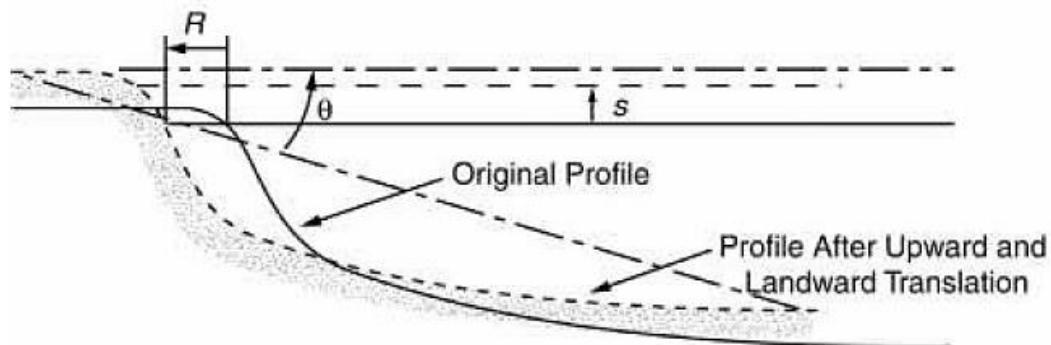


شکل (۳-۲). مشخصات Bruun rule (بروون، ۱۹۵۴ و ۱۹۶۲)

جهت محاسبه شیب طبیعی ساحل پس از افزایش تراز آب دریا می توان از معادله زیر استفاده نمود (دین و دالریمپل، ۲۰۰۴):

$$\tan \theta_* = \frac{(h_* + B)}{W_*} \quad (۷-۳)$$

نرخ تغییرات خط ساحل و نحوه محاسبه شیب طبیعی ساحل پس از افزایش تراز آب دریا در شکل ۳-۳ مشخص شده است.



شکل (۳-۳). مشخصات نرخ پسروی ساحل و افزایش تراز آب و شیب طبیعی ساحل (دین و دالریمپل، ۲۰۰۴)

بروون در قانون خود انتقال تمامی ماسه های فرسایش یافته در اثر افزایش تراز آب را به سمت دریا در نظر گرفت. تحقیقات آزمایشگاهی (شوارتز^{۱۲}، ۱۹۶۷ و ۱۹۸۷؛ ویلیامز^{۱۳}، ۱۹۷۸؛ پارک^{۱۴}، ۲۰۰۹) و مدل های عددی بسیاری (کوبایاشی^{۱۵} و همکاران، ۱۹۹۶؛ تگا^{۱۶} و کوبایاشی، ۲۰۰۰؛ دونلی^{۱۷} و همکاران، ۲۰۰۶؛ دونلی، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸؛ لارسن و همکاران، ۲۰۰۹) بر اساس Bruun rule انجام گرفته است. استیو^{۱۸} (۲۰۰۴) تحقیقات جامعی در زمینه تغییرات نیمرخ ها بر اساس افزایش تراز آب دریا انجام داد. کوپر و پیلکی^{۱۹} (۲۰۰۴) بیان کردند که Bruun rule اساسا بر پایه فرضیات غلطی استوار است و نمی توان از آن در جهت پیش بینی تغییرات خط ساحلی استفاده نمود. کاپلین و سلیمانوف^{۲۰} (۱۹۹۵) تغییرات نیمرخ دریای خزر در سال های ۱۹۷۸ تا ۱۹۹۱ را در بازه ای که دریای خزر افزایش تراز می توان از آن در جهت پیش بینی تغییرات خط ساحلی استفاده نمود. کاپلین و سلیمانوف^{۲۰} (۱۹۹۵) میزان ۱/۸ تا ۲/۵ متر داشته است، با Bruun rule مقایسه کردند. طبق نتایج حاصل شده، Bruun rule انطباق خوبی با تغییرات خطوط ساحلی داشته است. نویسندگان این مقاله اظهار داشتند که جهت رسیدن به نتایجی دقیق تر باید انتقال رسوب طولی، ناحیه شستگی و رسوبات ناشی از باد نیز در محاسبات اعمال شوند. بر این اساس لشته نشایی و همکارانش (۲۰۱۱)، تاثیر انتقال رسوب در اثر وزش باد بر تغییر شکل ساحل را بررسی نموده و مدلی ارائه کردند.

لیدرمن^{۲۱} و همکارانش (۲۰۰۰) تغییرات خطوط ساحلی مرتبط با افزایش تراز آب دریا را در پنج ساحل از میان سواحل شرقی امریکا بر اساس Bruun rule بررسی کردند؛ نویسندگان نتیجه گرفتند که مدل صدق می کند، اما همواره دامنه آن حداقل دو مرتبه بزرگتر از نرخ افزایش تراز دریا است. ژانگ و همکارانش (۲۰۰۴) بررسی دقیقی تری از Bruun rule و تغییرات خطوط ساحلی بر اساس افزایش تراز

¹² Schwartz M. L.

¹³ Williams P. J.

¹⁴ Park Y. H.

¹⁵ Kobayashi N.

¹⁶ Tega Y.

¹⁷ Donnelly C.

¹⁸ Stive M. J.

¹⁹ Cooper J. A. G. & Pilkey O. H.

²⁰ Kaplin P. A. & Selivanov A. O.

²¹ Leatherman S. P.

دریا در پنج ساحل مشابه لیدرمن و همکارانش (۲۰۰۰) انجام دادند؛ نویسندگان Bruun rule را تایید کردند، با این حال بیان نمودند که دو منطقه با نرخ تغییرات کم (لانگ ایسلند و دلماروا پنینسولا^{۲۲}) به صورت طبیعی تغذیه می شدند. با این حال در مطالعات آنها ناحیه شستگی و آورد رسوبی ناشی از باد دیده نشد.

راناسینگ^{۲۳} و همکارانش (۲۰۱۲) نیز نرخ تغییرات خط ساحل با توجه به افزایش تراز دریا را با Bruun rule برای سواحل استرالیا بررسی کردند و نرخ این تغییرات را تا سال ۲۱۰۰ میلادی به میزان کمتر از ۸٪ تخمین زدند.

۳-۴-۲. قانون اصلاح شده بروون بر اساس انتقال رسوب ساحلی

رزاتی و دین (۲۰۱۳) پس از بررسی های میدانی از سواحل شرقی ایالت فلوریدا و تحلیل Bruun rule به این نتیجه رسیدند که در هنگام افزایش تراز دریا و تغییر خطوط ساحلی، علاوه بر انتقال رسوب به سمت دریا، انتقال رسوب به سمت خشکی (انتقال رسوب ساحلی) نیز رخ خواهد داد. در طی سال طوفان هایی رخ می دهد که نتیجه این طوفان ها آورد رسوبی ساحلی در محدوده حریم سواحل خواهد بود.

نویسندگان در این تحقیق مقدار حجم بحرانی آورد رسوبی به سمت ساحل (V_{crit}) را بر حسب متر مکعب بر واحد طول ساحل مطرح کردند که بر اساس این حجم بحرانی، انتقال رسوب ساحلی به عرض بحرانی حداقل ($V_{L,crit}$) و ارتفاعی معادل افزایش تراز آب دریا (S) بر حسب متر صورت خواهد گرفت. حجم بحرانی و عرض بحرانی از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$V_{crit} = RB - SW_* + \frac{3}{5}A(W_*^{5/3} - (W_* - R)^{5/3}) \quad (۸-۳)$$

²² Long Island and Delmarva Peninsula

²³ Ranasinghe R.

$$y_{L,crit} = \frac{V_{crit}}{S} \quad (9-3)$$

در معادلات بالا R نرخ تغییرات افقی خط ساحل محاسبه شده از رابطه بروون است، B ارتفاع حداکثر بالاروی آب در اثر امواج، W_* فاصله عمق پایانی تا خط ساحل بر اساس معادله بروون و A پارامتر مقیاس رسوبی هستند. پارامتر مقیاس رسوبی نیز از معادله (۳-۲) بدست می آید.

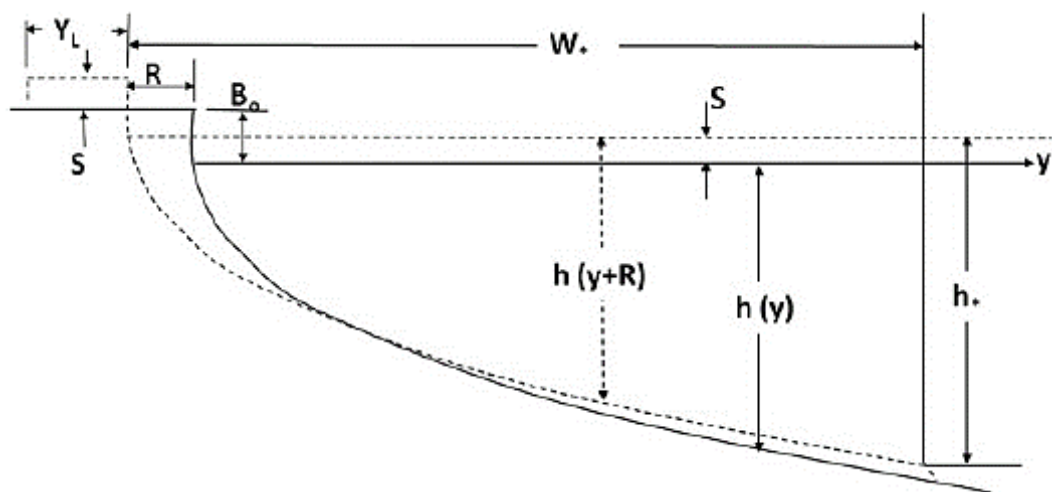
جهت محاسبه نرخ تغییرات خط ساحل پس از تغییرات تراز آب دریا با فرضیات رزاتی و دین (۲۰۱۳) مبنی بر انتقال رسوب ساحلی، می توان از معادله زیر استفاده نمود:

$$R = \left(W_* + \frac{V_D}{S} \right) \text{Ln} \left(\frac{h_* + B}{h_* + B - S} \right) \approx S \frac{W_* + V_D/S}{h_* + B} \quad (10-3)$$

V_D حجم رسوب انتقال یافته به سمت خشکی بر حسب مترمکعب بر واحد طول ساحل است که برابر است با:

$$V_D = y_L \times S \quad (11-3)$$

در معادله بالا y_L عرض انتقال رسوب ساحلی بر حسب متر است. در شکل ۳-۴ مشخصات نیمرخ تغییر یافته پس از افزایش تراز آب دریا بر اساس معادلات رزاتی و دین (۲۰۱۳) مشاهده می شود.



شکل (۳-۴). مشخصات نیمرخ تغییر یافته پس از افزایش تراز آب دریا (رزاتی و دین، ۲۰۱۳)

۵-۳. دریای خزر، یک مدل آزمایشگاهی بزرگ مقیاس

دریای خزر با توجه به شرایط طبیعی و منطقه ای خود یکی از بهترین مکان ها جهت مطالعات مهندسی سواحل است. با توجه به تغییرات زیاد تراز آب در طی مدت زمانی کوتاه و منطقی و بستری ماسه ای، شرایط را برای مطالعات نیمرخ های ساحلی و تغییرات خطوط ساحل در اثر افزایش و یا کاهش تراز آب دریا، فراهم کرده است. بر این اساس می توان دریای خزر را یک مدل آزمایشگاهی طبیعی بزرگ مقیاس در نظر گرفت. تصویری از ساحل دریای خزر در منطقه بندر انزلی در شکل ۵-۳ مشاهده می شود.



شکل (۵-۳). ساحل دریای خزر - انزلی

۳-۵-۱. سواحل جنوبی دریای خزر

در این تحقیق، سواحل جنوبی دریای خزر مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت بررسی دقیق تر روابط پیشنهادی برون (۱۹۵۴ و ۱۹۶۲) و رزاتی و دین (۲۰۱۳)، با همکاری مرکز ملی تحقیقات دریای خزر اطلاعات مورد نیاز از جمله: اندازه متوسط ذرات رسوبی (D_{50})، تغییرات تراز سطح آب دریای خزر (S) و نیمرخ های عرضی سواحل جنوبی دریای خزر در مناطق ساحلی بندر انزلی و دستک از استان گیلان، نمک آبرود، محمود آباد و لاریم از استان مازندران و نیز میانکاله از استان گلستان بین سال های ۱۳۹۲

تا انتهای ۱۳۹۳ در زمان های مختلف برداشت شده است. در شکل ۳-۶ ناحیه جنوبی دریای خزر و سواحل مورد مطالعه مشاهده می شود.

اطلاعات امواج دریای خزر، شامل: ارتفاع امواج و پریود نظیر آنها در آب های عمیق و ناحیه شکست موج با دوره بازگشت ۱۲ ساله نیز بر اساس کتاب مدل سازی امواج دریاهاى ایران، جلد اول: دریای خزر (۱۳۸۷) مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول ۲-۱ (فصل دوم) اطلاعات اندازه متوسط ذرات رسوبی، تغییر تراز دریا و اطلاعات امواج دریای خزر آمده است.



شکل (۳-۶). مناطق بررسی نیمرخ ها واقع در سواحل جنوبی دریای خزر - Google Earth

۳-۶. تحلیل قانون بروون و انتقال رسوب ساحلی

جهت محاسبه عمق پایانی می توان از معادله (۳-۴) استفاده نمود؛ این معادله را مرکز تحقیقات مهندسی سواحل ارتش امریکا پیشنهاد داده است. خروجی ها از پیش بینی منطقی این معادله حکایت دارند. پس از محاسبه عمق پایانی، فاصله آن تا خط ساحل بر اساس نیمرخ های سال ۲۰۱۳ بدست آمده است؛ همچنین شیب طبیعی ساحل نیز بر اساس مقادیر عمق پایانی و فاصله تا خط ساحلی بدست می آید.

برای محاسبه ارتفاع حداکثر بالاروی آب بر روی ناحیه ساحلی در اثر امواج نیز باید سرعت مرزی آب در خط ساحل بدست آید؛ که این سرعت تابعی از شتاب گرانشی زمین، ارتفاع موج و ضریب وابسته به فروپاشی موج در ناحیه شکست است. جهت تخمین ضریب فروپاشی موج، شرایطی ساده در نظر گرفته شده است؛ که در این شرایط مقدار ضریب C برابر ۲ لحاظ می شود. پارامترهای عمق پایانی، فاصله افقی عمق پایانی تا خط ساحل، شیب طبیعی ساحل، سرعت مرزی آب در خط ساحل و ارتفاع حداکثر بالاروی آب بر روی ناحیه ساحلی در اثر امواج، جهت تخمین تغییرات خطوط ساحل و استفاده آنها در معادلات خطوط ساحلی، محاسبه شده است که مقادیر آنها در جدول ۱-۳ آمده است.

همان طور که در جدول ۱-۳ مشاهده می شود، ارتفاع آب در انتهای ناحیه فعال ساحلی بر اساس معادلات، در حدود ۴/۵ متر پیش بینی می شود؛ با توجه به پارامتر شیب طبیعی بستر، فاصله این عمق تا خط ساحل، برای هر منطقه متفاوت خواهد بود. همان طور که مشاهده می شود فاصله افقی عمق پایانی تا خط ساحل در سواحل محمود آباد و نمک آبرود به دلیل شیب بیشتر نسبت به سایر مناطق مورد مطالعه، کمتر است؛ همچنین این فاصله در سواحل میانکاله به دلیل شیب کم، طولانی تر است. با توجه به ساده فرض کردن شرایط تبدیل انرژی برای فروپاشی امواج، مشاهده می شود که حداکثر بالاروی قائم آب بر اثر امواج در ناحیه ساحلی، چیزی در حدود ۱/۳۳ متر است که برای تمامی سواحل مقادیر نزدیکی بدست آمده است. جزییات کامل در پیوست "ب" آمده است.

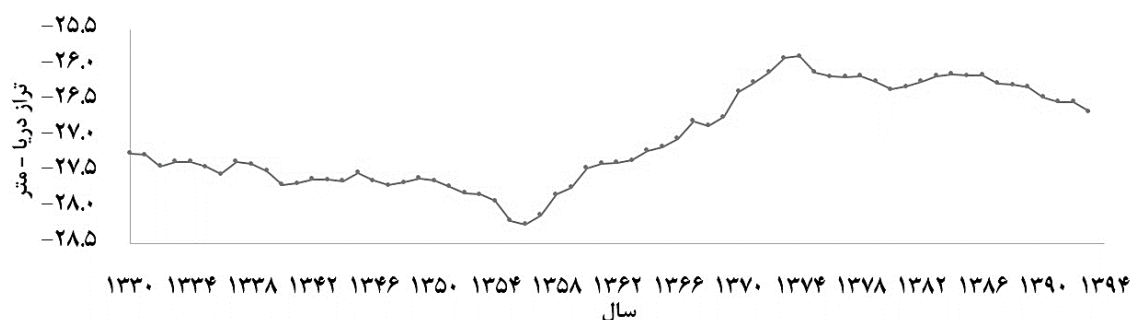
جدول (۱-۳). پارامترهای بدست آمده جهت استفاده در معادلات پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی

پارامترها	انزلی	دستک	نمک آبرود	محمودآباد	لاریم	میانکاله
عمق پایانی (m)	۴/۷۹۳	۴/۷۹۳	۴/۳۸۸	۴/۳۸۸	۴/۵۲۳	۴/۵۲۳
فاصله خط ساحل تا عمق پایانی (m)	۴۵۴/۴۳۷	۴۵۱/۰۴۴	۳۲۷/۸۵۶	۲۹۶/۸۰۵	۴۵۴/۸۵۸	۸۸۵/۳۶۹
شیب طبیعی ساحل	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۳	۰/۰۱۵	۰/۰۱۰	۰/۰۰۵
ضریب وابسته به فروپاشی موج در ناحیه شکست	۲	۲	۲	۲	۲	۲

جدول (۳-۱). پارامترهای بدست آمده جهت استفاده در معادلات پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی (ادامه)

۵/۰۸۸	۵/۰۸۸	۵/۰۴۹	۵/۰۴۹	۵/۱۶۵	۵/۱۶۵	سرعت مرزی آب در خط ساحل (m/s)
۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۳۰	۱/۳۰	۱/۳۶	۱/۳۶	ارتفاع حداکثر بالاروی آب بر روی ساحل در اثر امواج (m)

تفاوت عمده دریای خزر نسبت به آب های آزاد در نحوه تغییرات تراز سطح آب آن است؛ همان طور که از داده ها قابل مشاهده است، آب های آزاد به طور پیوسته در حال افزایش تراز هستند و این در حالی است که دریای خزر در دوره هایی با افزایش تراز و در دوره هایی با کاهش تراز سطح آب روبرو است. آب دریای خزر در سال های ۱۳۵۵ تا ۱۳۷۳ افزایش تراز به میزان ۲/۴ متر داشته است؛ همچنین از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۲ کاهش تراز به میزان ۰/۸ متر داشته است (اداره کل بنادر و دریانوردی استان گیلان، ۱۳۹۴)؛ این تغییرات تراز در شکل ۳-۷ نشان داده شده است.



شکل (۳-۷). تغییرات تراز ۶۰ سال دریای خزر بر اساس تراز آب های آزاد (اداره کل سواحل و بنادر استان گیلان، ۱۳۹۴)

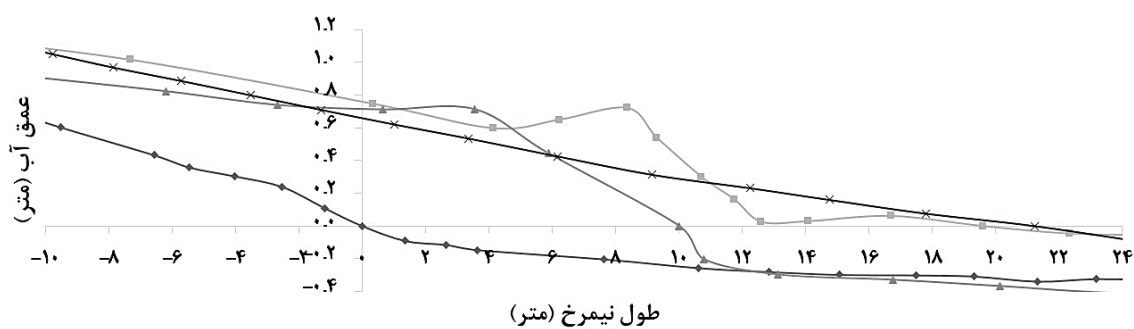
۳-۶-۱. تطبیق قانون بروون با شرایط کاهش تراز سطح آب دریا

با توجه به کاهش تراز آب دریای خزر در سال های اخیر، خط ساحلی (R) به سمت دریا حرکت خواهد کرد (پیشروی خط ساحلی)؛ اما این در حالی است که تمامی معادلات بر اساس افزایش تراز آب، ارائه و

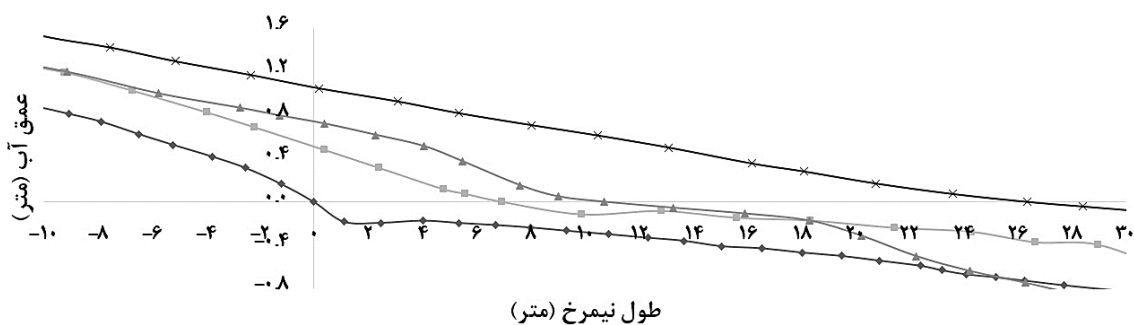
اصلاح شده اند. بنابراین در این تحقیق سعی شده است تا Bruun rule و قانون اصلاحی بروون برای انتقال رسوب ساحلی در جهت کاهش تراز آب دریا بررسی و اصلاح شوند. در بررسی های انجام شده با توجه به تعادل حجم رسوب فرسایش یافته و انباشته شده و کاهش تراز سطح آب دریا، مقادیر تغییر تراز آب (S) منفی لحاظ شده است؛ و همچنین متناسب با آن، تغییر خط ساحل (R) که به سمت دریا پیشروی خواهد داشت نیز در معادلات منفی لحاظ شده است؛ همچنین، سایر پارامترهای مرتبط با معادلات (۱-۳) و (۱۰-۳) بر اساس تعاریف پایه خود لحاظ شده اند.

جهت محاسبه حجم بحرانی آورد رسوبی به سمت خشکی در معادله (۸-۳) که رزاتی و دین (۲۰۱۳) به آن اشاره کرده اند، می توان آن را به سه بخش تقسیم نمود؛ بخش اول، حجم رسوبی ناشی از بالاروی آب در اثر امواج ($R \times B$) که با توجه به ماهیت آن، مثبت لحاظ شده است؛ بخش دوم، حجم رسوبی ناشی از تغییرات تراز ($-S \times W_*$) که با توجه به کاهش تراز دریای خزر و در نتیجه اضافه شدن این حجم به خشکی، مقدار آن مثبت لحاظ شده است؛ بخش سوم، حجم رسوبی ناشی از تغییرات خطوط ساحلی وابسته به پارامتر مقیاس رسوبی ($+\frac{3}{5}A(W_*^{5/3} - (W_* - R)^{5/3})$) است، در این بخش با توجه به پیشروی خط ساحل و مقدار منفی آن، تغییرات فاصله افقی عمق پایانی تا خط ساحل پیش از تغییر تراز، به صورت $W_* - (-R)$ در نظر گرفته شده است. جهت محاسبه تغییرات خط ساحل بر اساس معادله رزاتی و دین (۲۰۱۳) با توجه به حریم ساحلی دریای خزر، برای پارامتر عرض آورد رسوب ساحلی، مقدار عرض آورد رسوبی بحرانی لحاظ شده است.

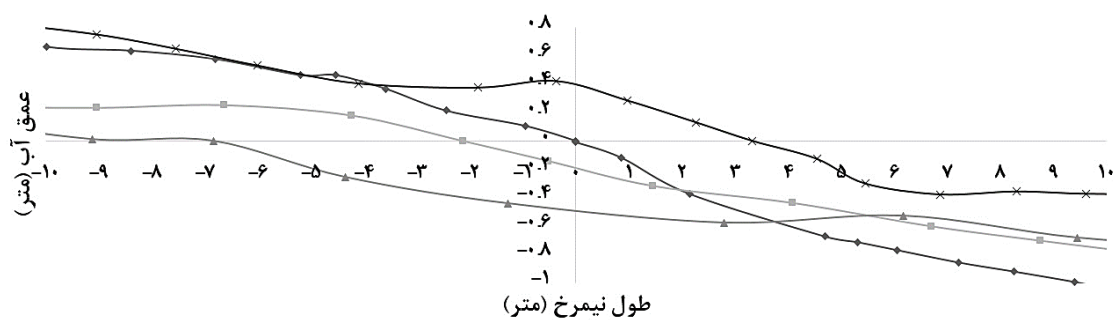
در شکل ۸-۳، تغییرات خطوط ساحلی از نیمرخ های برداشت شده سواحل مورد مطالعه نشان داده شده است.



انزلی - ۱۳۹۳/۱۲/۰۵ * انزلی - ۱۳۹۲/۱۰/۲۲ = انزلی - ۱۳۹۲/۱۰/۰۱ = انزلی - ۱۳۹۲/۰۷/۱۹ →
(الف)



دستک - ۱۳۹۳/۱۲/۰۵ * دستک - ۱۳۹۲/۱۰/۲۳ = دستک - ۱۳۹۲/۰۹/۳۰ = دستک - ۱۳۹۲/۰۷/۱۰ →
(ب)

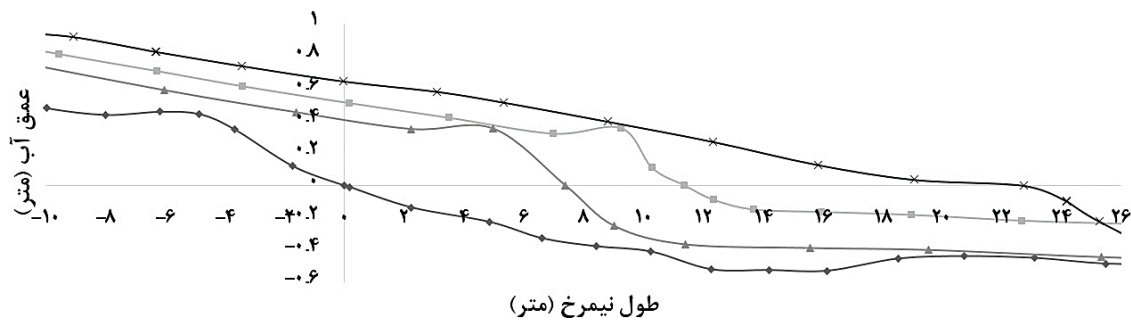


نمک آبرود - ۱۳۹۳/۱۱/۲۸ * نمک آبرود - ۱۳۹۲/۱۰/۱۸ = نمک آبرود - ۱۳۹۲/۰۹/۰۴ = نمک آبرود - ۱۳۹۲/۰۵/۲۳ →
(پ)

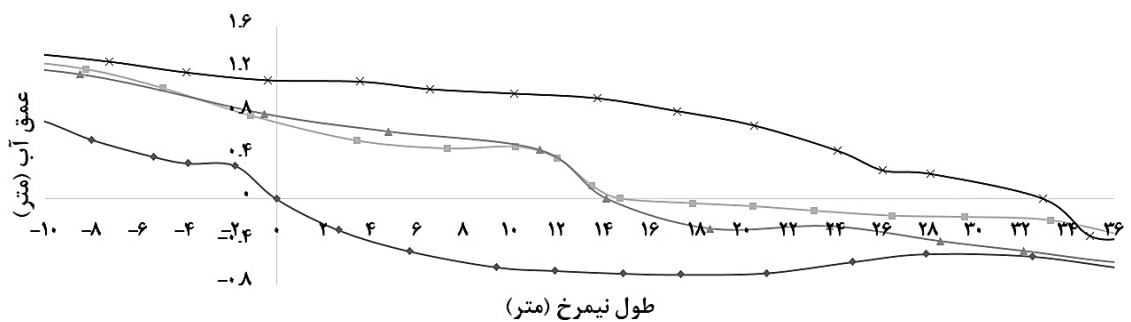
شکل (۸-۳). تغییرات خط ساحلی از نیمرخ های مشاهده شده در سواحل مورد مطالعه ؛ (الف): انزلی، (ب): دستک، (پ): نمک آبرود، (ت): محمودآباد، (ث): لاریم، (ج): میانکاله



محمودآباد - ۱۳۹۳/۱۱/۲۷ × محمودآباد - ۱۳۹۲/۱۰/۱۷ = محمودآباد - ۱۳۹۲/۰۸/۱۵ = محمودآباد - ۱۳۹۲/۰۴/۱۵
(ت)



لاریم - ۱۳۹۳/۱۱/۲۶ × لاریم - ۱۳۹۲/۱۰/۱۶ = لاریم - ۱۳۹۲/۰۸/۱۰ = لاریم - ۱۳۹۲/۰۴/۰۸
(ث)



میانکاله - ۱۳۹۳/۱۱/۱۹ × میانکاله - ۱۳۹۲/۱۰/۱۵ = میانکاله - ۱۳۹۲/۰۷/۲۷ = میانکاله - ۱۳۹۲/۰۲/۱۶
(ج)

شکل (۳-۸). تغییرات خط ساحلی از نیمرخ های مشاهده شده در سواحل مورد مطالعه (ادامه)

در جدول ۳-۲، مقادیر تغییرات خطوط ساحل بر اساس Bruun rule، قانون اصلاح شده بروون برای انتقال رسوب ساحلی، تغییر خط ساحل بر مبنای نیمرخ های برداشت شده در سال های ۱۳۹۲ تا

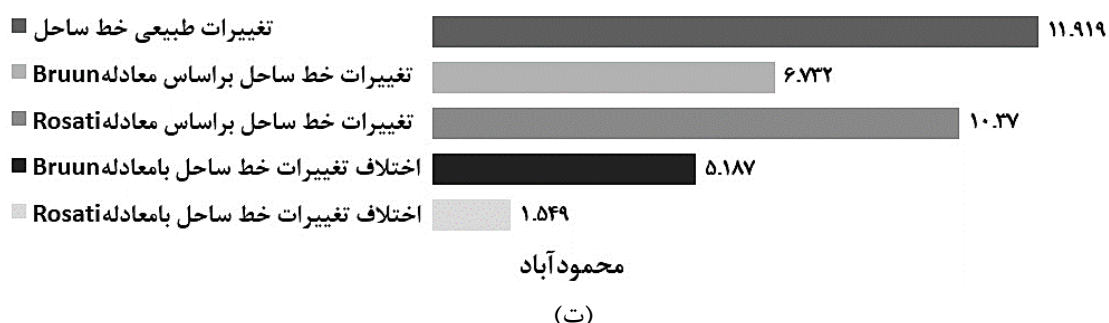
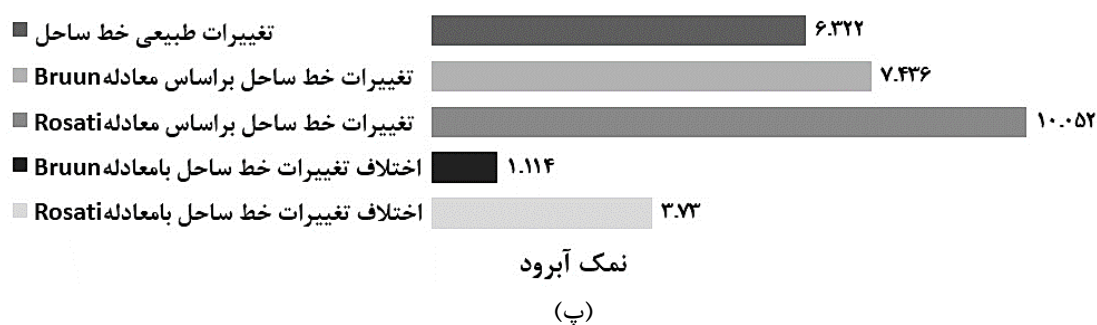
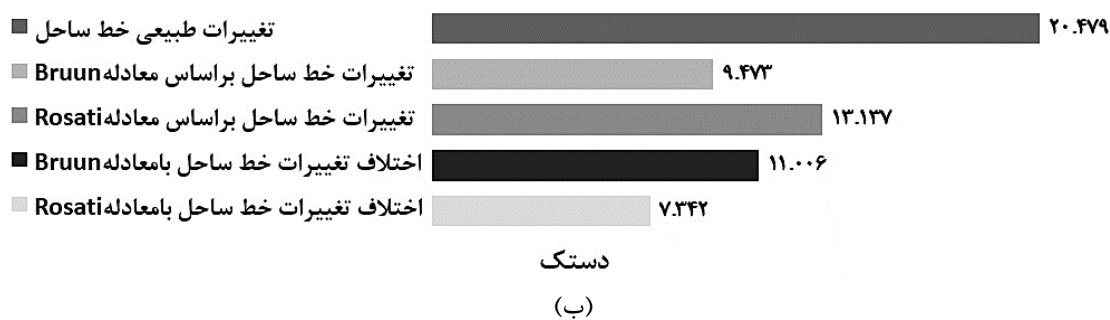
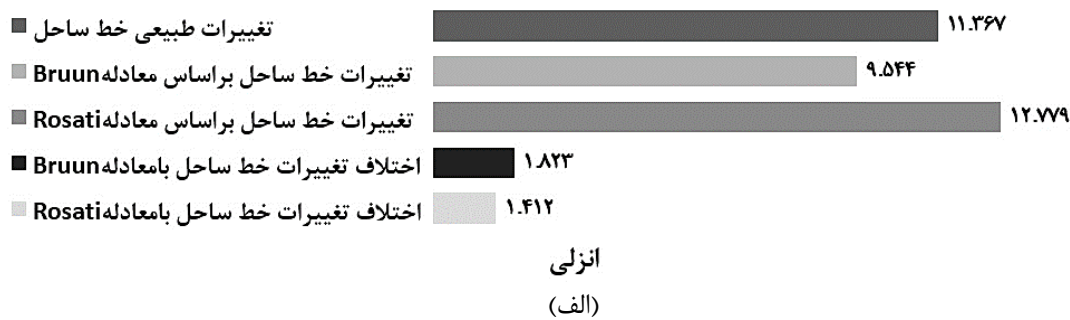
۱۳۹۳، مقادیر حجم بحرانی آورد رسوبی به سمت خشکی و عرض بحرانی حداقل آورد رسوبی به سمت خشکی که مورد محاسبه قرار گرفته اند، آورده شده است. جزییات بیشتر در پیوست "ب" آمده است.

جدول (۲-۳). مقادیر پارامتر های مورد محاسبه در جهت تخمین پیش بینی تغییرات خطوط ساحل

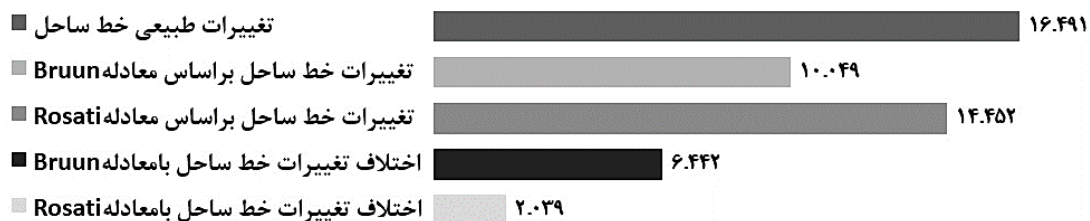
پارامترها	انزلی	دستک	نمک آبرود	محمودآباد	لاریم	میانکاله
تغییرات طبیعی خط ساحل (m)	۱۱/۳۶۷	۲۰/۴۷۹	۶/۳۲۲	۱۱/۹۱۹	۱۶/۴۹۱	۲۳/۲۹۸
تغییرات خط ساحل بر اساس معادله بروون (m)	۹/۵۴۴	۹/۴۷۳	۷/۴۳۶	۶/۷۳۲	۱۰/۰۴۹	۱۹/۵۶
حجم بحرانی (m^3/m)	۲۰/۳۷۶	۲۳/۰۳۰	۱۵/۲۲۵	۲۱/۱۷۴	۲۶/۳۰۸	۱/۵۱۹
عرض بحرانی (m)	۱۵۴/۳۶۳	۱۷۴/۴۷۲	۱۱۵/۳۴۴	۱۶۰/۴۰۷	۱۹۹/۳۰۴	۱۱/۵۰۸
تغییرات خط ساحل بر اساس معادله رزاتی و دین (m)	۱۲/۷۷۹	۱۳/۱۳۷	۱۰/۰۵۲	۱۰/۳۷۰	۱۴/۴۵۲	۱۹/۸۱۴
اختلاف تغییرات طبیعی خط ساحل با معادله بروون (m)	۱/۸۲۳	۱۱/۰۰۶	۱/۱۱۴	۵/۱۸۷	۶/۴۲۲	۳/۷۳۸
اختلاف تغییرات طبیعی خط ساحل با معادله رزاتی و دین (m)	۱/۴۱۲	۷/۳۴۲	۳/۷۳۰	۱/۵۴۹	۲/۰۳۹	۳/۴۸۴

تعیین مقادیر حجم بحرانی، نشان خواهد داد که مرز حداقل آورد رسوب ساحلی در هر منطقه چقدر خواهد بود؛ همچنین با توجه به مقدار بدست آمده این حجم برای سواحل میانکاله، می توان نتیجه گرفت که نواحی با شیب کم، بسیار مستعد انتقال رسوب به سمت ساحل هستند. همین طور برای پارامتر وابسته $Y_{L,crit}$ نیز می توان چنین برداشتی نمود.

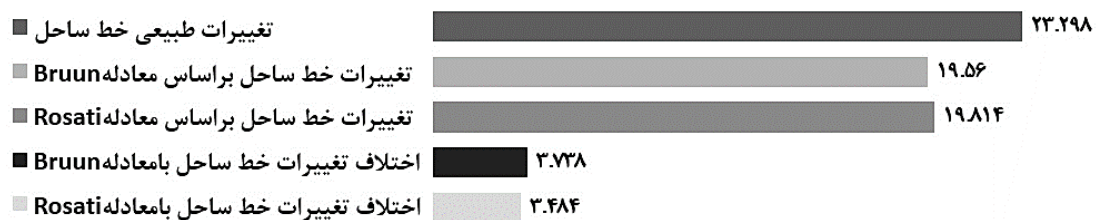
اختلاف نرخ تغییرات خط ساحل بر اساس پیش بینی های حاصل از معادلات بروون و تصحیح شده بروون با داده های واقعی از سواحل مورد مطالعه در دوره یک ساله را می توان در شکل ۳-۹ مشاهده نمود.



شکل (۳-۹). نمودار میله ای مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل با داده های واقعی از سواحل مورد مطالعه؛ (الف) انزلی، (ب) دستک، (پ) نمک آبرود، (ت) محمودآباد، (ث) لاریم، (ج) میانکاله.



لاریم
(ث)



میانکاله
(ج)

شکل (۳-۹). نمودار میله ای مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل با داده های واقعی از سواحل مورد مطالعه (ادامه)

با توجه به نتایج به دست آمده از نمودارها در شکل ۳-۹، پیش بینی تغییر خط ساحلی بر اساس Bruun rule در تمامی سواحل به جز ساحل نمک آبرود، کمتر از مقدار طبیعی است. این در حالی است که قانون اصلاح شده بروون بر اساس آورد رسوب ساحلی، در سواحل انزلی و نمک آبرود مقادیر تغییر خطوط ساحلی را بیشتر از حد طبیعی آن پیش بینی می کند. اما همان طور که از بررسی ها مشاهده می شود، انتقال رسوب ساحلی که رزاتی و دین (۲۰۱۳) به آن اشاره کردند، پیش بینی نزدیک تری نسبت به قانون اولیه بروون برای تمامی سواحل به جز نمک آبرود، ارائه می کند. همچنین بر اساس خطای جذر میانگین مربعات^{۲۴} نیز مشاهده می شود که خطای پیش بینی تغییرات خط ساحل بر اساس معادله رزاتی و دین (۲۰۱۳) کمتر از معادله بروون (۱۹۶۲، ۱۹۵۴) خواهد بود (ویلموت و ماتسورا^{۲۵}، ۲۰۰۵).

²⁴ Root Mean Square Error (RMSE)

²⁵ Willmott C. J. & Matsuura K.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_{Natural} - R_{Brunn,or,Rosati})^2}{n_{\text{Numbers of data}}}} \quad (12-3)$$

بر اساس معادله (۱۲-۳)، خطای جذر میانگین مربعات معادله بروون مقدار ۵/۸۸۹ متر و معادله اصلاح شده بروون بر اساس انتقال رسوب ساحلی مقدار ۳/۸۴۱ متر خواهد بود؛ این یعنی اختلاف ۲ متر بین این دو معادله و دقت بالاتر معادله پیشنهادی رزاتی و دین (۲۰۱۳) که پیش بینی ها را به واقعیت نزدیک تر خواهد کرد.

۷-۳. اصلاح معادله تغییر خطوط ساحل بر اساس انتقال رسوب ساحلی برای دریای خزر

همانطور که از بررسی ها مشاهده شده است، معادلات تغییرات خطوط ساحلی بر اساس افزایش تراز آب دریا تعریف شده اند؛ با این حال، با توجه به تعادل حجم رسوبی فرسایش یافته و انباشته شده، این معادلات در شرایط کاهش تراز آب دریا در دریای خزر نیز نتایج خوبی را از خود نشان داده اند. جهت بهبود پیش بینی معادله رزاتی و دین (۲۰۱۳) و بهینه سازی آن، پارامترهای پایه ای که نقش اساسی در تغییرات رفتاری نیمرخ و خطوط ساحلی دارند، مورد مطالعه قرار گرفتند. در این راستا، پارامترهای پایه مانند: اندازه متوسط ذرات بستر (D_{50})، پارامتر مقیاس رسوبی (A) و شیب طبیعی ناحیه ساحلی (S_0) که از عوامل تاثیرگذار در ارتفاع امواج در ناحیه ساحلی هستند با میانگین ارتفاع امواج در ناحیه شکست ($H_{B,Mean}$) مورد بررسی قرار گرفتند.

شیب طبیعی ساحل در ناحیه کم عمق یکی از عواملی است که در تعیین محل شکست امواج نقش بسزایی را ایفا می کند؛ همچنین اندازه ذرات بستر و جنس آنها، نقش بسزایی در شکست امواج دارند، به نحوی که امواج در ناحیه کم عمق با توجه به دامنه خود با بستر دریا در تماس قرار می گیرند، درگیری امواج با ذرات رسوبی بستر دریا با دانه بندی های مختلف و ایجاد اصطکاک بین آنها، باعث

خواهد شد که انرژی موج گرفته و از ارتفاع آن کاسته شود و موجب شکسته شدن موج گردد. پارامتر مقیاس رسوبی نیز وابسته به اندازه ذرات بستر و سرعت ته نشینی آنها است که بر ارتفاع امواج در ناحیه شکست تاثیرگذار خواهد بود.

در بررسی های صورت گرفته، اندازه ذرات متوسط بستر و ارتفاع امواج در ناحیه شکست از همبستگی بیشتری برخوردار بودند و نتایج منطقی تری را نسبت به سایر پارامترها حاصل نمودند. بدین ترتیب با بررسی تحلیلی و آماری از سواحل مورد مطالعه و با اعمال ضریبی وابسته به ارتفاع موج در ناحیه شکست و اندازه ذرات رسوبی بستر (پیوست پ)، معادله پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی به صورت زیر خواهد شد:

$$R = A_s \times \frac{S \left(W_* + \frac{V_D}{S} \right)}{h_* + B} \quad (13-3)$$

در معادله بالا، A_s ضریبی وابسته به ارتفاع امواج در ناحیه شکست و اندازه متوسط ذرات بستر بر حسب متر است که از معادله زیر بدست خواهد آمد:

$$A_s = 3.232 \times 10^{-4} \left(\frac{H_{B,Mean}}{D_{50}} \right) \quad (14-3)$$

بر این اساس، پیش بینی خطوط ساحلی به دست آمده برای مناطق مورد بررسی از معادله اصلاح شده رزاتی و دین (۲۰۱۳) در جدول ۳-۳ آمده است؛ همچنین در شکل ۳-۱۰ نیز نمودار میله ای جهت مقایسه بهتر نتایج نشان داده شده است.

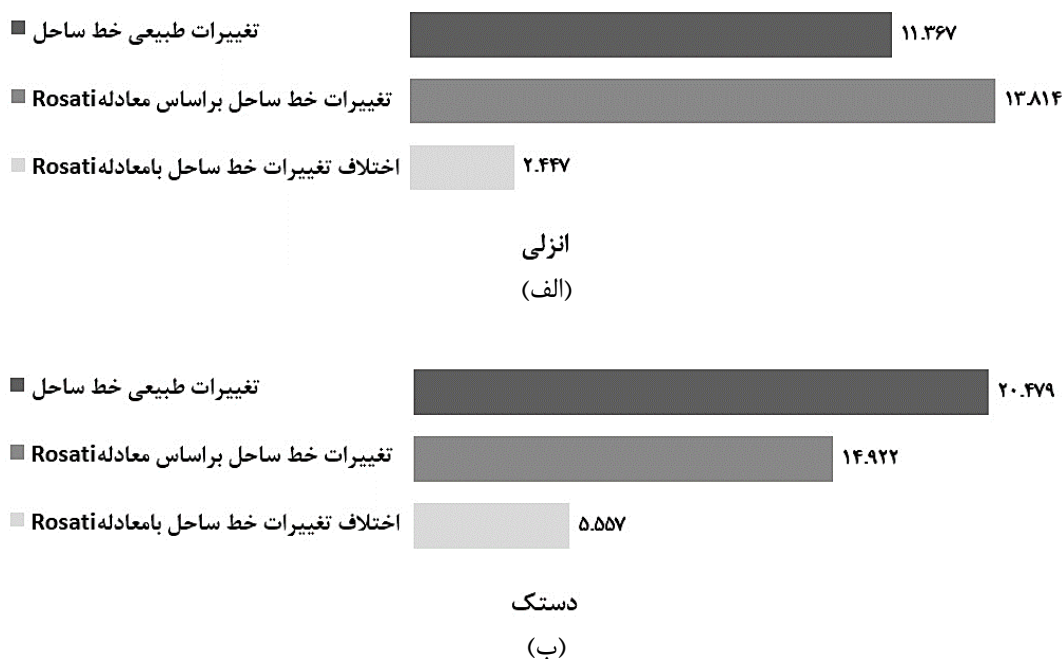
جدول (۳-۳). مقادیر پارامترهای مورد محاسبه در جهت تخمین پیش بینی تغییرات خطوط ساحل پس از اعمال

ضریب A_s						
پارامترها	انزلی	دستک	نمک آبرود	محمودآباد	لاریم	میانکاله
تغییرات طبیعی خط ساحل (m)	۱۱/۳۶۷	۲۰/۴۷۹	۶/۳۲۲	۱۱/۹۱۹	۱۶/۴۹۱	۲۳/۲۹۸
تغییرات خط ساحل بر اساس معادله اصلاحی رزاتی و دین (m)	۱۳/۸۱۴	۱۴/۹۲۲	۹/۰۶۳	۱۱/۲۶۹	۱۸/۰۲۸	۲۴/۷۱۷

جدول (۳-۳). مقادیر پارامترهای مورد محاسبه در جهت تخمین پیش بینی تغییرات خطوط ساحل پس از اعمال ضریب A_s (ادامه)

۱/۴۱۹	۱/۵۳۷	۰/۶۵۰	۲/۷۴۱	۵/۵۵۷	۲/۴۴۷	اختلاف تغییرات طبیعی خط ساحل با معادله اصلاحی رزاتی و دین (m)
۲/۸۶۳						خطای جذر میانگین مربعات (m)

همان طور که از جدول ۳-۳ و شکل ۳-۱۰ مشاهده می شود، با اعمال ضریب A_s پیش بینی تغییرات خطوط ساحل نسبت به حالت قبل از اعمال این ضریب (جدول ۳-۲ و شکل ۳-۹) با خطای کمتری محاسبه شده است و خروجی ها به مقدار واقعی تغییرات خطوط ساحلی نزدیک تر شده اند. پیش بینی ها برای پنج منطقه دستک، نمک آبرود، محمودآباد، لاریم و میانکاله با اعمال ضریب، نسبت به معادله اولیه رزاتی و دین (۲۰۱۳) بهتر شده است و مقادیر به داده های واقعی نزدیک شده اند. در منطقه انزلی به دلیل آن که نیمرخ های برداشت شده در نزدیکی موج شکن های ناحیه بندری و تالاب انزلی است، نتایج کمی ضعیف تر از معادله اولیه است؛ وجود موج شکن ها و تالاب در نزدیکی محل برداشت نیمرخ ها به دلیل رژیم رسوبی این منطقه، خطای محاسبات را افزایش داده است.



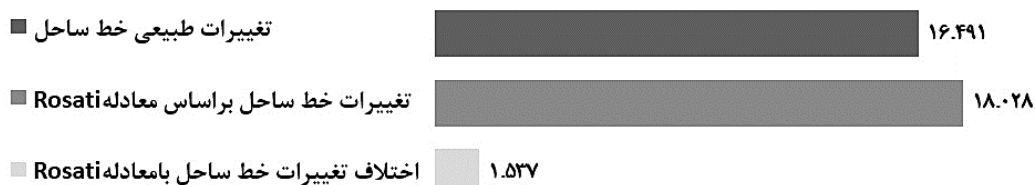
شکل (۳-۱۰). نمودار میله ای مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل پس از اعمال ضریب A_s با داده های واقعی از سواحل مورد مطالعه؛ الف) انزلی، ب) دستک، پ) نمک آبرود، ت) محمودآباد، ث) لاریم، ج) میانکاله.



نمک آبرود
(پ)



محمودآباد
(ت)



لاریم
(ث)



میانکاله
(ج)

شکل (۳-۱۰). نمودار میله ای مقایسه پیش بینی تغییرات خطوط سواحل پس از اعمال ضریب A_s با داده های واقعی از سواحل مورد مطالعه (ادامه)

مقادیر اختلاف پیش بینی ها در منطقه محمودآباد به $0/65$ متر و در منطقه میانکاله به میزان $1/419$ متر رسیده است؛ همچنین در سواحل دستک اختلاف پیش بینی ها در حدود $5/557$ متر شده است، اما با این حال، نسبت به حالت پیش از اعمال ضریب A_s ، مقدار آن به داده های واقعی به اندازه $1/785$ متر نزدیک تر شده است. خطای جذر میانگین مربعات در حالت اعمال ضریب به مقدار $2/863$ متر رسیده است که این مقدار نسبت به حالت پیش از اعمال ضریب، یعنی $3/841$ متر بهبود قابل توجهی داشته است. تمام این بررسی ها حاکی از این هستند که ضریب تعریف شده، به میزان قابل توجهی تحلیل را منطقی تر و خطای محاسباتی را کاهش می دهد.

۳-۸. جمع بندی

جهت پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی در اثر افزایش تراز آب دریا، بروون (۱۹۵۴ و ۱۹۶۲) معادله ای را ارائه و توسعه داد (معادله ۳-۱)؛ در این معادله تغییر خط ساحلی با پارامترهای افزایش تراز آب دریا، عمق پایانی، فاصله عمق پایانی تا خط ساحل و ارتفاع حداکثر بالاروی آب بر روی ناحیه ساحلی در اثر امواج در ارتباط است؛ مطالعات آزمایشگاهی و میدانی بسیاری در این زمینه انجام شده است که نتایج حاکی از پیش بینی منطقی Bruun rule دارند. در این تحقیق نیز، این قانون بررسی و تحلیل شده است، که با توجه به کاهش تراز آب دریای خزر، برای مناطق مورد مطالعه پیش بینی های خوبی را انجام داده است؛ حداقل و حداکثر اختلاف پیش بینی خط ساحلی نسبت به مقدار واقعی آن به ترتیب $1/114$ و $11/006$ متر بوده است و همچنین، خطای جذر میانگین مربعات نیز مقدار $5/889$ متر بدست آمده است.

پس از بررسی های فراوان، رزاتی و دین (۲۰۱۳) به این نتیجه رسیدند که انتقال رسوب ساحلی نیز در تعیین خطوط ساحلی نقش بسزایی را ایفا می کند و با اعمال آن به Bruun rule، پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی را بهبود بخشیدند. معادله پیشنهادی رزاتی و دین (۲۰۱۳) نیز در این تحقیق مورد

بررسی کامل قرار گرفته است که تحلیل‌ها نشان از پیش‌بینی‌های مطلوب‌تر نسبت به Bruun rule دارند. در این بررسی، حداقل و حداکثر اختلاف پیش‌بینی خط ساحلی نسبت به مقدار واقعی آن به ترتیب ۱/۴۱۲ و ۷/۳۴۲ متر بوده است و همچنین، خطای جذر میانگین مربعات نیز مقدار ۳/۸۴۱ متر بدست آمده است.

جهت بهبود پیش‌بینی‌های معادله (۳-۱۰) برای دریای خزر، ضریب A_s (معادله ۳-۱۴) تعریف شده است؛ این ضریب با میانگین ارتفاع امواج در ناحیه شکست و اندازه متوسط ذرات بستر مرتبط است. با اعمال مقدار این ضریب در معادله‌ای که رزاتی و دین (۲۰۱۳) طرح کرده‌اند، مشاهده شده است که پیش‌بینی تغییرات خطوط ساحلی به اندازه‌گیری‌های واقعی، بسیار نزدیک‌تر شده است؛ به طوری که حداقل و حداکثر اختلاف پیش‌بینی خط ساحلی نسبت به مقدار واقعی آن به ترتیب ۰/۶۵ و ۵/۵۵۷ متر خواهد بود و همچنین، خطای جذر میانگین مربعات نیز مقدار ۲/۸۶۳ متر بدست آمده است. همین‌طور که از بررسی نتایج بر می‌آید، تحلیل Bruun rule بر اساس انتقال رسوب ساحلی نتایج بهتری نسبت به حالت اولیه، یعنی انتقال تمام رسوب به سمت دریا در اثر تغییرات تراز آب بدست می‌دهد؛ که این مقدار با اعمال ضریب A_s نتایجی با خطای کمتر را فراهم خواهد کرد.

فصل چهارم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۴-۱. نتیجه گیری

در این تحقیق، به بررسی نیمرخ های عرضی دریای خزر پرداخته شد. بر اساس داده های اندازه گیری شده توسط مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، نیمرخ های طبیعی با معادلات ترسیم و پیش بینی نیمرخ تعادلی ساحل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند و معادلاتی که نتیجه مطلوبی را ارائه دادند، تفکیک شدند.

بر این اساس معادله ولینگا با توجه به اختلاف قابل توجه آن با نیمرخ های طبیعی، جهت تحلیل و بررسی آن در سواحل جنوبی دریای خزر قابل استناد نخواهد بود. همچنین تنها تفاوت معادله اصلاحی دین با معادله اصلی، خطی در نظر گرفتن تغییرات نیمرخ در ناحیه کم عمق ساحلی است که با مقایسه آن با نیمرخ های طبیعی ساحل مشاهده شد که رفتار ساحل عموماً خطی نیست. نیمرخ های حاصل از معادله وانگ با توجه به سه سهمی در نظر گرفتن شکل نیمرخ، تجربه موفق و زیبایی را از رفتار نیمرخ ساحل در ناحیه ساحلی تا محل تشکیل پشته حاصل نمود؛ اما عدم پیش بینی منطقی و درست نیمرخ ساحلی از ناحیه تشکیل پشته به سمت فراساحل و همچنین محدودیت پیش بینی نیمرخ عرضی تا عمق پایانی باعث خواهد شد که این معادله جهت تخمین نیمرخ تعادلی ساحل با خطای تقریباً زیادی همراه باشد. نیمرخ معادله کومار با توجه به استفاده از پارامترهای موثر بیشتری در ناحیه ساحلی، شکل درستی از نیمرخ تعادلی ساحل پیش بینی می کند و حتی در سواحل با جنس بستر ماسه - رسی تحلیل های نزدیکی را انجام می دهد؛ اما به دلیل در نظر گرفتن قوس ابتدایی زیاد در نیمرخ (ایجاد ناحیه شکمی در ناحیه عمق کم که در اکثر مناطق زیر نیمرخ طبیعی قرار می گیرد) باعث می شود که خطای پیش بینی نسبت به معادله دین کمی بیشتر قابل توجه باشد. دین با سهمی در نظر گرفتن نیمرخ تعادلی ساحل با توجه به ماهیت نیمرخ های تابستانی و زمستانی ساحل و نیز اعمال پارامتر اندازه متوسط ذرات بستر در معادله پیشنهادی خود، بهترین نیمرخ تعادلی را برای سواحل ماسه ای ترسیم نموده است. با توجه به نمودارهای ارائه شده، مشاهده می شود که معادله تعادلی دین با تمامی سواحل

ماسه ای به خصوص پنج منطقه انزلی، دستک، نمک آبرود، محمود آباد و لاریم هماهنگی بسیاری دارد و ماهیت سهمی شکل این سواحل را به نحوی متناسب و قابل قبول پیش بینی می کند.

همچنین بر اساس داده های موجود و با توجه به نزدیک بودن نیمرخ تعادلی دین به نیمرخ های طبیعی برداشت شده سواحل مورد مطالعه و تعادل حجم رسوبی فرسایش یافته و انباشته شده، تغییرات خطوط ساحلی در اثر تغییر تراز آب دریا مورد بررسی قرار گرفت و در راستای پیش بینی بهتر معادلات تغییر خطوط ساحلی، به روش تحلیلی و آماری، ضریبی پیشنهاد شد که بتوان با تکیه بر آن و استفاده در معادله پیش بینی تغییر خطوط ساحلی، خطای محاسبات را کاهش داد.

جهت پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی در اثر افزایش تراز آب دریا، بروون معادله ای را ارایه و توسعه داد. مطالعات آزمایشگاهی و میدانی بسیاری در این زمینه انجام شده است که نتایج حاکی از پیش بینی منطقی Bruun rule دارند. در این تحقیق نیز، این قانون بررسی و تحلیل شده است، که با توجه به کاهش تراز آب دریای خزر، برای مناطق مورد مطالعه پیش بینی های خوبی را انجام داده است؛ حداقل و حداکثر اختلاف پیش بینی خط ساحلی نسبت به مقدار واقعی آن به ترتیب $1/114$ و $11/006$ متر بوده است و همچنین، خطای جذر میانگین مربعات نیز مقدار $5/889$ متر بدست آمده است. پس از بررسی های فراوان، رزاتی و دین به این نتیجه رسیدند که انتقال رسوب ساحلی نیز در تعیین خطوط ساحلی نقش بسزایی را ایفا می کند و با اعمال آن به Bruun rule، پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی را بهبود بخشیدند. معادله پیشنهادی رزاتی و دین نیز در این تحقیق مورد بررسی کامل قرار گرفته است که تحلیل ها نشان از پیش بینی های مطلوب تر نسبت به Bruun rule دارند. در این بررسی، حداقل و حداکثر اختلاف پیش بینی خط ساحلی نسبت به مقدار واقعی آن به ترتیب $1/412$ و $7/342$ متر بوده است و همچنین، خطای جذر میانگین مربعات نیز مقدار $3/841$ متر بدست آمده است. جهت بهبود پیش بینی معادله رزاتی و دین (۲۰۱۳) و بهینه سازی آن، پارامترهای پایه ای که نقش اساسی در تغییرات رفتاری نیمرخ و خطوط ساحلی دارند، مورد مطالعه قرار گرفتند. در این راستا، پارامترهای پایه مانند: اندازه متوسط ذرات بستر (D_{50})، پارامتر مقیاس رسوبی (A) و شیب طبیعی ناحیه ساحلی (S_0)

که از عوامل تاثیرگذار در ارتفاع امواج در ناحیه ساحلی هستند با میانگین ارتفاع امواج در ناحیه شکست $(H_{B,Mean})$ مورد بررسی قرار گرفتند. بر این اساس ضریب A_s تعریف شد؛ این ضریب با میانگین ارتفاع امواج در ناحیه شکست و اندازه متوسط ذرات بستر مرتبط است. درگیری امواج با ذرات رسوبی بستر دریا با دانه بندی های مختلف و ایجاد اصطکاک بین آنها، باعث خواهد شد که انرژی موج گرفته و از ارتفاع آن کاسته شود و موجب شکسته شدن موج گردد. با اعمال مقدار این ضریب در معادله، مشاهده شده است که پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی به اندازه گیری های واقعی بسیار نزدیک تر شده است؛ به طوری که حداقل و حداکثر اختلاف پیش بینی خط ساحلی نسبت به مقدار واقعی آن به ترتیب $0/65$ و $5/557$ متر خواهد بود. همچنین، خطای جذر میانگین مربعات نیز مقدار $2/863$ متر بدست آمده که در حدود 1 متر پیش بینی تغییر خطوط ساحلی را بهبود بخشیده است. همین طور که از بررسی نتایج بر می آید، تحلیل Bruun rule بر اساس انتقال رسوب ساحلی نتایج بهتری نسبت به حالت اولیه، یعنی انتقال تمام رسوب به سمت دریا در اثر تغییرات تراز آب بدست می دهد؛ که این مقدار با اعمال ضریب A_s نتایجی با خطای کمتر را فراهم خواهد کرد.

۴-۲ پیشنهادات ادامه کار

تحقیقات در حیطه مهندسی سواحل دامنه کار بسیار زیادی دارد و در زمینه انتقال رسوب، نیمرخ های ساحلی، خطوط ساحلی و امواج و ریخت شناسی محیط های بندری می توان مطالعات و تحقیقات و نوآوری های زیادی داشت. متأسفانه در ایران هنوز به صورت کاملاً جدی به اهمیت تحقیقات در زمینه فرایندهای ساحلی و نقش کلیدی مناطق ساحلی در صنعت و اقتصاد پی نبرده اند. در همین راستا ایده هایی در بخش های $1-2-4$ و $2-2-4$ ارائه شده است تا زمینه ساز تحقیقات بیشتر و مفیدتری در راستای شناسایی رفتار سواحل شمالی و جنوبی کشور عزیزمان ایران شود.

۴-۲-۱. پیشنهاد ها در زمینه نیمرخ های ساحلی

در راستای اهداف پایان نامه در زمینه نیمرخ های ساحلی پیشنهاد های زیر می تواند مفید باشد:

- ✓ بررسی های بیشتر بر روی معادله کومار و تحلیل پارامتر شیب ناحیه ساحلی و دخیل کردن پارامتر های مرتبط جهت پیش بینی دقیق تر و همچنین اعمال اثر تغییرات تراز آب دریا.
- ✓ مطالعه نیمرخ های بیشتری از سواحل جنوبی دریای خزر جهت بررسی دقیق تر و پیش بینی تغییرات نیمرخ تعادلی ساحل در آینده.
- ✓ بررسی انتقال رسوب طولی و تاثیر آن بر نیمرخ های عرضی سواحل ماسه ای.

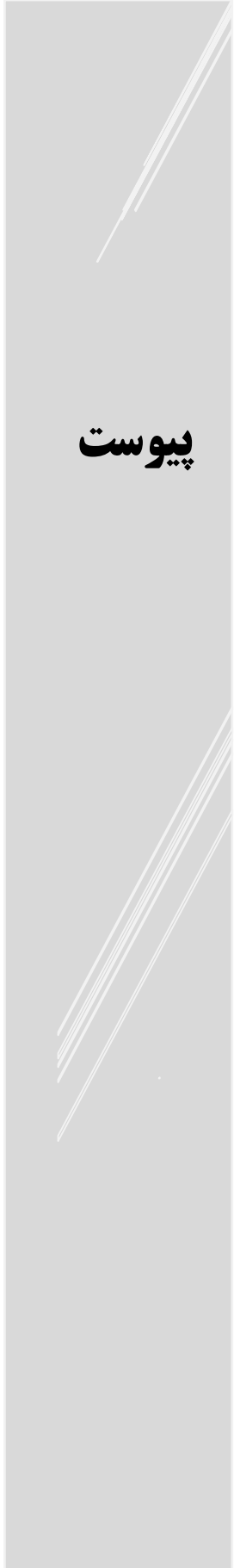
۴-۲-۲. پیشنهاد ها در زمینه پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی

همچنین، در زمینه تغییرات خطوط ساحلی با توجه به بررسی های صورت گرفته در این پایان نامه می توان به حیطه های کاری زیر جهت تحلیل بهتر و جامع تر در مورد معادلات پیش بینی خطوط ساحلی اشاره نمود:

- ✓ بررسی تاثیر طوفان ها با امواج با دوره بازگشت های مشخص بر روی معادله پیش بینی تغییرات خطوط ساحلی.
- ✓ بررسی تاثیر آورد ماسه در ناحیه ساحلی در اثر باد و تفکیک آن از آورد رسوبی ناشی از طوفان های دریایی و تحلیل دقیق تر معادله ارایه شده رزاتی و دین.
- ✓ اعمال انتقال رسوب طولی و بررسی تاثیر آن بر پیش بینی معادلات تغییرات خطوط ساحلی.
- ✓ بررسی مدل آزمایشگاهی نیمرخ های تعادلی و تغییر خطوط ساحلی دریای خزر و استفاده از نرم افزار های تحلیل سواحل.



پیوست ها



بررسی و محاسبات مربوط به نیمرخ عرضی بندر انزلی (پیوست الف)

Anzali Data		Dean Equation 1977		Larson et al. 1999		Vellinga Equation		Komar & Mc Dougal 1994		Wang and Davis 1998	
X (m)	Y (m)	A	Y (m)	m	Y (m)	Ho (m)	Y (m)	$h=(S_0/k)*(1-EXP(-kx))$	Y (m)	Y (m)	
0.000	0.000	0.0915	0.000		0.000	5.86	0.005		Y (m)	0.00	
2.748	-0.046	Wf (m/s)	-0.180		-0.105		-0.148		0.000	-0.20	
5.442	-0.056	0.0257	-0.285	0.038	-0.207		-0.285		-0.109	-0.32	
8.176	-0.072	g	-0.374	ht (m)	-0.311		-0.414		-0.214	-0.42	
10.862	-0.107	9.806	-0.453		-0.414		-0.533		-0.319	-0.51	
13.645	-0.123		-0.527		-0.527		-0.650		-0.420	-0.59	
16.254	-0.159		-0.593	0.235	-0.593		-0.754		-0.524	-0.66	
19.013	-0.184		-0.659	Xo (m)	-0.659		-0.859		-0.619	-0.74	
21.865	-0.212		-0.723	10.268	-0.723		-0.963		-0.718	-0.81	
24.634	-0.248		-0.783	T (s)	-0.783		-1.060		-0.818	-0.87	
27.086	-0.261		-0.835	13.1	-0.835		-1.143		-0.915	-0.93	
29.949	-0.265		-0.893	Hb (m)	-0.893		-1.237		-0.998	-1.00	
32.587	-0.292		-0.945	5.22	-0.945		-1.321		-1.094	-1.05	
35.725	-0.285		-1.005		-1.005		-1.417		-1.181	-1.12	
38.296	-0.315		-1.053		-1.053		-1.494	فرمول ارتش امریکا	Hs (m)	-1.17	
41.135	-0.356		-1.104		-1.104		-1.576	0.710	-1.365	-1.23	
43.686	-0.424		-1.150		-1.150		-1.649	hc (m)	-1.454	-1.28	
46.414	-0.529		-1.198		-1.198		-1.724	4.793	-1.533	-1.33	
48.994	-0.616		-1.242		-1.242		-1.794	Xc (m)	-1.615	-1.38	
51.650	-0.689		-1.286		-1.286		-1.865	454.437	-1.692	-1.43	
54.014	-0.750		-1.326		-1.326		-1.926	Sc	-1.770	-1.48	
56.374	-0.821		-1.364		-1.364		-1.987	0.011	-1.839	-1.52	htr
58.293	-0.879		-1.395		-1.395		-2.035		-1.906	-1.55	Xtr
60.606	-1.110		-1.432		-1.432		-2.092		-1.960	-1.59	143.706

61.846	-1.147
63.206	-1.153
64.266	-1.167
65.606	-1.250
66.686	-1.370
68.646	-1.443
70.296	-1.467
71.966	-1.467
73.276	-1.490
75.216	-1.543
76.796	-1.633
79.026	-1.723
80.786	-1.767
82.906	-1.803
84.566	-1.843
86.726	-1.963
88.476	-2.070
90.706	-2.183
92.506	-2.200
94.666	-2.217
96.396	-2.257
98.406	-2.373
100.006	-2.507
102.376	-2.620
104.276	-2.700
106.396	-2.720
108.076	-2.727
109.896	-2.763

-1.452
-1.473
-1.489
-1.510
-1.527
-1.557
-1.582
-1.607
-1.626
-1.655
-1.678
-1.711
-1.736
-1.766
-1.790
-1.821
-1.845
-1.876
-1.901
-1.931
-1.954
-1.981
-2.003
-2.035
-2.060
-2.088
-2.110
-2.134

-1.452
-1.473
-1.489
-1.510
-1.527
-1.557
-1.582
-1.607
-1.626
-1.655
-1.678
-1.711
-1.736
-1.766
-1.790
-1.821
-1.845
-1.876
-1.901
-1.931
-1.954
-1.981
-2.003
-2.035
-2.060
-2.088
-2.110
-2.134

-2.123
-2.156
-2.181
-2.213
-2.239
-2.285
-2.323
-2.362
-2.392
-2.436
-2.471
-2.520
-2.559
-2.605
-2.641
-2.687
-2.724
-2.770
-2.807
-2.851
-2.887
-2.927
-2.959
-3.006
-3.043
-3.084
-3.117
-3.151

So
0.040
K1
0.00615
D50
0.0002
Hb
5.220
T
13.10

-2.024
-2.058
-2.095
-2.124
-2.160
-2.189
-2.240
-2.283
-2.327
-2.360
-2.409
-2.449
-2.504
-2.547
-2.599
-2.638
-2.689
-2.730
-2.782
-2.823
-2.871
-2.910
-2.954
-2.989
-3.040
-3.080
-3.124
-3.159

hbt	-1.62
1.900	-1.64
Xbt	-1.66
173.016	-1.68
hc	-1.70
4.793	-1.73
x _c	-1.76
454.437	-1.79
m ₁	-1.81
0.667	-1.84
m ₂	-1.87
0.80	-1.90
A ₁	-1.93
0.103	-1.96
A ₂	-1.99
0.066	-2.02
x ₂	-2.05
112.806	-2.09
d ₅₀₋₁	-2.11
0.00023	-2.15
d ₅₀₋₂	-2.17
0.00015	-2.20
w _{r1}	-2.23
0.031	-2.26
w _{r2}	-2.29
0.016	-2.32
	-2.34
	-2.37

111.326	-2.793
119.646	-2.813
124.856	-2.823
126.596	-2.857
128.966	-2.850
134.116	-2.827
136.036	-2.867
137.596	-2.910
143.706	-2.973
148.486	-2.930
154.616	-2.837
156.696	-2.697
158.116	-2.560
159.866	-2.500
161.706	-2.457
164.076	-2.413
165.936	-2.280
168.246	-2.113
169.686	-1.967
171.456	-1.910
173.016	-1.900
174.966	-1.930
176.706	-1.963
178.886	-1.967
180.586	-1.953
182.716	-1.943
184.156	-2.013
190.646	-2.127

-2.152
-2.259
-2.324
-2.346
-2.375
-2.438
-2.461
-2.480
-2.554
-2.610
-2.682
-2.706
-2.722
-2.743
-2.764
-2.791
-2.812
-2.838
-2.854
-2.874
-2.892
-2.914
-2.933
-2.957
-2.976
-2.999
-3.015
-3.086

-2.152
-2.259
-2.324
-2.346
-2.375
-2.438
-2.461
-2.480
-2.554
-2.610
-2.682
-2.706
-2.722
-2.743
-2.764
-2.791
-2.812
-2.838
-2.854
-2.874
-2.892
-2.914
-2.933
-2.957
-2.976
-2.999
-3.015
-3.086

-3.179
-3.334
-3.428
-3.460
-3.502
-3.592
-3.626
-3.653
-3.757
-3.837
-3.938
-3.972
-3.995
-4.023
-4.052
-4.090
-4.120
-4.156
-4.179
-4.206
-4.231
-4.261
-4.287
-4.321
-4.347
-4.379
-4.401
-4.498

-3.196
-3.225
-3.389
-3.487
-3.519
-3.563
-3.654
-3.688
-3.715
-3.818
-3.896
-3.992
-4.024
-4.046
-4.072
-4.100
-4.134
-4.161
-4.194
-4.215
-4.240
-4.261
-4.288
-4.312
-4.341
-4.363
-4.391
-4.410

-2.39
-2.51
-2.58
-2.60
-2.64
-2.71
-2.73
-2.75
-2.83
-2.80
-2.57
-2.50
-2.45
-2.38
-2.31
-2.23
-2.16
-2.07
-2.02
-1.96
-1.90
-1.79
-1.83
-1.88
-1.92
-1.96
-2.00
-2.14

192.656	-2.220
194.416	-2.243
196.626	-2.257
202.776	-2.350
204.556	-2.480
206.756	-2.563
208.566	-2.567
210.806	-2.527
212.436	-2.540
215.906	-2.607
217.706	-2.717
219.586	-2.793
221.936	-2.817
223.686	-2.837
225.856	-2.817
227.536	-2.847
229.546	-2.863
231.206	-2.920
233.216	-2.970
234.976	-2.983
237.136	-2.993
238.846	-2.967
240.966	-2.967
242.496	-2.977
244.426	-3.033
246.106	-3.130
248.206	-3.173
252.336	-3.213

-3.108
-3.127
-3.151
-3.216
-3.235
-3.258
-3.277
-3.301
-3.318
-3.354
-3.373
-3.392
-3.417
-3.435
-3.457
-3.474
-3.495
-3.512
-3.532
-3.550
-3.572
-3.589
-3.610
-3.626
-3.645
-3.662
-3.683
-3.724

-3.108
-3.127
-3.151
-3.216
-3.235
-3.258
-3.277
-3.301
-3.318
-3.354
-3.373
-3.392
-3.417
-3.435
-3.457
-3.474
-3.495
-3.512
-3.532
-3.550
-3.572
-3.589
-3.610
-3.626
-3.645
-3.662
-3.683
-3.724

-4.527
-4.553
-4.586
-4.675
-4.700
-4.732
-4.757
-4.789
-4.812
-4.861
-4.886
-4.912
-4.945
-4.969
-4.998
-5.021
-5.049
-5.071
-5.098
-5.122
-5.151
-5.174
-5.202
-5.222
-5.248
-5.270
-5.297
-5.351

-4.492
-4.517
-4.538
-4.565
-4.637
-4.657
-4.682
-4.702
-4.727
-4.745
-4.782
-4.801
-4.821
-4.845
-4.863
-4.884
-4.901
-4.921
-4.937
-4.956
-4.973
-4.993
-5.009
-5.028
-5.042
-5.060
-5.074
-5.093

-2.18
-2.22
-2.27
-2.40
-2.44
-2.49
-2.53
-2.57
-2.61
-2.68
-2.72
-2.76
-2.80
-2.84
-2.88
-2.92
-2.96
-2.99
-3.03
-3.07
-3.11
-3.15
-3.19
-3.22
-3.26
-3.29
-3.33
-3.41

257.166	-3.250
259.026	-3.303
263.456	-3.300
265.086	-3.257
267.136	-3.267
268.666	-3.310
270.576	-3.347
272.216	-3.367
274.246	-3.377
275.866	-3.420
277.876	-3.447
279.476	-3.470
281.476	-3.463
283.056	-3.450
284.636	-3.433
286.556	-3.467
288.056	-3.507
293.736	-3.567
297.156	-3.617
298.696	-3.647
302.836	-3.640
304.666	-3.607
306.056	-3.617
308.056	-3.690
309.666	-3.723
313.606	-3.727
316.886	-3.750
318.876	-3.837

-3.771
-3.789
-3.833
-3.849
-3.869
-3.883
-3.902
-3.918
-3.937
-3.953
-3.972
-3.987
-4.007
-4.022
-4.037
-4.055
-4.069
-4.123
-4.155
-4.169
-4.208
-4.225
-4.238
-4.256
-4.271
-4.307
-4.338
-4.356

-3.771
-3.789
-3.833
-3.849
-3.869
-3.883
-3.902
-3.918
-3.937
-3.953
-3.972
-3.987
-4.007
-4.022
-4.037
-4.055
-4.069
-4.123
-4.155
-4.169
-4.208
-4.225
-4.238
-4.256
-4.271
-4.307
-4.338
-4.356

-5.414
-5.437
-5.494
-5.515
-5.541
-5.560
-5.584
-5.604
-5.630
-5.650
-5.675
-5.695
-5.719
-5.739
-5.758
-5.782
-5.800
-5.869
-5.910
-5.929
-5.978
-6.000
-6.016
-6.040
-6.059
-6.105
-6.143
-6.167

-5.128
-5.169
-5.184
-5.219
-5.232
-5.248
-5.260
-5.275
-5.287
-5.302
-5.314
-5.329
-5.340
-5.355
-5.366
-5.377
-5.390
-5.400
-5.438
-5.461
-5.470
-5.497
-5.508
-5.516
-5.528
-5.538
-5.561
-5.580

-3.51
-3.54
-3.63
-3.66
-3.70
-3.73
-3.77
-3.80
-3.84
-3.87
-3.90
-3.93
-3.97
-4.00
-4.03
-4.07
-4.10
-4.20
-4.26
-4.29
-4.37
-4.40
-4.43
-4.47
-4.49
-4.57
-4.63
-4.66

320.496	-3.900
322.496	-3.867
324.106	-3.800
325.856	-3.787
327.196	-3.840
329.086	-3.887
330.626	-3.897
332.636	-3.913
334.266	-3.940
336.116	-3.960
337.586	-3.957
339.376	-3.943
340.806	-3.967
342.596	-3.997
344.036	-4.040
346.106	-4.057
347.786	-4.043
349.696	-4.027
351.206	-4.040
353.066	-4.073
354.546	-4.097
356.506	-4.107
358.086	-4.140
360.126	-4.163
361.776	-4.157
363.726	-4.143
365.256	-4.167
367.206	-4.207

-4.371
-4.389
-4.404
-4.419
-4.432
-4.449
-4.463
-4.481
-4.496
-4.512
-4.525
-4.541
-4.554
-4.570
-4.583
-4.602
-4.617
-4.634
-4.647
-4.663
-4.677
-4.694
-4.708
-4.726
-4.740
-4.757
-4.771
-4.788

-4.371
-4.389
-4.404
-4.419
-4.432
-4.449
-4.463
-4.481
-4.496
-4.512
-4.525
-4.541
-4.554
-4.570
-4.583
-4.602
-4.617
-4.634
-4.647
-4.663
-4.677
-4.694
-4.708
-4.726
-4.740
-4.757
-4.771
-4.788

-6.185
-6.208
-6.227
-6.247
-6.263
-6.284
-6.302
-6.325
-6.343
-6.364
-6.381
-6.401
-6.417
-6.437
-6.453
-6.476
-6.495
-6.516
-6.533
-6.554
-6.570
-6.592
-6.609
-6.631
-6.649
-6.671
-6.687
-6.708

-5.592
-5.601
-5.612
-5.621
-5.630
-5.637
-5.647
-5.655
-5.666
-5.674
-5.684
-5.691
-5.700
-5.707
-5.716
-5.723
-5.733
-5.741
-5.750
-5.757
-5.765
-5.772
-5.781
-5.788
-5.797
-5.804
-5.812
-5.819

-4.69
-4.73
-4.76
-4.79
-4.81
-4.85
-4.87
-4.91
-4.94
-4.97
-5.00
-5.03
-5.05
-5.09
-5.11
-5.15
-5.18
-5.21
-5.24
-5.27
-5.30
-5.33
-5.36
-5.39
-5.42
-5.46
-5.48
-5.52

368.786	-4.227
370.656	-4.217
372.166	-4.230
374.066	-4.257
375.596	-4.287
377.536	-4.290
379.106	-4.283
381.066	-4.303
382.616	-4.347
384.496	-4.390
386.006	-4.410
387.826	-4.427
392.396	-4.463
394.276	-4.507
395.786	-4.493
397.556	-4.473
400.616	-4.483
401.896	-4.570
403.986	-4.617
405.696	-4.607
410.266	-4.600
411.566	-4.630
413.526	-4.670
415.106	-4.653
418.186	-4.640
419.576	-4.647
421.366	-4.677
422.726	-4.703

-4.802
-4.818
-4.831
-4.847
-4.861
-4.878
-4.891
-4.908
-4.921
-4.938
-4.951
-4.966
-5.005
-5.021
-5.034
-5.049
-5.075
-5.086
-5.104
-5.118
-5.157
-5.168
-5.184
-5.198
-5.223
-5.235
-5.250
-5.261

-4.802
-4.818
-4.831
-4.847
-4.861
-4.878
-4.891
-4.908
-4.921
-4.938
-4.951
-4.966
-5.005
-5.021
-5.034
-5.049
-5.075
-5.086
-5.104
-5.118
-5.157
-5.168
-5.184
-5.198
-5.223
-5.235
-5.250
-5.261

-6.726
-6.746
-6.762
-6.782
-6.799
-6.820
-6.836
-6.857
-6.874
-6.894
-6.910
-6.929
-6.977
-6.997
-7.013
-7.031
-7.063
-7.076
-7.098
-7.116
-7.163
-7.176
-7.196
-7.212
-7.244
-7.258
-7.276
-7.290

-5.827
-5.834
-5.841
-5.848
-5.855
-5.861
-5.869
-5.875
-5.883
-5.889
-5.896
-5.901
-5.908
-5.925
-5.932
-5.937
-5.943
-5.954
-5.958
-5.965
-5.971
-5.985
-5.990
-5.996
-6.001
-6.010
-6.015
-6.020

-5.55
-5.58
-5.60
-5.64
-5.66
-5.70
-5.72
-5.76
-5.78
-5.82
-5.84
-5.87
-5.95
-5.98
-6.01
-6.04
-6.09
-6.11
-6.15
-6.18
-6.25
-6.28
-6.31
-6.33
-6.39
-6.41
-6.44
-6.46

424.436	-4.693
425.796	-4.700
427.506	-4.697
428.896	-4.743
430.626	-4.783
432.006	-4.810
433.726	-4.800
434.976	-4.773
436.546	-4.797
437.956	-4.857
439.716	-4.913
441.166	-4.907
444.196	-4.900
445.696	-4.923
447.096	-4.947
448.856	-4.957
450.206	-4.940
451.906	-4.943
453.146	-4.963
454.686	-5.013
456.086	-5.037
457.846	-5.037
459.116	-5.037
460.706	-5.047
462.056	-5.067
463.736	-5.087
465.076	-5.110
466.736	-5.133

-5.276
-5.287
-5.301
-5.313
-5.327
-5.338
-5.353
-5.363
-5.376
-5.388
-5.402
-5.414
-5.439
-5.451
-5.463
-5.477
-5.488
-5.502
-5.512
-5.525
-5.536
-5.550
-5.561
-5.574
-5.585
-5.598
-5.609
-5.622

-5.276
-5.287
-5.301
-5.313
-5.327
-5.338
-5.353
-5.363
-5.376
-5.388
-5.402
-5.414
-5.439
-5.451
-5.463
-5.477
-5.488
-5.502
-5.512
-5.525
-5.536
-5.550
-5.561
-5.574
-5.585
-5.598
-5.609
-5.622

-7.307
-7.321
-7.338
-7.352
-7.370
-7.383
-7.401
-7.413
-7.429
-7.443
-7.460
-7.475
-7.505
-7.520
-7.533
-7.551
-7.564
-7.581
-7.593
-7.608
-7.622
-7.639
-7.651
-7.667
-7.680
-7.696
-7.709
-7.725

-6.024
-6.029
-6.033
-6.038
-6.042
-6.047
-6.051
-6.056
-6.059
-6.063
-6.067
-6.072
-6.076
-6.084
-6.088
-6.091
-6.096
-6.099
-6.104
-6.107
-6.110
-6.114
-6.118
-6.121
-6.125
-6.128
-6.132
-6.135

-6.49
-6.51
-6.54
-6.56
-6.59
-6.62
-6.64
-6.67
-6.69
-6.71
-6.74
-6.77
-6.82
-6.84
-6.87
-6.89
-6.92
-6.94
-6.96
-6.99

467.996	-5.123
469.576	-5.123
470.776	-5.123
472.256	-5.127
473.596	-5.140
475.266	-5.180
476.566	-5.253
478.186	-5.277
479.416	-5.320
483.596	-5.337
485.106	-5.357
486.936	-5.320
488.146	-5.280
489.606	-5.273
490.926	-5.307
492.506	-5.347
493.826	-5.380
495.436	-5.380
496.756	-5.367
498.396	-5.347
499.576	-5.357
501.056	-5.410
502.366	-5.440
504.006	-5.430
505.136	-5.413
506.566	-5.423
507.736	-5.447
509.196	-5.453

-5.633
-5.645
-5.655
-5.667
-5.678
-5.691
-5.701
-5.714
-5.724
-5.758
-5.770
-5.784
-5.794
-5.805
-5.816
-5.828
-5.839
-5.852
-5.862
-5.875
-5.884
-5.896
-5.906
-5.919
-5.928
-5.939
-5.949
-5.960

-5.633
-5.645
-5.655
-5.667
-5.678
-5.691
-5.701
-5.714
-5.724
-5.758
-5.770
-5.784
-5.794
-5.805
-5.816
-5.828
-5.839
-5.852
-5.862
-5.875
-5.884
-5.896
-5.906
-5.919
-5.928
-5.939
-5.949
-5.960

-7.737
-7.752
-7.764
-7.778
-7.791
-7.807
-7.820
-7.835
-7.847
-7.886
-7.901
-7.918
-7.930
-7.943
-7.956
-7.971
-7.983
-7.998
-8.011
-8.026
-8.037
-8.051
-8.063
-8.078
-8.089
-8.102
-8.113
-8.126

-6.139
-6.142
-6.145
-6.148
-6.151
-6.154
-6.158
-6.160
-6.164
-6.166
-6.175
-6.178
-6.182
-6.184
-6.187
-6.190
-6.193
-6.195
-6.199
-6.201
-6.204
-6.206
-6.209
-6.211
-6.214
-6.216
-6.219
-6.221

510.386	-5.457
511.876	-5.487
513.016	-5.517
514.456	-5.523
515.696	-5.520
518.316	-5.523
519.676	-5.583
520.846	-5.597
522.296	-5.563
523.366	-5.547
524.696	-5.543
525.726	-5.560
526.996	-5.600
528.186	-5.677
529.366	-5.703
530.896	-5.647
532.106	-5.573
533.396	-5.590
534.396	-5.680
535.936	-5.703
537.206	-5.707
538.606	-5.667
539.696	-5.673
542.316	-5.713
543.846	-5.763
545.076	-5.787
546.526	-5.740

-5.969
-5.981
-5.990
-6.001
-6.011
-6.031
-6.042
-6.051
-6.062
-6.071
-6.081
-6.089
-6.099
-6.108
-6.117
-6.129
-6.138
-6.148
-6.156
-6.168
-6.178
-6.189
-6.197
-6.217
-6.229
-6.238
-6.249

-5.969
-5.981
-5.990
-6.001
-6.011
-6.031
-6.042
-6.051
-6.062
-6.071
-6.081
-6.089
-6.099
-6.108
-6.117
-6.129
-6.138
-6.148
-6.156
-6.168
-6.178
-6.189
-6.197
-6.217
-6.229
-6.238
-6.249

-8.137
-8.151
-8.162
-8.175
-8.186
-8.210
-8.223
-8.234
-8.247
-8.257
-8.269
-8.278
-8.290
-8.300
-8.311
-8.325
-8.336
-8.348
-8.357
-8.371
-8.382
-8.395
-8.405
-8.428
-8.442
-8.453
-8.466

-6.224
-6.226
-6.228
-6.230
-6.233
-6.235
-6.239
-6.241
-6.243
-6.246
-6.247
-6.249
-6.251
-6.253
-6.255
-6.257
-6.259
-6.261
-6.263
-6.264
-6.267
-6.269
-6.271
-6.272
-6.276
-6.278
-6.280

بررسی و محاسبه پارامترها جهت تعیین تغییرات خطوط ساحل بر اساس معادلات بروون و رزاتی (پیوست ب)

	Parameters / Zones	Anzali	Dastak	Namakabrood	Mahmoodabad	Larim	Miankaleh
	D50 (93) (mm)	0.2	0.19	0.23	0.19	0.17	0.17
	D50 (93) (m)	0.0002	0.00019	0.00023	0.00019	0.00017	0.00017
	S (92at93) (cm) - تغییرات تراز -	-13.2	-13.2	-13.2	-13.2	-13.2	-13.2
	S (92at93) (m) - تغییرات تراز -	-0.132	-0.132	-0.132	-0.132	-0.132	-0.132
	S - چگالی مخصوص -	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
	V - (m ² /s) - لزجت سینماتیکی آب -	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001	0.000001
	g (m/s ²)	9.806	9.806	9.806	9.806	9.806	9.806
برحسب اندازه ذرات به متر	Wf - Fall velocity (m/s)	0.0257	0.0238	0.0314	0.0238	0.0200	0.0200
پارامتر مقیاس رسوبی	A	0.0916	0.0870	0.1047	0.0870	0.0774	0.0774
دوره بازگشت ۱۲ سال - آب عمیق	H0-max (m)	5.86	5.86	6.3	6.3	5.32	5.32
	H0-mean (m)	0.71	0.71	0.65	0.65	0.67	0.67
	Top max (Sec)	12.93	12.93	13.25	13.25	12.02	12.02
	Top mean (Sec)	4.86	4.86	4.25	4.25	4.7	4.7
دوره بازگشت ۱۲ سال - موقعیت بویه	H-max (m)	5.22	5.22	-	-	4.79	4.79
	H-mean (m)	0.68	0.68	0.65	0.65	0.66	0.66
	TP max (Sec)	13.1	13.1	-	-	12.19	12.19
	TP mean (Sec)	4.87	4.87	4.26	4.26	4.72	4.72
دوره بازگشت ۲ سال - آب عمیق	H0-max (m)	4.83	4.83	4.78	4.78	3.57	3.57
دوره بازگشت ۵ سال - آب عمیق	H0-max (m)	5.41	5.41	5.5	5.5	4.02	4.02
دوره بازگشت ۱۰ سال - آب عمیق	H0-max (m)	5.77	5.77	5.97	5.97	4.32	4.32
دوره بازگشت ۲۰ سال - آب عمیق	H0-max (m)	6.11	6.11	6.42	6.42	4.6	4.6
دوره بازگشت ۵۰ سال - آب عمیق	H0-max (m)	6.54	6.54	7	7	4.97	4.97
دوره بازگشت ۱۰۰ سال - آب عمیق	H0-max (m)	6.86	6.86	7.44	7.44	5.25	5.25
دوره بازگشت ۲ سال - موقعیت بویه	H-max (m)	4.44	4.44	-	-	3.41	3.41
دوره بازگشت ۵ سال - موقعیت بویه	H-max (m)	4.86	4.86	-	-	3.81	3.81
دوره بازگشت ۱۰ سال - موقعیت بویه	H-max (m)	5.12	5.12	-	-	4.08	4.08
دوره بازگشت ۲۰ سال - موقعیت بویه	H-max (m)	5.36	5.36	-	-	4.33	4.33
دوره بازگشت ۵۰ سال - موقعیت بویه	H-max (m)	5.67	5.67	-	-	4.66	4.66
دوره بازگشت ۱۰۰ سال - موقعیت بویه	H-max (m)	5.9	5.9	-	-	4.9	4.9
توضیحات دارد	Hb (m)	0.68	0.68	0.65	0.65	0.66	0.66
ضریب وابسته به فروپاشی موج	C	2	2	2	2	2	2
initial speed of the shoreline	U0-(m/s)	5.165	5.165	5.049	5.049	5.088	5.088
The maximum vertical run-up	B=Z (m)	1.360	1.360	1.300	1.300	1.320	1.320
دوره بازگشت ۱۲ سال - آب عمیق	hc=h* (m) - with H0 mean	4.793	4.793	4.388	4.388	4.523	4.523
بر اساس داده های پروفیل ۱-۹۳	Xc=W (m)	454.437	451.044	327.856	296.805	454.858	885.369
مقادیر میدانی طول آورد رسوبی به سمت خشکی	tan Θ = S0 - Natural Slope	0.011	0.011	0.013	0.015	0.010	0.005
	YL - Natural (m)	54	64	52	36	63	99
Calculations based on Bruun rule							
Coast line horizontal variations	Rb (m)	9.544	9.473	7.436	6.732	10.049	19.56
New distance to the closure depth	W*B (m)	444.893	441.571	320.42	290.073	444.809	865.809
Natural Slope after sea level change	tan Θ* = S*B	0.014	0.014	0.018	0.020	0.013	0.007
Calculations based on The modified Bruun Rule extended for landward transport							
Critical Coast line horizontal variations	Rcrit (m)	50.917	15.833	36.812	-84.240	-21.396	399.604
	Vcrit (m ³ /m)	20.376	23.030	15.225	21.174	26.308	1.519
	YL crit (m)	154.363	174.472	115.344	160.407	199.304	11.508
Coast line horizontal variations	RMB (m)	12.779	13.137	10.052	10.37	14.452	19.814
New distance to the closure depth	W*MB (m)	441.658	437.907	317.804	286.435	440.406	865.555
Natural Slope after sea level change	tan Θ* = S*MB	0.014	0.014	0.018	0.020	0.013	0.007
Natural Data							
بر اساس داده های پروفیل ۱-۹۳	Xc=WN (m)	462.046	396.063	364.546	338.232	464.752	897.552
	tan Θ = S0N	0.010	0.012	0.012	0.013	0.010	0.005
تغییرات خط ساحل میانگین سه نیمرخ ۹۲ تا ۹۳	RN avg (m)	11.367	20.479	6.322	11.919	16.491	23.298
Comparison between the equations output with fieldwork data							
اختلاف تغییرات خط ساحل محاسبه شده Bruun با اصلی	ΔR=(RN avg - Rb) (m)	1.823	11.006	1.114	5.187	6.442	3.738
اختلاف تغییرات خط ساحل محاسبه شده Dean با اصلی	ΔR=(RN avg - RMB) (m)	1.412	7.342	3.730	1.549	2.039	3.484

بهبود سازی معادله تغییر خطوط ساحلی بر اساس انتقال رسوب ساحلی برای دریای خزر با اعمال *AS* (پیوست پ)

کد شناسایی	نسبت پارامترها	انزلی	دستک	نمک آبرود	محمود آباد	لاریم	میانکاله	
8	D50/HB	2.94E-04	2.79E-04	3.54E-04	2.92E-04	2.58E-04	2.58E-04	
9	HB/D50	3400	3578.9474	2826.087	3421.0526	3941.1765	3941.1765	
		پیش بینی تغییر خط ساحل / اختلاف پیش بینی با تغییر خط ساحل طبیعی						
		تعیین ضریب <i>As</i>						
9a	3.371E-04 × (HB/D50)	14.61	15.781	9.586	11.917	19.062	26.134	R
		3.243	4.698	3.264	0.002	2.571	2.836	ΔR
9b	2.905E-04 × (HB/D50)	12.632	13.647	8.286	10.307	16.493	22.613	R
		1.265	6.832	1.964	1.612	0.002	0.685	ΔR
9c	2.608E-04 × (HB/D50)	11.365	12.279	7.453	9.275	14.845	20.353	R
		0.002	8.2	1.131	2.644	1.646	2.945	ΔR
9d	4.4081E-04 × (HB/D50)	18.964	20.477	12.453	15.459	24.704	33.87	R
		-	-	-	-	-	-	ΔR
9e	2.206E-04 × (HB/D50)	9.641	10.418	6.321	7.87	12.601	17.276	R
		-	-	-	-	-	-	ΔR
9f	2.995E-04 × (HB/D50)	13.015	14.061	8.538	10.619	16.991	23.295	R
		1.648	6.418	2.216	1.3	0.5	0.003	ΔR
9g	3.232E-04 × (HB/D50)	13.814	14.922	9.063	11.269	18.028	24.717	R
		2.447	5.557	2.741	0.65	1.537	1.419	ΔR
9h	3.28E-04 × (HB/D50)	14.225	15.366	9.333	11.604	18.562	25.449	R
		2.858	5.113	3.011	0.315	2.071	2.151	ΔR

بهینه سازی معادله تغییر خطوط ساحلی بر اساس انتقال رسوب ساحلی برای دریای خزر با اعمال *AS* (پیوست پ)

Formulations	9a	9b	9c	9f	9g	9h
	ΔR	ΔR	ΔR	ΔR	ΔR	ΔR
Anzali	3.243	1.265	0.002	1.648	2.447	2.858
Dastak	4.698	6.832	8.2	6.418	5.557	5.113
Namakabrood	3.264	1.964	1.131	2.216	2.741	3.011
Mahmoodabad	0.002	1.612	2.644	1.3	0.65	0.315
Larim	2.571	0.002	1.646	0.5	1.537	2.071
Miankaleh	2.836	0.685	2.945	0.003	1.419	2.151
خطای جذر میانگین مربعات						
Root mean square error (RMSE)	3.106	3.033	3.806	2.909	2.863	2.955
	✓	✓	x	✓	✓	✓
	x	x		x	✓	✓

Classification of Equilibrium Beach Profile in the Caspian Sea

Ataei S.^{1*}, Adjami M.², Lashteh Neshaei M.A.³, Haghhighifar M.⁴

^{1*} MSc Student of Marine Structures Engineering, Shahrood University of Technology, Iran

² Assistant Professor of Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Iran

³ Associate Professor of Civil Engineering Department, Guilan University, Iran

⁴ MSc Student of Civil Engineering-Structure branch, Guilan University, Iran
ataei.h.s@gmail.com

Abstract

During the period 1980 to the present few researchers such as Dean (1993) and Komar and MC Dougal (1994) and some others have tried to provide the appropriate equations of seabed shape changes according to different parameters such as the diameter of the seabed grain, grains of density, wave break height and other parameters under equilibrium beach profile. These equations determine the important parameters for the design of coastal structures and ports have many mistakes, that this caused the higher risk of design. This research tries to preset the most accurate EBP¹ equations for some important Iranian beaches located on the southern coasts of the Caspian Sea. This leads to future improves in design of port facilities and structures by minimizing the probable errors and risks due to more accurate EBPs. The results of this study show that the suggested equilibrium profile equation of Dean reasonably is in a good agreement with the behavior of the cross-shore profile of the Southern Caspian Sea. By applying the equations of equilibrium profiles and comparing those to the shores of the Southern Caspian Sea, can be seen that the Dean Equilibrium profile is more compatible with the profile of the Caspian Sea Coast.

Keywords: Equilibrium beach profile equations, Cross-shore profile, Caspian Sea, Seabed.

Introduction

In recent years, attention to affair of marine transportation is very much and countries seeking to build ports and port terminals that are beneficial to the efficiency of capital. This would have prompted researchers to pay special attention to coastal engineering science to build ports and tourist development – recreational. The design of ports and coastal structures need to identify the most critical parameter in the sea, including to the height of the waves, direction of waves and winds, sea currents, sediment transport rates and other parameters. One of the most important parameters in identifying characteristics of the sea, which the result of interaction parameters mentioned is the morphology of the seabed that one of today's issues and topics in coastal engineering and also is most important and effective in general layout and design of coastal structures and coastal protection.

A few researchers such as Dean (1993) and Vellinga (1982) and some others have tried to provide the appropriate equations of seabed shape changes according to different parameters such as the diameter of the seabed grain, grains of density, wave break height and other characteristics under EBPs. These equations determine the important parameters for the design of coastal structures and ports have many mistakes, that this caused the higher risk of design.

Beaches are continually exposed to the influx of the waves and so long-shore profiles they are continually changing; these changes are mainly occurs in the adjacent coastal area, where the effects of waves breaking are more visible. The order of surf zone is the region of since then creates a progressive wave in deep water; infare to the shallow coastal zone and bedding effects on the wave is tangible.

The effective Parameters deformation of the seabed coast

The width of coastal zone where the waves break phenomenon occurs is a function of wave height and the topography of the seabed. Sea waves arriving at the border of the coastal zone due to the increasing wave height relative to the water limit depth suffering breaks and in effect of wave falling and turbulent current caused by the wave break and air interfere with water, significant energy is transferred from the wave to seabed that this energy is major factor in stimulating the seabed particles and coastal sediment transfer in the vicinity of the coasts.

¹ Equilibrium Beach Profile

The deep seabed sediments began to shift and carry them back to shore is called depth of closure. This depth increases with increasing of the height and wave period and at its maximum reaches about 30 meters. With wave motion towards the coast for depth reductions, increases sediment transport; this causes the steeper slope is seen near the coast. In [Figure 1](#), the details of cross-section of the beach are shown.

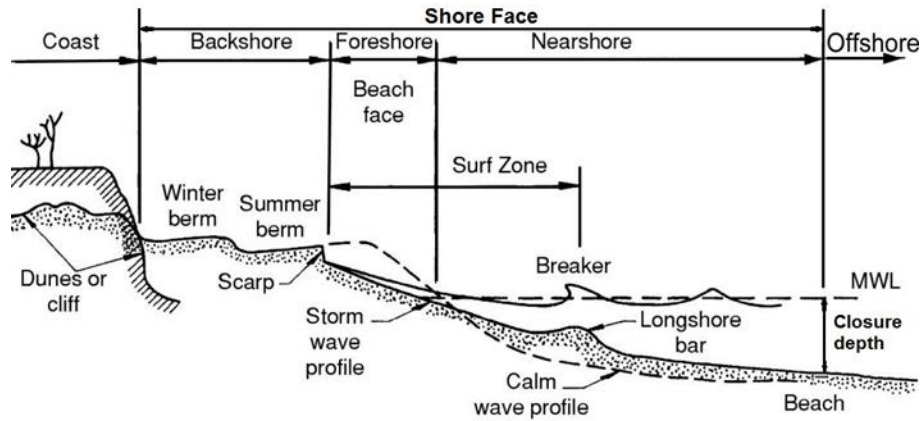


Figure 1: cross-section of beach with details

Geological boundary conditions effect on the particle size and nature of seabed. Amplitude formation of slope bed is usually very much. Experiences showed that the slope of the coast is variable from 0.1 to 0.8 degrees. Sources that provide of sediment on the beach features have effective role; to form the beach should there be a sufficient amount of sediment to be collected by the waves. Type of sediment can be classified based on the size and type of mineral sediment. Beaches usually formed of fine particles to medium sand (at low to moderate latitude) or gravel (at higher latitude). In most cases, the size of sediment effects on the beach slope and sediment transport. The main minerals found in sand beaches are Quartz grains with a specific gravity of 2.65. Expect shingle beaches, in many sandy and gravelly beaches grain diameter of the bed is about 0.1 to 1 mm. Usually represent a seabed particles and coastal sediment is D_{50} (50% of the size of the grains that are smaller or coarser). Experience has proved that the beach is more coarse aggregate, its slope will be steeper [\[1\]](#).

Wave along with sediment the most basic need is to create the beach. Most beaches are made of gravitational waves. With increasing wave period, changed the beach type; also, wave energy that caused to Change the beach is function of square wave height and period. The tidal current is not required to formation the beach, but the increasing tide has a major role in combination with the wave modes in deformation of the seabed. Masselink (1995) showed that when increases the tidal range, beaches width is more and slope beaches is less. Wind direction and speed, another factor is the change in bed and sediment transport. Coastal winds caused by sediment deposited by wind and may be a source of beach sand dunes, which are used to eliminate [\[1\]](#).

Equations of the equilibrium profile of sandy beaches

Shore face is a term that Jonson (1919) and Barrell (1912) were used to define the shore substrate of the beach that has been less steep than in offshore and can be seen numerous fractures in slope. The fundamental problem in defining shore face is the absence of fractures permanent in the slope. A factor that plays a major role in all the coasts is gravity waves (waves wind and swell). These waves are certainly cause sediment transport and shaping the shore face to form a double shape separated, this means that an upward concave profile is resulting from the reaction of the regime of the waves on the sea in shallow areas and other concave profile on the beach and in the middle of a convex profile seen [\[1\]](#).

The upper surface of the seabed, sediments erosion and deposit in the seabed height change per year. A variation of the beach bed usually was greater in the surf zone and increasingly this changes decrease with distance from shore. According to the definition of the substrate surface, this result is reached that coastal areas are also located in this region. A long erosion the coast not only moves in the sandy sediments of the coastal bar, but some distance and stretches created across the coastal zone, therefore, the inner portion and top surface substrate shortened and increasing the width of the offshore area. Vertical changes in bed for two reasons increases the surf zone: 1- the intensity of water motion near the bed decreases with distance from shore. 2- Sand columns that the sediment deposit under this mode of localized deposit logged and extend. Normal beaches are usually dynamic equilibrium, this means that the effect seasonal variations and short-term

storm the beach and sediment movement are constantly changing, but in the long term (for example, one year period) at end of balance and sediment balance can be seen on the beach.

In contrast to the upper bed, lower shore face with sediment size distribution is much more complex. Since are adjacent both the upper and lower levels, therefore the boundary of the offshore with near shore in the closure depth is the same [1].

Equilibrium profile equation of Dean

In 1991, Dean proposed equilibrium sandy beaches equation with latest desired changes [2]:

$$h = Ax^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

In this equation, h is the water depth in meters from sea surface up to seabed. A scale sedimentary parameter and x is the horizontal distance from the coastline to the sea in meters. Sediment scale parameter is calculated from the following equation:

$$A = 2.25 \left(\frac{W_f^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

In which, W_f sedimentation velocity is in meters per second and g is the acceleration of gravity. The sedimentation rate of particles is dependent on the average diameter of the particles the seabed's that according to the particle diameter can be calculated as follows:

$$W_f = \frac{(s-1)gD_{50}^2}{18\nu} \quad 0.001 < D_{50} < 0.1mm \quad (3)$$

$$W_f = \frac{10\nu}{D_{50}} \left[\left(1 + \frac{0.01(s-1)gD_{50}^3}{\nu^2} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad 0.1 < D_{50} < 1mm \quad (4)$$

$$W_f = 1.1 \left[(s-1)gD_{50} \right]^{\frac{1}{2}} \quad D_{50} > 1mm \quad (5)$$

In the above equation, s for the specific density of sea that value is 2.65; D_{50} average particle diameter the seabed and ν kinematic density of sea water, the amount of which is 10^{-6} . Dean can be seen in himself balance equations, the average diameter of the particles and the Seabed as a major factor in the EBP is considered to be a contribution.

Equilibrium profile equation of modified Dean's profile

In 1999, Larson found that the conduct of the research that's done to shore profiles of the trough area before the bar is acceptably close to linear behavior. As a result, the behavior of the EBP that Provide by Dean to retain the original format in [Equation \(1\)](#) and with the geometric correction to improve the following form in structure of x [3].

$$h = mx \quad x \leq x_0 \quad (6)$$

$$h = Ax^{\frac{2}{3}} \quad x > x_0 \quad (1)$$

$$x = \frac{h}{m} + \left(\frac{h}{A} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

In [equation \(7\)](#), h water depth from Calculated the initial equation of Dean [i.e. eq \(1\)](#). And m is the slope of the computing the seabed. x_0 the horizontal distance in meters from the troughs before the bar up to the shore. The horizontal distance between the troughs before the bar up to the beach is calculated from the following equation:

$$x_0 = \frac{h_t}{m} + \left(\frac{h_t}{A} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

In which h_t is the depth of the troughs before the bar. Troughs depth values from the bar before and also the slope of the computing the seabed, respectively are calculated from the following equation:

$$h_t = \frac{4}{9} \times \frac{A^3}{m^2} \quad (9)$$

$$m = 0.15 \left(\frac{W_f T}{H_b} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

In the above equation, T period waves of sea in seconds and H_b is wave breaking height in meters.

Equilibrium profile equation of Vellinga

Vellinga due to the approximation of the initial balance equation of Dean that was presented in 1977, tried to develop it to be closest to balance equation may be drawn [4]:

$$\left(\frac{7.6}{H_0} \right) h = 0.47 \left[\left(\frac{7.6}{H_0} \right)^{1.28} \left(\frac{W_f}{0.0268} \right)^{0.56} + x + 18 \right]^{0.78} - 2 \quad (11)$$

In this equation, H_0 is the wave height in deep water.

Equilibrium profile equation of Komar and Mc Dougal

After providing EBP equation by Bodge in 1992 [5], in 1994 two researchers tried to exert natural slope of seabed parameter and height and period of storm surge in the original equation, obtained more accurate results than the EBP[6]:

$$h = \frac{S_0}{k} (1 - e^{-kx}) \quad (12)$$

In this equation, S_0 the seabed natural slope and the parameter k is related to the depth and the closure depth of the horizontal distance to the beach.

$$k = \frac{1}{x_c} \left[\frac{3}{2} - \left(\frac{6h_c}{S_0 x_c} - \frac{15}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (13)$$

In the above equation, h_c and x_c , respectively depth and distance of the closure depth to the shoreline that calculated as follows:

$$h_c \cong 2.28 H_e - 68.5 \left(\frac{H_e^2}{g T_e^2} \right) \quad (14)$$

Due to the triangular geometric relationship between the parameters of depth and horizontal distance and bed slope, the horizontal distance is calculated from the following equation:

$$x_c = \frac{h_c}{S_0} \quad (15)$$

In the above equation, H_e and T_e respectively storm surge height in meters and period as this in seconds. Komar and Mc Dougal considered on the behavior of the shore are linear.

Equilibrium profile equation of Wang and Davis

In 1998, two researchers worked on Inman equation for EBP was presented in 1993 [7] and have applied it to optimize the below form [8]:

$$h = A_1 x^{m_1} \quad 0 < x \leq x_{tr} \quad (16)$$

$$h = h_{tr} + \frac{h_{bt} - h_{tr}}{x_{bt} - x_{tr}} (x - x_{tr}) \quad x_{tr} < x < x_{bt} \quad (17)$$

$$h = A_2 (x - x_2)^{m_2} \quad x_{bt} \leq x < x_c \quad (18)$$

In the above equation, A_1 and A_2 respectively, sediments scale parameter related to the beach up to the troughs before the bar and region the bar up to the closure depth, m_1 and m_2 computational beach slope whose value, respectively is 0.67 and 0.82 [8], h_{tr} and x_{tr} depth and distance from area troughs prior to the bar up to the beach and x_2 intercept distance close to the beach with level of the average water surface (Figure 2). The values obtained are expressed as follows:

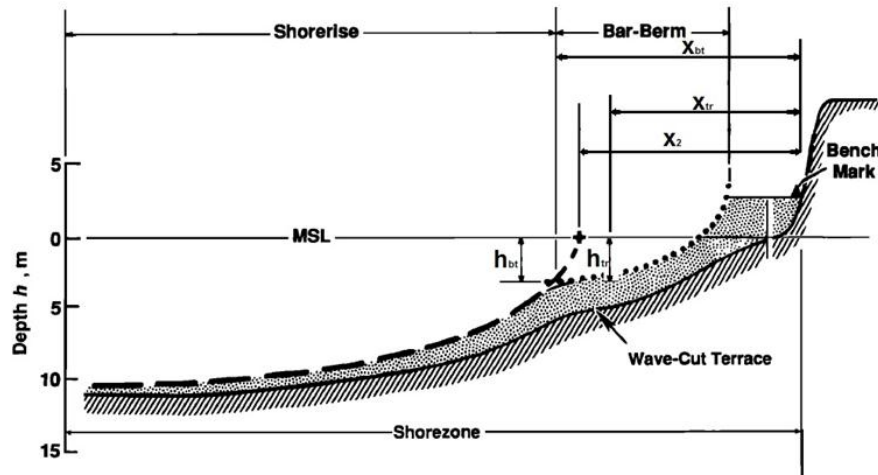


Figure 2: Inman et al. Suggested profile (1993)

$$\frac{h_{tr}}{h_{bt}} = 2.5 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{0.092} \quad (19)$$

$$h_{bt} = 0.66H_b \quad (20)$$

$$x_{tr} = 0.18H_b \left(\frac{x_{bt}}{H_b} \right)^{3/2} \quad (21)$$

$$x_{bt} = \frac{10L_0}{m_1} \left(\frac{H_b}{gT^2} \right)^{4/3} \quad (22)$$

$$x_2 = 0.652x_{bt} \quad (23)$$

In the above equation, L_0 is the deep water wave length is calculated as follows:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (24)$$

Inman's equation considers beach profile behavior into two parabolic concave and consider a convex portion (due to the formation of bar in the wave breaking zone and also troughs before and after); this work makes the equation behavior is more similar to the behavior profile of a natural sandy beach.

Southern coast of the Caspian Sea profile

In this study, to obtain accurate results and acceptable, try to take water depth data from the largest coastal cities located in the southern Caspian Sea. In this context have been studied Astara, Bandar_e_Anzali and Dastak coasts of Guilan province and Tonekabon, Nour and Babolsar coasts of Mazandaran province.

According to available data, the entire southern part of the Caspian Sea to the structural design and other designs are used from the deep water wave height of 3 meters and a wave period of 10 seconds and also a wave breaking height of 3 meters [9]. The view of the southern area of the Caspian Sea can be seen in Figure 3.



Figure 3: The view of southern area of the Caspian Sea.

Astara beach profile

Astara with the latitude $38^{\circ} 24' 43.92''$ N, $48^{\circ} 52' 33.96''$ E in Guilan province is located in the southwestern part of the Caspian Sea that is related from west side the province of Ardabil and south of the city Talesh and on the north side bordering Azerbaijan country (Region No.1 in Fig 3).

Average slope measured Astara beaches is 0.0018 [10]; The average particle diameter seabed of about 0.53 millimeter and specific gravity of 2750 kilograms per cubic meter and the sedimentation rate is 0.0783 meters per second. The sedimentation rate of particles at the bottom of the bar to closure depth is equal to 0.01 meters per second [1].

Bandar_e_Anzali beach profile

Bandar_e_Anzali with the latitude $37^{\circ} 28' 0.12''$ N, $49^{\circ} 28' 0.12''$ E in Guilan Province is located in the southwestern part of the Caspian Sea that from east of the city of Rasht and from west side of the city Rezvanshahr and south of the city is

connected Some'esara. One of the most important Iranian port city of Bandar_e_Anzali on the Caspian Sea that the largest marine transit line of the Caspian Sea countries considered ([Region No.2 in Fig 3](#)).

Average slope measured Bandar_e_Anzali beaches is 0.009 [10]; also the average diameter of the particles in the bed of about 0.2 mm and Specific gravity of 2710 kg of per cubic meter and its sedimentation rate is 0.0265 meters per second; Sedimentation velocity of particles seabed at the end of the bar to closure depth is equal to 0.01 meters per second [1].

Dastak beach profile

The part of the Dastak subset city of Astaneh_e_Ashrafieh with the latitude 37° 16' 12" N, 49° 58' 48" E in Guilan is located in the southern Caspian Sea. Astaneh_e_Ashrafieh from the east and west respectively is neighboring city of Rasht and Lahijan ([Region No.3 in Fig 3](#)).

Average slope measured Dastak beaches is 0.008 [10]; The average particle diameter seabed is about 0.25 millimeter and specific weight of 2710 kilograms per cubic meter and the sedimentation rate is 0.0400 meters per second. Sedimentation rate of particles at region bottom of the bar to the closure depth of 0.01 meters per second [1].

Tonkabon beach profile

Tonkabon is a city in Mazandaran province with the latitude 36° 42' 0" N, 51° 6' 0" E that is connected to the cities of Ramsar and Chalous. This town in the northern area, the covers part of the southern coast of the Caspian Sea ([Region No.4 in Fig 3](#)).

Average slope measured Tonkabon beaches are equal to 0.007 [10]; Average particle diameter bed of this coast is 0.33 millimeter, their specific weight of 2710 kilograms per cubic meter and they also sedimentation rate is 0.0500 meters per second. The sedimentation rate of particles at region bottom of the bar to the closure depth is 0.01 meters per second [1].

Nour beach profile

Nour city is located in the central region of Mazandaran province with the latitude 36° 34' 22" N, 52° 1' 0" E that is connected to Noshahr, Chalous, Mahmud Abad and Amol cities. This town in the northern area covers Part of the southern coast of the Caspian Sea ([Region No.5 in Fig 3](#)).

Average slope measured Nour city beaches is 0.01 [10]; the average diameter of the particles in the bed of about 0.26 mm and Specific gravity of 2710 kg of per cubic meter and its sedimentation rate is 0.0379 meters per second; Sedimentation velocity of particles seabed at the end of the bar to closure depth is equal to 0.01 meters per second [1].

Babolsar beach profile

Babolsar city with the latitude 36° 42' 2.88" N, 52° 38' 44.16" E in Mazandaran province is located in the region southeast of the Caspian Sea that is connected to Mahmud Abad in the west and Babol in the south and also from the east to Joybar ([Region No.6 in Fig 3](#)).

Average slope measured Babolsar beaches is 0.008 [10]; also the average particle diameter seabed is about 0.26 millimeter and specific weight of 2710 kilograms per cubic meter and the sedimentation rate is 0.0379 meters per second; Sedimentation rate of particles at region bottom of the bar to closure depth is 0.01 meters per second [1].

Comparison the equations of equilibrium beach profile with the profiles of the Caspian Sea

Researchers tried to present the EBP so that described of the best form the behavior of the beaches on the theory and they used in study coastal engineering science and also design of coastal Structures and ports. By applying these equations with data studied southern coast of the Caspian Sea in Iran, it can be compared behavior of each of these equations with the beaches of the desire behavior and in total of behavior of coastal areas of the Caspian Sea in the region of Iran.

In Figures 4 to 9 compare the measured profiles with other equilibrium profiles shown that has been recorded from 2 to 5 km distance from the coast.

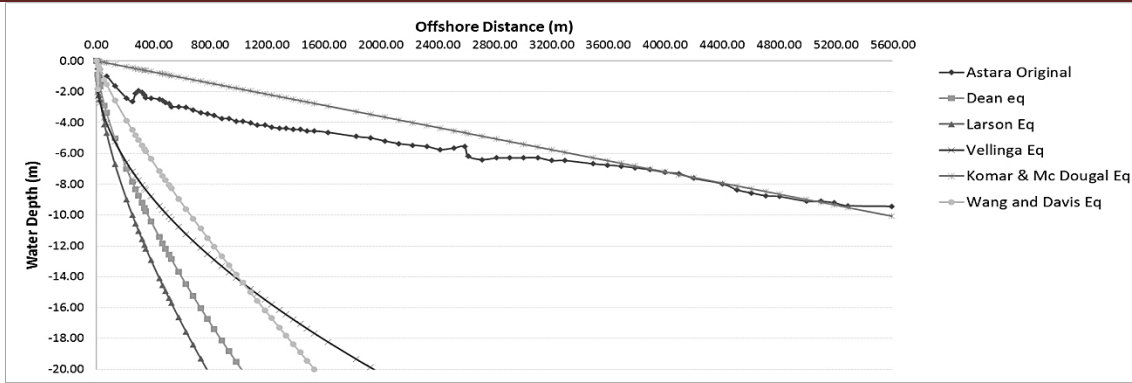


Figure 4: Comparison of Astara beach Profile with other equilibrium profiles.

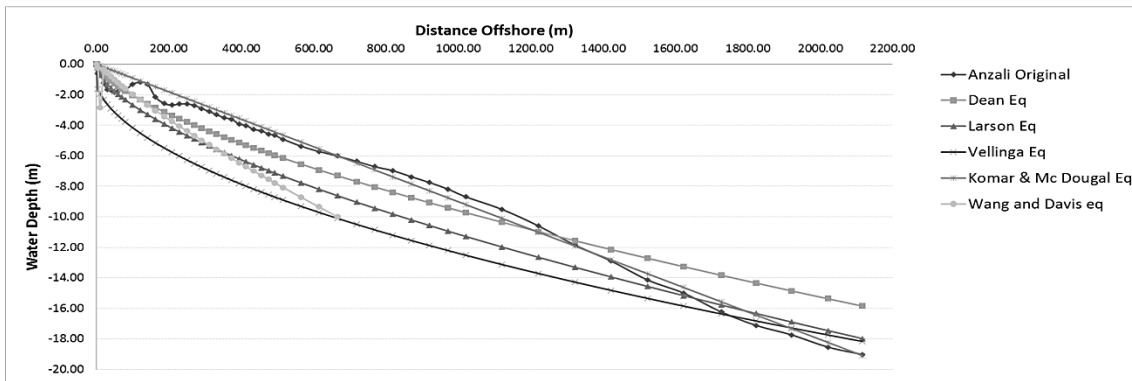


Figure 5: Comparison of Bandar_e_Anzali beach Profile with other equilibrium profiles.

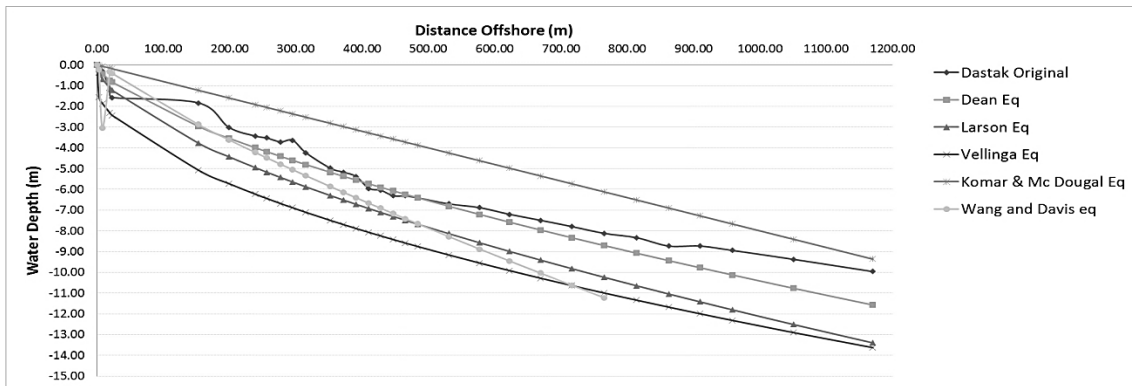


Figure 6: Comparison of Dastak beach Profile with other equilibrium profiles.

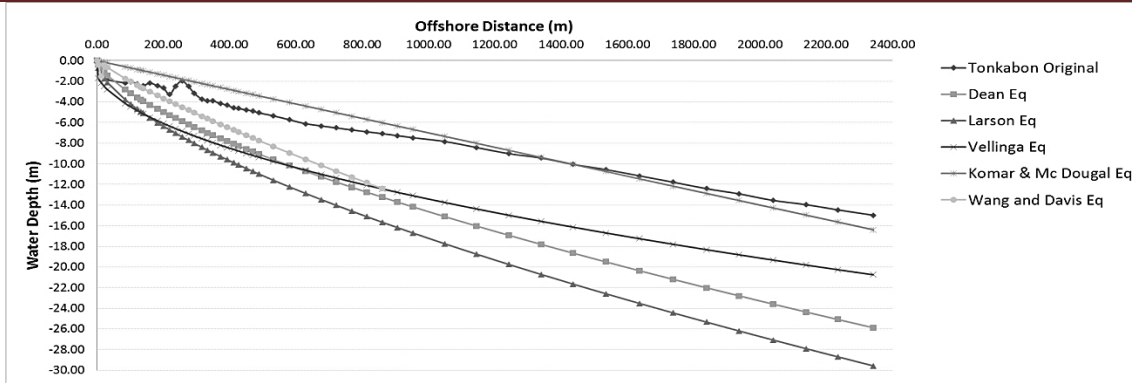


Figure 7: Comparison of Tonkabon beach Profile with other equilibrium profiles.

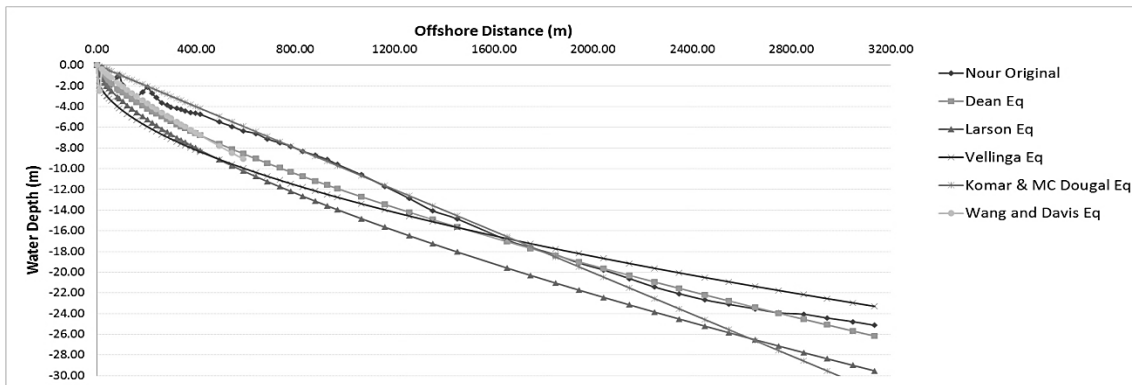


Figure 8: Comparison of Nour beach Profile with other equilibrium profiles.

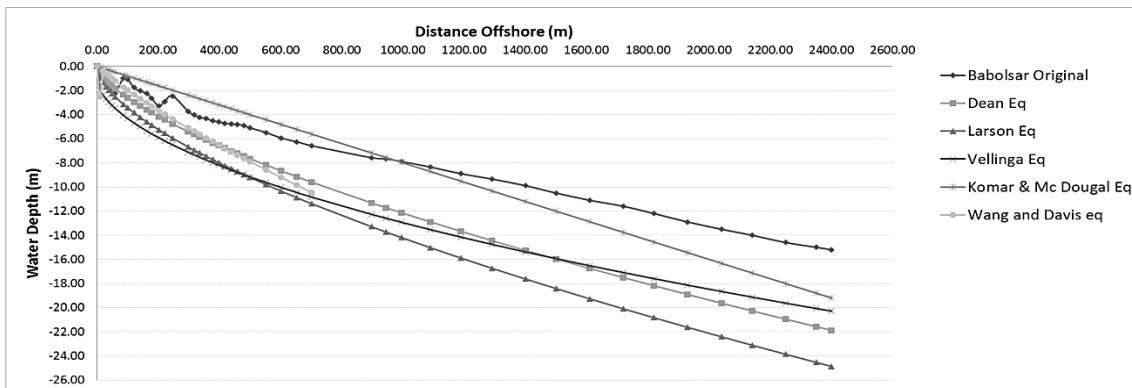


Figure 9: Comparison of Babolsar beach Profile with other equilibrium profiles.

As can be seen from diagram, cross-shore equilibrium Profile equation that has been presented can be somewhat predicted behavior of the sandy beaches but behavior rocky beaches and somewhat fine aggregate not able to accurately predict, considering the average particle size bed beaches of the studied, it can be seen that the Astara cross-shore profile with average particle size of 0.53 mm behavior is quite different from the equations presented and also Tonkabon cross-shore profile with the average particle size of 0.33 mm, except at a distance of 150 meters from the primary shows behavior of quite differently from the equilibrium profile of sandy beaches are attributable for the beach with the average particle size smaller than 0.33 mm.

Vellinga proposed equilibrium profile with almost large differences in the results, of course, for higher distances (2000 meters high) of its relatively good compliance with the profiles show the main beach, but this equilibrium profile in the elementary intervals, especially for the closure depth show disappointing result; so we can ignore to use this equation to match the equilibrium of the Caspian Sea.

Wang and Davis equilibrium profile according to the three-equation considering the profile and segmentation data needs to be extremely more accurate until achieved the desired result and the most important element of its failing to approve scope of application is limited up to closure depth interval; but the best possible experience than the other equations marks because the shape of the beach profile according to areas of troughs and ridges draws better and more realistic; In fact, this equation shows more realistic behavior coast than the equilibrium behavior coast, this cause advantage the equation to other equations but the failure to predict the beach profile after the closure depth seabed and It also predicts the abnormal troughs area before bar that cause to this equation not be invoked to match the cross-shore profile of the Southern Caspian Sea .

Dean with the parabolic consideration of the EBP due to the nature of summer and winter beach profiles and the average particle size parameter is applied to the seabed in his proposed equation draws the best equilibrium profile for sandy beaches. According to the above diagrams are visible that balance equation Dean coordinates with all the sandy beaches especially for cities Bandar_e_Anzali, dastak, nour and babolsar and parabolic nature of this coast predict acceptable and fits in a manner.

Larson profile shows similar behavior with the Dean equation, except that in the nearshore region it assumes a linear behavior, but according to studies Dean has better compatibility equation. In fact equilibrium profile equation of Komar and Mc Dougal the closest prediction is done and even to the shores of Astara and Tonkabon also is very close to reality shows equilibrium profile; The two realized their original equation expressed as parabolic and important parameters such as actual average slope of the beach and depth and imposed the distance region of the closure depth to the beach that shows behavior very close to the natural behavior of the cross-shore profiles. But due to the introduction of the parameter K in the equation and considering to its minimal value the behavior of the beach is quite linear draws that considering to the nature of the parabolic profile of sandy beaches can't be properly documented this equation.

Conclusion

By applying the equations of equilibrium profiles and comparing those to the shores of the Southern Caspian Sea, it can be seen that the Dean Equilibrium profile has the closest equation to profile the Caspian Sea. Komar and Mc Dougal equation is actually making the closest prediction, but because of the general nature sand beaches as parabolic, this equation can't be preferred to the equation of Dean, because this equation beaches draw as linear. Also, Larson profile shows similar behavior with the Dean equation, except that in the nearshore region it assumes a linear behavior, but according to studies Dean equation was better adapted. Vellinga Suggested equilibrium profiles is almost result of differences, however, for distances above shows (about 2000 meters high) they adapt themselves fairly well with the main profiles beach, but the equilibrium profile in the initial intervals especially to the Closure depth shows disappointing results. Equilibrium profile of Wang and Davis, according to the division's profile into the three regions, there needs to be much more accurate to achieved the desired results and the main cause failing to approve is limitation of scope application to the closure depth distance; but creates the best possible experience than the other equations, Because the shape of the beach profile with respect to areas of trough and bar draws better and more realistic, however with the original profile of the beach having relatively large difference indicates which in turn implies that this equation requires further investigation.

According to comparison of equilibrium profiles with each other and also with the natural profile of sandy beaches of the Southern Caspian Sea and also study of effective factors in any of the equations of equilibrium beach profile, it is observed that equations for the equilibrium profile of sandy beaches for beach with the average particle size smaller than 0.33 mm is attributable and also the best and the closest equilibrium with natural beaches profile is of Dean's equilibrium that can be used in the field of coastal engineering and the design of offshore structures in southern Caspian Sea.

References

- [1] Lashteh Neshaei M.A. and Ghebraei M., The final report of between the University researches project of the Caspian Sea the Zoning of coastal area profile (*In Persian*) (2006).
- [2] Dean R.G., Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications, *Journal of Coastal Research*, Vol. 7, No. 1 (winter), pp. 53-84 (1991).
- [3] Larson M. and Kraus N.C. and Wise R.A., Equilibrium beach profiles under breaking and non-breaking waves, *Coastal Engineering*, 36. 59–85 (1999).
- [4] Vellinga P., Beach and Dune Erosion during Storm Surges, *Coastal Engineering*, Volume 6, Issue 4, Pages 361–387 (1982).
- [5] Bodge K.R., Representing Equilibrium Beach Profiles with an Exponential Expression, *Journal of Coastal Research*, Vol. 8, No. 1 (winter), pp. 47-55 (1992).
- [6] Komar P.D. and McDougal W.G., The Analysis of Exponential Beach Profiles, *Journal of Coastal Research*, Vol. 10, No. 1 (Winter), pp. 59-69 (1994).

- [7] Inman D.L. and Elwany M.H.S. and Jenkins S.A., Shorerise and Bar-Berm Profiles on Ocean Beaches, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 98, NO. C10, PAGES 18,181-18,199 (1993).
- [8] Wang P. and Davis R.A., A Beach Profile Model for a Barred Coast: Case Study from Sand Key, West-Central Florida, *Journal of Coastal Research*, Vol. 14, No. 3 (Summer), pp. 981-991 (1998).
- [9] Tarahan mohit khazar Adviser, Design study phase of Protect the Dahanesar_e_Sefidroud coast line of Kiashahr, Client: Guilan Regional Water Authority (*In Persian*) (2005).
- [10] Lahijani, H., Characteristics a different part of the Caspian Sea, National Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences (*In Persian*) (1999).
- [11] Dai Z. and Du J. and Li C. and Chen Z., The configuration of equilibrium beach profile in South China, *Geomorphology*, Volume 86, Issues 3–4, Pages 441–454 (2007).

منابع و مراجع

منابع

❖ مراجع فارسی

اداره کل بنادر و دریانوردی استان گیلان (۱۳۹۴)، "گزارش تغییرات تراز سطح آب دریای خزر"، معاونت بخش هیدروگرافی، مرکز اطلاعات.

برگی خ، (۱۳۸۷)، "اصول مهندسی دریا"، انتشارات دانشگاه تهران.

چگینی و، (۱۳۹۰)، "مجموعه کتاب های مهندسی سواحل"، مرکزی ملی اقیانوس شناسی و سازمان بنادر و دریا نوردی، شماره ۶ و ۷.

سازمان بنادر و دریانوردی ایران، (۱۳۸۷)، "کتاب مدل سازی امواج دریا های ایران، جلد اول: دریای خزر"، معاونت فنی و مهندس، اداره کل مهندسی سواحل و بنادر.

شاهینی ش، (۱۳۸۵)، "دریای خزر و پیرامون آن"، وزارت نیرو، موسسه تحقیقات آب، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر.

عطایی آشتیانی ب، نجفی جیلانی ع، (۱۳۸۴)، "مهندسی سواحل (هیدرودینامیک سواحل)"، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

لشته نشایی م ا، غبرایی ع، (۱۳۸۵)، "پهنه بندی نیمرخ ناحیه ساحلی دریای خزر"، تحقیق بین دانشگاهی گیلان و گرگان.

مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر (۱۳۹۴)، "دانه بندی ذرات بستر دریای خزر"، وزارت نیرو، موسسه تحقیقات آب، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، مرکز اطلاعات.

مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر (۱۳۹۴)، "دسته بندی نیمرخ های عرضی دریای خزر"، وزارت نیرو، موسسه تحقیقات آب، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، مرکز اطلاعات.

- Baldock T. E. & Holmes P. (1999), "Simulation and prediction of swash oscillations on a steep beach", *Coastal Engineering*, 36(3), 219-242.
- Barrell J. (1912), "Criteria for the recognition of ancient delta deposits", *Geological Society of America Bulletin*, 23(1), 377-446.
- Bodge K. R. (1992), "Representing equilibrium beach profiles with an exponential expression", *Journal of coastal research*, 47-55.
- Bruun P. (1954), "Coast erosion and the development of beach profiles".
- Bruun P. (1962), "Sea-level rise as a cause of shore erosion", *Journal of the Waterways and Harbors division*, 88(1), 117-132.
- Cazenave A., Bonnefond P., Dominh K. & Schaeffer P. (1997), "Caspian sea level from Topex-Poseidon altimetry: Level now falling", *Geophysical Research Letters*, 24(8), 881-884.
- Church J. A. & White N. J. (2006), "A 20th century acceleration in global sea-level rise", *Geophysical research letters*, 33(1).
- Cooper J. A. G. & Pilkey O. H. (2004), "Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule", *Global and planetary change*, 43(3), 157-171.
- Dean R. G. (1977), "Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf coasts".
- Dean R. G. (1983), "Shoreline erosion due to extreme storms and sea level rise", *Sea Grant Program, University of Delaware*.
- Dean R. G. (1991), "Equilibrium beach profiles: characteristics and applications", *Journal of coastal research*, 53-84.
- Dean R. G. & Dalrymple R. A. (2004), "Coastal processes with engineering applications", *Cambridge*.
- Donnelly C., Kraus N. & Larson, M. (2006), "State of knowledge on measurement and modeling of coastal overwash", *Journal of Coastal Research*, 965-991.

- Donnelly C. (2007), "Morphologic change by overwash: establishing and evaluating predictors", *Journal of Coastal Research*, (SI 50 (special issue)), 520-526.
- Donnelly C. (2008), "Coastal overwash: processes and modelling", *Report LUTVDG/(TVVR-1043)*.
- Hicks S. D. & Hickman L. E. (1988), "United States sea level variations through 1986", *Shore and Beach*, 56(3), 3-7.
- Inman D. L., Elwany M. H. S. & Jenkins S. A. (1993), "Shorerise and bar-berm profiles on ocean beaches", *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)*, 98(C10), 18181-18199.
- Jonson B. (1919), "Volpone: or, The fox".
- Kaplin P. A. & Selivanov A. O. (1995), "Recent coastal evolution of the Caspian Sea as a natural model for coastal responses to the possible acceleration of global sea-level rise", *Marine Geology*, 124(1), 161-175.
- Kobayashi N., Tega Y. & Hancock M. W. (1996), "Wave reflection and overwash of dunes", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 122(3), 150-153.
- Komar P. D. & McDougal W. G. (1994), "The analysis of exponential beach profiles", *Journal of Coastal Research*, 59-69.
- Lahijani H. A. K., Rahimpour-Bonab H., Tavakoli V. & Hosseindoost M. (2009), "Evidence for late Holocene highstands in central Guilan–East Mazanderan, south Caspian coast, Iran", *Quaternary International*, 197(1), 55-71.
- Larson M., Donnelly C., Jimenez J. & Hanson H. (2009), "Analytical model of beach erosion and overwash during storms", *Proceedings of the ICE-Maritime Engineering*, 162(3), 115-125.
- Larson M., Kraus N. C. & Wise R. A. (1999), "Equilibrium beach profiles under breaking and non-breaking waves". *Coastal Engineering*, 36(1), 59-85.
- Leatherman S. P., Zhang K. & Douglas B. C. (2000), "Sea level rise shown to drive coastal erosion", *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 81(6), 55-57.

- Masselink G. & Black K. P. (1995), "Magnitude and cross-shore distribution of bed return flow measured on natural beaches", *Coastal Engineering*, 25(3), 165-190.
- Neshaei M. A. L., Veiskarami M. & Nadimy S. (2011), "Computation of shoreline change: A transient cross-shore sediment transport approach", *International Journal of Physical Sciences*, 6(24), 5822-5830.
- Nicholls R. J. & Cazenave A. (2010), "Sea-level rise and its impact on coastal zones", *science*, 328(5985), 1517-1520.
- Panin. G. N. (2007), "Transboundary Diagnostic Analysis", *Climate Change and Vulnerability Assessment Report for the Caspian Basin*.
- Park Y. H. (2009), "Overwash induced by storm conditions", (*Doctoral dissertation*).
- Ranasinghe R., Callaghan D. & Stive M. J. (2012), "Estimating coastal recession due to sea level rise: beyond the Bruun rule", *Climatic Change*, 110(3-4), 561-574.
- Rosati J. D., Dean R. G. & Walton T. L. (2013), "The modified Bruun Rule extended for landward transport", *Marine Geology*, 340, 71-81.
- Schwartz M. L. (1967), "The Bruun theory of sea-level rise as a cause of shore erosion", *The journal of Geology*, 76-92.
- Schwartz M. L. (1987), "Editorial: The Bruun Rule. Twenty Years Later", *Journal of Coastal Research*, ii-iv.
- Sorensen R. M. (2006), "Basic coastal engineering", *Third Edition, Springer*, pp. 330.
- Stive M. J. (2004), "How important is global warming for coastal erosion?", *Climatic Change*, 64(1), 27-39.
- Tega Y. & Kobayashi N. (2000), "Dune profile evolution due to overwash", *Coastal Engineering 2000*, 2634-2647.
- Union of Concerned Scientists (2013), "Storm Surge and High Tides Magnify the Risks of Local Sea Level Rise", http://www.ucsusa.org/global_warming/science_and_impacts/impacts/causes-of-sea-level-rise.html#.VnlvYPI97IU.
- United States. Army. Corps of Engineers. (2006), "Coastal engineering manual".

- Van Rijn L. C. (2011), "Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas", *AQUA Publications*.
- Vellinga P. (1986), "Beach and dune erosion during storm surges", *Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology*.
- Wang P. & Davis Jr R. A. (1998), "A beach profile model for a barred coast: Case study from Sand Key", *West-Central Florida. Journal of Coastal Research*, 981-991.
- Warrick R. A. & Oerlemans J. (1990), "Sea level rise", 257-281.
- Williams P. J. (1978), "Laboratory development of a predictive relationship for washover volume on barrier island coastlines".
- Willmott C. J. & Matsuura K. (2005), "Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance", *Climate research*, 30(1), 79.
- World Lakes Database (2005), "Annual discharge into the Caspian Sea", *International Lake Environment Committee (ILEC)*.
- Zhang K., Douglas B. C. & Leatherman S. P. (2004), "Global warming and coastal erosion", *Climatic Change*, 64(1-2), 41-58.

Abstract

During the period 1970 to the present, researchers have tried to provide the appropriate equations of seabed shape changes under equilibrium beach profile. These equations determine the important parameters for the design of coastal structures and ports have many mistakes, that this caused the higher risk of design. Also, Bruun has presented his theory under the title of Bruun Rule for shoreline change prediction. Rosati and Dean applied landward transport to the Bruun Rule for improvement of its prediction that achieved the most favorable results.

This research tried to preset the most accurate equilibrium beach profile equations for some important Iranian beaches located on the southern coasts of the Caspian Sea. This leads to future improves in design of port facilities and structures by minimizing the probable errors and risks due to more accurate equilibrium beach profiles. Also, the Bruun Rule and modified Bruun Rule extended for landward transport investigated in order to shoreline change prediction due to the effect of water level fluctuations for the Caspian Sea and shoreline change prediction optimized by applying a correction factor in the Rosati and Dean Equation that is related to mean wave height and the average particle size of bed.

Keywords: Equilibrium beach profile equations, Cross-shore profile, shoreline changes, Sea level change, Bruun Rule, Caspian Sea.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

**Investigation of sea level fluctuation on beach profile
evolution of sandy coasts**

Soheil Ataei Hasan Kiadeh

Supervisors:

Dr. Mehdi Adjami

Dr. Mir Ahmad Lashteh Neshaei

Advisor:

Eng. Seyed Hossein Ya'asubi

February 2016