



www.ElitesJournal.ir

مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

ISSN 2538-581X

جلد ۲- شماره ۳- سال ۱۳۹۶



## مطالعه جنبه‌های مختلف مدل‌های هیدرودینامیکی پدیده انتقال رسوب ساحلی در جهت عمود

ریحانه نوروز<sup>\*۱</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه تهران

\*reyhaneh.norooz@ut.ac.ir

ارسال: تیر ماه ۹۶ پذیرش: مرداد ماه ۹۶

### چکیده

جابجایی رسوب در راستای عمودی ساحل مهم است زیرا شکل ساحل وابسته به آن است. پروفیل یک ساحل ماسه‌ای به طور مداوم در حال تغییر است و ممکن است طی یک طوفان به طور اساسی تغییر کند. انتقال عمودی رسوب یکی از فاکتورهای مهم در طراحی سازه‌های ساحلی است. پارامترهای مهمی مانند شکل موج، شیب بستر و مشخصات ذرات رسوب می‌تواند بر روی دبی انتقال عمودی رسوب و در نتیجه پروفیل ساحل تأثیر بگذارد. یک مدل کامل انتقال رسوب، شامل مکانیزم انتقال بار بستر و بار معلق به سمت دریا یا از سمت دریا می‌باشد. اثرات آشفتگی، انتقال ممتوم، دبی حجمی انتقال امواج، نامنظمی امواج، شرایط مرزی، حرکات نامنظم مواد معلق و ... در این مدل‌ها باید در نظر گرفته شود. در این مطالعه جنبه‌های مختلف مدل‌های هیدرودینامیکی بررسی شده است. ابتدا مروری بر مطالعات گذشته انجام شده سپس روابط استفاده شده برای تخمین رسوب ارائه شده است. در این مطالعه نواحی انتقال رسوب به دو بخش تقسیم شده و روابط جداگانه‌ای برای هر دو ناحیه ارائه شده است. انتقال رسوب از بستر با در نظر گرفتن تنش برشی در بستر ارائه شده است.

کلمات کلید: عمود بر ساحل، انتقال رسوب، هیدرودینامیک، آشفتگی، انتقال ممتوم، حرکات نامنظم مواد معلق

### ۱. مقدمه

به منظور پیش‌بینی تغییرات پروفیل ساحلی نیاز به بررسی انتقال رسوب عمود بر ساحل می‌باشد. نرخ انتقال رسوب در راستای عمود بر ساحل تأثیر بسزائی در شکل پروفیل ساحلی و تخمین میزان فرسایش و رسوبگذاری در نواحی ساحلی دارد. مباحث مربوط به رسوب از جمله مواردی است که از اوائل قرن بیستم مورد توجه قرار گرفته است. درک فرآیند انتقال رسوب و تغییرات مورفولوژیکی در نواحی ساحلی به منظور مدیریت رسوب در نواحی ساحلی، کانال‌های دسترسی بنادر، طراحی سازه‌های محافظ در مقابل فرسایش و همچنین بررسی وضعیت رسوبگذاری در دهانه ورودی بنادر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. تغییرات مورفولوژیکی ساحل عمدتاً ناشی از پیشروی امواج ثقیل و جریان‌های ایجاد شده ناشی از امواج مذکور و در

نهایت انتقال رسوب در دو جهت موازی و عمود بر ساحل می‌باشد. در دهه اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی در مطالعه فرآیندهای انتقال رسوب در نواحی ساحلی از طریق آزمایش، اندازه‌گیری‌های میدانی و خصوصاً مدل‌سازی عددی صورت گرفته است. به هر حال علی‌رغم مطالعات فیزیکی و ریاضی بسیار در این زمینه مکانیزم انتقال رسوب و تغییرات مورفولوژیکی ناشی از آن بعلت طبیعت پیچیده آن بطور کامل شناخته نشده است.

## ۲. اهمیت بررسی موضوع

در محیط‌های ساحلی تأثیر امواج و جریانات ساحلی و هم‌چنین تقابل رودها و دریا و علاوه بر آن اثر وزش باد در حضور ماسه‌زارهای وسیع و غیره همگی از عوامل تغییردهنده شرایط مورفولوژیک محسوب می‌شوند. در غالب سواحل، تغییرات ناشی از موارد فوق‌الذکر با سرعت بسیار پائینی صورت می‌پذیرد و در واقع تقابل ساحل و عوامل تغییردهنده آن در پایداری نسبی می‌باشند. چنانچه تغییراتی بر طبیعت دریایی منقطه ساحلی اعمال گردد، روند طبیعی عملکرد متقابل دریا و ساحل از حالت پایدار و ماندگار خارج شده و واکنش‌هایی جهت رسیدن به پایداری جدید در منقطه به وجود خواهد آمد. این واکنش‌ها در قالب رسوب‌گذاری و فرسایش و تغییرات خط ساحل بروز می‌نمایند و تا زمان پایداری یا تعادل مجدد طبیعت ادامه می‌یابد. از این میان مشخصاً پروژه‌های اجرا شده و طرح‌های ساخت دست بشر نوعی تداخل در روند طبیعت محسوب شده و تعادل و پایداری سواحل را بر هم زده و باعث شروع تغییراتی در منطقه ساحلی پروژه می‌گردد که تا سالیان دراز ادامه می‌یابد و تا رسیدن به پایداری مجدد ادامه دارد. از آنجا که حالت پایدار جدید می‌تواند مغایر با عملکرد مطلوب سازه‌ها و تأسیسات ساخته شده باشد بررسی و پیش‌بینی فرآیندها و اتخاذ روش‌هایی برای مواجهه با اثرات ناخواسته آن‌ها به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی سواحل و بنادر حائز اهمیت می‌باشد. علاوه بر آن شناخت فرآیندهای ساحلی در سواحل بکر و دست نخورده برای ارائه برنامه‌های مدیریتی و انجام پروژه‌های مهندسی آینده الزامی است [۱].

## ۳. مروری بر مطالعات گذشته

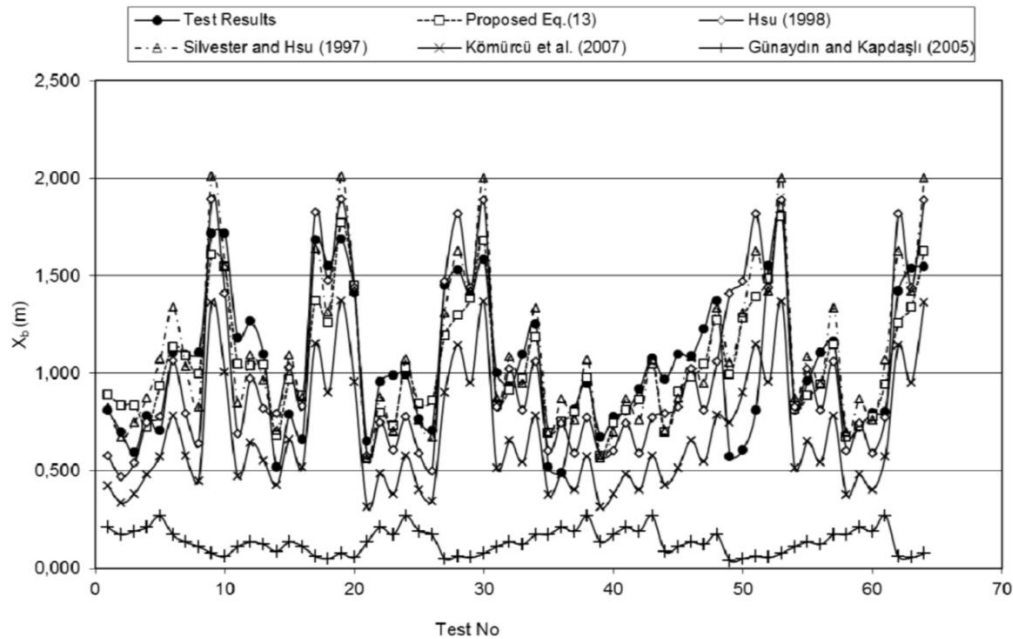
در ادامه تعدادی مطالعات انجام شده در این زمینه ارائه شده است. کوریاما و ساکاموتو (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به بررسی توزیع رسوب در سواحل طولانی شنی پرداختند. در این مطالعه جهت‌های متفاوتی برای امواج در نظر گرفته شده است [۲]. در این مطالعه از یک مدل یک بعدی فرآیند مینا استفاده شده است. گام‌های زمانی ۲ ساعته برای ۱۵ سال در ساحل Hasaki در ژاپن استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که جهت انتقال رسوب به سمت جنوب است و در نزدیکی ساحل به سمت شمال است. دیرسی و اکوز (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به بررسی پارامترهای مؤثر در انتقال رسوب عمود بر ساحل پرداختند. انتقال رسوب عمود بر ساحل یک فاکتور بسیار مهم در طراحی سازه‌های ساحلی است و پروفیل ساحل تحت تأثیر پارامترهایی مثل ارتفاع و دوره بازگشت موج، شیب ساحل و جنس مصالح بستر است. در این مطالعه انتقال رسوب عمود بر ساحل با استفاده از یک مدل فیزیکی و با تغییر پارامترهای هندسی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات آزمایشگاهی در یک کانال با شیب اولیه ۱/۸ و ۱/۱۵ انجام شده است. در این مطالعه موج با تیزی‌های مختلف که با استفاده از تولیدکننده امواج تولید شده، استفاده شده است. نرخ انتقال رسوب و مشخصه‌های پروفیل ساحل در شرایط طوفانی مورد بررسی قرار گرفت. قطر متوسط مصالح ساحل ۰.۲۵، ۰.۳۲، ۰.۴۵، ۰.۶۲ و ۰.۸

میلی متر در نظر گرفته شده است. معادلات بدون بعد با استفاده از رگرسیون خطی و غیرخطی استخراج شدند و نتایج با مطالعات گذشته مقایسه شدند (جدول ۱ و شکل ۱) [۳].

جدول ۱- شرایط و پارامترهای استفاده شده در آزمایش [۳]

Total experiment number	Experiment number	Medium sediment diameter $d_{50}$ (mm)	Beach slope	Wave period $T$ (s)	Wave steepness ( $H_0/L_0$ )
5	NO.1~5	0.25	1/8	0.60~0.83	0.070~0.232
5	NO.6~10		1/10	0.60~0.83	0.070~0.232
5	NO.11~15		1/15	0.60~0.83	0.070~0.232
6	NO.16~21	0.32	1/8	0.52~0.83	0.070~0.214
6	NO.22~27		1/10	0.52~0.83	0.070~0.214
4	NO.28~31		1/15	0.60~0.76	0.130~0.232
4	NO.32~35	0.45	1/8	0.60~0.76	0.130~0.232
4	NO.36~39		1/10	0.60~0.76	0.130~0.232
4	NO.40~43		1/15	0.60~0.76	0.130~0.232
4	NO.44~47	0.62	1/8	0.60~0.76	0.130~0.232
4	NO.48~51		1/10	0.60~0.76	0.130~0.232
3	NO.52~54		1/15	0.60~0.76	0.130~0.232
5	NO.55~59	0.80	1/8	0.47~0.76	0.13~0.262
3	NO.60~62		1/10	0.47~0.63	0.257~0.263
2	NO.63~64		1/15	0.52~0.63	0.232~0.263

باکال و همکاران (۲۰۱۲) [۴] در مطالعه‌ای از یک مدل انرژی مینا برای انتقال رسوب عمود در سواحل طولانی استفاده کردند. در این مطالعه از نتایج مطالعات آزمایشگاهی Wang و همکاران (۲۰۰۲) [۵] استفاده شده است. در این مطالعه ارتباط بین میزان استهلاک انرژی ناشی از شکست موج ارزیابی شده است. نتایج مدل ارائه شده با مدل‌های پیشنهاد شده در گذشته مقایسه شده است. هم‌چنین در این مطالعه از تحقیقات میدانی نیز استفاده شده است؛ این تحقیقات در ساحل Duck در آمریکا انجام شده است.

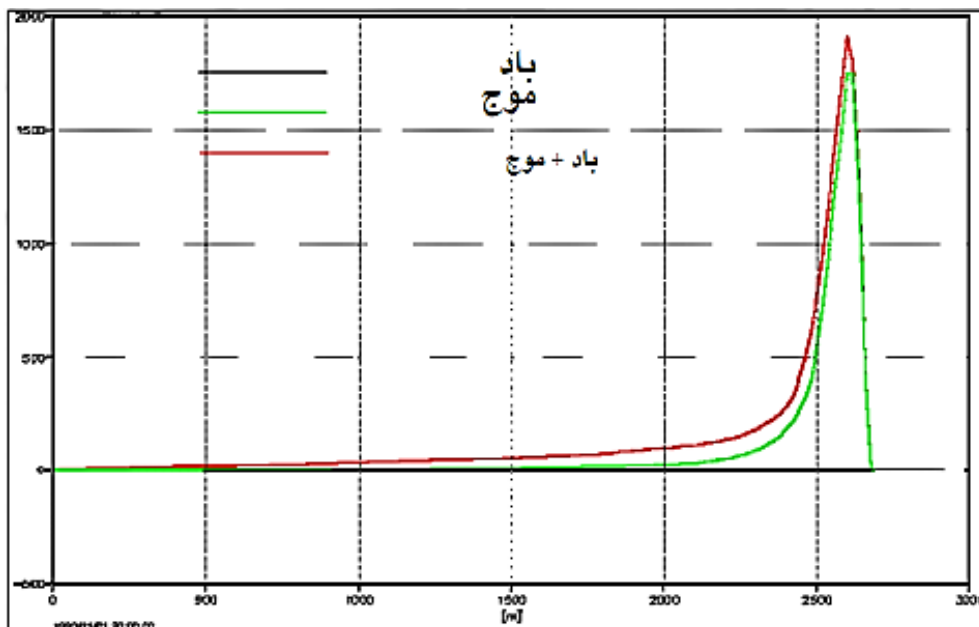


شکل ۱- مقایسه نتایج مطالعات آزمایشگاه و مطالعات گذشته برای تخمین فاصله افقی خط ساحل تا خط اولیه ساحل [۳]

سپهوند و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به بررسی وضعیت رژیم جریان، رسوب‌گذاری و تغییرات خطوط ساحلی در راستای توسعه سواحل کوه مبارکه پرداختند. جهت مدلسای جریان از نرم‌افزار MIKE-21 با استفاده از اطلاعات آب‌نگاری سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح در این منطقه بهره‌جویی شده است. هم‌چنین تصاویر هوایی و ماهواره‌ای سواحل کوه مبارکه در طی سال‌های گذشته جهت ارزیابی تغییرات خطوط ساحلی مورد استفاده قرار گرفته است. تغییرات عمق در پروفیل‌هایی در شمال و جنوب بندر کوه مبارکه نیز با استفاه از اطلاعات دوره‌ای هیدروگرافی مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱]. نتایج این مطالعه نشان داد با توجه به تأمین رسوبات توسط خور مصب مبارک در جنوب بندر کوه مبارک و عدم تأمین کامل منبع رسوبی در سواحل شمالی بندر، رسوبگذاری در شمال و جنوب بندر صورت گرفته است.

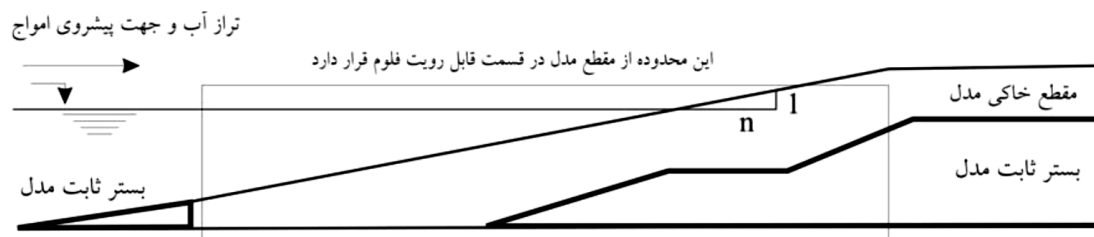
کلاه‌دوزان (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای به مدلسازی عددی انتقال رسوب عمود بر ساحل در اطراف سازه‌های ساحلی پرداخت. در این مطالعه توسعه و کاربرد یک مدل عددی مورفولوژیکی در حالت دوبعدی قائم به منظور تخمین نرخ انتقال رسوب و تغییرات به وجود آمده در پروفیل ساحلی ارائه شده است. جهت مدلسازی جریان از معادلات نویر-استوکس متوسط گیری شده رینولدزی و معادله پیوستگی با فرض غیر هیدرواستاتیک بودن فشار استفاده شده است. هم‌چنین برای مدلسازی اشفستگی مدل k-E استاندارد به کار گرفته شده است. نرخ انتقال رسوب در قالب دو بخش بار بستر و بار معلق محاسبه می‌شود. به منظور تحویل پروفیل غلظت در عمق نیز از معادله انتقال-پخش استفاده شده است. معادلات هیدرودینامیک و انتقال-پخش حاصله در مختصات سیگما و با استفاده از روش احجام محدود منقطع سازی می‌شوند. نتایج حاصل از مدل عددی با چند مدل آزمایشگاهی و تحلیلی مقایسه شده و هم‌چنین تأثیر پارامترهایی چون ریپل، شیب ساحلی و ترم‌های پخشیدگی در معادلات جریان و رسوب، بر نرخ انتقال و در نهایت شکل پروفیل ساحلی مورد بررسی قرار گرفته است [۶].

در مطالعه‌ای که در سازمان بنادر و دریانوردی انجام شد به شبیه‌سازی ریاضی رسوب بندر امیرآباد پرداخته شد (شکل ۲). بندر امیرآباد که در طول جغرافیایی ۲۶.۵۱ شمالی و عرض ۲۲.۵۳ شرقی قرار گرفته و فاصله آن تا نزدیک‌ترین موج‌شکن حدود ۱۰ کیلومتر از سمت غرب و مربوط به بندر نکا و مجتمع صنعتی کشتی‌سازی صدرا می‌باشد، یکی از بنادر شمالی ایران در ناحیه جنوب شرقی دریای خزر است که برنامه توسعه و گسترش آن در سال‌های آتی آن را به یکی از بنادر مهم منطقه تبدیل خواهد کرد. مطالعات شبیه‌سازی ریاضی پدیده رسوب‌گذاری در بندر امیرآباد در راستای پروژه‌های مدلسازی در بنادر مهم کشور که توسط سازمان بنادر و کشتیرانی در سال ۱۳۸۱ شروع و در سال ۱۳۸۳ پایان یافت [۷].

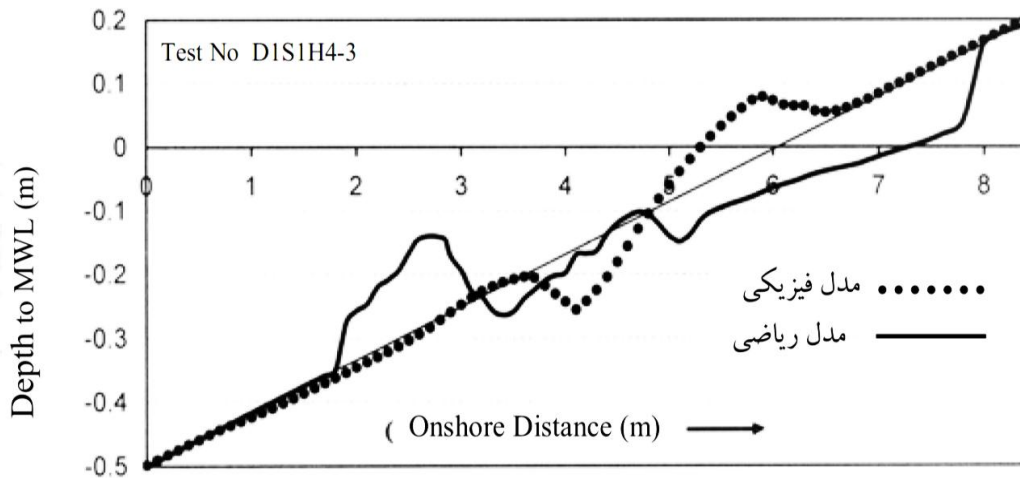


شکل ۲- منحنی انتقال رسوب حاصل از باد، امواج و ترکیب آن‌ها در جهت شمال غربی روی یک خط عمود بر ساحل [۷]

لشسته نشایی و همکاران (۱۳۸۵) به مطالعه پدیده انتقال رسوب ساحلی در جهت عمود بر ساحل با استفاده از مدل فیزیکی و ریاضی پرداختند. نتایج آزمایش با استفاده از مدل فیزیکی ساخته شده نشان داد که در دانه‌بندی مصالح رسوبی، با افزایش  $D_{50}$  مصالح مورد استفاده از شدت تخریب ساحل کاسته شده و پشته ایجاد شده به سمت ساحل متمایل گردیده و ارتفاع آن نیز کاهش یافته است. همچنین با افزایش شیب ساحل شبیه‌سازی شده، شدت تخریب ساحل شدیدتر و پشته ایجاد شده به سمت دریا متمایل گردیده و ارتفاع آن نیز کاهش یافته است. در بررسی دانه بندی مصالح و شیب ساحل نیمرخ‌های ساحلی زمستانه تشکیل گردید در حالیکه در تأثیر ارتفاع موج، نیمرخ تابستانه نیز تشکیل گردید. آزمایشها برگشتپذیری پدیده انتقال رسوب عمود بر ساحل را نیز تأیید کردند. در مدل ریاضی از برنامه موسسه دانمارک استفاده شد که مقایسه نتایج آن با مدل فیزیکی نشان داد که این مدل شرایط واقعی را پیش‌بینی می‌نماید و دقت آن در شرایط مدل فیزیکی به دلیل تأثیرات ناشی از مقیاس بسیار کم است (شکل ۳) [۸].

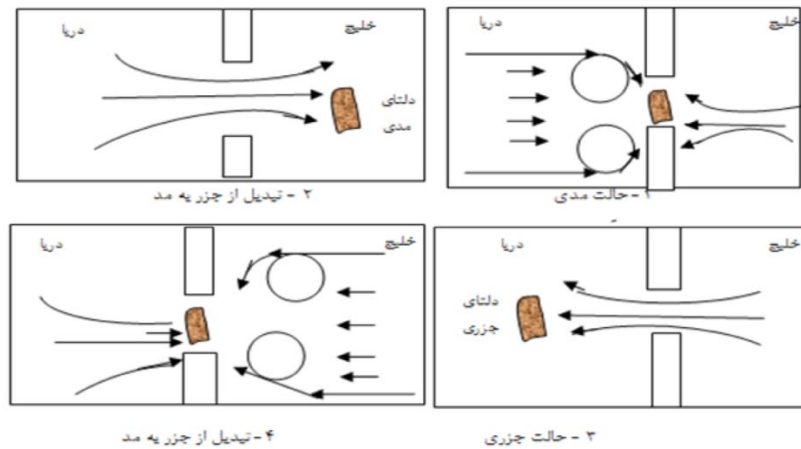


شکل ۳- نمایی از هندسه مدل ساخته شده در آزمایشگاه [۸]



شکل ۴- مقایسه مدل آزمایشگاهی و مدل ریاضی با متغیر قرار دادن دانه بندی مصالح رسوبی [۸]

کیایی و کرمی خانیکی (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به بررسی رسوب گذاری و فرسایش در مصب‌ها تحت اثر توأم جزرومد و امواج عمود بر ساحل با استفاده از مدل عددی پرداختند. مصب‌ها عناصری تاثیرگذار بر کنترل حرکات رسوب و توزیع آن در سواحل می‌باشند. لذا، شناسایی عوامل مؤثر بر هیدرودینامیک مصب‌ها که بعنوان فرآیندهای انتقال و از عوامل مهم در تعیین هندسه و شکل سواحل و مصب‌ها محسوب می‌شوند، بسیار حائز اهمیت‌اند. موج و جزر و مد از عوامل اصلی شکل دهنده مصب‌ها هستند. شکست موج در آب‌های کم عمق دهانه مصب موجب شکل گیری جریان‌های کرانه ای و انتقال رسوب در این ناحیه می‌گردد. همچنین جزر و مد نقش مهمی در تغییر مورفولوژی مصب دارد. در این تحقیق نقش هر دو عامل را بصورت توأم، بر روی عوارض رسوبی در مصب، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، یک حوضچه ساحلی که از طریق یک مصب به دریای باز متصل می‌شود، در محیط نرم افزار Mike 21، همانندسازی شده است. در این مدل، از یک شبکه مثلثی ساختارنیافته، با ابعاد ۱۰ تا ۵۰ متری، در یک مدل تفاضل محدود با گام زمانی ۱ ثانیه استفاده شده است، به طور همزمان، موج و جزر و مد با ارتفاع مختلف، به طرف دهانه فرستاده می‌شود. الگوی جریان نشان می‌دهد که با شبیه سازی موج، جریان و انتقال رسوب، به صورت توأم، مورفولوژی مصب به گونه ای تغییر می‌کند که پس از گذشت زمان به حالت تعادل می‌رسد که در این صورت مصب ایده‌آل خواهد بود. علاوه بر آن به وسیله شاخص بدون بعد  $Hw/Ht$  پارامتر غالب در مصب را می‌توان تعیین نمود (شکل ۵) [۹].



شکل ۵- الگوی جریان و رسوب گذاری ناشی از جزرومد در مصب [۹]

لی و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای به بررسی انتقال رسوب عمود بر ساحل پرداختند. در این مطالعه از یک مدل ریاضی برای مطالعه مکانیزم انتقال رسوب عمود بر ساحل استفاده شده است. در این مدل اثر امواج و طوفان در نظر گرفته شده است. مدل توسعه داده شده شامل بخش‌های تشکیل امواج، تغییرات مورفولوژیکی و رسوب می‌باشد و قادر به بررسی انتقال و بازتوزیع برای رسوب با اندازه دانه‌های مختلف می‌باشد. در واقع هدف از توسعه این مدل بررسی تغییرات مورفولوژیکی ناشی از انتقال رسوب عمود بر ساحل است. این مدل بر روی سواحل جنوبی استرالیا مورد ارزیابی قرار گرفته است و زمان اجرای کم و مدلسازی فرسایش از مزایای این مدل است [۱۰].

کلونی و بیچ (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای به بررسی انتقال رسوب عمود بر ساحل هنگام وقوع طوفان پرداختند. در این مطالعه پروفیل سرعت عمود و غلظت رسوب در نواحی سطحی در طول ۹۷ آزمایش جمع‌آوری شد. نتایج این مطالعه بر روی یک طوفان سه روزه نشان داد که تطابق خوبی بین مشاهدات و انتقال رسوب عمودی در ستون آب وجود دارد. هم‌چنین فاکتور انسجام موج به سمت ساحل بوده و به ندرت انتقال از سمت ساحل را نشان می‌دهد. در این مطالعه از فاکتور فرائضی صرف نظر شده است. بنابراین انتقال رسوب عمود یک تعادل بین فاکتور انسجام موج و فاکتور میانگین ایجاد می‌کند. نتایج مشاهدات نشان می‌دهد که تنش در ناحیه نزدیک بستر نسبت به انتقال رسوب عمود تابعی از عمق است [۱۱].

چانگکان (۱۹۹۴) در مطالعه‌ای به بررسی انتقال رسوب عمود بر ساحل با استفاده از مدل ریاضی و آزمایشگاهی پرداخت [۱۲]. از اهداف این مطالعه اندازه‌گیری نرخ انتقال رسوب عمود با استفاده از اندازه‌گیری‌های پروفیل و پیش‌بینی نرخ انتقال رسوب عمود با استفاده از اندازه‌گیری‌های سرعت لحظه‌ای می‌باشد. در این مطالعه نتایج آزمایشگاهی و عددی مقایسه شدند. در ساحل امکان انتقال رسوب عمود از ساحل و به سمت ساحل وجود دارد و بزرگی میزان انتقال در نقاط مختلف متفاوت است. انتقال رسوب در بازه‌های زمانی کوچک تغییرات زیادی ندارد ولی در بازه‌های زمانی بزرگ‌تر این تغییرات قابل مشاهده است. در این مطالعه روابط زیر برای نرخ تخمین میزان انتقال رسوب ارائه شده است:

$$\frac{\langle S(t) \rangle}{W D_{50}} = 3.8 \left( \frac{\sqrt{0.5f_w}}{W} \right)^3 \langle u(t)^3 \rangle \quad (1)$$

$$\frac{\langle S(t) \rangle}{W D_{50}} = 2.5 \left( \frac{\sqrt{0.5f_w}}{W} \right)^3 \langle u(t)^3 \rangle \quad (2)$$

$$\frac{\langle S(t) \rangle}{W D_{50}} = 1.5 \left( \frac{\sqrt{0.5f_w}}{W} \right)^4 \langle |u(t)|^3 u(t) \rangle \quad (3)$$

$$\frac{\langle S(t) \rangle}{W D_{50}} = 1.0 \left( \frac{\sqrt{0.5f_w}}{W} \right)^4 \langle |u(t)|^3 u(t) \rangle \quad (4)$$

که S نرخ انتقال رسوب، W سرعت انتقال رسوب، u سرعت لحظه‌ای سیال، D<sub>50</sub> قطر متوسط دانه‌های رسوب و f<sub>w</sub> اصطکاک امواج می‌باشد.

سلطان‌پور و اردانی (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای به مدلسازی رسوب در بندر صیادی بريس پرداختند [۱۳]. بندر صیادی بريس در ۸۵ کیلومتری شرق شهرستان چهابهار قرار دارد و یکی از بنادر مهم صیادی استادان سیستان و بلوچستان می‌باشد. این بندر در سال ۱۳۷۰ به بهره برداری رسیده است. جانمایی این بندر از دو موج شکن تشکیل گردیده، به طوری که موج شکن اصلی آن در ادامه دماغه ساحلی و در امتداد جنوب به شمال و موج شکن فرعی در امتداد شرق به غرب ساخته شده است. پس از گذشته ۱۷ سال از ساخت

موج شکن ها، تغییر زیادی در موقعیت خط ساحلی پشت موج شکن فرعی دیده می شود و خطر انسداد کامل ورودی اصلی بندر نیز محتمل می باشد. در این مقاله، مدل سازی عددی انتقال موج با به کارگیری مدول PMS نرم افزار MIKE21 انجام شده است. اطلاعات موج در چند ناحیه نزدیک ساحل، به کمک این نرم افزار به دست آمده است. نتایج به دست آمده از این مدل سازی نشان می دهد که مؤلفه های موج در نرم افزار MEPBAY و به دست آوردن منحنی سهموی پیش بینی شده خلیج بعد از ساخت موج شکن و مقایسه آن با شکل واقعی خلیج، می توان به عدم قرارگیری بندر بریس در وضعیت تعادل استاتیکی پی برد. از مقایسه عکس های هوایی در سال های مختلف، پدیده کنارگذری رسوبات از نوک موج شکن تنها عامل اصلی انتقال رسوبات در منطقه مورد مطالعه شناخته می شود. برای به دست آوردن الگوی انتقال رسوب، هیدرودینامیک و نرخ انتقال رسوب مدل HYDROSED به کار گرفته شد. نتایج این مدل سازی نیز بر رخ دادن پدیده کنار گذری و ورود رسوبات به محدوده مورد بررسی دلالت می کند. برای تخمین تغییرات خط ساحلی در سال های بعد و به دست آوردن شکل خط ساحلی در حالت تعادل دینامیکی، یعنی زمانی که با وجود انتقال رسوب شکل خط ساحلی بدون تغییر و نرخ انتقال رسوب ثابت می ماند، خط ساحلی به کمک نرم افزار GENESIS مدل سازی می شود.

رولونیک و بروکر (۱۹۹۳) به مطالعه پروفیل ساحل پرداختند. هدف از این مطالعه تمرکز بر روی پیشرفت های صورت گرفته در مدلسازی پروفیل ساحلی است. در این مطالعه، طبقه بندی های مختلف مدل های عددی بررسی شده است و پس از آن بیشتر بر روی مدل های فرآیند مینا تمرکز شده است. فاکتور هیدرودینامیک در مدل های عددی بررسی شده است و این فاکتور در گروه های مختلف مدل سازی ارزیابی شده است [۱۴]. سرینواس و دین (۱۹۹۶) در مطالعه ای به مدلسازی هیدرودینامیک عمود بر ساحل و پاسخ آن پرداختند [۱۷]. در این مطالعه هیدرودینامیک انتقال رسوب عمود بر ساحل به صورت تحلیلی بررسی شده است. در این مطالعه یک مدل آزمایشگاهی انتقال رسوب عمود با قابلیت انتقال رسوب معلق و انتقال از بستر توسعه داده شد. نتایج مدل آزمایشگاهی و مدل عددی با امواج منظم و نامنظم مقایسه شدند. مدل تهیه شده به خوبی قادر به پیش بینی فرسایش و دپوی رسوبات می باشد. بالداک و همکاران (۱۹۹۸) در مطالعه ای به بررسی انتقال رسوب عمود بر ساحل پرداختند. در این مقاله از تولید امواج نامنظم بر بستر با شیب تند استفاده شده است [۱۵]. اسکونیز و ترون (۱۹۹۵) در مطالعه ای به ارزیابی ۱۰ مدل انتقال رسوب عمود بر ساحل پرداختند [۱۶].

#### ۴. تئوری پژوهش

حرکات امواج بر روی سواحل که دارای بسترهای ماسه ای قابل فرسایش می باشند، می تواند باعث کنده شدن دانه ها از کف بستر و ایجاد رسوبات معلق گردد که این امر زمانی رخ می دهد که تنش برشی حاصله بر روی بستر بر نیروی وزن و اصطکاک بین دانه ها غلبه کند. بررسی این فرآیند بدون در نظر گرفتن دو حالت شکست و عدم شکست امواج امکان پذیر نمی باشد. در حالتی که شکست امواج رخ نمی دهد، با مکانیزم ساده تری روبرو هستیم. در حالیکه در اثر شکست امواج در مسیر انتشار آنها به سمت ساحل و قبل از رسیدن به خط ساحلی، انرژی اغتشاشی شدیدی تولید شده و از ارتفاع موج کاسته خواهد شد. این پدیده از یک سو سبب بلند شدن ذرات رسوب از بستر شده، از سوی دیگر سبب تولید جریان هائی در منطقه ساحلی خواهد شد. ذرات رسوب بلند شده از بستر قبل از ته نشین شدن مجدد تحت تأثیر نیروی جاذبه، بوسیله جریان های موجود در جهات مختلف منتقل می شود. همچنین مقداری از رسوبات توسط تنش های برشی بستر منتقل می گردند. نرخ این جابجائی ها در مناطق مختلف ساحلی



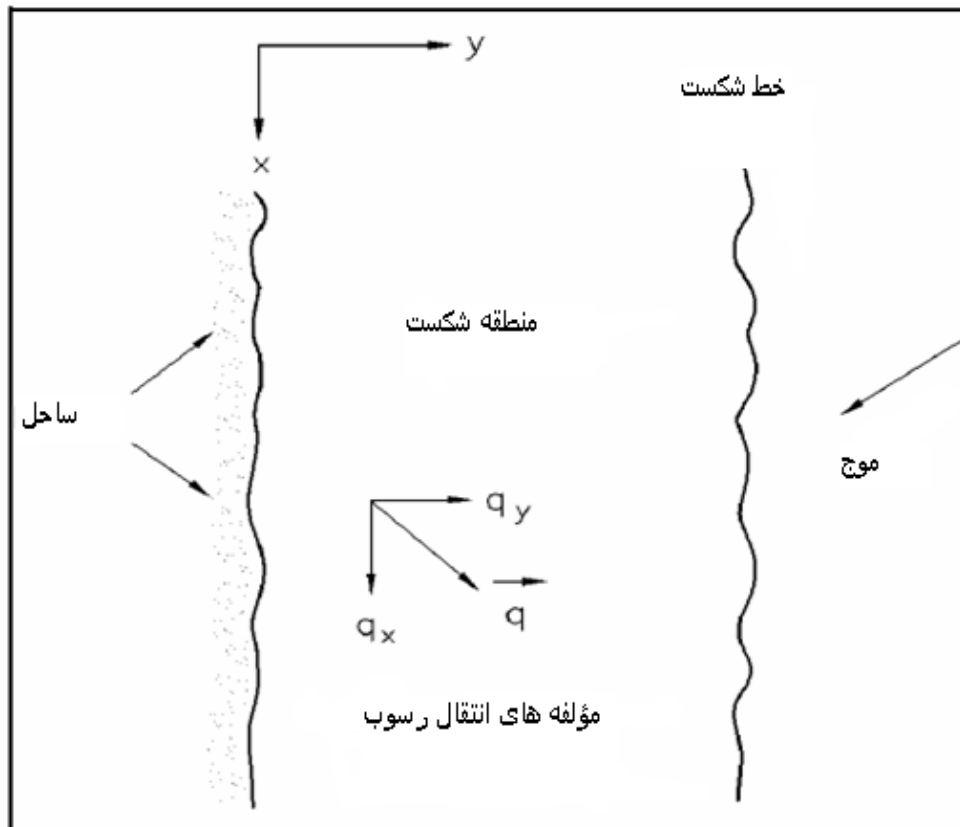
یکسان نیست. بنابراین در مناطقی رسوب برداری و در مناطقی رسوب گذاری خواهیم داشت که این امر باعث تغییر مورفولوژی خواهد شد.

بطور کلی جریان‌های حاصل از امواج را به دو صورت جریان‌های موازی ساحل و جریان‌های عمود بر ساحل تقسیم می‌کنند. در مدلسازی پدیده انتقال رسوب به دلیل محدودیت‌های موجود در شناخت پارامترها و حل دقیق معادلات حاکم بر مکانیزم تشکیل جریان‌های مختلف در مناطق ساحلی و پدیده انتقال رسوب، آن را به دو بخش کلی زیر تقسیم می‌کنند:

۱- انتقال رسوب در راستای موازی ساحل

۲- انتقال رسوب در راستای عمود بر ساحل

گرچه دو مورد مذکور مستقل از یکدیگر نبوده و روند کلی انتقال رسوب برآیند اثر همزمان این دو فرآیند می‌باشد ولی به منظور سهولت بصورت متمایز بررسی می‌گردند. در مسائلی نظیر بررسی روند رسوب گذاری و یا رسوب برداری در حوضچه بنادر، پدیده انتقال رسوب موازی ساحل است که مورد توجه قرار می‌گیرد اما در مواردی همچون بالا آمدن سطح آب دریا یا وقوع طوفان‌ها که شرایط هیدرودینامیک منطقه تغییر می‌کند، روند انتقال رسوب در راستای عمود بر ساحل دستخوش تحول شده و این امر به نوبه خود سبب ایجاد تغییرات در پروفیل بستر دریا خواهد شد. نرخ تغییرات بستر سواحل در اثر جریان‌های موازی ساحل در مقایسه با نرخ تغییرات ناشی از جریان‌های عمود بر ساحل بسیار کندتر می‌باشد. در حالیکه وضعیت جدید توپوگرافی سواحل تحت اثر جریان‌های موازی ساحل بصورت سالیانه و یا ماهیانه (بررسی می‌شود، امواج نسبتاً قوی در عرض چند ساعت شکل پروفیل طولی بستر را کاملاً تغییر می‌دهند) که این زمان برای طوفان‌ها به چند دقیقه کاهش می‌یابد (شکل ۶).



شکل ۶- مؤلفه‌های انتقال رسوب در راستای موازی (q<sub>x</sub>) یا عمود بر ساحل (q<sub>y</sub>)

۱.۴. هیدرودینامیک انتقال رسوب عمود بر ساحل

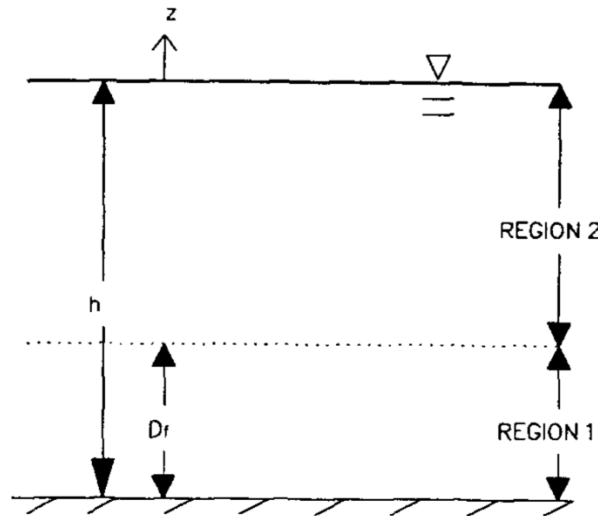
دبی لحظه‌ای انتقال رسوب در جهت عمود بر ساحل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\vec{q}(t) = \int_{-h}^0 \vec{u}(z,t) C(z,t) dz \quad (5)$$

که در این رابطه  $\vec{u}(z,t)$  سرعت لحظه‌ای جریان،  $C$  غلظت لحظه‌ای،  $h$  عمق محلی آب می‌باشد. در این مطالعه دو ناحیه انتقال رسوب در نظر گرفته شده است:

- جز درجه اول نوسانی؛
- امواج ناشی از سرعت.

شکل زیر ارتفاع این دو ناحیه را نشان می‌دهد؛ ناحیه اول با ارتفاع  $D_f$  و ناحیه دوم با ارتفاع  $h-D_f$ .



شکل ۷- ناحیه انتقال رسوبات معلق [۱۷]

۲.۴. مدل غلظت

با استفاده از رابطه متوسط‌گیری شده آشفتگی و صرف نظر از انتقال و با فرض تغییرات جزئی در زمان و توزیع یکنواخت آشفتگی معادله انتقال دوبعدی رسوبات معلق به صورت زیر بازنویسی خواهد شد:

$$C = C_a \exp\left[-\frac{w_s(z - z_a)}{v_e}\right] \quad (6)$$

که در این رابطه  $C$  غلظت رسوبات،  $C_a$  غلظت مرجع رسوبات در عمق  $Z$  و  $v_e$  سرعت می‌باشد. اگر متغیرهای زمانی در مدل آشفتگی در یک نقطه ثابت در طول یک موج کوچک فرض شوند؛ ویسکوزیته آشفته (ویسکوزیته ادی) مستقل از زمان، برای محاسبه استفاده می‌شود [۱۸]:

$$v_e = -0.4 u_* \left(1 + \frac{z}{h}\right) \quad (7)$$

که  $u_*$  سرعت اصطکاکی است؛ بنابراین:

$$v_e = \frac{u_* h}{15} \quad (8)$$

که

$$C(z) = C_a \exp\left[\frac{-15w_s(z-z_a)}{u_* h}\right] \quad (9)$$

تنش برشی در هر جهتی باعث به تله انداختن رسوب می شود، به همین منظور تنش برشی بستر از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\overline{\tau}_B = \rho \frac{f}{2} \overline{u}_B^2 = \rho u_{*B}^2 \quad (10)$$

که  $f$  ضریب اصطکاک می باشد و بر اساس یک رابطه خطی، سرعت در بستر از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$u_{*B} = \sqrt{\frac{fH^2 g}{16h}} \quad (11)$$

رابطه بالا برای شرایط شکست موج دقیق نیست. شکست موج، انرژی موج را از حالت ساختاریافته به حالت بدون ساختار (آشفته‌گی) تبدیل می کند و این آشفته‌گی از سطح آزاد آغاز شده و باعث حرکت رسوبات می شود. در این شرایط معادله انرژی آشفته‌گی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$P - D = \rho \frac{\partial}{\partial x} \int_{\text{depth}} \langle kc \rangle dz \quad (12)$$

که  $P$  تولید و  $D$  میزان استهلاک انرژی آشفته‌گی است.  $kc$  سرعت موج می باشد؛ که در واقع سرعت انتقال انرژی آشفته‌گی با فرض اینکه آشفته‌گی از پنجه موج شکل گرفته باشد. که مقدار  $P$  از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$P = - \frac{\partial EC_g}{\partial x} \quad (13)$$

ترم استهلاک از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$D = \rho \int_{\text{depth}} c_d \left\langle \frac{k^3}{l_v} \right\rangle dz \quad (14)$$

که  $c_d$  ضریب استهلاک و  $l_v$  مقیاس طولی گردابه می باشند. این ضرایب طبق مطالعات تجربی Roelvink and Stive, 1989 به صورت زیر تخمین زده شده است [۱۹]:

$$\begin{aligned} c_d &\sim 0.08 \\ l_v &\sim 0.07h \end{aligned} \quad (15)$$

#### ۳.۴. مدل انتقال عمودی رسوبات معلق

رسوبات ممکن است به سمت دریا و از سمت دریا جابه‌جا شوند که در نتیجه سرعت نوسانات درجه اول می باشد:

$$Q_{s,f} = \int_{-h}^{-h+D_f} \overline{u}_f(z_i) C(z_i) dz_i \quad (16)$$

پروفیل سرعت عمود بر ساحل در داخل امواج با خارج از ناحیه امواج متفاوت است. بنابراین انتقال رسوب در داخل امواج با خارج از ناحیه‌های امواج متفاوت است. میزان انتقال رسوب توسط جریانات دریایی در لایه‌های پایینی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q_{s1,j} = \int_{-h}^{-h+D_f} \overline{u}_{s1,j}(z) C(z) dz \quad (17)$$

میزان انتقال در ناحیه دوم از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q_{s2,j} = \int_{-h+D_f}^0 \overline{u_{s,j}(z)} C(z) dz \quad (18)$$

که  $j=1,2$ ؛  $j=1$  در خارج از امواج و  $j=2$  در داخل امواج. در نهایت میزان انتقال رسوب به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$Q_{s,j} = Q_{s,f} + Q_{sm,j} \quad (19)$$

که  $Q_{sm,j}$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_{sm,j} = Q_{s1,j} + Q_{s2,j} \quad (20)$$

در ادامه روابط مورد نیاز برای انتقال رسوب از بستر ارائه شده است. در روابط ارائه شده دو مکانیزم در نظر گرفته شده است:

– استهلاک انرژی در نقاط مرزی

– تقارن امواج افقی

میزان انتقال رسوب از بستر با تنش برشی در بستر، ارتباط مستقیم دارد. میزان تنش برشی با استفاده از استهلاک انرژی در مرزها محاسبه می‌شود.

$$Q_{b,1} = (Kf) \frac{w_s}{2cg(s-1)} \overline{U_1^2 |U_1|} \quad (21)$$

که  $K$  و  $f$  ضرایب تجربی هستند.  $S$  وزن مخصوص رسوبات و  $U_1$  سرعت درجه اول در مرزها است. جهت انتقال رسوب در جهت توزیع امواج است. مدل انتقال رسوب با استفاده از بردارهای سرعت کل برای در نظر گرفتن تأثیرات تقارن امواج کاربرد دارد. در رابطه زیر از مطالعات (Bailard and Inmann (1981) استفاده شده است [۲۰]. یک رویکرد انرژی مبنا و فرض حرکت ذرات بستر به صورت لایه‌ای اساس رابطه زیر است. به عبارت دیگر میزان انتقال رسوب لحظه‌ای با نرخ استهلاک انرژی نسبت دارد و این نسبت تابعی از زمان است:

$$Q_{b,2} = \frac{\rho f \epsilon_b}{2 \tan \phi} \left[ \overline{u^3} - \frac{\tan \beta}{\tan \phi} \overline{|u|^3} \right] \quad (22)$$

که  $\rho$  چگالی سیال،  $f$  فاکتور اصطکاک،  $\phi$  زاویه اصطکاک داخلی رسوب،  $\tan \beta$  شیب بستر و  $u$  سرعت در نزدیکی بستر است.  $\epsilon_b$  بخشی از نرخ استهلاک انرژی که برای انتقال رسوب بستر مصرف شده است می‌باشد. این ضریب شامل ارتباط بین سیال و سرعت ذرات می‌شود.

## ۵. نتیجه‌گیری

در محیط‌های ساحلی تأثیر امواج و جریانات ساحلی و همچنین تقابل رودها و دریا و علاوه بر آن اثر وزش باد در حضور ماسه‌زارهای وسیع و غیره همگی از عوامل تغییردهنده شرایط مورفولوژیک محسوب می‌شوند. در غالب سواحل، تغییرات ناشی از موارد فوق‌الذکر با سرعت بسیار پایینی صورت می‌پذیرد و در واقع تقابل ساحل و عوامل تغییردهنده آن در پایداری نسبی می‌باشند. چنانچه تغییراتی بر طبیعت دریایی منقطه ساحلی اعمال گردد، روند طبیعی عملکرد متقابل دریا و ساحل از حالت پایدار و ماندگار خارج شده و واکنش‌هایی جهت رسیدن به پایداری جدید در منقطه به وجود خواهد آمد. این واکنش‌ها در قالب رسوب‌گذاری و فرسایش و تغییرات خط ساحل بروز می‌نمایند و تا زمان پایداری یا تعادل مجدد طبیعت ادامه می‌یابد. در این مطالعه فرآیند رسوب‌گذاری عمود بر ساحل بررسی شده است. ابتدا مروری بر مطالعات گذشته انجام شده سپس روابط استفاده شده برای تخمین

رسوب ارائه شده است. در این مطالعه نواحی انتقال رسوب به دو بخش تقسیم شده و روابط جداگانه‌ای برای هر دو ناحیه ارائه شده است. انتقال رسوب از بستر با در نظر گرفتن تنش برشی در بستر ارائه شده است.

## ۶. مراجع

۱. سپوند، خ. صدری نسب، اکبری، م. کریمی، م. بررسی وضعیت رژیم جریان، رسوب‌گذاری و تغییرات خطوط ساحلی در راستای توسعه سواحل کوه مبارک، اولین همایش ملی توسعه سواحل مکران و اقتدار دریایی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۱
2. Y. Kuriyama , H. Sakamoto, Cross-shore distribution of long-term average longshore sediment transport rate on a sandy beach exposed to waves with, *Coastal Engineering* 86 (2014) 27–35
3. Mustafa Demirci1 and M. Sami Aköz2, Investigation of bar parameters occurred by cross-shore sediment transport, *Int. J. Naval Archit. Ocean Eng.* (2013) 5:277~286
4. Baykal, Cüneyt, Ayşen Ergin, and Işıkhhan Güler. "AN ENERGETIC TYPE MODEL FOR THE CROSS-SHORE DISTRIBUTION OF TOTAL LONGSHORE SEDIMENT TRANSPORT." *Coastal Engineering Proceedings* 1.33 (2012): 40.
5. Wang, P., Smith, E.R. and Ebersole, B.A. 2002. Large-scale laboratory measurements of longshore sediment
۶. شالباف، ح. مدلسازی عددی انتقال رسوب عمود بر ساحل در اطراف سازه‌های ساحلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده عمران محیط زیست. دانشگاه امیرکبیر.
۷. گزارش بند امیرآباد، سازمان بنادر و دریانوردی
۸. لشته نشایی، م. متین سرشت، ا. منشی زاده، م. حاتمی، ف. مطالعه پدیده انتقال رسوب ساحلی در جهت عمود بر ساحل با استفاده از مدل فیزیکی و ریاضی. سال دوم، شماره ۳، ۱۳۸۵
۹. کبابی، م. کرمی خانیکی، ع. بررسی رسوب‌گذاری و فرسایش در مصب‌ها تحت اثر توام جزرومد و امواج عمود بر ساحل با استفاده از مدلسازی عددی. نشریه آبخیزداری، شماره ۱۰۴، ۱۳۹۳
10. F. Li, C. Dyt & C. Griffiths, A coastal morphodynamic model for cross-shore sediment transport, *Transactions on the Built Environment* vol , © 2003 WIT Press
11. Daniel C. Conley, Reginald A. Beach, Cross-shore sediment transport partitioning in the nearshore during a storm event, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 108, NO. C3, 3065, doi:10.1029/2001JC001230, 2003
12. Changkun, Z, Cross-shore sediment transportation: Analysis of Delta Flume data and mathematical modeling, Delft University of Technology, 1994
۱۳. سلطان پور محسن، اردانی سمیرا، مدل سازی انتقال رسوب بندر صیادی بريس، کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، دوره هفتم، ۱۳۸۷
14. J.A. Roelvinld and I. Broker, Cross-shore profile models, *CoastalEngineering*, 21 (1993) 163-191
15. T.E. Baldock ), P. Holmes 1, S. Bunker 2, P. Van Weert, Cross-shore hydrodynamics within an unsaturated surf zone, *Coastal Engineering* 34 \_1998. 173–196
16. J.S. Schoonees, AK Theron, Evaluation of 10 cross-shore sediment transport/ morphological models, *Coastat Engineering* 25 (1995) 1-41
17. Rajesh Srinivas, Robert G. Dean, Cross-shore hydrodynamics and modeling, *Coastal Engineering* 27 (1996) 195-221
18. Dally, W.R. and Dean, R.G., 1984. Suspended sediment transport and beach profile evolution. *J. Waterw. Port Coastal Ocean Eng. Div. ASCE*, 110(1): 15-33.
19. Roelvink, J.A. and Stive, M.J.F., 1989. Bar-generating cross-shore flow mechanisms on a beach. *J. Geophys. Res.*, 94C4): 4785-4800.
20. Bailard, J.A. and Inman, D.L., 1981. An energetics bedload model for a plane sloping beach: local transport. *J. Geophys. Res.*, 86(C3): 2035-2043.