



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی

مدلسازی عددی و تحلیلی تشکیل و تغییر شکل کاسپ های ساحلی (مطالعه موردی؛ بندر رودیک)

نگارنده: الهام ذاکری انارک

استاد راهنما: دکتر مهدی عجمی

استاد مشاور: مهندس احمد رضایی

ارديبهشت ۱۳۹۶



فرم شماره ۲: صور تجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم الهام ذاکری انارک به شماره دانشجویی ۹۳۰۷۷۳۴ رشته مهندسی عمران گرایش سواحل، بنادر و سازه های دریایی تحت عنوان مدلسازی عددی و تحلیلی تشکیل و تغییر شکل کاسپ های ساحلی (مطالعه موردی؛ بندر رودیک) که در تاریخ ۱۳۹۶/۰۲/۲۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

ود 🗆	🗌 مرد	A(_)∑	بول (با درجه : <i>مساخر</i> امتياز 4
			وع تحقیق: نظری 🖸 عملی 🗌
		۲ ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸) ۴ ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)	۱ ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹) ۳ ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶) ۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول
امضاء	مرتبة علمي	نام ونام خانوادگی	عضو هيأت داوران
and	استادیار ᠵ	دکتر مهدی عجمی	۱_ استادراهنمای اول
a very	-	مهندس احمد رضایی	۲ - استاد مشاور
- Ale	استاديار	دکتر محمد شامخی امیری	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	دانندر	دکتر احمد احمدی	۴- استاد ممتحن اول
	استاديار	دکتر امیرعباس عابدینی	۵- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر احمد احمدی تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۲/۲۵

۱۳

ج

یارب دل مارا توبه رحمت جان ده در د

ہمہ را بہ صابری درمان دہ

این بنده چه داند که چه می باید حبت

داننده تویی سر آنچه دانی آن ده

شهريار

باعثق وسایں بسار ب

۵۰۰ لفکر کم که ۲۰۰۰

بدر و مادر * عزيز و دوست داشتنی ام و ہمبر

عزيزتراز جانم

شکر خداوند متعال را به جای آورده که توفیق نصیب من نمود تا این پایان نامه را به سرانجام رسانیدم. در اینجا لازم می دانم از تمام عزیزانی و دوستانی 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 استاد راهنمای بنده، **جناب آقای دکتر مهدی عجمی**، 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. از **همسر عزیزم مهندس امیر جباری** که در تمامی این مراحل درکنار من بود سپاسگزارم.

همچنین از مساعدت و راهنمایی های بی دریغ استاد مشاور گرامی، جناب آقای مهندس احمد رضایی، کارشناس ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس به جهت راهنمایی های بسیار سودمند و در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز وکمک در تکمیل فرآیند مدلسازی و تکمیل فرایند تحقیق، کمال سپاسگزاری را دارم.

با تشکر و سپاس فراوان از اساتید و مهندسین گرامی

تعهد نامه

اینجانب الهام ذاکری انارک دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران – سواحل بنادر و سازه های دریایی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدلسازی عددی و تحلیلی تشکیل و تغییر شکل کاسپ های ساحلی (مطالعه موردی؛ بندر رودیک) تحت راهنمائی دکتر مهدی عجمی متعهد می شوم.

تحقيقات در اين پايان نامه توسط اينجانب 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 نتایح 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 .

تاريخ

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.

کاسپ های ساحلی پدیده های قوسی شکل با فواصل منظم در ناحیه ی آبشستگی یا سواش می باشند. بسیاری از دانشمندان چگونگی شکل گیری و توسعه ی کاسپ ها را توضیح داده اند اما تنها دو نظریه ی تئوری موج لبه ای و تئوری خودتشکیل برای تشکیل آنها پذیرفته شده است. کاسپ ها می توانند به صورت کوتاه مدت شکل خط ساحلی را تغییر دهند اما اگر عمق و ارتفاع فرورفتگی آنها زیاد شود موجب فرسایش خط ساحلی شده و اگر رسوب گذاری در قسمت شاخ آن به سمت دریا زیاد شود موجب مشکلات رسوبی برای سازه ها و بنادر نزدیک آن خواهد شد. بنابراین اطلاع از وضعیت و نحوه ی تشکیل و رشد کاسپ ها در سواحلی که مستعد رشد کاسپ می باشد، می تواند برنامه ریزی برای پروژه های مهندسی آینده و مدیریت سواحل را تکمیل نماید. در این پژوهش به صورت مطالعه موردی به بررسی چگونگی تشکیل و توسعه کاسپ های ساحل رودیک در شهرستان چابهار پرداخته شده است. در ابتدا ادامه اطلاعات هیدرودینامیکی بندر رودیک و طبقه بندی ساحلی آن تعیین و بیان شده است. در انتها به کمک نرم افزار مایک ۲۱ پارامترهای اثرگذار بر تغییرات کاسپ ها و اثر تئوری های ذکر شده بر تشکیل آنها تحت تاثیر ۱۸ سناریو موجود بررسی شده است. در این پژوهش ایه ماز مرادی شده است. در انتها است که در آن با استخراج موج لبه ای از طیف انرژی امواج و قیاس با بالاروی کل، می توان تئوری نوم تره این شده بردی نوینی بیان شده است. در این پژوهش ایده ی نوبی های زمین و این شده است. در انتها به کمک نرم افزار مایک ۲۱ پارامترهای اثرگذار بر تغییرات کاسپ ها و اثر تئوری های ذکر شده بر نشکیل آنها تحت تاثیر ۱۸ سناریو موجود بررسی شده است. در این پژوهش ایده ی نوینی بیان شده است. در انتها

نتایج نشان می دهد ساحل رودیک شرایط انعکاسی و بینابینی داشته که امکان تشکیل کاسپ در آن وجود دارد. همچنین با افزایش ارتفاع و پریود امواج، اندازه ی کاسپ ها بزرگتر می شود. برای طوفان های اقیانوسی، عملکرد سواش به صورت فرسایشی می باشد که موجب رشد بیشتر کاسپ ها به صورت عمیق تر شدن فرورفتگی آنها می شود و نیز کاسپ ها از تئوری موج لبه ای برای شکل گیری تبعیت می کنند. برای طوفان های مونسونی، عملکرد سواش به صورت رشد رسوبی بوده که موجب رشد بیشتر کاسپ ها به صورت رسوب گذاری در شاخ ها می شود و نیز تئوری موج خودتشکیل در شکل گیری کاسپ ها تاثیرگذار می باشد.

کلیدواژہ: کاسپ های ساحلی، تئوری موج لبه ای؛ تئوری خودتشکیل، مایک۲۱ ماژول BW ، ساحل رودیک مقالات برگرفته از پایان نامه و چاپ شده در مراجع معتبر:

3. Zakeri, E., Jabari, A., Adjami, M., Rezaei, A. (2017), "A Numerical Study on Beach Cusps Formation and Evolutions Based on Analytical EW-SO Methods" *4th International Conference in Ocean Engineering (ICOE 2018)(Abstract Submission).*

فهرست مطالب

م	، شكل ها	فهرست
ف	، جداول ف	فهرست
ق	، علامت های اختصاری	فهرست

فصل اول (کلیات و تعاریف)

۲	١–١ مقدمه
۳	٢-١ تعاريف
۳	۱-۲-۱ مورفولوژی سواحل
۴	۱–۲–۲ هیدرودینامیک سواحل
۴	۱–۲–۳ مورفودینامیک
۴	۱–۲–۴ امواج گرانشی
۴	۱–۲–۵ امواج لبه ای
۴	۱-۲-۶ امواج فروگرانشی
۵	۱–۲–۷ امواج ایستاده
۵	۱–۲–۸ لایه فیلتر(در نرم افزار مایک)
۵	۱–۲–۹ لایه اسفنج(در نرم افزار مایک)
۵	۱–۳ سوالات پژوهش
۶	۱–۴ ضرورت بررسی موضوع
۶	۱-۵ اهداف و روش های تحقیق
Υ	۱-۶ ساختار پایان نامه و روند بررسی و تحلیل موضوع

فصل دوم (مرور ادبیات فنی)

۱۰	۲-۱ پیشگفتار
11	۲-۲ فرآیندهای ناحیه ی سواش
١٢	۲-۳ انواع سواحل
۱۳	۲–۳–۱ سواحل انعکاسی
۱۴	۲-۳-۲ سواحل بینابینی(میانی)
۱۵	۲-۳-۳ سواحل استهلاکی
١۶	۲-۴ کاسپ های ساحلی
۱۹	۲-۵ تشکیل کاسپ های ساحلی
۲۰	۲-۵-۲ تئوری موج لبه ای
۲۲	۲-۵-۲ تئوری خودتشکیل
۲۴	۲-۶ جمع بندی

فصل سوم (معرفي منطقه مطالعاتي؛ ساحل بندر روديك)

78	۳–۱ وضعیت محل مورد مطالعه
۲۸	٣-٢ اطلاعات امواج
٣٠	۳-۳ طوفان های عمده سواحل مکران و بندر رودیک
٣٠	۳–۴ اطلاعات مورفولوژی و هیدرو گرافی
۳۳	۳-۴-۲ مشخصات ساحل بندر رودیک
۳۵	۵-۳ جمع بندی

فصل چهارم (مدل سازی و تحلیل نتایج)

۴-۱ پیشگفتار	۳۸
۴-۲ معرفی نرم افزار روش های عددی Mike21	۳۸
1-۲-۴ معرفی ماژول و معادلات حاکم Boussinesq Wave)	۴.
۴–۲–۱–۱ معرفی پارامترهای کالیبراسیون	43
۲-۱-۲-۴ توصیف پارامتر Moving Shoreline با استفاده از تکنیک Slot	44
۴-۳ کالیبراسیون ماژول BW با مدل آزمایشگاهی	40
۴-۳-۴ معرفی ساختار مقاله مورد استفاده برای کالیبراسیون	49
۴-۳-۴ شرایط مرزی و ساختار مدل یک بعدی BW	49
۴-۳-۴ سناریوهای ساخت مدل آزمایشگاهی	۵١
۴-۳-۴ نتایج کالیبراسیون ماژول BW	54
۴-۳-۴ جمع بندی	۶.
۴-۴ تحلیل حساسیت مدل آزمایشگاهی	۶١
۴-۴-۱ پارامترهای مورد بررسی	۶١
۴-۴-۲ تحلیل نتایج حساسیت سنجی مدل آزمایشگاهی	99
۴-۴-۴ جمع بندی	٨۶
۴–۵ ساخت مدل واقعی، تحلیل و بررسی(مطالعه موردی سواحل بندر رودیک)	٨٧
۴-۵-۱ اطلاعات ورودی مدل عددی سواحل بندر رودیک	٨٧
۴-۵-۴ سناریو های اجرایی مدل ساحل بندر رودیک	٩٠
۴-۵-۳ تحلیل و بررسی خروجی مدل سازی ها	۹١
۴-۵-۳ تغییرات کاسپ های ساحلی رودیک	۹١
۴–۵–۳–۲ نحوه شکل گیری کاسپ ها (م دل آزمایشگاهی و ساحل رودیک)	٩۵

1.4		، بندی	۶ جمع	۴–
-----	--	--------	-------	----

فصل پنجم (نتیجه گیری)

۱۰	نار١	۱-/ پیشگفن	۵
۱۰٬	ئىرى٩	۲- نتيجه	۵
۱١	دات	،لهنشي ٣–	۵

منابع و مراجع

117	پيوست
119	مراجع فارسی
119	مراجع انگلیسی

فهرست شکل ها

فصل دوم (مرور ادبیات فنی)

١٠	شکل ۲-۱ نمایش کاسپ های ساحلی
١۴	شکل ۲-۲ نمایش شماتیک ویژگی های سواحل انعکاسی
۱۵	شکل ۲-۳ نمایش شماتیک ویژگی های سواحل بینابینی
۱۵	شكل ۲-۴ نمايش شماتيك ويژگى هاى سواحل استهلاكى
۱۹	شکل ۲-۵ نمایش شماتیک انواع الگوهای گردش سواش مرتبط با مورفولوژی کاسپ ساحلی
۲۱	شکل ۲-۶ نمایش شماتیک بالاروی حداکثر و فواصل کاسپ ها برای امواج لبه ای همزمان و هارمونیکی
۲۳	شکل ۲-۷ نمایش فاصله ی بین کاسپها (λ) و طول گردش سواش (As)

فصل سوم (منطقه مطالعاتی؛ ساحل رودیک)

79	، ۳-۱ موقعیت حدودی نقطه رودیک در سواحل دریای عمان	شکل
77	، ۲-۲ موقعیت بنادر بریس و رمین نسبت به نقطه رودیک	شکل
۲۸	، ۳-۳ گلموج منطقه ی رودیک	شکل
۳١	، ۳-۴ نمایی از شکل خط ساحل در نقطه رودیک و نمونه خاک منطقه	شکل
٣٢	، ۳-۵ هیدروگرافی محدوده ساحل رودیک، در راستای موازی ساحل	شکل
٣٣	, ۳-۶ طبقه بندی هیدرودینامیکی سواحل	شكل
٣۴	، ۳-۷ نمودارهای انرژی سواحل	شکل

فصل چهارم (مدل سازی و تحلیل نتایج)

فقى	، فرضی از اجزای ا	پروفیل عمودی	شکست موج و	ں عرضی از ،	لطح استوانه، برش	۱-۴ مفهوم س	شکل
43						های سرعت	مولفه د

44	شکل ۴-۲ توصیف رژیم جریان مصنوعی متخلخل، نشان دهنده ی پارامتر moving shoreline
¥F	شکل ۴–۳ فلوم آزمایشگاهی میس
۴۷	شکل ۴-۴ شرایط مرزی و ساختار مدل یک ب ع دیBW
۴۸	شکل ۴–۵ نیمرخ های بستر در مدل آزمایشگاهی مایک ۲۱ BW
۴۹	شکل ۴–۶ لایه های فیلتر در مدل مایک BW ۲۱
۵۰	شکل ۴–۷ لایه های Sponge در مدل مایک ۲۱ BW
۵۴	شکل ۴–۸ الف و ب، مقایسه نتایج مدل الف و پ در سناریو None
۵۵	شکل ۴–۹ الف و ب، مقایسه خروجی ها در موج سنج WG8 در کد ۳۳۸
۵۶	شکل ۴–۱۰ الف و ب، ۱۰ مقایسه خروجی ها در موج سنج WG10 در کد ۳۵۸
۵۷	شکل ۴–۱۱ الف و ب، مقایسه خروجی ها در موج سنج WG12 در کد ۳۷۸
۵۸	شکل ۴–۱۲ الف و ب، خروجی موج سنج WG8 در کد ۳۳۸
۵۹	شکل ۴–۱۳ الف و ب، خروجی موج سنج WG10 در کد ۳۵۸
۶۰	شکل ۴–۱۴ الف و ب، خروجی موج سنج WG12 در کد ۳۷۸
۶۲	شکل ۴–۱۵ هیدروگرافی دو بعدی بندر رودیک و محل قرارگیری نیمرخ انتخابی در مختصات
۶۲	شکل ۴–۱۶ نیمرخ عمق سنجی انتخابی
۶۷	شکل ۴–۱۷ تغییرات طول ناحیه سواش با شیب بستر، در سناریو تغییرات شیب (۱ تا ۱۰)
۶۷	شکل ۴–۱۸ تغییرات حداکثر میزان بالاروی با شیب بستر، در سناریو تغییرات شیب (۱ تا۱۰)
شيب	شکل ۴–۱۹ تغییرات فاصله بین کاسپ ها با شیب بستر تئوری موج لبه ای، در سناریو تغییرات
۶۹	(۱۱ تا ۱۰)
شيب	شکل ۴-۲۰ تغییرات فاصله بین کاسپ ها با شیب بستر تئوری خودتشکیل، در سناریو تغییرات
۶۹	(۱۱ تا ۱۰)

شکل ۴–۲۱ تغییرات طول ناحیه سواش با تغییرات فرکانس موج، سناریو تغییرات فرکانس(۱۲، ۱۱، ۷
و ۲)
شکل ۴-۲۲ تغییرات حداکثر میزان بالاروی با تغییرات فرکانس موج، سناریو تغییرات فرکانس(۱۲،
۱۱، ۷ و ۲)
شکل ۴-۲۳ تغییرات فاصله بین کاسپ ها با فرکانس موج در تئوری موج لبه ای، سناریو تغییرات
فركانس
شکل ۴-۲۴ تغییرات فاصله بین کاسپ ها با فرکانس موج در تئوری خودتشکیل، سناریو تغییرات
فركانس
شکل ۴-۲۵ تغییرات حداکثر میزان طول سواش با تغییرات ارتفاع موج، سناریو تغییرات ارتفاع موج
٧۶
شکل ۴-۲۶ تغییرات حداکثر میزان بالاروی با تغییرات ارتفاع موج، سناریو تغییرات ارتفاع موج
٧۶
شکل ۴-۲۷ تغییرات فواصل بین کاسپ ها با تغییرات ارتفاع موج تئوری موج لبه ای، سناریو تغییرات
ارتفاع موج ۷۷
شکل ۴-۲۸ تغییرات فواصل بین کاسپ ها با تغییرات ارتفاع موج تئوری خودتشکیل، سناریو تغییرات
ارتفاع موج
شکل ۴-۲۹ تغییرات میزان بالاروی و شیب ساحل با تغییرات نوع موج، سناریوی تغییر نوع موج
λ٠
شکل ۴-۳۰ تغییرات میزان طول سواش و شیب ساحل با تغییرات نوع موج، سناریوی تغییر نوع موج
۸۱
شکل ۴-۳۱ تغییرات فواصل بین کاسپ ها با تغییرات شیب ساحل و موج منظم در تئوری موج لبه ای،
سناريو تغييرات موج

کیل،	شکل ۴-۳۲ تغییرات فواصل بین کاسپ ها با تغییرات شیب ساحل و موج منظم در تئوری خودتش
٨•	سناريو تغييرات موج
۸۸	شکل ۴–۳۳ نیمرخ ساحل رودیک در ماژول BW-1D
٨٨	شکل ۴–۳۴ لایه اسفنج ساحل رودیک در ماژول BW-1D
٨٩	شکل ۴–۳۵ لایه فیلتر ساحل رودیک در ماژول BW-1D
٨٩	شکل ۴-۳۶ تغییرات ارتفاعی موج ورودی مدل ساحل رودیک در واحد زمان، سناریو ۱۸
۹۳	شکل ۴–۳۷ نمایش کاسپ های ساحل رودیک
۹۵	شکل ۴–۳۸ طیف چگالی انرژی، نمایش موج لبه ای در سناریو های ۹ و ۱۸
٩۶	شکل ۴–۳۹ موج لبه ای خارج شده در سناریو ۹
۹۷	شکل ۴-۴۰ تئوری موج لبه ای در مدل آزمایشگاهی سناریو ۲۶
۹۷	شکل ۴-۴۱ نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۱
۹۸	شکل ۴-۴۱ نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۲ تا ۴
۹۹	شکل ۴-۴۱ نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۵ تا ۷
۱۰۰	شکل ۴-۴۱ نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۸ و ۹
۱۰۱	شکل ۴-۴۲ نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۱۰ تا ۱۲
١٠٢	شکل ۴-۴۲ نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۱۳ تا ۱۵
۱۰۳	شکل ۴-۴۲ نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۱۶ تا ۱۸

فهرست جدول ها

فصل سوم (منطقه مطالعاتی؛ ساحل رودیک)

جدول ۳-۱ اطلاعات امواج برای رسم گلموج در ساحل رودیک، فواصل ۳ ساعته از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷

29	
۲۹	جدول ۳-۲ پراکندگی اطلاعات امواج در ساحل رودیک، فواصل ۳ ساعته از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷
٣٣	جدول ۳-۳ جدول تغییرات تراز جزر و مدی بندر رودیک

فصل چهارم (مدل سازی و تحلیل نتایج)

مرزی موج ورودی ۵۱	جدول ۴-۱ شرایط
های خط ساحلی مورد الف	جدول ۴-۲ سناريو
های پارامتر شکست موج مورد الف	جدول ۴-۳ سناريو
های اصلاحی برای مدل آزمایشگاهی الف ۵۲	جدول ۴-۴ سناريو
های اصلاحی برای مدل آزمایشگاهی ب۵۲	جدول ۴-۵ سناريو
برای مدل آزمایشگاهی پ	جدول ۴-۶ سناريو
دی کالیبراسیون ماژول BW	جدول ۴–۷ جمع بنا
مای سناریو تغییر شیب، تاثیر بر طول سواش و حداکثر نفوذ کاسپ ها۶۷	جدول ۴–۸ پارامتره
مای سناریو تغییر شیب، تاثیر بر تغییرات فواصل بین کاسپ ها۶۹	جدول ۴-۹ پارامتره
رهای سناریو تغییر شیب، تاثیر بر پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)	جدول ۴–۱۰ پارامتر
رهای سناریو تغییر شیب، تاثیر بر سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها ۲۱	جدول ۴–۱۱ پارامتر
رهای سناریو تغییر فرکانس، تاثیر بر طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ۷۲	جدول ۴–۱۲ پارامتر
رهای سناریو تغییر فرکانس، تاثیر بر فواصل بین کاسپ ها ۷۴	جدول ۴–۱۳ پارامتر
رهای سناریو تغییر فرکانس، تاثیر بر پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)	جدول ۴–۱۴ پارامت

جدول ۴–۱۵ پارامترهای سناریو تغییر فرکانس، تاثیر بر سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها ۷۵
جدول ۴–۱۶ پارامترهای سناریو تغییر ارتفاع، تاثیر بر طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ ۷۶
جدول ۴–۱۷ پارامترهای سناریو تغییر ارتفاع، تاثیر بر فواصل بین کاسپ ها
جدول ۴–۱۸ پارامترهای سناریو تغییر ارتفاع ، تاثیر بر پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)
جدول ۴–۱۹ پارامترهای سناریو تغییر ارتفاع، تاثیر بر سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها ۷۹
جدول ۴-۲۰ پارامترهای سناریو تغییر موج منظم، تاثیر بر طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ
جدول ۴–۲۱ پارامترهای سناریوهای تغییر موج منظم، تاثیر بر فواصل بین کاسپ ها۸۱
جدول ۴-۲۲ پارامترهای سناریو تغییر موج منظم، تاثیر بر پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)
جدول ۴–۲۳ پارامترهای سناریو تغییر موج منظم، تاثیر سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها ۸۳
جدول ۴–۲۴ پارامترهای سناریو تغییر موج نامنظم، تاثیر بر طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ
٨۴
جدول ۴–۲۵ پارامترهای سناریو تغییر موج نامنظم، تاثیر بر فواصل بین کاسپ ها
جدول ۴–۲۶ پارامترهای سناریو تغییر موج نامنظم، تاثیر بر پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)
جدول ۴–۲۷ پارامترهای سناریو تغییر موج نامنظم، تاثیر بر سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها۸۶
جدول ۴–۲۸ سناریو های اجرای مدل سازی
جدول ۴-۲۹ مشخصات کاسپ ها در سناریو طوفان های اقیانوسی
جدول ۴-۳۰ مشخصات کاسپ ها در سناریو طوفان های مونسونی

ىارى	اختم	های	علامت	ست	فهر
------	------	-----	-------	----	-----

تعريف پارامتر	واحد	پارامتر
پارامتر تعیین نوع ساحل	_	Ω
ارتفاع شكست موج	т	${H}_{b}$
سرعت سقوط ذرات رسوب	m/sec	W _s
دوره تناوب امواج	sec	Т
پارامتر پایداری ساحل	_	<i>K</i> *
شتاب گرانش زمین	m/sec ²	g
قطر متوسط ذرات رسوب	т	d_{50}
پارامتر تشابه شکست	_	ξ
شيب ساحل	_	$\tan \beta$
ارتفاع موج در آب عميق	т	${H}_0$
طول موج آب عميق	т	L_{0}
فواصل شاخ تا شاخ کاسپ ها با استفاده از تئوری موج لبه ای	т	$\lambda_{_{ew}}$ & $\lambda_{_c}$
فواصل شاخ تا شاخ کاسپ ها با استفاده از تئوری خودتشکیل	т	$\lambda_{so} \ \mathbf{\&} \ \lambda_{c}$
طول گردش سواش	т	S _e
پارامتر هندسی بی بعد	_	f
چگالی سینماتیکی آب دریا	m²/sec	υ
چگالی مخصوص ذرات بستر دریا	_	S
ارتفاع موج مشخصه	т	H_{s}
ارتفاع ميانگين امواج	т	\overline{H}_{mean}

تعريف پارامتر	واحد	پارامتر
چگالی انرژی در جهتX	m ³ .sec/ m	Р
فاكتور پراكندگی بوزينسک	_	В
دستگاه مختصات دکارتی	т	X
زمان	sec	t
عمق کلی آب	т	h
عمق ایستایی سطح آب	т	d
ضريب تخلخل	_	n
عدد مقاومت شزى	m ^{0.5} /sec	С
ضریب مقاومت برای جریان نازک در لایه های متخلخل	_	α
ضریب مقاومت برای جریان متلاطم در لایه های متخلخل	_	β
ضخامت سطح استوانه	т	δ
مولفه سرعت استوانه	m/sec	<i>C</i> _{<i>x</i>}
فرکانس میانگین	ΗZ	f_m
ابعاد مش بر حسب سانتيمتر	ст	Δ
طول موج	т	L
طول سواش	т	As
پريود پيک	sec	Te



کلیات و تعاریف

علم مهندسی عمران در شاخه ی مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، مرتبط با تحلیل و طراحی ها در سه زمینه است. تحقیقات فراساحل^۱ که مربوط به تحلیل و طراحی سازه و سکوهای اکتشاف، حفاری و استخراج منابع نفت و گاز و لوله های انتقال این فراورده ها است؛ تحقیقات بندری که مرتبط با تحلیل و طراحی انواع سازه های ساحلی اعم از انواع 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، جریان های دریایی، جریان های جزر و مدی، انتقال رسوب طولی و عرضی، تغییرات هیدرودینامیکی^۲، تغییرات مورفولوژیکی^۲، نیمرخ های طولی و عرضی^۴ و نیز تغییرات خطوط ساحلی^۵ می پردازد.

خط ساحلی، مرز بین دریا و زمین، شکل و موقعیت خود را به صورت مداوم تغییر می دهد. به منظور نگه داری از سواحل و سازه های ساحلی و برنامهریزی برای مقابله با مخاطرات طبیعی، شناخت کامل ویژگی های هیدرودینامیکی و عوارض ساحلی اهمیت زیادی دارد. بنابراین شناخت هرچه بیشتر وضعیت

سواحل و عوارض و نواحی رسوبی فعال، راهنمای بهتری در پژوهش های علمی و کاربردی است. در یک ساحل معمولی، ناحیه ی آبشستگی یا سواش⁹ به صورت منطقه ای به سمت ساحل از نقطه ی برخورد بین موجی که به عقب برگشته با موج ورودی تعریف می شود. این ناحیه به صورت متناوب، توسط بالاروی و پایین روی امواج ورودی مرطوب و خشک می شود که این فرایند ها به عنوان حرکات ناحیه سواش شناخته می شود. حرکات سواش موجب حرکات ذرات آب به صورت پیچیده و پویا شده و به شدت بر انتقال رسوب در این ناحیه اثر می گذارد. فرآیند های انتقال رسوب، مورفولوژی ساحل را کاسپ^۸ می شود.

⁶ Swash zone
 ⁷ Berm
 ⁸ Cusp

⁴ Cross-shore and Longshore Profiles ⁵ Coastlines ¹ Offshore

 ² Hydrodynamic
 ³ Morphologically

کاسپ های ساحلی پدیده های قوسی شکل با فواصل منظم در ناحیه ی سواش می باشند. بسیاری از دانشمندان و مهندسان چگونگی شکل گیری و توسعه ی کاسپ ها را توضیح داده اند اما تنها دو نظریه برای تشکیل کاسپ ها پذیرفته شده است، تئوری موج لبه ای (یک توضیح هیدرودینامیکی ناشی از تئوری خطی آب کم عمق است(گزا و اینمان، ۱۹۷۵)) و تئوری خودتشکیل (یک توضیح مورفودینامیکی که با استفاده از یک مدل کامپیوتری نشان داده شده است(ورنر و فینک، ۱۹۹۳)).

تغییرات مورفولوژیک سواحل همواره مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. بررسی و پیش بینی فرآیند ها و اتخاذ روش هایی برای مواجهه با اثرات ناخواسته تغییرات خط ساحلی به منظور مدیریت و برنامه ریزی سواحل و بنادر حائز اهمیت میباشد. کاسپ ها یکی از عوامل تغییردهنده ی خط ساحلی هرچند به صورت کوتاه مدت، می باشند اما بررسی و شناخت آنها به دلایل ذکر شده، کارا بوده و از مشکلات آینده پیشگیری می کند.

۲-۱. تعاريف

۱-۲-۱. مورفولوژی^۹ سواحل

تغییرات مورفولوژی 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 آن با افزایش انتقال فرسایش رخ می دهد. در نواحی ساحلی تغییرات مورفولوژیکی معمولا سبب تغییرات موقعیت خط ساحلی می شود که این عامل یا به علت فرسایش یا رسوب گذاری رخ می دهد. به طور کلی ریخت شناسی بستر دریا و تغییرات آن با زمان را مورفولوژی ساحل می گویند.

⁹ Morphology

۱-۲-۲. هیدرودینامیک^{۱۰} سواحل

به بخشی از پروسه ساحلی که شامل تولید، انتقال و پخش امواج، تاثیر موج در تغییرات تراز آب، تاثیر موج بر جریان های طولی و عرضی، باد و اثر جزر و مد را هیدرودینامیک سواحل می گویند.

۱-۲-۳. مورفودینامیک"

نتیجه ی تلفیق فرآیندهای هیدرودینامیکی و مورفولوژی (ریخت شناسی) کف دریا و دگرگونی های حاصل از آن را می گویند.

۱-۲-۱. امواج گرانشی^{۱۲}

امواجی که نیروی باز گرداننده ی آن نیروی گرانش است، مانند موج ناشی از باد. موج گرانشی ممکن است به صورت سطحی یا درونی باشد.

1-۲-۵. امواج لبه ای^{۱۳}

موج گرانشی با بسامد کم که به طور موازی با خط ساحل حرکت می کند و به دلیل پدیده ی انکسار به دام می افتد.

۱-۲-۹. امواج فرو گرانشی^{۱۴}

امواج با دوره های تناوب بیش از حدود ۳۰ ثانیه تا ۵ دقیقه که به وسیله ی گروه های موج در حال شکست در منطقه ی خیزآب ساحلی به وجود می آیند. این امواج در طبقه بندی امواج از نظر دوره ی تناوب بین امواج گرانشی معمولی و امواج دوره ی بلند فرار می گیرند.

 ¹³ Edge waves
 ¹² Gravity or

 ¹⁴ Infragravity waves
 Gravitational waves

¹⁰ Hydrodynamic
 ¹¹ Morphodynamic

۱-۲-۱. امواج ایستاده ۱

موجی که از ترکیب دو موج پیش رونده با دوره ی تناوب و ارتفاع مساوی که در خلاف جهت یکدیگر منتشر شوند به وجود می آید.

۱-۲-۸. لایه ی فیلتر^{۱۶}(در نرم افزار مایک^{۱۷})

برای فیلتر کردن اثرات نامطلوب که در مدل سازی نرم افزار در نواحی سواش وجود دارد، مورد استفاده قرار می گیرد. وظیفه ی این لایه حذف فرکانس های بالای مدل که ناشی از هجوم موج به ساحل، بالاروی، پایین روی و پخش آن می شود، می باشد. عملکرد دیگر فیلتر این است که اثر منفی شدن ناشی از بالاروی موج در مدل را حذف می کند.

۱-۲-۹. لایه ی اسفنج^{۱۸} (در نرم افزار مایک)

این لایه که در مرز ورودی مدل و ناحیه ی سواش قرار می گیرد وظیفه دارد که موج بازگشتی به سمت مرز ورودی را از مدل حذف کرده و همچنین موجی که به ساحل می رسد را سرانجام به پایان رسانده که به داخل مدل بازنگردد.

۱–۳. سؤالات پژوهش

سوالات مهم مطرح شده در این پژوهش به شرح ذیل می باشد: کاسپ های ساحلی چگونه تشکیل می شوند؟

عوامل موثر بر شکل گیری و تغییر کاسپ ها کدام است؟

روابط حاکم بر پارامترهای موثر بر شکل گیری و تغییر کاسپ ها کدام اند؟

¹⁶ Filter layer

رابطه ی بین امواج لبه ای و شکل گیری کاسپ ها چگونه است؟

نقش کاسپ ها در فرآیندهای ساحلی چیست؟ در این پژوهش تلاش می گردد به این سوالات پاسخی مناسب و علمی داده شود تا بتوان در مقابل این پدیده، منطقی ترین و مهندسی ترین عکس العمل ها را در پیش گرفت.

۱–۴. ضرورت بررسی موضوع

کاسپ ها در برخی سواحل دیده می شوند و نحوه ی شکل گیری و بخصوص اشکال منظم آنها همواره مورد توجه محققین بوده است. کاسپ ها می توانند به صورت کوتاه مدت شکل خط ساحلی را تغییر دهند اما اگر تحت شرایطی که در فصل چهارم بدان پرداخته شده است، عمق و ارتفاع فرورفتگی آن زیاد شود موجب فرسایش خط ساحلی شده و اگر رسوب گذاری در قسمت شاخ آن به سمت دریا زیاد شود موجب مشکلات رسوبی برای سازه های نزدیک آن خواهد شد. بنابراین اطلاع از وضعیت و نحوه ی تشکیل و رشد کاسپ ها در سواحلی که مستعد رشد کاسپ می باشد، می تواند برنامه ریزی برای پروژه های مهندسی آینده و اتخاذ روش هایی مناسب برای مواجهه با اثرات ناخواسته ی تغییرشکل

۱–۵. اهداف و روش های تحقیق

تحقیقات مختلفی در رابطه با کاسپ ها و عوامل موثر بر شکل گیری و تغییر آنها انجام شده است اما در ایران این پژوهش ها بسیار محدود است که آن موارد در اندازه معرفی کاسپ ها می باشد. در این پژوهش بناست ضمن بررسی و شناخت پارامترها و متغیرهای دخیل در شکل گیری، توسعه و تغییر کاسپ ها و بررسی جامع مطالعات انجام شده در این مورد، پارامترهای تاثیرگذار بر کاسپ ها مشخص شود. سپس به کمک نرم افزار مایک۲۱ ماژول BW کاسپ های ساحلی مدل سازی شده و اثرگذاری پارامترها در تغییرات کاسپ ها مشخص گردد. هدف این پژوهش استفاده از ایده ی نوینی است که در آن با استخراج موج لبه ای از طیف انرژی امواج و قیاس با بالاروی کل، می توان تئوری شکل گیری و گسترش کاسپ های ساحلی را تعیین نمود که این ایده در تحقیق و پژوهش های پیشین استفاده نشده است.

۱–۶.ساختار پایان نامه و روند بررسی و تحلیل موضوع

در فصل دوم، ابتدا تعریفی کلی از کاسپ ها و دلایل بررسی آنها و سپس فرآیند هایی که در ناحیه ی سواش وجود دارد مانند امواج لبه ای و حرکات ناحیه ی سواش و نحوه ی تشکیل آنها و بعد از آن انواع سواحل و پارامترهای اندازه گیری آنها توضیح داده خواهد شد. سپس تعریف کامل تری از کاسپ های ساحلی و تئوری ها و ایده هایی که تا به امروز در مورد این پدیده ی ساحلی ذکر شده است ارائه خواهد شد. پس تعریف کامل تری از کاسپ های شد. پس اتعروی ها و ایده هایی که تا به امروز در مورد این پدیده ی ساحلی ذکر شده است ارائه خواهد شد. پس از آن تئوری ها و ایده هایی که تا به امروز در مورد این پدیده ی ساحلی ذکر شده است ارائه خواهد شد. پس از آن تئوری های پذیرفته شده مرتبط با تشکیل و تغییر کاسپ ها معرفی و بررسی شده و مطالعات گذشته در مورد این نظریه ها ذکر خواهد شد. در فصل سوم، ابتدا منطقه ی مورد مطالعه معرفی شده و سپس در مورد داده های مورد نیاز منطقه برای مدل سازی اطلاعاتی ارائه خواهد شد. در فصل سوم، ابتدا منطقه ی مورد مطالعه معرفی شده و سپس در مورد داده های مورد نیاز منطقه برای مدل سازی اطلاعاتی ارائه خواهد شد. در فصل پهارم، ابتدا به معرفی نرم افزار روش های عددی Mike21 و ماژول WB و روابط ساختار پایه ی معرفی شده و سپس در مورد داده های مورد نیاز منطقه برای مدل سازی اطلاعاتی ارائه خواهد شد. در انها پداخته شده، سپس از یک مدل آزمایشگاهی معتبر برای کالیبراسیون مدل سازی استفاده شده و سناریوها و نتایج تحلیل حساسیت سنجی پارامترهای دخیل در تشکیل و تغییر کاسپ ها ارائه خواهد شد. پس از احراز صحت مدل به معرفی سناریو هایی که قرار است مورد آنلیز قرار گیرند پرداخته شده و در انتها نیز خروجی های نرم افزار تحلیل و تفسیر نتایج ارائه خواهد شد. در فصل پایانی، به جمع و در انتها نیز خروجی های نرم افزار تحلیل و تفسیر نتایج ارائه خواهد شد. در فصل پایانی، به جمع و در انتها نیز خروجی های که قرار است مورد آنالیز قرار گیرند پرداخته شده و در انتها نیز خروجی های نرم افزار تحلیل و تفسیر نتایج ارائه خواهد شد. در فصل پایانی، به جمع بندی نتایج بدست آمده در فصل سوم و چهارم پرداخته شده و پیشنهادات لازم برای پژوهش های آتی ازائه بندی است.



فصل دوم

۲–۱. پیشگفتار

در سواحل عارضه های رسوبی زیادی وجود دارد که از آن جمله می توان به سد ماسه ای^۱، سکو یا پشته، تپه ماسهای^۲، صخره^۳ و کومهی هلالی یا کاسپ اشاره کرد. کاسپ های ساحلی پدیده های مورفولوژیک^۴ یا ریخت شناسی روی سطح ساحل است که دارای شاخ هایی^۵ به سمت دریا با شیب تند و رسوبات درشت دانه و فرورفتگی هایی^۶ با شیب ملایم و رسوبات ریزدانه می باشند. کاسپ ها در بیشتر مواقع با جریان های ناحیه ی آبشستگی یا سواش شکل گرفته و به صورت همساز و منظم موازی ساحل دیده می شوند. شکل ۲–۱ نمونه ای از اشکال طبیعی و شماتیک کاسپ ها را نشان می دهد.



شکل(۲-۱)، کاسپ های ساحلی (اسپانیا، کادیز^۷، ۲۰۱۳)

> ⁵ Horn ⁶ Bay or Embayment

³ Cliff ⁴ Morphological ¹ Bar ² Dune

۲-۲. فرآیندهای ناحیه سواش

ناحیه ی سواش تقریبا بالای نیمرخ ساحلی قرار دارد که در آن موج روی سطح ساحل بالا و پایین می رود. حرکات سواش شامل یک سری از جریان های قوی و ناپایدار است که به صورت مداوم مرز بین خشکی و مرطوب ساحل را تغییر می دهد و بر انتقال رسوب و دگرگونی مورفولوژی ساحلی موثر است (الفرينک و بالداک^۹، ۲۰۰۲؛ مسلينک و همکاران، ۲۰۰۵).

الفرینک و بالداک در سال ۲۰۰۲، نوسانات ناحیه سواش را به دو نوع متفاوت تقسیم کردند: امواج ایستاده نشکسته ^۱ (شامل موج فروگرانشی^{۱۱} و موج لبه ای^{۱۲}) و امواج کوتاه شکسته (بورها^{۱۳}). امواج لبه ای، امواج گرانشی متناوب و موازی ساحل هستند که به وسیله یدیده ی انکسار در خط ساحلی به دام می افتند و پریود بین ۱۵ تا ۲۵ ثانیه را دارا می باشند. (گزا و اینمان^{۱۴}، ۱۹۷۵؛ هوریکاوا^{۱۵}، ۱۹۸۸؛ بات و راسل^{۱۶}، ۲۰۰۰). امواج فروگرانشی عمود بر ساحل و با بسامد بسیار کم و محدوده پریود بین ۳۰ تا ۳۰۰ ثانیه می باشد. با سقوط بورها روی خط ساحلی و انتشار دوباره ی آنها، حرکات ناحیه آبشستگی پدید می آیند، بورها پریود بین ۵ تا ۱۵ ثانیه دارند (هاژس^{۱۷}، ۱۹۹۲). هر دو نوع اغتشاشات ناحیه سواش به صورت طبیعی همزمان رخ می دهند اما تنها یکی از آنها بسته به محیط و شرایط ناحیه شکست غالب می باشد (الفرینک و بالداک، ۲۰۰۲).

حرکات سواش به دو مرحله ی بالاروی و پایین روی^{۱۸} موج تقسیم می شود. در هنگام بالاروی، سرعت جریان بعد از فروریزش موج کوتاه شکسته یا بور، به سرعت از صفر به حداکثر افزایش پیدا می کند و سپس به صورت یکنواخت کاهش می یابد. از طرف دیگر در هنگام پایین روی سرعت جریان به تدریج از صفر تا حداکثر زیاد می شود تا زمانی که با موج ورودی بعدی روبرو شود (هایبرد و پر گرین^{۱۹}، ۱۹۷۹؛ هاژس و همکاران، ۱۹۹۷).

12 Edge wave

9 Elfrink and Baldock 10 Non-breaking standing waves ¹¹ Infragravity wave

¹⁶ Butt and Russel 18 Uprush and Backwash

17 Hughes

19 Hibberd and Peregrine

- ¹³ Bore 14 Guza and Inman
 - 15 Horikawa

یکی از تفاوت های بین امواج ایستاده نشکسته (امواج فروگرانشی) و امواج کوتاه شکسته (بورها) تقارن در سرعت های بالاروی و پایین روی در یک نقطه است. جریان های فروگرانشی تقریبا متقارن و جریان های حاصل از بورها به صورت عمده غیرمتقارن است (بات و راسل، ۱۹۹۹؛ الفرینک و بالداک، ۲۰۰۲). علاوه بر آن در جریان های حاصل از بورها زمان پایین روی از زمان بالاروی بیشتر است (هاژس و همکاران، ۱۹۹۷؛ بات و راسل، ۲۰۰۰؛ مسلینک و هاژس، ۱۹۹۸).

ترکیب جریان های با سرعت بالا و عمق کم آب در هنگام پایین روی موج، موجب شرایط جریانی خاص و پرش های هیدرولیکی به نام بورهای پایین روی ^{۲۰} می شود در انتهای این مرحله، پایین روی موج با موج ورودی جدید برخورد میکند. این رخداد ها یکی از مثال های آشفتگی^{۲۱} در ناحیه سواش است (هایبرد و پرگرین، ۱۹۷۹؛ مسلینک و همکاران، ۲۰۰۵). سایر منابع تولیدکننده آشفتگی، سقوط اولیه بور در خط ساحلی و آشفتگی به دلیل اصطکاک بستر است (الفرینک و بالداک، ۲۰۰۲). این آشفتگی ها می توانند واکنش بین آب و رسوب و در نتیجه انتقال رسوب و تغییرات ساحل را در پی داشته باشد (سریاریاوات^{۲۲}، ۲۰۰۹).

۲-۳. انواع سواحل

سواحل به صورت کلی به سه دسته ی سواحل با موج غالب^{۳۳}، با جزرومد غالب^{۴۴} و سواحل میان دو حالت^{۲۵} تقسیم بندی می شوند. در سواحل جنوبی کشور ایران، در بخش های خلیج فارس و خورها به دلیل فضای نیمه بسته، حاکمیت جزرومد دیده می شود اما در سواحل دریای عمان و سواحل مکران (مورد مطالعه) با توجه به طوفان های مونسونی و اقیانوسی (تشریح در فصل ۳ و ۴) ساحل از نوع موج غالب است. در سواحل موج غالب، پدیده های مورفولوژیکی با شرایط موج محلی و ویژگی های رسوبات کنترل می شوند (پندر ۲۰۱۳،^{۲۶}).

²² Sriariyawat²³ Wave dominated

²⁰ Backwash Bores
 ²¹ Turbulence

²⁴ Tidal dominated
 ²⁵ Intermediate

²⁶ Pender

هدف از معرفی دسته بندی سواحل از نوع موج غالب، درنظر گرفتن نوع ساحل در عملکرد تشکیل کاسپ ها می باشد که در فصول آینده بررسی می شود. رایت و شرت^{۲۷} در سال ۱۹۸۴ به طبقه بندی سواحل مختلف جهان با توجه به شرایط هیدرودینامیکی^{۲۸} حاکم بر ساحل و سرعت ته نشینی ذرات رسوبی در هر بخش ساحل پرداختند و سواحل موج غالب

را در سه حالت اصلی دسته بندی کردند که شامل سواحل، حالت های پراکنا (استهلاکی^{۲۹})، بازتابان (انعکاسی^{۳۰}) و میانه (بینابینی^{۳۱}) می باشد.

۲-۳-۱ سواحل انعکاسی

سواحل را در صورتی انعکاسی می نامیم که $1 > \Omega$ (پارامتر تعیین نوع ساحل) باشد. این سواحل مستلزم وجود امواج کوتاه با پریود بلند و ماسههای درشت است.این نوع سواحل نسبتًا پایدارند و هنگامی ایجاد می شوند که روابط 10 K^* (پارامتر تشابه شکست) و 1 Ω برقرار باشند. این شاخص ها توسط فرمول های زیر تعریف می شوند.

$$\Omega = \frac{H_b}{W_s T} \tag{1-7}$$

$$k^{*} = \frac{H_{b}^{2}}{gT^{2}d_{50}} \tag{(Y-Y)}$$

$$\xi = \frac{\tan \beta}{(\frac{H_0}{L_0})^{0.5}}$$
(٣-٢)

که در آنها H_b ارتفاع شکست موج، H_0 ارتفاع موج در آب عمیق، T پریود امواج، L_0 طول موج آب عمیق، β می ارتفاع شکست موج، و h_0 قطر متوسط ذرات رسوب و W_s سرعت سقوط ذرات می باشد. ویژگی این سواحل، پشته(کم عمق) شدن موج در ناحیهی نزدیک ساحل و ادامهی آن تا خط ساحلی است. سپس امواج با شیرجه زدن و یا ریزش در طول پایه وجه ساحل می شکنند. جریان قوی حاصل در

²⁹ Dissipative
 ³⁰ Reflective
 ³¹ Intermediate

 ³² Beach Stability
 ³³ Surf Similarity index

سواش به سمت بالای ساحل یورش می برد و در ترکیب با رسوبات درشت، وجه تند ساحل را می سازد. معمولا ساحل با کاسپ های ساحلی و یا سکوی خاکی کامل پوشیده می شود (دین و دالریمپل^{۳۴}، ۲۰۰۴). شکل ۲-۲ ویژگی های ذکر شده سواحل انعکاسی را نشان می دهد.



شکل(۲-۲)، ویژگی های سواحل انعکاسی (شرت،۲۰۰۶)

۲-۳-۲. سواحل بینابینی(میانی)

تغییرات مکانی امواج در این سواحل بیشتر و شیب منطقه نزدیک ساحل تندتر است، در نتیجه امواج تابشی هنگامی که تیزی نسبتًا کمی دارند، تمایل به شکستن در قالب امواج با شکست ریزشی^{۳۵} یا آشفته دارند. دو ویژگی این ساحل ها را متمایز می کند؛ ناحیهی شکست و چرخش باریکه گردابی، که همیشه با توپوگرافی هماهنگ ساحل همراه است.

این سواحل اغلب هنگامی ایجاد می شوند که روابط 20 $\leq K \geq 0$ ، 6 $\geq \Omega \geq 1$ و 0.23 $\geq \xi \geq 1$ برقرار باشد. به طوری که در این سواحل امواجی مرتفع تا متوسط (۵/۰ تا ۲/۵) بر ساحل حاکم اند و پوشش رسوبی ساحل متشکل از ماسه ریز تا متوسط است. از ویژگی های برجسته سواحل میانه، دارا بودن منطقه ی ساحلی افقی تکه تکه با سدهای رسوبی و جریان های تند بازگشتی است (دین و دالریمپل، ۲۰۰۴). شکل ۲–۳ ویژگی های ذکر شده سواحل بینابینی را نشان می دهد.

³⁵ Plunging



شکل(۲-۳)، ویژگی های سواحل بینابینی (شرت،۲۰۰۶)

۲-۳-۳ سواحل استهلاکی

این سواحل، در محدوده ی موج های بلند و ترجیحا با پریود کوتاه موج رخ داده و می بایستی ماسه ریز باشند. این سواحل در محیطهای باز دریایی که گاهی پریودهای بلند و امواج طوفانی کوتاه، ساحلی با پشتههای رسوبی متعدد ایجاد می کنند، نسبتا معمول است. از مشخصات بارز این سواحل، منطقه ی خیزاب ساحلی (منطقه شکست موج) گسترده با شیب اندک است. این سواحل اغلب هنگامی ایجاد می شوند که روابط $6 < \Omega$ ، (0.25) = 3 و $(0.25 < K^*)$ ، برقرار باشند. این سواحل با شیب طولانی عریض در وجه ساحلی و ناحیه شکست و تشکیل دو یا چند پشته رسوبی

موازی ساحل در عرض ناحیه شکست مشخص می شوند (دین و دالریمپل، ۲۰۰۴). شکل ۲-۴ ویژگی های ذکر شده سواحل استهلاکی را نشان می دهد.



۱۵

۲-۴. کاسپ های ساحلی

بسیاری از پدیده های مورفولوژیکی که در ناحیه ی سواش رخ می دهد، به دلیل جریان های با انرژی بالا در این ناحیه است. این مطالعه بر روی پدیده ی یکنواخت ساحلی یعنی کاسپ ها تمرکز کرده است. کاسپ ها پدیده های قوسی هلالی با فواصل منظم از یکدیگر هستند که در سطح ساحلی^{۹۳} شکل می گیرند و بیشتر مواقع در سواحل شیب دار با رسوبات دانه درشت دیده می شوند (مسلینک و همکاران، ۱۹۹۷؛ مسلینک و پتیاراچی^{۹۳}، ۱۹۹۸). فواصل بین کاسپ ها از چند سانتیمتر تا حدود ۴۰ متر دیده می شود (لونگ هیگنز و پارکین^{۳۸}، ۱۹۶۲؛ هلند و هولمن^{۳۹}، ۱۹۹۶). کاسپ های بسیار بزرگ یا مگاکاسپ ها^{۴۰} ابعاد بسیار بزرگتر و فواصل بیشتر از ۵۷ متر دارند. کاسپ های بزرگ به وسیله جریان های ناحیه شکست و نه با حرکات ناحیه ی سواش شکل می گیرند (اینمان و گزا، ۱۹۸۲؛ کالوت و همکاران^{۱۹}، ۲۰۰۵).

طیف وسیعی از تئوری های متناقض برای شکل گیری، پیکربندی و حفظ کاسپ های طبیعی ساحلی مطرح شده است در واقع هر ایده در خصوص کاسپ ها که در مطالعاتی مطرح شده در تحقیقات دیگری نقض شده است (راسل و مک اینتایر، ۱۹۶۵). که عبارتند از:

۱. اثرات رسوب گذاری و فرسایش

کاسپ ها ویژگی های باقیمانده از یک فرآیند فرسایشی می باشند (جانسون^{۴۲}، ۱۹۱۹؛ اوانس^{۴۳}، ۱۹۳۸؛ آلن و همکاران^{۴۴}، ۱۹۹۶). کاسپ ها ویژگی های پدیدار شده در اثر رشد رسوبی میباشند (کوونن^{۴۵}، ۱۹۴۸؛ راسل و مک اینتایر^{۴۴}، ۱۹۶۵؛ هوما و سونو^{۴۴}، ۱۹۶۲؛ سالنگر^{۸۸}، ۱۹۷۹؛ ساتو و همکاران^{۴۹}، ۱۹۸۰؛ تاکدا و سونامورا^{۵۰}، ۱۹۸۳؛ کوکو و همکاران^{۵۱}، ۲۰۰۰؛ مسلینک و همکاران، ۲۰۰۴). و یا کاسپ

⁵⁰Takeda and Sunamura ⁵¹ Coco et al ⁴⁵ Kuenen
 ⁴⁶ Russell and Mcintire
 ⁴⁷ Hom-ma and Sonu
 ⁴⁸ Sallenger
 ⁴⁹ Sato et al

⁴⁰ Megacusps
⁴¹ Calvete et al
⁴² Johnson
⁴³Evans
⁴⁴ Allen et al

³⁶ Beach face
 ³⁷ Pattiaratchi

³⁸ Longuet-Higgins and

Parkin ³⁹ Holland and Holman
62 Worrall 63 Flemming 64 Otvos 65 Pruszak et al 66 Garnier et al

67 Birrien et al 68 Antia 69 Sanchez et al

گردش آب با مورفولوژی کاسپ توسط جریانی که از شاخ به فرورفتگی می رود در ارتباط است (بگنولد⁴⁷، ۱۹۴۰؛ دین و مورمایر ^{۵۸}، ۱۹۸۰؛ اینمان و گزا، ۱۹۸۲؛ مسلینک و پتیاراتچی، ۱۹۸۰). و یا از فرورفتگی

به شاخ کاسپ (کوونن، ۱۹۴۸؛ مسلینک و یتیاراتچی، ۱۹۹۸؛ ویلیامز^{۵۹}، ۲۰۱۰). فواصل كاسب ها منظم است (كومار ^{.2}، ۱۹۷۳). و يا غيرمنظم است (اوانس، ۱۹۳۸؛ دوبوا^{(۶}، ۱۹۷۸). تفاوت بافت خاک بین شاخ و فرو رفتگی وجود دارد (کوونن , ۱۹۴۸ ; راسل و مک اینتایر , ۱۹۶۵؛ وورال^{۶۲}، ۱۹۶۹؛ کومار، ۱۹۷۳؛ ویلیامز، ۲۰۱۰). یا وجود ندارد (فلمینگ^{۳۲}، ۱۹۶۴؛ اتووس^{۶۲}، ۱۹۶۴؛ دین و مورمایر، ۱۹۸۰).

ها عوارض به وجود آمده از فرآیند های فرسایشی و رشد رسوبی می باشند (داد و همکاران^{۵۲}، ۲۰۰۸؛

آلمار و همکاران^{۵۳}، ۲۰۰۸؛ وسدوکاس^{۵۴}، ۲۰۱۲؛ پوآیت^{۵۵}، ۲۰۱۴؛ سنچال و همکاران^{۵۶}، ۲۰۱۴).

وجود کاسپ های بزرگ به شکل گیری تپه های ماسه ای مربوط است (هوما و سونو، ۱۹۶۲؛ پروسزاک و همکاران⁶، ۲۰۰۸؛ گارنیر و همکاران^۶، ۲۰۱۰؛ بیرین و همکاران^{۷۷}، ۲۰۱۳) کاسپ ها در بیشتر مواقع در سواحل انعکاسی وجود دارند (آنتیا^۶٬ ۱۹۸۹؛ هلند، ۱۹۹۸؛ داد و همکاران،

 $(7 \cdot \cdot \lambda)$

۳. اثرات هیدرودینامیک

۲. اثرات مورفولوژیک

کاسپ ها در شرایط امواج با انرژی زیاد توسعه مییابند (هلند، ۱۹۹۸؛ سانچز و همکاران^{۴۹}، ۲۰۰۸؛ بیرین و همکاران، ۲۰۱۳؛ پوآیت و همکاران، ۲۰۱۴). و یا در شرایط آرام بهتر شکل می گیرند (آنتیا، .(1919

كاسب ها تحت تاثير امواج ورودي موازي ساحل توسعه مي يابند (جانسون، ١٩١٩؛ لونگ هيگنز و

57 Bagnold

⁵⁹ Williams

60 Komar

61 Dubois

58 Dean and Maurmeier

52 Dodd et al

53 Almar et al 54 Vousdoukas

56 Senechal et al

55 Poate

71 Feedback

پارکین، ۱۹۶۲؛ راسل و مک اینتایر، ۱۹۶۵). همچنین رشد کاسپ ها با زاویه شکست موج ورودی نرمال مرتبط میباشد (هلند، ۱۹۹۸؛ وسدوکاس، ۲۰۱۱؛ آیدیر و همکاران ^{۷۰}، ۲۰۱۴). و یا با موج ورودی مورب مرتبط است (اوانس، ۱۹۳۸؛ اتووس، ۱۹۶۴؛ وورال، ۱۹۶۹).

بازخورد^{۱۷} مورفودینامیکی نسبت به نیروهای هیدرودینامیکی نقش برجسته تری دارد (مسلینک و همکاران، ۱۹۹۷؛ پوآیت و همکاران، ۲۰۱۴). و یا هیدرودینامیک نقش مهم تری دارد (سیریانو و همکاران^{۷۷}، ۲۰۰۵).

جزرومد روی شکل گیری کاسپ ها موثر است (ساتو و همکاران، ۱۹۸۰؛ کوکو و همکاران، ۲۰۰۴؛ مسلینک و همکاران، ۲۰۰۴؛ پروسزاک و همکاران، ۲۰۰۸؛ وسدوکاس، ۲۰۱۱).

با وجود مجموعه ی آشکاری از دیدگاه های متضاد، به نظر می رسد که بسیاری از سردرگمی ها در مطالعات تا حد زیادی ناشی از ماهیت توصیفی و کیفی این مطالعات و بررسی ها می باشد (مسلینک و همکاران، ۱۹۹۷).

اگرچه توافق کلی درمورد شرایط گردش سواش مرتبط با تشکیل کاسپ ها ایجاد شده است اما هنوز هم نظرات متفاوتی در مورد جزییات خاصی از فرآیند شکل گیری کاسپ وجود دارد. مورفولوژی کاسپ ساحلی معمولا با شرایط موج انعکاسی، شیب نسبتا تند ساحل و امواج ورودی نرمال که می توانند شکست از نوع ریزشی و یا لغزشی^{۲۷} داشته باشند، همراه می باشند و همچنین ذکر شده است که در سواحل دانه درشت شیب دار به خوبی تشکیل می شوند (لونگ هیگنز و پارکین، ۱۹۶۲؛ سالنگر، ۱۹۷۹؛ دین و مورمایر، ۱۹۸۰؛ هلند و هولمن، ۱۹۹۶؛ مسلینک و همکاران، ۱۹۹۷؛ مسلینک و پتیاراتچی، ۱۹۹۸؛ کوکو و همکاران، ۲۰۰۰).

بسیاری از مطالعات گذشته تایید کرده است که کاسپ های ساحلی با الگوی گردش سواش توسعه و حفظ می شوند (دین و مورمایر، ۱۹۸۰؛ مسلینک و همکاران، ۱۹۹۷؛ مسلینک و پتیاراتچی، ۱۹۹۸؛ داد و همکاران، ۲۰۰۸)

۲-۵. تشکیل کاسپ های ساحلی

پنج الگوی سواش که مرتبط با وقوع کاسپهای ساحلی است وجود دارد. این حرکات شامل ۱- حرکت نوسانی سواش ۲- حرکت سواش که از شاخها واگرا می شود. ۳- حرکت سواش که در شاخ همگرا می شود. ۴- حرکت سواش به صورت رفت و برگشت. ۵- جت سواش (مسلینک و پتیاراتچی، ۱۹۹۸). که این الگوها در شکل ۲-۵ نشان داده شده است.



شکل(۲-۵)، انواع الگوهای گردش سواش مرتبط با مورفولوژی کاسپ ساحلی(مسلینک و پتیاراچی، ۱۹۹۸)

سه نوع اول در شرایط معمولی آب و هوا و دونوع آخر در طول طوفان رخ می دهند. از این میان، مهم ترین الگوی جریان سواش موثر بر توسعه ی کاسپ، جریان واگرایی شاخ است یعنی مطابق شکل ۲–۵ مورد دوم، بالاروی موج وقتی به شاخ کاسپ می رسد به دو جهت واگرا شده و وارد فرورفتگی کاسپ می شود (مسلینک و همکاران، ۱۹۹۷؛ کوکو و همکاران، ۲۰۰۰). در نتیجه ی این الگوی جریانی، رسوبات در شاخ کاسپ ته نشین شده و شیب شاخ تندتر می شود. از سوی دیگر رسوبات از ناحیه ی فرورفتگی شسته شده به سمت فراساحل رفته و شیب ناحیه ی فرورفتگی ملایم تر می شود (دین و مورمایر، ۱۹۸۰؛ مسلینک، ۱۹۹۹).

همانطور که ذکر گردید، دیدگاه ها در مکانیزم های منجر به تولید کاسپ ها متفاوت بوده است اما به طور کلی دو نظریه زیر، برای توصیف شکل گیری و رفتار کاسپ ساحلی پذیرفته شده اند:

 ۱. نظریهی موج لبهای ایستاده^{۹۴} (گزا و اینمان، ۱۹۷۵) ۲. نظریهی خودتشکیل یا خودسامان^{۷۵} (ورنر و فینک^{۷۶}، ۱۹۹۳)

۲-۵-۲ تئوری موج لبه ای

بر اساس تئوری امواج لبه ای، امواج لبه ای امواج پریودیک با بسامد کم است که موازی ساحل حرکت می کند و نزدیک ساحل به دلیل انکسار به دام می افتد (سالنگر، ۱۹۷۹). وقتی دو موج لبه ای از دو جهت مخالف گرد هم می آیند موج لبه ای ایستاده تشکیل می شود. هنگامی که یک موج لبه ای ایستاده بر روی یک موج ورودی نرمال انطباق یابد، تغییرات سیستماتیک موازی ساحل در ارتفاع سواش ایجاد می شود و در نتیجه یک اختلال فرسایشی منظم منجر به تشکیل الگوی دندانه ای کاسپ ها می شود(گزا و اینمان، ۱۹۷۵). الگوهای حرکتی امواج لبه ای به صورت نقاط گره^{۷۷} و غیرگره^{۷۸} تعریف می شود. نقاط غیر گره نقاطی است که در آن بالاروی موج^{۷۹} برای چرخه های متوالی آبشستگی، به صورت متناوب حداکثر و حداقل است و در پی آن یک سری قله و فرورفتگی وجود دارد. بین نقاط غیرگره، نقاط گره قرار دارند که در آن بالاروی در چرخه های متناوب آبشستگی تغییری نمیکند یعنی حرکت عمودی در آنها وجود ندارد. (کوکو، ۱۹۹۹؛ گزا و اینمان، ۱۹۷۵). یک موج ورودی دارای ارتفاع تقريبا يكنواختي است اما زماني كه با پيك موج لبه ايستاده برخورد كند ارتفاع موج ورودي زياد و اگر با قعر برخورد کند ارتفاع موج ورودی کم می شود. در مناطقی که ارتفاع موج افزایش یافته است موج قدرت بیشتری داشته و می تواند فرسایش بیشتری ایجاد کند که این مناطق به فرورفتگی کاسب ها منجر می شود. و برعکس مناطقی که ارتفاع موج کاهش یافته قدرت موج کمتر و در نتیجه فرسایش کمتر و شاخ ها تشکیل می شوند (گزا و اینمان، ۱۹۷۵).

دو نوع موج لبه ای که به طور کلی در شکل گیری کاسپ ساحلی دخیل است شامل امواج لبه ای فرعی

۲.

76 Werner and Fink 77 Node

75 The Self-organisation model

78 Antinode 79 Runup

هارمونیکی^۸ و امواج لبه ای همزمان^{۸۱} می باشد. اگر پریود موج ورودی با پریود موج لبه ای یکسان باشد امواج همزمان شناخته می شوند اما این امواج بسیار نادرند. امواج هارمونیکی پریود موجی دو برابر موج ورودی دارند (گزا و اینمان، ۱۹۷۵)

روابط ۲-۴ و ۲-۵ برای فواصل کاسپ ها ارائه شده است (اینمان و گزا، ۱۹۸۲)

$$\lambda_c = \frac{g}{\pi} T^2 \tan \beta \tag{(f-T)}$$

$$\lambda_c = \frac{g}{2\pi} T^2 \tan\beta$$
 (Δ-٢)

در این روابط، T پریود موج ورودی ، $tan\beta$ شیب ساحل و g شتاب گرانشی است. رابطه اول برای امواج لبه ای فرعی هارمونیکی و رابطه دوم برای امواج لبه ای همزمان، می باشد. شکل ۲-۶ بالاروی حداکثر و فواصل کاسپ ها برای امواج لبه ای و نقاط گره و غیرگره را نشان می دهد.



برای امواج لبه ای فرعی هارمونیکی، شاخ ها با گره های موج لبه ای که در آنها گردش سواش حداقل است مرتبط اند و فرورفتگی ها با غیرگره های موج لبه ای که در آنها گردش سواش حداکثر است، ارتباط دارند. برای امواج لبه ای همزمان، شاخ ها و فرورفتگی ها در نقاط غیرگره موج لبه ای واقع شده اند (کوکو و همکاران، ۲۰۰۳).

⁸¹ Synchronous edge wave

⁸⁰ Sub-harmonic edge wave

امواج لبه ای، آشفتگی های متناوبی موازی با ساحل روی سطح اولیه ساحل ایجاد می کنند. پس از تشکیل اولین کاسپ ها، کاسپ ها دامنه موج لبه ای را "به واسطه ی از دست دادن انرژی موج" کم می کنند (گزا و اینمان، ۱۹۷۵؛ گزا و باون^{۲۸}، ۱۹۸۱). بنابراین این فرآیند خود محدود کننده است اما رشد کاسپ ها نیازمند بازخورد مثبت بین موج ورودی و توپوگرافی بستر برای حفظ الگوی دندانه ای می باشد (اینمان و گزا، ۱۹۸۲).

۲-۵-۲. تئوری خود تشکیل

مدل خودتشکیل توسط ورنر و فینک (۱۹۹۳) مطرح شد و پس از آن توسط کوکو و همکاران (۲۰۰۰،۲۰۰۳) توسعه یافت. ورنر و فینک با استفاده از یک مدل کامپیوتری که شامل هیدرودینامیک آبشستگی، انتقال رسوب و تغییرات مورفولوژیکی بود، ظهور اشکال ریتمیک و منظم کاسپ ها را نشان دادند. نظریه خودتشکیل دو نکته اصلی دارد:

بازخورد مثبت بین مورفولوژی ساحل و جریان آب، الگو های پستی و بلندی ایجاد می کند. مناطق با عوارض پایین تر به ذرات آب سرعت می بخشند درنتیجه آب انرژی بیشتری دارد و منطقه بیشتر فرسوده می شود (مسلینک و همکاران، ۱۹۹۷). بازخورد مثبت فرسایش را بیشتر می کند که باعث به وجود آمدن فرورفتگی می شود. بازخورد مثبت فرآیندی است که ناپایداری موجود را افزایش می دهد و موجب نمود ویژگی های فرآیند های خودتشکیل می شود (کوکو، ۱۹۹۹).

بازخورد منفی مقدار فرسایش و رسوب گذاری خالص را کاهش می دهد. وقتی موج با شاخ برخورد می کند انرژی از دست می دهد و رسوبات ته نشین می شود. از دست دادن این رسوبات یک انرژی اضافی به آب می دهد که موجب برداشت رسوبات از فرورفتگی در بازگشت موج می شود (مسلینک و همکاران،۱۹۹۷). به بیان دیگر، رسوب گذاری در هنگام بالاروی روی مناطق توپوگرافی بلند رخ داده در حالی که فرسایش در هنگام پایین روی موج روی مناطق کوتاه تر اتفاق می افتد بنابراین مناطق کوتاه تر می توانند به فرورفتگی ها و مناطق بلندتر به شاخ ها تکامل یابند. بازخورد منفی فرآیندی است که مانع از دور شدن سیستم از یک حالت تعادل به وسیله ی استهلاک آشفتگی های جزئی می شود (کوکو، ۱۹۹۹). نتایج حاصل از مدل خودتشکیل پیش بینی می کند که:

$$\lambda_c = fS_e \tag{(F-T)}$$

که در آن A_c فواصل بین کاسپ ها ، S_e گردش سواش و f یک پارامتر هندسی در محدوده ی ۱ تا ۳ ۳ است (ورنر و فینک ، ۱۹۹۳). این رابطه با دیتاهای اندازه گیری شده از کاسپ ها نیز تایید شد (دین و مورمایر، ۱۹۸۰). پارامتر ثابت f مقادیر ۱/۵۷ و ۱/۶۳ محاسبه شد (مسلینک، ۱۹۹۹؛ کوکو و همکاران، ۲۰۰۰).

در طول مطالعات و بررسی ها، ارتباطی محکم بین فواصل کاسپ ها و طول گردش سواش (فاصله افقی بین بلندترین و کوتاه ترین موقعیت از جلوآمدگی سواش در سواحل) یافته شد که از نظریهی خودتشکیل حمایت می کرد همچنین مشخص شد شکل گیری کاسپ ها با تئوری خودتشکیل تطابق بهتری دارد (لونگ هیگنز و پارکین، ۱۹۶۲؛ دین و مورمایر، ۱۹۸۰ ؛ هلند و هولمن، ۱۹۹۶؛ مسلینک، ۱۹۹۹؛ کوکو، ۱۹۹۹؛ کوکو و همکاران، ۲۰۰۰؛ کوکو و همکاران، ۲۰۰۳؛ مسلینک و همکاران، ۲۰۰۴؛ کوکو و همکاران، ۲۰۰۴؛ آلمار و همکاران، ۲۰۰۸؛ ونگالن و همکاران^{۸۲} (۲۰۱۱، شکل ۲–۷ مقادیر فاصله ی بین کاسپ ها و طول گردش سواش را نشان می دهد.



شکل(۲-۲)، مقادیر فاصله ی بین کاسپها (λ) و طول گردش سواش (As) (استرالیا، ساحل مین۲۱۶،^{۸۴})

⁸⁴ Main Beach

از طرف دیگر، مطالعات دیگری نشان داد که فواصل و شکل گیری کاسپ ها با تئوری موج لبه ای ارتباط دارند (کانکو^{۵۵}، ۱۹۷۸؛ سالنگر، ۱۹۷۹؛ اینمان و گزا، ۱۹۸۲؛ هانتلی^۹^۹و باون ، ۱۹۸۴؛ کانکو، ۱۹۸۵؛ هلند، ۱۹۹۵؛ سیریانو و همکاران، ۲۰۰۵؛ داد و همکاران، ۲۰۰۸؛ بناونت و همکاران^{۷۸}، ۲۰۱۱) همچنین فواصل کاسپ ها وقتی منظم تر است که تقریبا نصف طول موج موج لبه ای باشند (اینمان و گزا، ۱۹۸۲؛ کانکو، ۱۹۸۵؛ کانکو، ۱۹۸۷).

اما سایر بررسی ها نشان داد هر دو نظریه در شکل گیری و فواصل کاسپ ها قابل قبول هستند (آلن و همکاران، ۱۹۹۶؛ کوکو و همکاران،۱۹۹۹؛ وسدوکاس، ۲۰۱۱).

۲-۶ جمع بندی

با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه ی کاسپ ها، مشاهده می شود پایه ی اصلی مطالعات بررسی عملکرد دو تئوری پذیرفته شده برای شکل گیری کاسپ ها می باشد. به طور کلی پارامترهای دخیل در شکل گیری کاسپ ها، شیب ساحل، مقادیر بالاروی موج و نوع و مشخصات موج منطقه و پارامترهای اثرگذار بر اندازه و فواصل کاسپ ها مطابق تئوری موج لبه ای، پریود موج و شیب ساحل و مطابق تئوری خودتشکیل، طول سواش می باشد. بنابراین در این پژوهش، عملکرد تئوری های موج لبه ای و خودتشکیل بر شکل گیری کاسپ ها بررسی شده و پارامترهای اثرگذار بر آن کنترل می شود.

86 Huntley

24



رودیک

٣



۳-۱. وضعیت محل مورد مطالعه

منطقه رودیک در دهستان نگور از بخش دشتیاری، در شهرستان چابهار استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. نقطه ساحلی رودیک دارای طول جغرافیایی "E ۶۱°۰۴'۴۷ و عرض جغرافیایی "۴۰ '۱۱ N ۲۵°۱۱ میباشد. این منطقه از شمال به دهستان شم، از شرق به دهستان بریس، از غرب به دهستان کچو و از جنوب به دریای عمان محدود می گردد. شکل ۳-۱ موقعیت نقطه رودیک در سواحل دریای عمان را نشان می دهد.



شکل (۳-۱)، موقعیت حدودی نقطه رودیک در سواحل دریای عمان(Google Earth)

به لحاظ اهمیت مکانی در ۴۰ کیلومتری شهرستان چابهار واقع شده و بندر بریس و بندر رمین نزدیکترین بنادر معروف به بندر رودیک میباشند که از لحاظ موقعیت، نقطه رودیک در حدود ۱۳ کیلومتری غرب بندر بریس و حدود ۳۵ کیلومتری شرق بندر رمین واقع شده است. از عوارض طبیعی موجود در محدوده میتوان به تعدادی آبراهه فصلی بزرگ در خط ساحلی بین بندر رمین و نقطه رودیک اشاره کرد. نزدیکترین آبراهه فصلی در فاصله ۶۰۰ متری غرب نقطه رودیک قرار دارد. در شکل ۳-۲ بنادر بریس و رمین به عنوان مهمترین سازه دریایی احداث شده در نزدیکی ساحل رودیک نشان داده شده است.



شکل (۲-۳)، موقعیت بنادر بریس و رمین نسبت به نقطه رودیک(Google Earth)

سواحل مورد مطالعه در منطقه ی رودیک جزو سواحل مونسونی^۱ هستند. در این نوع از سواحل امواج مونسونی(بخش۳–۱–۴) و امواج دورآ^۲ با قرار گرفتن در محدوده ی ارتفاع موج ۱ تا ۲ متر برای امواج کوچک و محدوده ی ارتفاع موج کمتر از ۳ متر برای امواج بزرگ، دسته بندی می شوند. عمق آب ۳ تا ۴ متر بوده و به ندرت از این مقدار فراتر می رود. این محیط های ساحلی اغلب در محیط هایی با عرضه ی فراوان ماسه و رسوب از رودخانه های گرمسیری رخ می دهد. تر کیب رسوبات موجود و شرایط اقلیمی نسبتاً ثابت امواج، موجب تشکیل ساحل ماسه ای با عرض سطحی کمتر از ۳۰۰ متر می شوند. ساحل و نسبتاً ثابت امواج، موجب تشکیل ساحل ماسه ای با عرض سطحی کمتر از ۳۰۰ متر می شود. ساحل و ناگهانی به گل و لای تغییر پیدا می کند و شیب بستر به طور قابل توجهی ملایم تر می شود. مواد بستر ناگهانی به گل و لای تغییر پیدا می کند و شیب بستر به طور قابل توجهی ملایم تر می شود. مواد بستر موج مونسونی فصلی است و امواج در دوره ی مونسونی خشن می باشند و آب در بسیاری از دوره های در بخش فراساحل، معلق می باشند و تنها در زمان دوره ی مونسونی به ساحل منتقل می شود. اقلیم موج مونسونی فصلی است و امواج در دوره ی مونسونی خشن می باشند و آب در بسیاری از دوره های مونسونی، گل آلود است. در صورتی که منابع شن و ماسه برای ورود به ساحل وجود نداشته باشد، امواج مونسونی موجب فرسایش ساحل می شوند. از دیگر مشکلات مربوط به این نواحی ساحلی، رسوب در بنادر و بسته شدن دهانه ی رودخانه ها با توجه به الگوی فصلی امواج و شرایط بارش می باشد (مانگور³،

(7..4

¹ Monson ² Swell

³ Well-sorted medium sand ⁴ Mangor

۳-۲. اطلاعات امواج

پروژه پیمایشی و مطالعات مدل سازی بخشی از سواحل استان سیتان و بلوچستان توسط سازمان بنادر و دریانوردی^۵ تعریف شده و برای یک دوره آماری ۲۳ ساله (از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷) توسط موسسه جهاد تحقیقات آب و انرژی^۶ و شرکت بیرد کانادا^۷ در محدوده سواحل استان سیستان و بلوچستان در دریای عمان انجام شده است. گلموج در شکل ۳–۳ ارائه شده است که با توجه به جهت امواج و ارتفاع داده های جدول۳–۱رسم گردید. گلموج جهت ۲۰۰ درجه را نشان می دهد که ویژگی آن عمود بودن جهت گلموج بر ساحل رودیک میباشد.



شکل (۳-۳)، گلموج منطقه ی رودیک

پراکندگی داده های بویه ی نزدیک بندر رودیک که از آنها برای رسم گلموج استفاده شده است مطابق جدول ۳-۱ می باشد. در این جدول اطلاعات امواج ثبت شده بر اساس ارتفاع موج و جهت امواج برحسب درجه ذکر شده است همچنین مطابق جدول ۳-۲ پراکندگی اطلاعات امواج با توجه به ارتفاع موج مشخصه بر حسب متر و پریود آن ها بر حسب ثانیه مشاهده می شود.

 7 W.F BAIRD & ASSOCIATES COASTAL ENGINEERS LTD

Dir/Hs	< 0.25	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3
< 22.5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22.5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
112.5	479	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	961	943	209	81	16	0	0	0	0	0	0	0	0
157.5	2592	2290	783	237	53	25	6	6	6	0	0	0	0
180	3970	8858	6325	4655	4651	4902	3795	2842	1893	896	294	91	0
202.5	411	1910	2312	1173	465	233	64	34	40	19	2	0	0
225	119	913	1380	990	471	232	119	32	21	6	1	0	0
247.5	50	608	939	753	405	169	39	12	2	0	0	0	0
270	106	26	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
292.5	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول (۳-۱)، اطلاعات امواج برای رسم گلموج در ساحل رودیک، فواصل ۳ ساعته از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷

جدول (۳-۲)، پراکندگی اطلاعات امواج در ساحل رودیک، فواصل ۳ ساعته از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷

T/Hs	< 0.25	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75
< 1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	89	89	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	499	546	614	377	11	0	0	0	0	0	0	0
4	809	1875	2253	1263	442	82	9	0	0	0	0	0
5	511	817	802	727	472	266	102	8	3	0	0	0
6	186	371	365	316	328	130	45	27	22	1	0	0
7	129	235	415	254	287	293	72	19	8	6	1	0
8	726	533	561	957	1158	754	385	126	29	1	0	0
9	2027	2373	958	769	1485	2564	1823	955	395	116	44	28
10	1651	2720	1670	927	642	680	1005	1455	1220	520	124	22
11	958	1986	1398	761	390	288	190	172	191	218	84	32
12	489	1410	973	450	249	111	94	32	19	5	0	4
13	272	1058	731	363	225	135	106	51	14	14	6	1
14	176	863	579	260	157	98	93	52	27	17	17	2
15	112	418	393	272	136	93	56	19	20	13	12	2
16	44	132	108	130	58	57	39	6	6	7	7	0
17	11	82	66	39	16	5	4	4	3	3	2	0
18	4	27	26	21	5	5	0	0	3	0	0	0
19	4	20	5	3	0	0	0	0	2	0	0	0
20	0	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

۳-۳. طوفان های عمده سواحل مکران و بندر رودیک

در این منطقه دو طوفان اصلی در طول سال رخ می دهد که به ترتیب طوفان های اقیانوسی و مونسونی می باشند. طوفان های مونسونی جریان هوای برخاسته در روی شبه قاره هند، محیطی با فشار کم را ایجاد می کند. این هوا نخست منبسط شده سپس سرد می شود، آنگاه رطوبتی را که با خود حمل می کند به ابر و سرانجام باران تبدیل می شود. طوفان های مونسونی در سواحل مکران به دلیل همجواری با اقیانوس هند هر ساله در اواخر خرداد آغاز تا اوایل مهر ادامه می یابد این شرایط در برخی از روزهای ماه مرداد به حدی شدت می یابد که علاوه بر بنادر جنوبی استان، شهرهای مرکزی سیستان و بلوچستان نیز متاثر از این پدیده جوی می شوند، تلاطم دریای عمان، افزایش موج، افزایش رطوبت هوا، باران های موسمی، وزش تندبادها را می توان از مشخصات پدیده مونسون در سیستان و بلوچستان عنوان کرد(حبیبی، ۱۳۷۹). طوفان های مونسونی عمدتا دارای ارتفاع امواجی بین ۱/۵۰ تا ۲/۷۵ متر و پریودی در حدود ۱۳

طوفان های اقیانوسی از قطب جنوب و در مسیر اقیانوس هند آغاز شده و با رسیدن به سواحل مکران شرایط امواج بلند را پیدا کرده که دارای طول موج بلند و پریودهای بالا می باشند ارتفاع امواج این طوفان ها از ۲/۲۵ تا ۱/۰۰ متر تغییر کرده و پریود آن ها از ۱۶ تا ۱۸ ثانیه تغییر می کند. در جدول ۳-۲ نواحی زرد و قرمز مشخص شده به ترتیب محدوده امواج مونسون و اقیانوسی می باشند.

۴-۳. اطلاعات مورفولوژی و هیدروگرافی

ساحل رودیک ساختاری ماسه ای دارد. جنس مصالح بستر مقابل ساحل ماسه بادی بوده و انتظار می رود که جنس بستر دریا در محدوده نزدیکی ساحل نیز همین گونه باشد. وضعیت و ساختار خط ساحلی تا چند کیلومتر به سمت شرق و غرب تقریباً یکسان است. شکل ۳–۴ نمایی از شکل خط ساحلی در منطقه مورد نظر و نمونه خاک منطقه نشان داده شده است.



شکل (۳-۴)، نمایی از شکل خط ساحل در نقطه رودیک و نمونه خاک منطقه (گزارش شرکت هندسه پارس،۱۳۹۱)

بر اساس مشاهدات از ساحل منطقه، جنس مصالح بستر از نوع ماسه با قطر متوسط بوده و در برخی نقاط در طول ساحل، مصالح درشتدانه تر نیز به چشم میخورد.

نتایج آزمایش تعیین دانه بندی نشان میدهد که قطر متوسط ذرات رسوب D_{50} (یعنی قطری که ۵۰٪ دانه ها از آن ریزتر یا درشت ترند) n/2میلیمتر میباشد (گزارش مطالعات طراحی موج شکن بندر رودیک، شرکت هندسه پارس،۱۳۹۱).

مطابق اندازه ی ذرات D_{50} ساحل رودیک و مشخصات ناحیه ی ساحلی، سرعت سقوط ذرات برای تعیین نوع ساحل و پارامتر امگا، از رابطه ی -1 محاسبه می گردد.

$$W_{s} = \frac{10\nu}{D_{50}} \left[\left(1 + \frac{0.01(s-1)gD_{50}^{3}}{\nu^{2}} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \qquad 0.1 < D_{50} < 1mm$$
(1-7)

در معادلات بالا، $s \in D_{50}$ قطر متوسط ذرات بستر دریا که مقدار آن ۲/۶۵ است، D_{50} قطر متوسط ذرات بستر بر حسب متر و U چگالی سینماتیکی آب دریا که مقدار آن $^{s-1}$ است، می باشد. مقدار W_s برای ساحل رودیک $^{-1}$ بدست آمده است.

عوامل مختلفی در عدم تعادل فرآیندهای رسوبی این ناحیه وجود دارد که از آن جمله میتوان به عدم تعادل آورد رسوب رودخانهای ، عدم وجود رودخانه دائمی در بخش های غربی و مرکزی آن و ریزدانه بودن بار رسوبی کلیه آبراهه های منتهی به این منطقه اشاره کرد. علاوه بر عوامل یاد شده، میتوان به تأثیر عوامل هیدرودینامیکی همچون امواج بلند اقیانوسی بر فرسایش دیوارههای سنگی و سواحل ماسه ای و جریان های کرانه ای قدرتمند اشاره کرد. این مناطق بیشترین تأثیر را از امواج بلند اقیانوس هند می پذیرند. بنابراین رسوبات وارده از منشأهای مختلف کمتر فرصت ساحل سازی داشته و توسط جریان های برگشتی به آب های عمیق رانده می شوند (گزارش مطالعات طراحی موج شکن بندر رودیک، شرکت هندسه پارس،۱۳۹۱).

اطلاعات عمق محدوده مورد مطالعه (هیدرو گرافی) از مهم ترین اطلاعات پایه در پروژه محسوب می شود که علاوه بر کمک بر شناخت وضعیت موجود، پایه انجام مدل سازی های مختلف جریان، موج و رسوب در پروژه می باشد. اطلاعات هیدرو گرافی مربوط به این پروژه، از گزارش مطالعات و طراحی مراحل اول و دوم موج شکن رودیک می باشد که در شکل ۳–۵ مشاهده می شود (گزارش مطالعات طراحی موج شکن بندر رودیک، شرکت هندسه پارس،۱۳۹۱). هیدرو گرافی مورد نظر به طول تقریبا ۱/۸۰ کیلومتر و عرض ۴ کیلومتر نیمرخ عرضی در جهت عمود بر ساحل تا عمق ۸ متر ادامه دارد. شیب ساحل از بسیار ملایم نزدیک دریا شروع شده و تا عمق ۴ متری ادامه می یابد و سرانجام به شیب ملایم ۱:۶۰ می رسد.

		10
	د ۵۰ ۳۰۰ ۵۰۰ ۵۰	328
2018 CHC 11	The Let Market and the second s	
010 010	The second state at the se	11
		125 236 151 152 15
243 244 235 44		141 .12 (3)
	A B B B B B B B B B B B B B B B B B B B	
011	LEG MAS RES	ata 640 640
618 619 618 ·	and all all all all all all all all all al	
10 Ma. 40 10 10		120. 120. 120.
	الم المرد المراجع المراجع المراجع المراجع المراجع المواجع المواجع المواجع المراجع المراجع المراجع المراجع المراجع المراجع	
10 mar 100 100 100	and the set of the category of	
	the states and the second seco	1
22. 20. 20.2020,20.20.20. 20. 20.20. 21.20	المركب المركب والقالقان المواد والالفار والالفار والإلفار والمالك والمراكب المالي المركب ومقاطروه	
20	10 - 11 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12 -	
81. (L	424 - 54 - 64 - 64 - 64 - 64 - 64 - 64 - 6	- er-
·	the state of the s	12
the etc.	a all a all a a a a a a a a a a a a a a	-19
16. 14-	المتعاد تدينيك الدركين قدلة في مد مناه تعالم تعالم تعالم تعالم المعالم الما المن الما المعالم في الد في قد المراد	A
14. · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	AL BLOCK AL	14
	ور قد از قد الدكترك الحد الدكترك المحد المرقد والمتعالين الدائد الدائد الدائد الماليك المحد الدائد الدائد	
ويد قد	المحمد ولا معلم ولا معلم فلور فلود فلور ولا مراحل ولا مل والدالد علم وليهم فلوليها على المله المداد الما فلا فلا الملاقد	45
الد الد	1215 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12	.19
64 C	ورده المتدري المحرر المراجع المحرفة والمحافظ المحاف ا	10.
	the set of	13
	1. 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	.53
.55	10 12 12 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19	
44. 44	ور المرور المركز الله المركد المركز	-15
در لا	الاستعاد المراحة المراجب المحلول المراحين المراحين المحلوم والمعلومين المحلمة المراحين المراحين المراحين المراحين	.55
.st .st	كه له في فاركه قد قد قد قاله قاله قدم الدائم الد المحمد قد قد من فارك المقال الدائمية الدائم في قد قد الدائم الد	-53
.5 ⁶	الله عاد الدين المحلولة الله الله وله الد المالية الله والدكار الله الله الله الله الله الله الله ال	-51
- 44	الم	10
11 11	الم الله المالية المالية المراد المالي المواقع المراجع المالية المالة المالية ال	-40
41 44	24 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14	23
<i></i>	ما الله الله الله الله الله الله الله ال	-41
.45	144 (2. 24 442 1. 12 4. 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14	43
an a	ورقد من قد المركبة الدقيقة قد عند أنه منه المراجبة المراجبة المراجبة الدقية الدقية الدارية المراجبة المراجبة ال	43
دير دير	له قدائد في محمد بن الله عد قد له الله الله عليه تفاد المالية المركزة ا	44
دد د	ور قد قد المولد و الدور قد قد قد قد الله عن المريد الله الم المريد الله الم المريد قد المريد في المريد المالي المريد فلا المريد المالية الم	
A)	المرقد المرقد المرقد محارقة بي المراقبة المرقد المرقدية المريقة. ولا تعديد المركد المركد المركبة المرقد المرقد المرقد المر	-10
A1 A1	ويرتد مد ور ديرار هذار محمد محمد ويدور خداد مد ورد الم ويدود ويد وي ويدكه وي ويد ويدود ويد ويد ويد ويد ويد ويد وي	-7.3
44 64	1 4 4 4 4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	
44	20 AT 10 AT	.12
-19	" " " " " " " " " " " " " " " " " " "	-18
13	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	41.
.12 .13		-13
.18	10. 15 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 - 10 -	.1.
-14	المحدقة وأخذر وتربية للمرد المرتد التور الداد وتر فتد فتر فتد فاتور المراجلة والمراجلة والمناه المار والمحاد فالمانة فتر	
.17	21 41 41 41 41 41 41 41 41 41 41 41 41 41	.1.8
.15 .13	the first and the state of the	-19
4.	فقد الدقائل الداخل فد المدهد والمدقل التي المتعاد فالمعاد فله فلم المداخل فالود فله المله المالي فله الدائر الد	_13
54 562 SA	ور على مع ورفع ورفع المراجع الم	

شکل (۳–۵)، هیدروگرافی محدوده ساحل رودیک، در راستای موازی ساحل به طول ۴ کیلومتر و عمود بر ساحل ۱/۸۰ کیلومتر (گزارش شرکت هندسه پارس،۱۳۹۱)

۳-۴-۳. مشخصات ساحل بندر رودیک

مطابق طبقه بندی سواحل در فصل اول، سواحل بندر رودیک به دلیل طوفان هایی که در طول سال رخ می دهد از جمله امواج مونسونی و اقیانوسی می بایست در زمره سواحل موج حاکم قرار بگیرند البته برای این منظور اثر جزر و مد را هم باید لحاظ نمود که مطابق شکل ۳–۶ محدوده تقسیم بندی سواحل قابل مشاهده است (آیین نامه مهندسی سواحل آمریکا ۸CEM، ۲۰۱۲).



شكل (۳-۶)، طبقه بندى هيدروديناميكي سواحل (آيين نامه مهندسي سواحل آمريكا CEM، ۲۰۱۲)

برای تعیین وضعیت ساحل رودیک اطلاعات ترازی جزر و مد مطابق جدول ۳-۳ مشاهده می شود:

ار تفاع نسبت به تراز CD متر
2/44
1/99
1/84
١/٣٣
٠/٧۵

جدول (۳-۳)، جدول تغییرات تراز جزر و مدی بندر رودیک(شرکت دریا ترسیم، ۱۳۹۱)

⁸ Coastal Engineering Manual

برای تعیین وضعیت ساحل رودیک نیاز به محاسبه میانگین دامنه جزر و مدی مطابق رابطه ۳-۲ می باشد:

$$\overline{H}_{mean-Tidalrange} = MLHW - MHLW = 0.76m \tag{(Y-Y)}$$

برای تعیین وضعیت ساحل رودیک به میانگین ارتفاع موج هم نیاز می باشد. با توجه به توضیحاتی که در بخش امواج ذکر شد، اطلاعات بویه موج نگار بر حسب ارتفاع موج مشخصه H_s می باشد که باید به ارتفاع میانگین امواج، \overline{H}_{mean} تبدیل شود که بدین منظور ابتدا از مجموع داده های ثبت شده ارتفاع موج مشخصه میانگین امواج، \overline{H}_{mean} تبدیل شود که بدین منظور ابتدا از مجموع داده های ثبت شده ارتفاع موج مشخصه میانگین امواج، ساحل رودیک به می باشد که باید به ارتفاع موج مشخصه میانگین امواج دکر شد، اطلاعات بویه موج نگار بر حسب ارتفاع موج مشخصه میانگین امواج، می باشد که باید به مربع میانگین امواج، آلم می باشد که باید به منظور ابتدا از مجموع داده مای ثبت شده ارتفاع موج مشخصه میانگین امواج، آلمواجه باید به شود که بدین منظور ابتدا از مجموع داده مای ثبت شده ارتفاع موج مشخصه میانگین امواج، آلمواجه موج مشخصه میانگین امواجه می شود. با محاسبات انجام شده می نگین ارتفاع موج مشخصه میانگین ارتفاع موج مشده ارتفاع موج مشخصه می از موج موج مشخصه می نگرین ارتفاع موج موج مشخصه موج مشخصه می شود که بدین مر می مرابطه م

$$\overline{H}_{mean} = 0.626\overline{H}_{s} \to \overline{H}_{mean} = 0.60m \tag{(\mathbf{T}-\mathbf{T})}$$

مطابق شکل ۳-۶، مشاهده می شود که با تلاقی ارتفاع موج میانگین و دامنه جزر و مد، ساحل رودیک در محدوده سواحل امواج حاکم قرار می گیرد.

در بحث انرژی سواحل مطابق با شکل۳–۷ (سورنسن^۹، ۲۰۰۶) مشاهده می شود که انرژی ساحل با توجه به دانه بندی D₅₀ بر حسب میلیمتر و شیب ساحل تعیین می گردد. شیب ساحل رودیک در محدوده ساحل برابر با ۱:۶۰ می باشد و D₅₀ نیز مطابق اطلاعات همین فصل برابر ۰/۳۰ میلیمتر است. بنابراین با تلاقی آن ها وضعیت مشخص شد که نشان دهنده سواحل پر انرژی می باشد.



9 Sorensen

طبقه بندی ساحل رودیک به لحاظ فرسایشی با پارامتر Ω بیان می شود که مطابق فصل دوم، سواحل انعکاسی مستعد تشکیل کاسپ می باشند. از آنجایی که با مشاهده میدانی مشخص می شود ساحل رودیک دارای کاسپ است پس قاعدتا می بایست ساحل از نوع سواحل انعکاسی باشد یا در حالت دیگر سواحل بینابینی باشد که توانایی تشکیل کاسپ را دارا می باشند. درباره پارامتر Ω در ساحل رودیک بعد از بررسی نتایج مدل سازی ها در فصل چهارم صحبت خواهد شد.

۳-۵. جمع بندی

مختصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه معرفی و جزئیات آن بیان شد سپس جهت غالب موج منطقه یعنی گلموج منطقه رسم شد که زاویه غالب آن ۲۰۰ درجه است که با تقریب بسیار نزدیک عمود بر ساحل رودیک می باشد. همچنین شرایط دانه بندی و خاک منطقه طرح نشان می دهد D_{50} حدود 0.7۰ میلیمتر می باشد. طوفان های غالب منطقه ی طرح، طوفان های اقیانوسی و مونسونی می باشند. اطلاعات موج منقطه با آنالیز پراکندگی بدست آمد که از آن در جهت انتخاب سناریو های مدل سازی استفاده خواهد شد. طبقه بندی ساحل رودیک انجام شد بر این اساس این منطقه زیر مجموعه سواحل امواج حاکم است همچنین بررسی صورت گرفته نشان می دهد ساحل رودیک در زمره سواحل پر انرژی قرار دارد.





۴–۱.پیشگفتار

از آنجایی که پدیده های دریایی دارای پیچیدگی های بسیاری هستند، برای بررسی و پیش بینی عوامل موثر بر الگوهای حاکم دریا در مقیاس بزرگ می توان با مطالعات میدانی درازمدت با صرف هزینه های بسیار و یا استفاده از نرم افزارهای قدرتمند روش های عددی همانند (DHI (DHI) م DElft 3D ، MIKE و ... بهره برد. در این پژوهش از نرم افزار MIKE برای مدل سازی استفاده شد، ابتدا یک مدل آزمایشگاهی که نتایج آن موجود است، توسط نرم افزار مایک مدل سازی شده و سپس به کمک نتایج موجود کالیبره می شود. پس از اطمینان از صحت مدل نرم افزاری، برای بررسی پارامترهای تاثیرگذار، تحلیل حساسیت مطابق با سناریوهای تعریف شده انجام گرفت. پس از بررسی نتایج آنالیز حساسیت، میزان اثرگذاری پارامترهای مختلف در تشکیل یا تغییر کاسپ های ساحلی برای مدل آزمایشگاهی مشخص گردید. و در انتها برای قسمت اصلی پژوهش اطلاعات مربوط به ساحل مورد مطالعه (بندر رودیک واقع در سواحل مکران) وارد مدل نرم افزاری که پیشتر کالیبره شده بود، گردید. برای مدل آزمایشگاهی سناریوهای جدید

۲-۴. معرفی نرم افزار روش های عددی Mike21

مدل های مختلف، اعم از Mike11، Mike21 و Mike21 در این نرم افزار گنجانده شده است. Mike11 مدل یک بعدی برای کارهای مهندسی رودخانه ای، Mike21 مدل دوبعدی سطحی با جریان یک لایه و Mike3 مدل سه بعدی با جریان n لایه می باشد. از میان مدل های ریاضی مطرح در جهان در تحلیل پدیده های حاکم بر محیط دریا، مدل ریاضی Mike21 یکی از شناخته ترین آنهاست. این برنامه ی کامپیوتری که توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک^۱ و با همکاری انستیتو کیفیت آب^۲ پایه ریزی و به مرور زمان تکمیل و توسعه یافته است، دارای قابلیت های محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه ی مدل

¹ Danish Hydraulic Institute

² Water Quality Institute

نمودن پدیده های مربوط به خورها، دریاچه ها، نواحی کم عمق ساحلی، خلیج ها و دریاها می باشد. این نرم افزار سیستم جامعی برای مدل کردن جریان های آزاد^۳ دوبعدی است که در آنها لایه بندی^۴ جریان سیال قابل صرف نظر باشد و در عین حال در کامپیوترهای موجود قابل اجرا است. رقم های پسوند ۲۱ از چپ به راست در واقع کاربرد این سیستم برای جریان های دوبعدی و یک لایه را بیان می کند. علیرغم اینکه برنامه کامپیوتری Mike21 از مدرن ترین امکانات نرم افزاری بهره گرفته است، بطور پیوسته تحت بازنگری قرار داشته و کاربردهای جدیدتری به آن اضافه می شود.

مدل ریاضی Mike21 از ماژول های متعددی جهت شبیه سازی پدیده ها استفاده می نماید که از نظر موضوعی به شرح زیر قابل دسته بندی می باشند:

۱. هیدرولیک ساحلی و اقیانوس شناسی" Coastal Hydraulics & Oceanography "،که شامل مدل سازی هیدرولیک جزرومد، باد، موج های به وجود آمده توسط جریان ها، امواج طوفانی و امواج سیلاب می باشد.

- ✓ ماژول باد موج طيف (Spectral Wind-Wave Module)
 - ✓ ماژول هیدرودینامیک (Hydrodynamic Module)

۲. هیدرولیک محیط زیست " Environmental Hydraulics "، این بخش هرچیزی را از جابجایی و حرکت طبقات اتمسفری بصورت افقی تحت تاثیر گرما به صورت نرمال و پراکندگی آلاینده های محافظه کارانه تا کیفت آب شامل واکنش های شیمیایی را شبیه سازی می کند.

- ✓ ماژول کیفیت آب (Water Quality Module)
- ✓ ماژول فلزات سنگین (Heavy Metal Module)

۳. امواج" Waves "، این بخش نیز تلاطم امواج در بندرگاه ها، پیش بینی، پارامترهای طراحی موج، تغییر شکل های غیر خطی و تکان های کشتی را شامل می شود و به عنوان ابزاری برای طراحی بندرگاه، سازه های ساحلی، کانال های کشتیرانی و آزمایش اثر امتداد موج شکن های جدید بکار گرفته می شود.

✓ ماژول امواج بوسینیسک (Boussinesq wave)

۴. مراحل رسوب بر سواحل" Sediment Processes on Coast "، شامل پژوهش های انتقال رسوب جهت کانال های کشتیرانی، دهانه های بنادر، سواحل، اسکله ها و... می شود.

✓ ماژول انتقال مواد ماسه (Sand Transport Module)

✓ ماژول انتقال گل (Mud Transport Module)

در این پژوهش از ماژول های Litpack Toolbox ، Mike Zero ، BW 1D و Litpack Toolbox استفاده شده است. ماژول DW 1D برای مدل سازی هیدرودینامیک، تاثیرات موج و میزان بالاروی در ناحیه سواش استفاده می گردد. برتری ماژول BW نسبت به ماژول SW که در اکثر کارهای دریایی به کار می رود این است که ماژول SW برای شبیه سازی دریایی بدون در نظر گرفتن ساحل به کار رفته ولی ماژول BW علاوه بر شرایط دریایی مدل سازی ناحیه سواش را نیز انجام می دهد. از سایر ماژول ها برای ساخت شرایط مرزی، فیلترهای مدل، پراکندگی اطلاعات امواج و ... استفاده شده است.

Boussinesq Wave معرفي ماژول و معادلات حاكم.

ماژول BW یک بعدی^۵ در این پژوهش به کار رفته است، ماژول موج بوزینسک مدل عددی است که برای محاسبه و تحلیل امواج با پریود بلند و کوتاه در بنادر و مناطق ساحلی به کار می رود. ماژول BW همچنین می تواند برای مدل سازی دقیق جریان های ناشی از امواج ورودی، دینامیک منطقه ی شکست و نوسانات منطقه ی سواش استفاده شود. این مدل بر اساس حل عددی معادلات بوزینسک که توسط مدسن² و سورنسن فرموله شده است، پایه ریزی شده است. (مدسن و سورنسن، ۱۹۹۲). این مدل با در نظر گرفتن پارامترهای شکست موج و تغییرات خط ساحل^۷ می تواند به منطقه ی شکست توسعه یابد. مدل BW قادر به تولید اثرات توام پدیده های موجی مهم در بندر و مهندسی سواحل است. این پدیده ها شامل اثر کم عمقی، انعکاس، انکسار، شکست موج، ضریب اصطکاک بستر، تغییرات خط ساحلی می باشد. پدیده هایی مانند گروه های موج، نوسانات ناحیه ی شکست، امواج لبه ای هارمونیکی و همزمان

> ⁵ 1DH Boussinesq Wave Module ⁶ Madsen

⁷ Moving shoreline

می توانند در ماژول BW مدلسازی شوند. جزئیاتی مانند تولید و انتشار نوسانات با فرکانس کم نیز در مدل قابل توصيف مي باشد. ماژول يک بعدي معادلات بوزينسک را با روش المان محدود گالرکين^ با الحاق متغیرهای تعریف شده در یک شبکه ساختار یافته(گرید) یا بدون ساختار(مش)، حل می کند. دینامیک منطقه ی شکست و نوسانات منطقه ی سواش برای هر نیمرخ ساحلی در این ماژول می تواند شبیه سازی شود. دلیل انتخاب ماژول BW یک بعدی این است که این ماژول توانایی بالایی در تحلیل و بررسی نواحی ساحلی به طور اهم ناحیه سواش را دارا می باشد همچنین عمده کارهای علمی مهم انجام گرفته عددی ناحیه ی سواش با استفاده از ماژول یک بعدی صورت گرفته است (مدسن وهمکاران، ۱۹۹۷؛ نیلسن و سیمونسن^۲، ۲۰۰۲ ؛ مورتنسن^{۱۰} و مدسن، ۲۰۰۶). مدل دوبعدی مشکلات مهمی به لحاظ تعريف عمق سنجي در ناحيه ساحلي دارد و هنگام مدل سازي تا حد امكان سعي مي شود ناحيه ساحلي در نظر گرفته نشود. از آنجايي كه اطلاعات هيدروگرافي در ايران از دقت كافي برخوردار نيستند و با فواصل عمدتا بالا و کم تعداد داده برداری می شوند پس از انجام مش بندی خصوصا در قسمت ساحلی مدل، مشاهده می شود که در مش های مجاور پرش های ارتفاعی به میزان بسیار زیادی وجود دارد و چون هدف، مدل سازی فرآیند سواش می باشد، مدل از ابتدای اجرا خطا می دهد بنابراین مش ها باید به صورت دستی جزء به جزء اصلاح گردند که این عمل در محیط های واقعی و بزرگ نیازمند صرف زمان بسیار طولانی برای رسیدن به مدل پایدار می باشد (به جز مشکلات مربوط به بهبود و تصحيح پارامترها). كاربرد مدل BW 1D، در پژوهش هايي است كه در ناحيه سواش قرار دارند و استفاده از اطلاعات واقعی جهت مدل سازی، پیش بینی آینده و بررسی وضعیت موجود از نکات مثبت آن است (راهنمای ماژولBW، ۲۰۱۲).

دو نوع معادلات در ماژول BW وجود دارد. معادلات بوزینسک کلاسیک و معادلات بوزینسک پیشرفته. معادلات بوزینسک کلاسیک هنگامی استفاده می شود که نسبت حداکثر عمق آب به طول موج آب عمیق (hmax/L0) کمتر از ۰/۲۲ باشد. معادلات بوزینسک پیشرفته که شامل مولفه های آب عمیق است به مدل اجازه می دهد تحت شرایط آب عمیق تر و پریود موج کوچکتر توسعه یابد مثلا hmax/L0=۰/۵. تفاوت معادلات بوزینسک کلاسیک و پیشرفته در تعدادی مولفه ی تصحیح شده که مولفه های آب عمیق گفته می شود، می باشد. محدودیت عمده معادلات بوزینسک کلاسیک، محدودیت آب کم عمق(نسبتhmax/L0) است. راهنمای نرم افزار تاکید می کند ماژول یک بعدی نیازمند در نظر گرفتن مولفه های آب عمیق است.

یکی از مسائل مهم در هنگام حل معادلات از نوع بوزینسک با استفاده از تکنیک اجزای محدود، حضور مشتقات با مراتب بالا است. این مساله دراینجا با استفاده از یک روش که در آن معادلات از نوع بوزینسک با معرفی متغیر کمکی جدید w و یک معادله جبری کمکی، در مرتبه پایینتر نوشته می شوند، کنترل شده است. معادلات حاکم از ۴–۱ تا ۴–۴ فرم زیر را دارا هستند.

$$n\frac{\partial\xi}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} = 0 \tag{1-f}$$

$$n\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{P^{2}}{h}\right) + \frac{\partial R_{xx}}{\partial x} + n^{2}gh\frac{\partial\xi}{\partial x} - n(B + \frac{1}{3})d^{2}\frac{\partial^{3}P}{\partial x\partial x\partial t} - \frac{1}{3}d\frac{\partial d}{\partial x}\frac{\partial^{2}P}{\partial x\partial t} - n^{2}Bgd^{2}\frac{\partial w}{\partial x} + n^{2}P\left[\alpha + \beta\frac{|P|}{h}\right] + (\Upsilon - \Upsilon)$$

$$\frac{gP|P|}{h^{2}C^{2}} = 0$$

$$w = \frac{\partial}{\partial x}\left(d\frac{\partial\xi}{\partial x}\right)$$

$$(\Upsilon - \Upsilon)$$

در این رابطه
$$R_{xx}$$
 برابر است با:
 $R_{xx} = \frac{\delta}{1 - \delta/d} (c_x - \frac{P}{d})^2$
(۴-۴)

پارامترها عبارتند از؛ P چگالی انرژی در جهت X X X دستگاه B هاکتور پراکندگی بوزینسک، x دستگاه مختصات دکارتی (m)، t زمان (Sec)، h عمق کلی آب $(f + \xi) = 0$ بر حسب (m)، b عمق ایستایی سطح آب (m)، g شتاب گرانشی زمین، n ضریب تخلخل، C عدد مقاومت شزی $(m^{0.5}/_{Sec})$ ، n ضریب مقاومت برای جریان نازک در لایه های متخلخل، β ضریب مقاومت ارای جریان متلاطم در لایه های متخلخل، ξ مریان نازک در لایه های متخلخل، β ضریب مقاومت ارای جریان متلاطم در لایه های متخلخل، ξ میزان سطح آب میزان سطح آب بالای مبدا(m)، δ ضریب مقاومت ارای جریان متلاطم در لایه های متخلخل، ξ مریان نازک در لایه های متخلخل. β ضریب مقاومت ارای جریان متلاطم در لایه می متخلخل. میزان میزان سطح آب بالای مبدا(m)، δ ضریب مقاومت ای می موانه سرعت استوانه. تعدادی از پارامترها مطابق شکل β - 1 نمایش داده شده است.



شکل(۴-۱)، مفهوم سطح استوانه، برش عرضی از شکست موج و پروفیل عمودی فرضی از اجزای افقی مولفه های سرعت (Madsen et all ,1997)

این معادلات فقط شامل ترم هایی با مشتق مرتبه دوم می باشد. با تبدیل این معادلات به فرم ضعیفتر با استفاده از روش اجزای محدود گالرکین و به کار بردن قضیهی واگرایی^{۱۱} به ترمهای بوزینسک متفرق کننده^{۱۲}، این معادلات میتوانند به صورتی نوشته شوند که تنها برای ادامه به توابع درونیابی نیاز داشته باشد.

۴-۲-۱-۱-۱ معرفی پارامترهای کالیبراسیون

پارامترهای شکست موج و moving shoreline در هر دو ماژول یک بعدی و دو بعدی وجود دارد. شکست موج بر اساس مفهوم سطح استوانه و برای شکست ریزشی^{۱۳}می باشد. (اسکافر^{۱۴} و همکاران؛ ۱۹۹۳، مدسن و همکاران؛ ۱۹۹۷) همچنین برای مدلسازی موفق شکست موج، در مدل یک بعدی از یک شبکه استفاده می شود که حداقل ۴۰ نقطه در هر طول موج داشته باشد.

الحاق پارامتر moving shoreline در Mike21 BW بر اساس رویکرد زیر است: دامنه ی محاسبات به شکل مصنوعی با جایگزینی ساحل سخت با ساحل نفوذپذیر با تخلل بسیار کم، افزایش یافته است. در نزدیکی این پارامتر، سطح آب با بستر دریا برخورد کرده و به سمت ساحل مختلل می رود. از این رو موقعیت لحظه ای خط ساحلی به سادگی با تقاطع سطح آب و بستر تخمین زده می شود. (شکل۵–۱) در شکل (۴–۲) پارامتر یا تسان دهنده ی پارامتر فیزیکی بستر و پارامتر BZ نشان دهنده ی حد پایین رژیم تخلخل است و همکاران، ۱۹۹۷).



شکل (۴-۲)، توصیف رژیم جریان مصنوعی متخلخل، نمایش پارامتر moving shoreline (مدسن و همکاران، ۱۹۹۷)

Slot با استفاده از تکنیک Moving Shoreline با استفاده از تکنیک

مقطع عمودی شامل یک رژیم فیزیکی آب در بالای یک رژیم جریان مصنوعی متخلخل می باشد. تغییر عمودی ایده آل تخلل در رژیم جریان فیزیکی با تخلخل بسیار کوچکی که در رژیم متخلخل زیرین وجود دارد، پیوسته می شود. به منظور جلوگیری از ناپایداری های عددی، معرفی یک انتقال بین دو رژیم ضروری است. از این رو با استفاده از یک انتقال نمایی تغییر عمودی تخلل مطابق رابطه (۴-۵) فرض می شود:

$$\gamma(z) = \begin{cases} 1 \leftrightarrow Z_{L} \leq z \\ \\ \varepsilon + (1 - \varepsilon)e^{\beta(z - Z_{L})/(Z_{L} - Z_{B})} \leftrightarrow Z_{B} \leq z \leq Z_{L} \end{cases}$$

$$(\Delta - \mathfrak{f})$$

که در آن (z) تخلل، z حداقل مقدار γ ، β یک فاکتور شکل ثابت که انتقال نمایی بین دو رژیم جریان را تعریف می کند، Z مختصات عمودی می باشد. پارامتر Z_B از قسمت پنجه ی شیب در نظر $\mathcal{P}(z)$ نود می شود. در واقع z باید تا حد امکان کوچک و β تا حد امکان بزرگ انخاب شود تا ناپایداری های عددی ایجاد نشود. در عمل، z در فاصله ی ۱۰/۰ تا ۱۰۰/۰ و β در حدود ۱۰۰ انتخاب می شود (مدسن و همکاران، ۱۹۹۷).

پارامترهای Moving Shoreline شامل عمق ^{۱۵}Slot ، عرض Slot ^{۱۰} ، پارامتر هموارسازی ^{۱۷}Slot، ضریب

¹⁷ Slot smoothing parameter

اصطکاک Slot می باشد. عمق Slot از پنجه ی شیب انتخاب می شود. همچنین اهمیت دارد که عمق slot زیاد باشد تا در هنگام پایین روی موج خشک نشود. عرض Slot (یا حداقل تخلخل) در واقع، باید تا حد امکان کوچک باشد تا از اختلال در دامنه ی فیزیکی جریان و از ناپایداری های عددی پیشگیری کند. در عمل عرض Slot بین بازه ی ۲۰/۰۱ تا ۲۰/۰۱ انتخاب می شود. برای شیب های تندتر گاهی مقادیر بیشتری لازم است اما عرض بیش از حد Slot ممکن است برآورد کمتری از بالاروی نتیجه دهد. پارامتر هموارسازی Slot در واقع، باید تا حد امکان بزرگ باشد تا از اختلال در دامنه ی فیزیکی جریان و از ناپایداری های عددی پیشگیری کند. در عمل، پارامتر هموارسازی Slot باید حدود ۲۰۰ در نظر گرفته شود. برای شیب های تندتر گاهی مقادیر کمتری لازم است اما اگر بیش از حد کوچک انتخاب شود ممکن است برآورد کمتری از بالاروی نتیجه دهد. در مورد پارامتر ضریب اصطکاک slot، در اکثر برنامه ها این پارامتر صفر تنظیم می شود اما مقادیر کمتری از بالاروی ارائه در اکر کند ولی همچنین ممکن است در نهایت مقادیر کمتری از بالاروی ارائه دهد.

در انتها باید توجه شود مدل سازی عددی مولفه ی Moving shoreline کار دشواری است زیرا گاهی ناپایداری های عددی زیادی در برنامه به وجود می آید. در چنین مواردی باید پارامتر ضریب اصطکاک Slot یکی از دو مقدار ۰/۱۰ و ۰/۱ انتخاب شود یا می توان عمق یا عرض Slot را افزایش داد (راهنمای نرم افزار مایک، ۲۰۱۲).

۴-۳.کالیبراسیون ماژول BW با مدل آزمایشگاهی

مقاله ای که برای کالیبراسیون مدل مایک ۲۱، BW1D مورد استفاده قرار گرفته است، از معروف ترین و مهم ترین تست های آزمایشگاهی کارهای یک بعدی در ناحیه سواش می باشد بعلاوه در این مقاله آزمایشگاهی ویژگی و شرایط کاسپ های ساحلی وجود دارد که در ادامه به معرفی آن پرداخته شده است.

¹⁸ Slot friction coefficient

۴-۳-۲. معرفی ساختار مقاله مورد استفاده برای کالیبراسیون

مقاله ی مورد استفاده برای کالیبراسیون، مقاله ی امواج دینامیک غیرخطی در ناحیه شکست^{۱۹} می باشد که توسط سورنسن، مدسن و اسکافر نوشته شده است. این مقاله جهت کالیبراسیون ماژول BW مایک نیز مورد استفاده قرار گرفته و در قسمت راهنمای نرم افزار نیز به آن ارجاع شده است. در این مقاله یک فلوم آزمایشگاهی مطابق شکل ۴–۳ با طول ۱۰ متر به صورت مستقیم، عمق آب ۱۹/۰متر و طول ۱۲ متر با شیب ۱/۲۰ به کار برده شده است. ۱۲ موج سنج در عمق های ۴۷ ، ۳۵، ۱۹۷۰ متر ۵۰ ، ۲۰ ، ۱۷/۵ ، ۱۰ ، ۱۰ ، ۵/۷ ، ۵ و ۲۵ سانتیمتر کار گذاشته شده و با نام WG1 تا WG12 نامیده شده است. برای کالیبراسیون، طبق آنچه در مقاله انجام شده است، از داده های WG8 تا WG12 نامیده شده است. برای کالیبراسیون، طبق آنچه در مقاله انجام شده است، از داده های WG8 تا WG12 نامیده شده است. برای کالیبراسیون، طبق آنچه در مقاله انجام شده است، از داده های WG8 تا WG12 نامیده شده است. برای کالیبراسیون، طبق آنچه در مقاله انجام شده است، از داده های WG8 تا WG12 نامیده شده است. برای کالیبراسیون، طبق آنچه در مقاله انجام شده است، از داده های WG8 تا WG12 نامیده شده است. برای کالیبراسیون، طبق آنچه در مقاله انجام شده است. از داده های WG8 تا که در آن *m f* فرکانس میانگین است که اعداد ۳/۰ ، ۲/۰ ، ۲/۰ ، ۲/۰ ، ۲/۰ ، ۱/۰ ، ۱/۰ و ۲/۱ هرتز با دامنه ی هر 2005 *m* تا در نظر گرفته می شود. مطابق مقاله مرجع نمودار های مربوط به فرکانس های ۲/۰ و ۲/۱ هرتز جهت کالیبراسیون در ادامه نشان داده شده است.



شکل(۴–۳)، فلوم آزمایشگاهی (میس، ۱۹۹۴)

BW -۳-۱-۱-۱. شرایط مرزی و ساختار مدل یک بعدی

شرایط مرزی در مدل یک بعدی BW مطابق شکل ۴-۴ ، الف و ب می باشد شکل الف نشان دهنده ی

¹⁹ Nonlinear wave dynamics in the surfzone

لایه فیلتر(در فصل اول تعریف شده است) و شکل ب، نشان دهنده نیمرخ بستر، لایه اسفنج(در فصل اول تعریف شده است) و مرز ورودی موج می باشد. به طور کلی تمام مدل های استفاده شده در این پژوهش اعم از مدل آزمایشگاهی و مدل واقعی دارای ساختار شکل ۴-۴ می باشند.



شکل(۴-۴)، شرایط مرزی و ساختار مدل یک بعدیBW (راهنمای ماژولBW، ۲۰۱۲)

الف. فایل های عمق سنجی^۲: نیمرخ بستر در دو حالت با ابعاد مش متفاوت ترسیم شده است و فاصله بین نقاط بستر(فواصل مش ها) در مدل آزمایشگاهی ابتدا ۵ سانتیمتر($\Delta = 5cm$) و پس از آن با فواصل ۱۰ سانتیمتر($\Delta = 10cm$) و پس از آن با فواصل ۱۰ سانتیمتر(میرا – ۵ قسمت الف و ب ملاحظه می گردد.



²⁰ Bathymetry



ب. **فایل های لایه فیلتر**: مطابق تعریف لایه فیلتر در فصل اول، فیلتر به فاصله ی بین مش ها یا نقاط نیمرخ وابسته است به این دلیل برای ابعاد مش مختلف در هر مدلی به ساخت لایه فیلتر مجزا نیاز می باشد. در مدل آزمایشگاهی، با توجه به مورد (الف) از آنجایی که دو نیمرخ برای عمق سنجی وجود دارد لذا برای هر یک از آن ها لایه فیلتر ساخته شده که در حالت اول برای ابعاد مش ۵ سانتیمتر ($\Delta = 5cm$) و پس از آن ۱۰ سانتیمتر ($\Delta = 5cm$) می باشد. لایه های فیلتر در شکل ۴-۶ قسمت الف و با مالا می کردد.





شکل(۴–۶)، لایه های فیلتر در مدل مایک ۲۱ BW

پ. فایل های لایه اسفنج: بر طبق تعریف لایه اسفنج در فصل اول، لایه اسفنج با توجه به طول موج و ابعاد مش تعیین می گردد او ابعاد مش تعیین می گردد. با استفاده از رابطه ۴-۶ تعداد خط لایه اسفنج می تعیین می گردد سپس به کمک ماژول Toolbox مایک ۲۱، عدد محاسبه شده به کمک دیگر پارامترها لایه اسفنج ساخته می شود.

$$N_{Sponge} = \frac{L \times 100}{\Delta} \tag{7-4}$$

در این رابطه L بیانگر طول موج بر حسب متر و Δ ابعاد مش بر حسب سانتیمتر در نیمرخ مورد بررسی می باشد. مطابق رابطه ۴–۶ مقادیر طول موج و ابعاد مش تغییر کرده که در مدل آزمایشگاهی در سه حالت نیاز به ساخت فایل اسفنج برای ابعاد مش ۵ سانتیمتر با $f_m = 1Hz$ ، برای ابعاد مش ۵ سانتیمتر با $f_m = 0.6Hz$ و برای ابعاد مش ۱۰ سانتیمتر با $f_m = 1Hz$ می باشد. در شکل ۴–۷ قسمت الف تا ج مشاهده می شود.



شکل(۲-۴)،لایه های Sponge در مدل مایک ۲۱

 $f_m = 1Hz$ ت. شرایط مرزی مدل: شرایط مرزی مدل موج بایکروماتیک^{۲۱} می باشد که در دو حالت $f_m = 1Hz$ و $f_m = 0.6Hz$ و $f_m = 0.6Hz$ محاسبه و ساخته و گام زمانی ۰/۰۵ ثانیه لحاظ شده است. در جدول ۴–۱ فرکانس و پریود موج ورودی مشاهده می شود.

²¹ Bi chromatic Wave

f_m	f_1	f_2	T_{1}	T_{2}				
1.00	0.95	1.05	1.05	0.95				
0.60	0.57	0.63	1.75	1.59				

جدول(۴-۱)، شرایط مرزی موج ورودی

۴-۳-۲. سناریوهای ساخت مدل آزمایشگاهی

شامل دو حالت کلی بستر $\Delta = 5cm$ و $\Delta = 5cm$ و در هر دو حالت Hz و در حالت $f_m = 1Hz$ و در حالت $\Delta = 5cm$ و در حالت کلی بستر $f_m = 0.6Hz$ و $f_m = 1Hz$ ($f_m = 1Hz$) and $f_m = 1Hz$ ($f_m = 1Hz$ ($f_m = 1Hz$) and $f_m = 1Hz$ ($f_m = 1Hz$) and f_m

√ پارامتر تغییرات خط ساحلی (Moving shoreline)

Cases	Slot depth	Slot width	Slot smoothing	Slot friction
Case1	-0.3	0.001	100	0
Case2	-0.3	0.0019	100	0
Case3	-0.3	0.008	100	0
Case4	-0.3	0.005	100	0.01
Case5	-0.3	0.005	100	0
Case6	-0.3	0.01	100	0

جدول(۴-۲)، سناریو های خط ساحلی مورد الف(نیلسن و سیمونسن،۲۰۰۲)

√ پارامتر شکست موج (Wave breaking)

Cases	Roller form	Roller celerity	Initial breaking	Final breaking	Half-time cut-off roller
Case7 (t ₃)	1.5	1.3	22°	10°	T/5=0.21
Case8 (t ₁)	1.5	1.3	22°	10°	0.21
Case9 (t ₃)	1.5	1.3	20°	20°	0.21
Case10 (t ₁)	1.5	1.3	20°	20°	0.21

جدول(۴-۳)، سناریو های پارامتر شکست موج مورد الف(نیلسن و سیمونسن،۲۰۰۲)

با بررسی نتایج جداول ۴-۲ و ۴-۳ و حالت پیش فرض نرم افزار (Case None) حدود نیاز به تغییرات در مقادیر پارامترهای کالیبراسیون تعیین گردید بر این اساس جداول ۴-۴ و ۴-۵ که در ادامه آورده شده است به عنوان مقادیر اصلاحی تست آزمایشگاهی نام گذاری شده است.

 $f_m = 1Hz$ و $\Delta = 5cm$ الف. براى

Slot friction

Slot smoothing

Case None	-4.0	0.01	100	0
Cases	Slot depth	Slot width	Slot smoothing	Slot friction
Case1+1	-1.5	0.001	100	0
Case1+2	-1.5	0.1	100	0
Case1+3	-2.10	0.001	100	0
Case1+4	-2.10	0.001	100	0
Case1+5	-2.10	0.001	100	0

جدول(۴-۴)، سناریو های اصلاحی برای مدل آزمایشگاهی الف Slot width

Cases

Slot depth

Cases	Roller form	Roller celerity	Initial breaking	Final breaking	Half-time cut-off roller
Case1+4 (t1)	1.5	1.3	22°	10°	T/5=0.21
Case1+5 (t ₃)	1.5	1.3	22°	10°	0.21

سناریو های (Case1+4) و (Case1+5) در دو بخش تغییرات خط ساحلی^{۲۲} و شکست موج^{۲۴} تغییرات

هم

زمان اعمال شده در تمامی اجرا های گرفته شده ۱۵۰۰ گام زمانی برای تعادل مدل^{۲۵} لحاظ شده است.

 $f_m = 0.6Hz$ و $\Delta = 5cm$ ب.

Cases	Slot depth	Slot width	Slot smoothing	Slot friction
Case None	-4.0	0.01	100	0

جدول(۴–۵)، سناریو های اصلاحی برای مدل آزمایشگاهی ب

²⁵ Warmup

²³ Moving shoreline ²⁴ Wave breaking
Cases	Slot depth	Slot width	Slot smoothing	Slot friction
Case1+1	-3.0	0.001	100	0
Case1+2	-3.5	0.001	100	0
Case1+3	-2.1	0.001	100	0
Case1+4	-12.0	0.001	100	0
Case1+5	-6.0	0.001	100	0
Case1+6	-6.0	0.001	200	0
Case1+7	-6.0	0.001	600	0

Cases	Roller form	Roller celerity	Initial breaking	Final breaking	Half-time cut- off roller
Case1+5 (t ₃)	1.5	1.3	20°	10°	0.4

Cases	Slot depth	Slot width	Slot smoothing	Slot friction
Case11	-0.3	0.001	100	0
Case12	-1.5	0.001	100	0
Case13	-2.1	0.001	100	0

کیس (Case1+5) در دو بخش تغییرات خط ساحلی و شکست موج تغییرات همزمان اعمال شده است. در تمامی اجرا های گرفته شده ۱۵۰۰ گام زمانی برای به تعادل رسیدن در مدل لحاظ گردیده است.

 $f_m = 1Hz$ و $f_m = 1Hz$: پ. برای $\Delta = 10cm$

در این حالت فقط یک سناریو برای اجرای مدل انتخاب شده است، دلیل آن هم عدم برتری نتایج $\Delta = 10cm$ نسبت به $\Delta = 5cm$ ، از لحاظ فاز زمانی و از لحاظ تغییرات ارتفاعی موج می باشد که مقادیر را خیلی کمتر نشان می دهد. بر این اساس مطابق جدول ۴-۶، پارامترهای استفاده شده در همان یک اجرا مشاهده می شود.

	. 0		•	
Cases	Slot depth	Slot width	Slot smoothing	Slot friction
Case None	-4.0	0. 01	100	0

جدول(۴-۶)، سناریو برای مدل آزمایشگاهی پ

BW. نتايج كاليبراسيون ماژول



در شکل ۴–۸، سناریوهای الف و پ در جداول None برای حذف مش با $\Delta = 10cm$ مشاهده می شود:

None با بررسی سناریو های ساخته شده و شکل ۴–۸ الف و ب، ملاحظه می شود که در سناریو های None نتایج نوسانات ارتفاعی سطح آب در قسمت (پ) و $\Delta = 10 cm = \Delta$ هیچ گونه برتری نسبت به قسمت (الف) و $\Delta = 5 cm$ و $\Delta = 5 cm$ دداشته و مقادیر ارتفاعی کمتر و اختلاف فاز بیشتری را نشان می دهد بر این اساس مدل None $\Delta = 5 cm$ مقادیر مقادیر ارتفاعی کمتر و اختلاف فاز بیشتری را نشان می دهد بر این اساس مدل noe $\Delta = 5 cm$ و $\Delta = 10 cm$ مقادیر ارتفاعی کمتر و اختلاف فاز بیشتری را نشان می دهد بر این اساس مدل مدا معاد می شود که مقادیر ارتفاعی کمتر و اختلاف فاز بیشتری را نشان می دهد بر این اساس مدل noe $\Delta = 10 cm$ مشاهده می شود که مقادیر دامنه از ۱۰ به ۵ سانتیمتر با مقایسه مدل واقعی کاهش داشته و اختلاف فاز نیز پیدا کرده است که باعث خطای زیادی در مقایسه نتایج می گردد.

این تست آزمایشگاهی در دسترس نیست ولی با این حال نتایج بسیار نزدیک می باشد.

 $\Delta = 5cm$ الف. تحليل نتايج كاليبراسيون مدل (الف) $f_m = 1Hz$ و

با توجه به جدول ۴–۴ و مقایسه همه سناریوها مشاهده شد که سناریو *Casel+3* (در جدول قرمز مشخص شده است) ویژگی های مدل کالیبره شده را دارا است. در متن تست آزمایشگاهی اشاره شده که نتایج مدل سازی در سه موج سنج WG10 و WG10 و WG12 با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده، این نقاط که به ترتیب دارای کدهای ۳۳۸، ۳۵۸ و ۳۷۸ می باشند، نتایجی مطابق با شکل های زیر دارا می باشند.



مطابق شکل ۴–۹، نتایج مدل قسمت (الف) در مقایسه با تست آزمایشگاهی کد۳۳۸ مشاهده می شود:

با مقایسه شکل ۴–۹، الف و ب مشاهده می شود که مقادیر ارتفاعی در قعرها و قله ها بسیار نزدیک است که در قعر حداکثر ۲۰/۰۲– و در قله حداکثر ۲/۰۲۹ می باشد که در مدل سازی و تست آزمایشگاهی نیز مقادیر بسیار نزدیک به یکدیگر دیده می شود. در مقوله اختلاف فاز زمانی از آنجایی که در خروجی نرم افزار از مدل های دیگر مشاهده شد که در سمت چپ مقادیر روی هم قرار می گیرند ولی در سمت راست اختلاف زیاد می شود بر این اساس در مدل با تغییر پارامترها اختلاف در دوطرف به حداقل رسیده و همبستگی بسیار مناسبی در نتایج دیده می شود.

مطابق شکل ۴–۱۰، نتایج مدل قسمت (الف) در مقایسه با تست آزمایشگاهی کد ۳۵۸ مشاهده می شود:



با مقایسه شکل۴–۱۰، الف و ب مشاهده می شود که مقادیر ارتفاعی در قعرها و قله ها بسیار نزدیک است در قعر حداکثر ۲۰۱۴– و در قله حداکثر ۲۰۳۰ سانتیمتر می باشد که در مدل سازی و تست آزمایشگاهی نیز مقادیر بسیار نزدیک به یکدیگر دیده می شود. در بحث فاز زمانی با اختلاف جزیی در هردو طرف همبستگی بسیار مناسبی در نتایج دیده می شود.

مطابق شكل۴–۱۱، نتايج مدل قسمت (الف) در مقايسه با تست آزمايشگاهی كد ۳۷۸ مشاهده می شود:



شکل(۴–۱۱) الف و ب، مقایسه خروجی ها در موج سنج WG12

با مقایسه شکل ۴–۱۱، الف و ب مشاهده می شود که مقادیر ارتفاعی در قعرها و قله ها بسیار نزدیک است در قعر حداکثر ۲۰۰۵– و در قله حداکثر ۱۴/۰۱۴ سانتیمتر می باشد که در مدل سازی و تست آزمایشگاهی مقادیر بسیار نزدیک به یکدیگر دیده می شود. در بحث فاز زمانی با اختلاف جزیی در هر دو طرف همبستگی بسیار مناسبی در نتایج دیده می شود.

 $\Delta = 5 cm$ و $f_m = 0.6 Hz$ (ب) بتايج كاليبراسيون مدل (ب

مطابق جدول۴–۵ و مقایسه سایر سناریوها مشاهده شد که سناریو *Case13* (در جدول قرمز مشخص شده است) ویژگی های مدل کالیبره شده را دارا است. در متن تست آزمایشگاهی اشاره شده که نتایج مدل سازی در سه موج سنج WG10 ،WG8 و WG12 با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده، این کد نقطه ها مشابه با قسمت (الف) می باشند، نتایج در ادامه ارائه شده است.

مطابق شکل ۴–۱۲، نتایج مدل قسمت (ب) در مقایسه با تست آزمایشگاهی کد ۳۳۸ مشاهده می شود:



با مقایسه شکل۴–۱۲، الف و ب مشاهده می شود که مقادیر ارتفاعی در قعر ها و قله ها بسیار نزدیک است که در قعر حداکثر ۲۰۳۰- و در قله حداکثر ۰/۰۴۱ می باشد که در مدل سازی و تست آزمایشگاهی نیز مقادیر بسیار نزدیک به یکدیگر دیده می شود. در مقوله اختلاف فاز زمانی از آنجایی که در خروجی نرم افزار از مدل های دیگر مشاهده شد که در سمت چپ مقادیر روی هم قرار می گیرند ولی در سمت راست اختلاف زیاد می شود بر این اساس در مدل با تغییر پارامترها اختلاف در سه بخش به حداقل رسیده و همبستگی بسیار مناسبی در نتایج دیده می شود.

مطابق شکل ۴–۱۳، نتایج مدل قسمت (ب) در مقایسه با تست آزمایشگاهی کد ۳۵۸ مشاهده می شود:



با مقایسه شکل ۴–۱۳، الف و ب مشاهده می شود که مقادیر ارتفاعی در قعرها و قله ها بسیار نزدیک است که در قعر حداکثر ۲۰۱۵– و در قله حداکثر ۲۰۴۵ می باشد که در مدل سازی و تست آزمایشگاهی نیز مقادیر بسیار نزدیک به یکدیگر دیده می شود. در بحث فاز زمانی با اختلاف جزیی در هرسه بخش نمودار، همبستگی بسیار مناسبی در نتایج دیده می شود.

مطابق شکل۴–۱۴، نتایج مدل قسمت(ب) در مقایسه با تست آزمایشگاهی کد ۳۷۸ مشاهده می شود:





با مقایسه شکل ۴–۱۴، الف و ب مشاهده می شود که مقادیر ارتفاعی در قعرها و قله ها بسیار نزدیک است که در قعر حداکثر ۴-۰/۰۰ و در قله حداکثر ۱۵/۰۰ می باشد که در مدل سازی و تست آزمایشگاهی نیز مقادیر بسیار نزدیک به یکدیگر مشاهده می شود. در بحث فاز زمانی با اختلاف جزیی در هر سه بخش نمودار، همبستگی بسیار مناسبی در نتایج دیده می شود.

۴-۳-۴. جمع بندی

مطابق جدول۴-۷ با تغییر در پارامترهای خط ساحلی(زیر مجموعه بخش کالیبراسیون) نسبت به حالت پیش فرض مایک مشاهده می شود:

Cases	Slot depth	Slot width	Slot smoothing	Slot friction
Case None	-4.00	0.01	100	0
Case13	-2.00	0.001	100	0
Case1+3	-2.10	0.001	100	0

جدول(۴-۷)، جمع بندی کالیبراسیون ماژول BW

با بررسی سناریوهای مطرح شده، این نتیجه حاصل شد که با کاهش مقادیر Slot depth مقادیر تغییرات تراز ارتفاعی کاهش پیدا می کنند تا با تست آزمایشگاهی هم مقدار شوند همچنین پارامتر Slot width در تغییرات فازی نتایج تاثیرگذار است که با کاهشی معادل ۰/۱ مقادیر پیش فرض مایک تست آزمایشگاهی و نتایج مدل سازی با تقریب بسیار مناسبی هم فاز شدند. از طرفی مطابق با آنچه مطرح شد به دلیل اینکه داده های این تست آزمایشگاهی در دسترس نبود کالیبراسیون به صورت کیفی با نمودار های تست آزمایشگاهی مقایسه شد که نتایج بسیار به هم نزدیک می باشد که به وضوح قابل مشاهده است البته به دلیل مقایسه کیفی وقوع اندکی خطا قابل چشم پوشی می باشد. با توجه به همه موارد مطرح شده مدل مایک یک بعدی BW کالیبره می باشد.

۴-۴. تحلیل حساسیت مدل آزمایشگاهی

در این بخش با استفاده از فلوم آزمایشگاهی مدسن و تغییر در پارامترها، تحلیل حساسیت انجام گرفته است بدین صورت با مطالعه کارهای آزمایشگاهی گذشته که در راستای تست آزمایشگاهی و مشخصات فلوم مدسن هستند تغییرات پارامترها بررسی شد و تحت عنوان جداول حساسیت سنجی در این بخش بیان گردید. بر اساس مطالعات گذشته (در ادامه نیز ذکر شده است)، تغییرات پارامتر ها عبارتند از: تغییر شیب فلوم، تغییر ارتفاع امواج، تغییر در پریود امواج، تغییر در نوع موج ورودی و سایر عوامل تاثیر گذار و تاثیر این تغییرات در مورفولوژی کاسپ ها بررسی شده است.

۴–۴–۱. پارامترهای مورد بررسی

الف. سناریوهای تغییر شیب: در تغییر شیب ها مشابه با کارهای گذشته عمل شد و مقادیر شیب های فلوم در جدول حساسیت بر اساس مقادیر تست شده تکمیل گردید. برای تخمین درست از شیب های مناسب، شیب ساحلی بندر رودیک نیز در این سناریو ها گنجانده شده است. شیب ساحلی مدل واقعی بندر رودیک باید در خارج از محیط بندر و در نزدیکی آن با استفاده از نیمرخ عمق سنجی استخراج شود و در ادامه شیب بر اساس آن لحاظ گردد. مطابق شکل۴–۱۵ محل قرارگیری نیمرخ انتخابی بندر رودیک نشان داده شده است و مطابق شکل۴–۱۶ نیمرخ عمق سنجی



شکل(۴–۱۵)، هیدروگرافی دو بعدی بندر رودیک و محل قرارگیری نیمرخ انتخابی در مختصات





$$\tan \alpha_1 = \frac{1.20}{720.00} \rightarrow Slope = 0.16\%$$
$$\tan \alpha_2 = \frac{3.30}{650.00} \rightarrow Slope = 0.51\%$$
$$\tan \alpha_3 = \frac{4.40}{250.00} \rightarrow Slope = 1.76\%$$

شیب تاثیر گذار بندر رودیک با توجه به لحاظ نمودن عمق ناحیه شکست امواج انتخاب می گردد مطابق با محاسبات عمق ناحیه شکست در حدود ۳/۰ متر می باشد که مطابق شکل ۴–۱۶ شیب شماره ۳ به عنوان شیب مورد نظر انتخاب می گردد. شیب شماره ۳ برابر با ۱:۵۶ می باشد که حدودا ۱:۶۰ لحاظ می گردد. هدف از انتخاب شیب مدل واقعی در آنالیز حساسیت داشتن دید مناسب از تاثیر تغییر شیب، خصوصا شیب ۱:۶۰ در ابعاد و اندازه ی کاسپ ها می باشد. شیب فلوم آزمایشگاهی که بر اساس آن مدل کالیبره شده است برابر با ۱:۲۰ می باشد، پس می توان شیب های ۱:۱۰، ۱:۲۰، ۲۵۰۱، و ۱:۵۰ ۱:۶۰ را جهت تعیین حساسیت پارامترها به مدل پیش فرض آزمایشگاهی اعمال کرده و نتایج را بررسی نمود.

ب. سناریوهای تغییر ارتفاع موج: نتایج آزمایش ها نشان می دهد که تغییر ارتفاع امواج بر فواصل بین کاسپ ها و طول شاخ کاسپ ها اثرگذار است (آئوکی^۲ و سونامورا، ۲۰۰۰). بنابراین با تغییر دادن منطقی و اصولی H این پارامتر را در جدول تعیین حساسیت بررسی خواهیم کرد. می توان مقادیر Λ ، ۷، ۵/۸ و ۱۰ سانتیمتر را برای H در جدول تحلیل حساسیت درنظر گرفت. البته کنترل دستی با توجه به نوع ساحل انعکاسی یا بینابینی برای محاسبه H صورت گرفته است. مطابق کنترل دستی با توجه به نوع ساحل انعکاسی یا بینابینی برای محاسبه H صورت گرفته است. مطابق می توان مقادیر کار با توجه به نوع ساحل انعکاسی یا بینابینی برای محاسبه H صورت گرفته است. مطابق کنترل دستی با توجه به نوع ساحل انعکاسی یا بینابینی برای محاسبه H صورت گرفته است. مطابق مابوله ۴-۷، در حالت انعکاسی احتمال تشکیل کاسپ زیاد است البته در ساحل بینابینی نیز احتمال شکل گیری کاسپ ها وجود دارد پس در بدبینانه ترین حالت سواحل بینابینی $\theta = \Omega$ ، (کمترین میزان

پریود که باعث افزایش مقدار Ω می گردد) حداکثر ارتفاع شکست که باید در نظر گرفته شود مطابق با فرکانس ۱/۲۰ هرتز(قسمت پ در ادامه) که پریود آن برابر ۱/۲۸ ثانیه می باشد(کمترین پریود) و $W_s = 0.072 \, \text{m/sec}$ با فرکانس ۱/۲۰ ثانیه می باشد، محاسبه شده است و دامنه تغییرات H_b :

$$\begin{split} \Omega = & \frac{H_b}{W_s T} < 6 \\ \Omega < 6 \rightarrow \text{Intermediate-Reflective} \rightarrow & \frac{H_b}{0.072 \times 0.78} < 6 \rightarrow H_b < 0.34 \quad \textcircled{0.34} \qquad \textcircled{0.36} \qquad \end{matrix}$$

²⁶ Aoki

لحاظ شده بسیار کمتر از مقدار بدست آمده می باشد البته ارتفاع موج همواره از ارتفاع شکست موج کمی کوچکتر می باشد بنابراین مقایسه H با H_b درست و مقادیر لحاظ شده کاملا منطقی می باشد.

پ. سناریوهای تغییر پریود یا فرکانس: نتایج آزمایش ها نشان می دهد تغییر پریود بر اندازه کاسپها اثر گذار است بدین صورت که با افزایش پریود اندازه کاسپ ها بزرگتر می شوند(آئوکی و سونامورا، ۲۰۰۰؛ سانچز و همکاران، ۲۰۰۸). این مساله با تغییر منطقی و اصولی فرکانس که بر پریود تاثیرگذار است، در سانچز و همکاران، ۲۰۰۸). این مساله با تغییر منطقی و اصولی فرکانس که بر پریود تاثیرگذار است، در مطابخ و همکاران، ۲۰۰۸). این مساله با تغییر منطقی و اصولی فرکانس که بر پریود تاثیرگذار است، در سانچز و همکاران، ۲۰۰۸). این مساله با تغییر منطقی و اصولی فرکانس که بر پریود تاثیرگذار است، در مانچز و همکاران، ۲۰۰۸). این مساله با تغییر منطقی و اصولی فرکانس که بر پریود تاثیرگذار است، در مانچز و همکاران، ۲۰۰۸). این مساله با تغییر منطقی و اصولی فرکانس ما ۲/۱، ۲/۱، ۸/۰و ۶/۰ هرتز می باشند. مطابق تست آزمایشگاهی ارتفاع موج ۵ سانتیمتر است، ارتفاع شکست موج نیز محاسبه و برابر ۶/۵۰ مطابق تست آزمایشگاهی ارتفاع موج ۵ سانتیمتر است، ارتفاع شکست موج نیز محاسبه و برابر ۶/۵۰ مطابق تست آزمایشگاهی ارتفاع موج ۵ سانتیمتر است، ارتفاع شکست موج نیز محاسبه و برابر ۶/۵۰ می اشند. سانتیمتر بدست آمده است، مطابق رابطه ۴–۸ Ω، مقادیر T با ساحل انعکاسی کنترل می گردد: (f - A) کنترل مقادیر فرکانس های ذکر شده حکه این در ۲۰۱۰ ۲۰۰۰ می ترد: (f - A)

بر این اساس مقادیر پریود بیشتر از ۰/۹۱ ثانیه در محدوده سواحل انعکاسی هستند و فقط فرکانس ۱/۲۰ هرتز یا پریود ۰/۸۳ ثانیه در محدوده سواحل میانی قرار می گیرند که از ۰/۹۱ ثانیه کمتر می باشند که البته در سواحل میانی نیز احتمال تشکیل کاسپ بالاست که نشان دهنده مقادیر منطقی در نظر گرفته شده می باشد.

ت. سناریوهای تغییر نوع امواج: این قسمت در خصوص نوع امواج، بایکروماتیک، منظم^{۲۷} و نامنظم^{۲۸} بحث می کند و تغییرات آن ها بررسی می شود. آزمایشهای انجام گرفته با امواج بایکروماتیک (میس^{۲۹}، ۱۹۹۴)، امواج نامنظم(کوکس و همکاران، ^{۳۰} ۱۹۹۱) و امواج منظم (مدسن و همکاران، ۱۹۹۷) نوع موج در جدول تحلیل حساسیت تغییر خواهد کرد و تاثیر آن بر کاسپ ها مشاهده خواهد شد. در تمامی سناریوهای قبلی از موج بایکروماتیک استفاده شده است. استفاده از موج منظم و نامنظم بدین صورت است که موج منظم مطابق مقاله مدسن دارای فرکانس های ۳/۰، ۶/۰ و ۱ هرتز و ارتفاع موج ۵ سانتیمتر می باشد که با استفاده از تئوری استوکس مرتبه ^{۳۱}۵ موج ورودی مدل ساخته می شود. برای موج نامنظم با توجه به اینکه فلوم استفاده شده در آزمایش کوکس همان فلوم میس می باشد، از اطلاعات همان مقاله استفاده شده و با توجه به مقاله از طیف پیرسون موسکوویچ^{۳۳} با ارتفاع موج مشخصه ۶/۴۵ سانتیمتر و فرکانس ۱ هرتز موج ورودی مدل ساخته شده است البته به دلیل اینکه ارتفاع موج نامنظم کمی بیشتر از موج منظم و بایکروماتیک در شرایط مساوی فرکانس ۱ هرتز می باشد. مقایسه ساخته شده است البته به دلیل اینکه مشخصه مازی موج نامنظم می باشد و مرکانس ۱ هرتز موج ورودی مدل ساخته شده است البته به دلیل اینکه ارتفاع موج نامنظم می باشد و می باشد. مرتز موج منظم و بایکروماتیک در شرایط مساوی فرکانس ۱ هرتز می باشد مقایسه سناریو ها با یکدیگر بلامانع می باشد.

ث. سناریوی مباحث تکمیلی شناسایی کاسپ ها:

- اندازه اندازه معرف فاصله شاخ تا شاخ دو کاسپ متوالی می باشد از آنجایی که این پارامتر با اندازه کاسپ ها ارتباط مستقیم دارد بدین صورت که با زیاد شدن فواصل کاسپ ها اندازه آن ها نیز بزرگتر می شود، بنابراین می توان \mathcal{K} را به عنوان پارامتری جهت بررسی تغییرات اندازه کاسپ ها در جدول تحلیل حساسیت در کنار بالاروی کلی^{۳۳} لحاظ نمود.
- ✓ از پارامتر Ω نیز برای تعیین نوع ساحل و کنترل تشکیل کاسپ در سواحل انعکاسی، میانی و استهلاکی می توان بهره برد.
- نتایج آزمایش ها نشان می دهد که پارامتر $\frac{H_0}{L_0}$ به عنوان پارامتری که تغییرات کاسپ ها را با آن \checkmark

می توان ارزیابی کرد بررسی خواهد شد(پوایت و همکاران، ۲۰۱۴؛ لوپز و همکاران، ۲۰۱۱).

س مطابق آزمایش ها پارامتر $\frac{H_0}{L_0} = tg \beta / \sqrt{\frac{H_0}{L_0}}$ مطابق آزمایش ها پارامتر $\sqrt{\frac{H_0}{L_0}}$ و دوباره شکل گیری کاسپ ها معرفی شده است(مسلینک و همکاران، ۱۹۹۶)، این پارامتر در جدول تحلیل حساسیت بررسی خواهد شد.

> ³¹ Stokes - Order 5 ³² Pierson-Moskowits Spectrum

33 Total Runup

۴–۴–۲. تحلیل نتایج حساسیت سنجی مدل آزمایشگاهی

الف. سناریوهای تغییر شیب، برای تغییرات شیب سناریوهای ۱ تا ۱۰ با دو فرکانس ۱ و ۱۶۰ هرتز تعریف شده است که بر این اساس :

√ تغییرات طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ

همانطور که در جدول ۴–۸ مشاهده می شود، با ملایم شدن شیب از ۱:۱۰ تا ۱:۶۰، طول سواش (As) از ۰/۰۸۸ متر تا ۰/۱۸۸ متر در فرکانس ۱ هرتز و از ۲۱۱/۰ متر تا ۰/۴۱۹ متر در فرکانس ۶/۶ هرتز زیاد می شود. طول سواش پارامتری است که اختلاف بین بالاروی و پایین روی را نشان می دهد. در واقع با كم شدن شيب ساحل موج توانايي بالاروى بيشتر و پايين روى كمترى داشته بنابراين طول سواش افزایش داشته است. همچنین تغییر فرکانس از ۱ هرتز به ۰/۶ هرتز موجب افزایش مقادیر طول سواش شده است به این ترتیب که بیشترین طول در فرکانس ۱ هرتز، مقدار ۱۸۸/۰ متر و بیشترین طول سواش در فرکانس ۶/۶ هرتز مقدار ۶/۴۱۹ متر می باشدکه در شکل ۴–۱۷ نیز مشاهده می شود. پارامتر بعدی که با کاهش شیب و تغییر فرکانس در ارتباط است، پارامتر میزان فرورفتگی کاسپ ها می باشد. این پارامتر با بالاروی حداکثر مشخص می شود. همانطور که در جدول ۴-۸ مشاهده می شود، با تغییر فرکانس از ۱ به ۶/۶هرتز مقادیر فرورفتگی کاسپ ها بیشتر شده و در نتیجه انداره کاسپ ها بزرگتر می شوند. اما تغییرات شیب تاثیر منظمی بر فرورفتگی کاسپ ها نداشته خصوصا در شیب ۱:۶۰ ودر سایر شیب ها روند منظمی مشاهده می شود این مساله می تواند نشان دهنده ی تاثیر کمتر شیب و اثر مهم تر سایر پارامترها که در این سناریو ثابت گرفته شده است؛ مانند نوع دانه بندی ساحل، باشد به این ترتیب به طور کلی می توان گفت که کاهش شیب و کاهش فرکانس(افزایش پریود) موجب افزایش طول ناحیه سواش و بالعکس می گردد. همچنین کاهش شیب بستر و کاهش فرکانس موجب افزایش بالاروی یا حداکثر نفوذ کاسپ ها و بالعکس می گردد که در شکل۴-۱۸ نیز ملاحظه می گردد.

Run	fm	Bed Slope	H0 (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	Run up (m)	Run down (m)	As (m)	Pen (m)
1	1.0	1:10	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.111	-0.065	0.088	0.111
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.098	-0.107	0.103	0.098
3	1.0	1:35	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.115	-0.168	0.142	0.115
4	1.0	1:50	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.245	-0.082	0.164	0.245
5	1.0	1:60	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.198	-0.177	0.188	0.198
6	0.6	1:10	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.308	-0.114	0.211	0.308
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.350	-0.100	0.225	0.350
8	0.6	1:35	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.531	-0.111	0.321	0.531
9	0.6	1:50	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.541	-0.149	0.345	0.541
10	0.6	1:60	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.297	-0.541	0.419	0.297

جدول(۴–۸)، پارامترهای سناریو تغییر شیب، تاثیر بر طول سواش و حداکثر نفوذ کاسپ ها



شکل(۴-۱۷)، تغییرات طول ناحیه سواش با شیب بستر، در سناریو تغییرات شیب (۱ تا۱۰)



شکل(۴-۱۸)، تغییرات حداکثر میزان بالاروی با شیب بستر، در سناریو تغییرات شیب (۱ تا ۱۰)

🗸 تغييرات فواصل بين كاسپ ها

همانطور که در جدول ۴-۹ ملاحظه می شود دو پارامتر سم R_{ov} و R_{ov} به عنوان پارامترهای فواصل کاسپ ها در نظر گرفته شده که به ترتیب فواصل بین کاسپ ها با تئوری موج لبه ای و فواصل بین کاسپ ها با تئوری موج خود تشکیل می باشد که روابط آن در فصل دوم پایان نامه ذکر شده است. برای فواصل کاسپ ها با استفاده از تئوری موج لبه ای پریودهای موج ورودی و شیب ساحل پارامترهای اثرگذار است و برای فواصل کاسپ ها با استفاده از تئوری خودتشکیل طول سواش پارامتر تاثیرگذار می باشد و پارامتر ثابت f مطابق کارهای مشابه برابر با ۱۵/۱ در نظر گرفته شده است. مقادیر فواصل با استفاده از تئوری موج لبه ای از مقدار ۴۳۴۴، متر تا ۱/۵ در نظر گرفته شده است. مقادیر فواصل با استفاده از تئوری موج لبه ای از مقدار ۴۳۴۴، متر تا ۱۰۵٬۰۰ متر برای فرکانس ۱ هرتز و مقدار ۲۰۲۳، متر تا ۱۵۹/ متر برای فرکانس ۶/۱ در شیبهای ۱۱۰۰ تا ۱۶۰۰ بدست آمده است. علت کم شدن مقادیر فاصله ی کاسپ ها با کاهش شیب کاملا مشخص است هرچه شیب تیزتر باشد موجی که به ساحل می رسد در برخورد با شیب تیز، حالت انعکاسی پیدا کرده و امواج لبه ای با پریود بالاتری شکل می گیرند پس با ملایم شدن شیب اثر موج لبه ای کمتر شده در نتیجه فواصل بین کاسپ ها نیز کمتر می شود تا شاید به جایی برسد که موجب ناپدید شدن کاسپ ها گردد. در شکل ۴–۱۹ تغییرات فاصله بین کاسپ ها با

با استفاده از تئوری خودتشکیل فواصل شاخ در کاسپ ها از مقدار ۱۳۲۲ تا ۱۶۲۰ برای فرکانس ۱ هرتز و مقدار ۱۳۷۷ تا ۱۶۴۹ برای فرکانس ۶/۶ هرتز در شیب های ۱۱۰۰ تا ۱۶۰۰ بدست آمده است. با توجه به طول ناحیه سواش که در بخش قبل گفته شده، این تئوری چون با طول سواش رابطه مستقیم دارد با افزایش آن افزایش و با کاهش آن کاهش می یابد. مقادیر فواصل بین کاسپ ها روی اندازه ی آنها اثرگذار است به این شکل که کاسپ هایی که فاصله شاخ تا شاخشان بیشتر است اندازه بزرگتری را دارند و بالعکس که مطابق شکل ۴–۲۰ نیز مشاهده می شود.

به طور کلی در تئوری موج لبه ای مطابق رابطه آن با کاهش شیب فاصله شاخ کاسپ ها کاهش و اندازه آن ها کوچک می شود و با کاهش فرکانس موج مطابق رابطه آن فواصل شاخ کاسپ ها افزایش می یابد و در تئوری خودتشکیل از آنجایی که با طول سواش رابطه مستقیم دارد با کاهش شیب و فرکانس فواصل بین شاخ کاسپ ها افزایش می یابد و بالعکس.

Run	fm	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	A _s (m)	$\lambda_{_{ew}}$	λ_{so}
1	1.0	1:10	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.088	0.344	0.132
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.103	0.172	0.154
3	1.0	1:35	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.142	0.098	0.212
4	1.0	1:50	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.164	0.069	0.245
5	1.0	1:60	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.188	0.057	0.281
6	0.6	1:10	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.211	0.723	0.317
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.225	0.478	0.337
8	0.6	1:35	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.321	0.273	0.482
9	0.6	1:50	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.345	0.191	0.518
10	0.6	1:60	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.419	0.159	0.629

جدول(۴-۹)، پارامترهای سناریو تغییر شیب، تاثیر بر تغییرات فواصل بین کاسپ ها







شکل(۴-۲۰)، تغییرات فاصله بین کاسپ ها با شیب بستر تئوری خودتشکیل، در سناریو تغییرات شیب (۱ تا ۱۰)

🗸 پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)

همانگونه که فصل دوم در خصوص نوع ساحل بیان شده است، پارامتر امگا به ارتفاع شکست، سرعت سقوط ذره و پریود موج وابسته است که سرعت سقوط ذره با D_{50} تعیین می گردد. مطابق با فلوم آزمایشگاهی میس، در این کیس آزمایشگاهی $D_{50} = 0.5mm$ در نظر گرفته شده و بر اساس جدول ۴ – ۴، Ω محاسبه شده است. با توجه به جدول ۴ – ۱۰ ، همانطور که مشاهده می شود در هر ده سناریو $1 - 1 > \Omega$ بدست آمده است که نشان می دهد ساحل از نوع انعکاسی بوده و همه سناریو های مطرح شده، مستعد تشکیل کاسپ می باشند.

Run	fm	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	H _b (m)	Ω
1	1.0	1:10	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.057	0.752
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.057	0.752
3	1.0	1:35	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.057	0.752
4	1.0	1:50	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.057	0.752
5	1.0	1:60	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.057	0.752
6	0.6	1:10	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.065	0.516
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.065	0.516
8	0.6	1:35	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.065	0.516
9	0.6	1:50	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.065	0.516
10	0.6	1:60	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.065	0.516

جدول((1 - 1))، پارامترهای سناریو تغییر شیب، تاثیر بر پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)

🗸 سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها

پارامترهای $\xi \in \frac{H_0}{L_0}$ مواردی بودند که توسط محققان برای شناسایی مشخصات کاسپ ها و تشکیل یا عدم تشکیل آنها مورد استفاده قرار گرفته است.

همانطور که در جدول ۴–۱۱، مشاهده می شود، پارامتر ⁵خ برای هر دو فرکانس ۱ هرتز و ۱۶۰ هرتز با کم شدن شیب از ۱:۱۰ تا ۱:۶۰ و کم شدن فرکانس موج کاهش یافته است. برای 1.2> ⁵خاشکال کاسپ ها صاف تر یعنی ارتفاع آنها کمتر بوده و برای 1.2< ⁵خ مورفولوژی کاسپ ها افزایش می یابد(مسلینک و همکاران، ۱۹۹۶). پارامتر ⁵خ در این تست کمتر از مقدار ۱/۲ بوده بنابراین کاسپ ها ارتفاع کمتری داشته و صاف تر می باشند.

پارامتر $\frac{H_0}{L_0}$ مطابق جدول ۴–۱۱، برای فرکانس ۱ هرتز برابر ۲۹-۰/۱ و برای فرکانس ۶/۶ هرتز برابر
۰/۰۱۵ است. برای _{0.003 < ط} سواش فرسایشی بوده و موجب عمیق تر شدن فرورفتگی کاسپ شده و
در نتیجه کاسپ رشد بیشتری دارد. برای $\frac{H_0}{L_0} < 0.00$ سواش شرایط رشد رسوبی دارد و در شاخ
کاسپ رسوب گذاری بیشتر است و در نتیجه کاسپ رشد می کند. برای $0.03 < \frac{H_0}{L_0}$ شرایط صاف
شدن کاسپ و از بین رفتن آن حاکم است و در انتها برای $\frac{H_0}{L_0} > 0.03$ سواش فرسایشی بوده و شرایط
دوباره تشکیل شدن کاسپ وجود دارد. بر طبق جدول ۴–۱۱، پارامتر $\frac{H_0}{L_0}$ با فرکانس ۱ هرتز و فرکانس
۶/۰ هرتز در بازه ی سوم، شرایط صاف شدن و از بین رفتن کاسپ قرار دارد که با موردی که توسط
پارامتر 💈 بدست آمد؛ ارتفاع کمتر کاسپ ها و صاف تر بودن آن ها، همخوانی دارد.

		-							
Run	fm	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	L ₀ (m)	ξ	H_0/L_0
1	1.0	1:10	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	1.73	0.59	0.029
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	1.73	0.29	0.029
3	1.0	1:35	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	1.73	0.17	0.029
4	1.0	1:50	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	1.73	0.12	0.029
5	1.0	1:60	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	1.73	0.10	0.029
6	0.6	1:10	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	3.37	0.82	0.015
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	3.37	0.41	0.015
8	0.6	1:35	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	3.37	0.23	0.015
9	0.6	1:50	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	3.37	0.16	0.015
10	0.6	1:60	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	3.37	0.14	0.015

جدول(۴-۱۱)، پارامترهای سناریو تغییر شیب، تاثیر بر سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها

ب. سناریوهای تغییر فرکانس، چهار سناریو با فرکانس های ۰/۶ و ۸ و ۱ و ۱/۲ هرتز تعریف شده است که بر این اساس :

✓ تغییرات طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ
 مطابق جدول ۴-۱۲، با تغییر فرکانس از ۱/۲ تا ۶/۶ پارامتر طول سواش از ۶/۰۶ متر تا ۱/۱۷۰ تغییر
 می کند در واقع با کم شدن فرکانس طول سواش زیاد می شود. علت آن کاملا مشخص است زیرا با کم

شدن فرکانس پریود موج زیاد می شود و موج بلندتر شده و در نتیجه بالاروی موج بیشتر و در انتها طول سواش زیادتر می گردد. در شکل ۴–۲۱ تغییرات طول سواش بر حسب تغییرات فرکانس مشاهده می شود.

برای حداکثر فرورفتگی کاسپ ها نیز مشاهده می شود که با تغییر فرکانس موج از ۱/۲ هرتز به ۶/۰ هرتز میزان بیشترین فرورفتگی از ۲۰۰۶ متر تا ۲۴۱/۰ متر تغییر پیدا می کند که این مساله نیز به میزان بالاروی مربوط است چرا که بیشترین بالاروی در فرورفتگی رخ می دهد و همانطور که ذکر شد با کم شدن فرکانس، موج بلندتر شده و میزان بالاروی بیشتر می شود بنابراین با کم شدن فرکانس افزایش میزان فرورفتگی کاسپ و در نتیجه کاسپ های با اندازه بزرگتر مشاهده می شود. در شکل ۴– ۲۲ تغییرات حداکثر بالاروی برحسب فرکانس مشاهده می شود.

مطابق قسمت قبل هم ثابت شد افزایش پریود موجب افزایش طول سواش و حداکثر بالاروی می گردد.

Run	f _m	Bed Slope	H0 (m)	Type of Wave	T1 (sec)	T ₂ (sec)	Run up (m)	Run down (m)	As (m)	Pen (m)
11	1.2	1:20	0.05	Bi Chromatic	0.88	0.79	0.006	-0.114	0.060	0.006
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.098	-0.107	0.103	0.098
12	0.8	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.31	1.19	0.180	-0.135	0.158	0.180
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.350	-0.100	0.225	0.350

جدول(۴-۱۲)، پارامترهای سناریو تغییر فرکانس، تاثیر بر طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ



شكل(۴-۲۱)، تغییرات طول ناحیه سواش با تغییرات فركانس موج، سناریو تغییرات فركانس(۱۲، ۱۱، ۷ و ۲)



شکل(۴-۲۲)، تغییرات حداکثر میزان بالاروی با تغییرات فرکانس موج، سناریو تغییرات فرکانس(۱۲، ۱۱، ۷ و ۲)

🗸 تغييرات فواصل بين كاسپ ها

همانگونه که در جدول ۴–۱۳، ملاحظه می شود با کم شدن فرکانس از ۱/۲ تا ۱/۶ هرتز فواصل کاسپ ها با استفاده از تئوری موج لبه ای از مقدار ۱۲۱/۱ تا ۱۲۹/۱ متر زیاد می شود. همانطور که ذکر شد پارامترهای اثرگذار روی فواصل کاسپ ها در تئوری موج لبه ای، شیب ساحل و پریود موج ورودی است. در این سناریوها، شیب ثابت و برابر ۱:۲۰ در نظر گرفته شده است. با کم شدن فرکانس و زیاد شدن پریود امواج، طبیعتا باید فواصل بین کاسپ ها نیز افزایش یابد که این اتفاق رخ داده است. در شکل۴– بریود امواج، طبیعتا باید فواصل بین کاسپ ها در تئوری موج لبه ای با فرکانس مشاهده می شود. با افزایش فواصل بین کاسپ ها، اندازه ی آنها نیز افزایش می یابد که این مساله با نتیجه ی بدست آمده در قسمت قبل نیز همخوانی دارد.

با استفاده از تئوری خودتشکیل فواصل بین کاسپ ها از مقدار ۰٬۰۹۰ تا ۱٬۲۵۶ زیاد شده است. همانطور که ذکر شد فواصل کاسپ ها با استفاده از تئوری خودتشکیل به طول سواش وابسته است و با توجه به زیاد شدن بالاروی امواج و افزایش مقدار طول سواش، افزایش فواصل بین کاسپ ها مشاهده شده است که موجب بزرگتر شدن اندازه ی آنها می شود. شکل ۴–۲۴ تغییرات فواصل کاسپ ها با تئوری خودتشکیل را نشان می دهد.

Run	fm	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	A _S (m)	T _e (sec)	$\lambda_{_{ew}}$	λ_{so}
11	1.2	1:20	0.05	Bi Chromatic	0.88	0.79	0.060	8.19	0.121	0.090
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.103	10.5	0.172	0.154
12	0.8	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.31	1.19	0.158	13.65	0.268	0.236
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.225	18.62	0.478	0.338

جدول(۴-۱۳)، پارامترهای سناریو تغییر فرکانس، تاثیر بر فواصل بین کاسپ ها



شکل(۴-۲۳)، تغییرات فاصله بین کاسپ ها با فرکانس موج در تئوری موج لبه ای، سناریو تغییرات فرکانس



شکل(۴-۲۴)، تغییرات فاصله بین کاسپ ها با فرکانس موج در تئوری خودتشکیل، سناریو تغییرات فرکانس

✓ پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)

با توجه به جدول ۴–۱۴، همانطور که مشاهده می شود در هر چهار سناریو1>Ω بدست آمده است که نشان می دهد ساحل از نوع انعکاسی بوده و همگی مستعد تشکیل کاسپ می باشند.

Run	f _m	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T1 (sec)	T ₂ (sec)	H _b (m)	Ω
11	1.2	1:20	0.05	Bi Chromatic	0.88	0.79	0.053	0.833
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.057	0.752
12	0.8	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.31	1.19	0.060	0.638
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.065	0.516

جدول(۴-۱۴)، پارامترهای سناریو تغییر فرکانس، تاثیر بر پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)

🗸 سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها

با توجه به جدول ۴–۱۵، با کاهش فرکانس از ۱/۲ تا ۱/۶ هرتز پارامتر ξ از ۲۴۴/۱۰ به ۱/۲ رسیده است. این پارامتر کمتر از ۱/۲ بوده و در نتیجه کاسپ ها ارتفاع کمتری داشته و صاف تر می باشند. بر طبق جدول ۴–۱۵، پارامتر $\frac{H}{L_0}$ با کاهش فرکانس از مقادیر ۲۰۴۲ به ۲۰۱۵ کاهش داشته است. برای فرکانس ۱/۲ هرتز، این پارامتر در بازه ی چهارم قرار داشته و سواش فرسایشی بوده و شرایط دوباره تشکیل شدن کاسپ وجود دارد. برای دیگر فرکانس ها پارامتر $\frac{H_0}{L_0}$ در محدوده سوم قرار دارد و شرایط صاف شدن و از بین رفتن کاسپ ایجاد می شود با موردی که توسط پارامتر ξ بدست آمد؛ ارتفاع کمتر کاسپ ها و صاف تر بودن آنها، همخوانی دارد.

Run	fm	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	$L_0(m)$	ξ	H_0/L_0
11	1. 2	1:20	0.05	Bi Chromatic	0.88	0.79	1.19	0.244	0.042
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	1.73	0.29	0.029
12	0.8	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.31	1.19	2.30	0.339	0.022
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	3.37	0.41	0.015

جدول(۴-۱۵)، پارامترهای سناریو تغییر فرکانس، تاثیر بر سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها

پ. سناریو تغییر ارتفاع موج، شش سناریو با فرکانس های ۱ و ۱/۶ هرتز و ارتفاع های موج ۲/۵ ، ۵ و ۱۰ سانتیمتر تعریف شده است که بر این اساس :

√ تغییرات طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ

مطابق جدول ۴–۱۶، طول سواش برای فرکانس ۱ هرتز و با افزایش ارتفاع از ۲/۵ به ۱۰ سانتیمتر، از مقدار ۰/۰۴۱ تا ۰/۲۴۷ و برای فرکانس ۶/۶ هرتز از مقدار ۰/۱۱۶ به ۰/۳۱۸ افزایش داشته است که نشان می دهد با افزایش ارتفاع و کاهش فرکانس، مقدار بالاروی افزایش یافته در نتیجه طول سواش نیز افزایش می باید که شکل ۴–۲۵ نیز این مطلب را تایید و همچنین مطابق جدول ۴–۱۶، حداکثر نفوذ کاسپ با افزایش ارتفاع موج و کاهش فرکانس افزایش یافته است که تاثیر ارتفاع موج در بالاروی و نفوذ کاسپ در ساحل را نشان می دهد. تغییرات حداکثر بالاروی و طول سواش تحت تاثیر کاهش فرکانس قبل تر نیز بیان شد که همگی نتیجه مشترک دارند. شکل ۴–۲۶ نیز این موضوع را نشان می دهد.

Run	f _m	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	Run up (m)	Run down (m)	As (m)	Pen (m)
16	1.0	1:20	0.025	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.059	-0.023	0.041	0.059
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.098	-0.107	0.103	0.098
17	1.0	1:20	0.10	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.286	-0.207	0.247	0.286
18	0.6	1:20	0.025	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.210	-0.021	0.116	0.210
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.350	-0.100	0.225	0.350
19	0.6	1:20	0.10	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.365	-0.270	0.318	0.365

جدول(۴-۱۶)، پارامترهای سناریو تغییر ارتفاع، تاثیر بر طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ





شكل(۴-۲۵)، تغییرات حداکثر میزان طول سواش با تغییرات ارتفاع موج، سناریو تغییرات ارتفاع موج

شكل(۴-۲۶)، تغييرات حداكثر ميزان بالاروى با تغييرات ارتفاع موج، سناريو تغييرات ارتفاع موج

🗸 تغييرات فواصل بين كاسپ ها

طبق جدول ۴–۱۷، فواصل کاسپ ها براساس تئوری موج لبه ای با توجه به ثابت ماندن شیب ساحل و پریود امواج برای دو فرکانس ۱ و ۱۶٬۶ هرتز ثابت باقی مانده است چرا که تغییر ارتفاع موج اثری بر فواصل بین کاسپ ها در تئوری موج لبه ای ندارد که در شکل ۴–۲۷ مشاهده می گردد. اما برای تئوری خودتشکیل مساله فرق می کند زیرا تغییر ارتفاع موج روی بالاروی و در نتیجه طول سواش موثر است. همانطور که در جدول ملاحظه می شود، با افزایش ارتفاع موج و کاهش فرکانس، مقادیر فواصل بین کاسپ ها نیز افزایش می یابد که واضح است دلیل آن، افزایش بالاروی موج و افزایش مول سواش و در نتیجه افزایش فواصل بین کاسپ ها با تئوری خودتشکیل است که با طول سواش ارتباط مستقیم دارد. با افزایش فواصل بین کاسپ ها اندازه ی آنها نیز بزرگتر می شود که در شکل ۴–۲۸ ملاحظه می شود.

Run	f _m	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	As (m)	T _e (sec)	$\lambda_{_{ew}}$	λ_{so}
16	1.0	1:20	0.025	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.041	10.5	0.172	0.062
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.103	10.5	0.172	0.154
17	1.0	1:20	0.10	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.247	10.5	0.172	0.370
18	0.6	1:20	0.025	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.116	18.62	0.478	0.173
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.225	18.62	0.478	0.338
19	0.6	1:20	0.10	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.318	18.62	0.478	0.476

جدول(۴-۱۷)، پارامترهای سناریو تغییر ارتفاع، تاثیر بر فواصل بین کاسپ ها







شكل(۴-۲۸)، تغییرات فواصل بین كاسپ ها با تغییرات ارتفاع موج تئوری خودتشكیل، سناریو تغییرات ارتفاع موج

✓ پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)

با توجه به جدول۴–۱۸، همانطور که مشاهده می شود در پنج سناریو1>Ω بدست آمده است که نشان می دهد ساحل از نوع انعکاسی بوده و همگی مستعد تشکیل کاسپ می باشند اما در مورد سناریوی شماره ۱۷ با ارتفاع موج ده سانتیمتر و فرکانس ۱ هرتز، مقدار امگا برابر ۱/۳۱۰ است که نشان می دهد ممکن است ساحل رفتار ساحل بینابینی را نشان دهد که در این نوع ساحل نیز کاسپ ها دیده می شوند.

Run	fm	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	H _b (m)	Ω
16	1.0	1:20	0.025	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.033	0.432
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.057	0.752
17	1.0	1:20	0.10	Bi Chromatic	1.05	0.95	0.099	1.310
18	0.6	1:20	0.025	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.037	0.296
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.065	0.516
19	0.6	1:20	0.10	Bi Chromatic	1.75	1.59	0.113	0.898

جدول(۴-۱۸)، پارامترهای سناریو تغییر ارتفاع ، تاثیر بر پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)

🗸 سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها

با توجه به جدول ۴–۱۹، با افزایش ارتفاع پارامتر ξ کاهش یافته است. این پارامتر کمتر از ۱/۲ بوده و در نتیجه کاسپ ها ارتفاع کمتری داشته و صاف تر می باشند.

مطابق جدول ۴–۱۹، با افزایش ارتفاع موج و فرکانس، پارامتر $\frac{H_0}{L_0}$ افزایش یافته است. این پارامتر در چهار سناریو از سناریوهای تغییر ارتفاع، در بازه سوم قرار داشته و در آنها شرایط صاف شدن کاسپ و از بین رفتن آن حاکم است. با ارتفاع ۱۰ سانتیمتر و فرکانس ۱ هرتز، پارامتر $\frac{H_0}{L_0}$ در بازه ی چهارم که سواش فرسایشی بوده و شرایط دوباره تشکیل شدن کاسپ وجود دارد، قرار می گیرد. با ارتفاع ۲/۵ سانتیمتر و فرکانس ۶/۶ هرتز، این پارامتر در محدوده ی دوم قرار دارد که سواش شرایط رشد رسوبی دارد و در شاخ کاسپ رسوب گذاری بیشتر است و در نتیجه کاسپ رشد می کند. در واقع شرایط غالب این سناریوها نیز صاف شدن و از بین رفتن کاسپ بوده و گاهی رشد شاخ کاسپ ها و یا دوباره تشکیل شدن آنها مشاهده می شود.

Run	f _m	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	L ₀ (m)	Ľ	H_0/L_0
16	1. 0	1:20	0.025	Bi Chromatic	1.05	0.95	1.73	0.416	0.014
2	1.0	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.05	0.95	1.73	0.294	0.029
17	1.0	1:20	0.10	Bi Chromatic	1.05	0.95	1.73	0.208	0.058
18	0.6	1:20	0.025	Bi Chromatic	1.75	1.59	3.37	0.581	0.007
7	0.6	1:20	0.05	Bi Chromatic	1.75	1.59	3.37	0.410	0.015
19	0.6	1:20	0.10	Bi Chromatic	1.75	1.59	3.37	0.290	0.030

جدول(۴–۱۹)، پارامترهای سناریو تغییر ارتفاع، تاثیر بر سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها

ت. سناریوهای تغییر نوع موج (موج منظم)، چهار سناریو برای موج منظم با دو فرکانس ۱ و ۱/۶ هرتز و دو شیب ۱:۲۰ و ۱:۶۰، به دلیل در نظر گرفتن شیب آزمایشگاهی و شیب حقیقی مدل، تعریف شده است.

√ تغییرات طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ

مطابق جدول ۴–۲۰، با مقایسه سناریوی شماره ۲ موج بایکروماتیک و شرایط مشابه در سناریوی شماره ۲۰ یعنی موج منظم می توان دریافت که با تغییر موج، طول ناحیه سواش کاهش داشته است که در شرایط یکسان موج منظم طول سواش کمتری نسبت به موج بایکروماتیک دارد و همچنین حداکثر بالاروی نیز از سناریو ۲ به ۲۰ کاهش یافته است. با مقایسه ی سناریوهای شماره ۷ موج بایکروماتیک و شرایط مشابه در سناریوی شماره ۲۱ یعنی موج منظم می توان دریافت که طول سواش همانند قسمت قبل تغییر کرده و در خصوص حداکثر نفوذ کاسپ در شرایط یکسان، موج منظم نفوذ کمتری دارد که دلیل آن بالاروی کمتر در موج منظم می باشد.

با مقایسه سناریو های شماره ۴ و ۲۲ در شرایط مشابه همانند قسمت قبل موج منظم طول سواش کمتری نسبت به موج بایکروماتیک دارد اما با این تفاوت که مقادیر آن ها در شیب ۱:۶۰ نسبت به شیب ۱:۲۰ به دلیل ملایم تر شدن افزایش یافته است در خصوص نفوذ حداکثر کاسپ هم نشان می دهد که موج منظم نفوذ کمتری دارد ولی مقادیر نفوذ در مقایسه بین دو شیب به دلیل ملایم شدن افزایش را نشان می دهد. نهایتا با مقایسه بین سناریوهای شماره ۹ و ۲۳ مشابه قسمت های قبل موج منظم طول ناحیه سواش کمتری دارد و کاهش شیب نیز باعث افزایش در مقادیر طول ناحیه سواش شده است.

Run	f _m	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	Run up (m)	Run down (m)	As (m)	Pen (m)
20	1.0	1:20	0.05	Regular	1.00	-	0.081	-0.008	0.044	0.081
21	0.6	1:20	0.05	Regular	1.67	-	0.250	-0.064	0.157	0.250
22	1.0	1:60	0.05	Regular	1.00	-	0.145	-0.002	0.074	0.145
23	0.6	1:60	0.05	Regular	1.67	-	0.350	-0.004	0.177	0.350

جدول(۴-۲۰)، پارامترهای سناریو تغییر موج منظم، تاثیر بر طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ



شکل(۴-۲۹)، تغییرات میزان بالاروی و شیب ساحل با تغییرات نوع موج، سناریوی تغییر نوع موج



شکل(۴-۳۰)، تغییرات میزان طول سواش و شیب ساحل با تغییرات نوع موج، سناریوی تغییر نوع موج

🗸 تغييرات فواصل بين كاسپ ها

در خصوص فواصل بین کاسپ ها همانطور که در جدول ۴–۲۱، ملاحظه می شود در تئوری موج لبه ای مقادیر پریود در موج منظم نسبت به موج بایکروماتیک مقداری کاهش داشته است که این باعث کاهش فاصله کاسپ ها در تئوری موج لبه ای برای موج منظم می شود همچنین در خصوص تاثیر شیب نیز کاهش شیب در تئوری موج لبه ای باعث کاهش فواصل بین کاسپ ها می شود چرا که شیب زیاد به دلیل پدیده انعکاس باعث افزایش تاثیر تئوری موج لبه ای در شکل ۴–۳۱ می گردد. در تئوری موج خودتشکیل نیز همانطور که در قسمت طول سواش و حداکثر نفوذ کاسپ گفته شد مقادیر طول سواش در تئوری موج منظم در مقایسه با موج بایکروماتیک کاهش داشته که دلیل آن هم کاهش جزئی مقادیر پریود می باشد بر این اساس می توان گفت که با کاهش طول سواش فواصل بین

Run	fm	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	As (m)	T _e (sec)	$\lambda_{_{ew}}$	λ_{so}
20	1.0	1:20	0.05	Regular	1.00	-	0.054	40.80	0.156	0.080
21	0.6	1:20	0.05	Regular	1.67	-	0.157	66.20	0.435	0.236
22	1.0	1:60	0.05	Regular	1.00	-	0.074	40.80	0.052	0.110
23	0.6	1:60	0.05	Regular	1.67	-	0.177	66.20	0.145	0.266

جدول(۴-۲۱)، پارامترهای سناریوهای تغییر موج منظم، تاثیر بر فواصل بین کاسپ ها



شکل(۴–۳۱)، تغییرات فواصل بین کاسپ ها با تغییرات شیب ساحل و موج منظم در تئوری موج لبه ای، سناریو تغییرات موج



شکل(۴-۳۲)، تغییرات فواصل بین کاسپ ها با تغییرات شیب ساحل و موج منظم در تئوری خودتشکیل، سناریو تغییرات موج

🗸 پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)

با توجه به جدول ۴-۲۲، همانطور که مشاهده می شود در هر چهار سناریو1>Ω بدست آمده است که نشان می دهد ساحل از نوع انعکاسی بوده و همگی مستعد تشکیل کاسپ می باشند.

Run	f_m	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	H _b (m)	Ω
20	1.0	1:20	0.05	Regular	1.00	-	0.055	0.768
21	0.6	1:20	0.05	Regular	1.67	-	0.064	0.534
22	1.0	1:60	0.05	Regular	1.00	-	0.055	0.768
23	0.6	1:60	0.05	Regular	1.67	-	0.064	0.534

جدول(۴-۲۲)، پارامترهای سناریو تغییر موج منظم، تاثیر بر پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)

🗸 سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها

با توجه به جدول ۴–۲۳، و پارامتر ٤، این پارامتر مطابق با آزمایش مسلینک کمتر از ۱/۲ بوده و در نتیجه کاسپ ها ارتفاع کمتری داشته و صاف تر می باشند همچنین از آنجایی که مقادیر پریود در موج منظم کمتر از بایکروماتیک می باشد بنابراین پارامتر شکست، به دلیل کاهش طول موج کمتر می شود. در خصوص شیب بستر نیز با کاهش شیب پارامتر شکست کاهش می یابد.

پارامتر $\frac{P_0}{L_0}$ مطابق جدول ۴–۲۳، آزمایشات پوایت و همکاران در سال ۲۰۱۴، ملاحظه می شود که بین سناریو های موج منظم و موج بایکروماتیک تفاوتی ناچیزی وجود دارد که دلیل آن اختلاف جزئی در پریود ها می باشد که در طول موج تاثیرگذار است. پس چون اختلافی بین دو حالت موج وجود ندارد موج منظم به شکل مجزا بررسی می گردد. در سناریو های ۲۱ و ۲۳، پارامتر در بازه 0.03 > $\frac{0.1}{L_0}$ > 0.01 قرار گرفته شرایط صاف شدن کاسپ و از بین رفتن آن حاکم است همچنین در سناریوهای ۲۲ و ۲۰، پارامتر در محدوده $\frac{0.1}{L_0}$ = 0.00 قرار گرفته، سواش فرسایشی بوده و شرایط دوباره تشکیل شدن کاسپ وجود دارد.

Run	fm	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	L ₀ (m)	ξ	H_0/L_0
20	1.0	1:20	0.05	Regular	1.00	-	1.50	0.274	0.033
21	0.6	1:20	0.05	Regular	1.67	-	3.18	0.399	0.016
22	1.0	1:60	0.05	Regular	1.00	-	1.50	0.091	0.033
23	0.6	1:60	0.05	Regular	1.67	-	3.18	0.133	0.016

جدول(۴-۲۳)، پارامترهای سناریو تغییر موج منظم، تاثیر سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها

ث. سناریوی نوع موج (موج نامنظم)، دو سناریو برای موج نامنظم با دو فرکانس ۱ و ۱/۶ هرتز و دو شیب ۱:۲۰ و ۱:۶۰، به دلیل در نظر گرفتن شیب آزمایشگاهی و شیب حقیقی مدل، تعریف شده است. ✓ تغییرات طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ

مطابق جدول۴–۲۴، با ثابت ماندن فرکانس ۱ هرتز و شیب ۱:۲۰ دو سناریوی شماره ۲ برای موج بایکروماتیک و ۲۴ برای موج نامنظم و برای شیب ۱:۶۰ دو سناریوی شماره ۴ برای موج بایکروماتیک و ۲۵ برای موج نامنظم باهم مقایسه می شوند. با توجه به اختلاف بسیار کم ارتفاع موج؛ در حدود ۱/۴ سانتیمتر، ارتفاع موج بین این دو سناریو ثابت در نظر گرفته می شود. مقدار طول ناحیه سواش در موج نامنظم نسبت به موج بایکروماتیک به مقدار زیادی افزایش یافته است زیرا مقادیر بالاروی و پایین روی در موج نامنظم افزایش داشته است. همچنین در مورد حداکثر نفوذ کاسپ در موج نامنظم به دلیل افزایش میزان بالاروی افزایش یافته است.

Run	f _m	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₁ T ₂ (sec) (sec)		Run down (m)	As (m)	Pen (m)
24	1.0	1:20	0.0645	Irregular	1.00	-	0.325	-0.370	0.348	0.325
25	1.0	1:60	0.0645	Irregular	1.00	-	0.933	-0.683	0.808	0.933

جدول(۴-۲۴)، پارامترهای سناریو تغییر موج نامنظم، تاثیر بر طول ناحیه سواش و حداکثر نفوذ کاسپ

🗸 تغييرات فواصل بين كاسپ ها

طبق جدول ۴–۲۵، با ثابت ماندن ارتفاع موج و شیب ساحل و تنها با تغییر موج بایکروماتیک به موج نامنظم، با مقایسه سناریوی ۲ با ۲۴ و سناریوی ۴ با ۲۵ ، کاهش فواصل بین کاسپ ها با استفاده از تئوری موج لبه ای مشاهده می شود که علت آن تفاوت اندک پریود موج بایکروماتیک و موج نامنظم است. همچنین با تغییر شیب از ۱:۲۰ به ۱:۶۰ این مقادیر باز هم کاهش داشته است که دلیل آن کاملا مشخص است چرا که فواصل کاسپ ها با استفاده از تئوری موج لبه ای با شیب ساحل ارتباط مستقیم دارد.

برای فواصل بین کاسپ ها با استفاده از تئوری موج خودتشکیل، ملاحظه می شود که با تغییر موج بایکروماتیک به موج نامنظم، مقادیر افزایش پیدا کرده اند که دلیل آن افزایش مقدار بالاروی و طول سواش در موج نامنظم است.

Run	f _m	Bed Slope	H ₀ (m)	Type of Wave	T ₁ (sec)	T ₂ (sec)	As (m)	Te (sec)	$\lambda_{_{ew}}$	λ_{so}
24	1.0	1:20	0.0645	Irregular	1.00	-	0.348	28.80	0.156	0.521
25	1.0	1:60	0.0645	Irregular	1.00	-	0.808	10.89	0.052	0.808

جدول(۴-۲۵)، پارامترهای سناریو تغییر موج نامنظم، تاثیر بر فواصل بین کاسپ ها

✓ پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)

با توجه به جدول ۴–۲۶، همانطور که مشاهده می شود در هر چهار سناریو1>Ω بدست آمده است که نشان می دهد ساحل از نوع انعکاسی بوده و همگی مستعد تشکیل کاسپ می باشند.

Run	fm	Bed Slope	$H_0\left(m ight)$	Type of Wave	T_1 (sec)	T ₂ (sec)	$H_{b}\left(m ight)$	Ω
24	1.0	1:20	0.0645	Irregular	1.00	-	0.068	0.941
25	1.0	1:60	0.0645	Irregular	1.00	-	0.068	0.941

جدول(۴–۲۶)، پارامترهای سناریو تغییر موج نامنظم، تاثیر بر پارامتر تعیین نوع ساحل (Ω)

🗸 سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها

با توجه به جدول ۴–۲۷، پارامتر ⁵، این پارامتر مطابق با آزمایش مسلینک کمتر از ۱/۲۰ بوده و در نتیجه کاسپ ها ارتفاع کمتری داشته و صاف تر می باشند. همچنین از آنجایی که مقادیر پریود در موج نامنظم به مقدار ناچیزی کمتر از بایکروماتیک می باشد بنابراین پارامتر شکست مطابق با رابطه به دلیل کاهش طول موج کمتر می شود. در خصوص شیب بستر نیز با کاهش شیب پارامتر شکست مطابق با رابطه کاهش می یابد.

پارامتر $\frac{H_0}{L_0}$ مطابق جدول۴–۲۷ ، آزمایشات پوایت و همکاران در سال ۲۰۱۴، ملاحظه می شود که بین سناریو های موج نامنظم و موج بایکروماتیک تفاوت اندکی وجود دارد که دلیل آن اختلاف جزئی در پریود ها می باشد که در طول موج تاثیرگذار است. پس چون اختلاف زیادی بین دو حالت موج وجود ندارد موج نامنظم به شکل مجزا بررسی می گردد. در سناریو های ۲۴ و ۲۵، پارامتر در بازه $\frac{H_0}{L_0} > 0.03$ قرار گرفته سواش فرسایشی بوده و شرایط دوباره تشکیل شدن کاسپ وجود دارد. همچنین در سناریوهای ۲ و ۴، پارامتر در محدوده $\frac{0.03}{L_0} > 0.01$ قرار گرفته و شرایط صاف شدن کاسپ و از بین رفتن آن حاکم است.

 H_0/L_0 ξ fm **Bed** Slope Type of Wave Run $H_0(m)$ T_1 (sec) T₂ (sec) $L_0(m)$ 24 1.0 1:20 0.0645 Irregular 1.00 1.50 0.241 0.043 25 1.0 1:60 0.0645 Irregular 1.00 1.50 0.081 0.043 _

جدول(۴-۲۷)، پارامترهای سناریو تغییر موج نامنظم، تاثیر بر سایر پارامترهای شناسایی کاسپ ها

۴-۴-۳.جمع بندی

به کمک تحلیل حساسیت در مدل آزمایشگاهی مشخص می شود که تغییر هر پارامتر محیطی مهم در مدل سازی چه تاثیری در ابعاد و اندازه کاسپ ها خواهد گذاشت که به تبع آن تغییرات در اندازه کاسپ های مدلسازی منطقه رودیک باید از روند تغییرات جداول حساسیت پیروی کند تا به صحت نتایج مدل منطقه مورد مطالعه اطمینان پیدا کرد. البته در بخش ۴–۵ این مساله تایید شده است که روند تغییرات ابعاد و اندازه کاسپ ها در سناریو ها از تحلیل حساسیت پیروی می کند.

به صورت خلاصه نتایج تحلیل حساسیت نشان می دهد که؛ با کاهش فرکانس و افزایش پریود امواج، طول نفوذ کاسپها زیاد و فاصله ی بین کاسپ ها با استفاده از تئوری موج لبه ای و همچنین تئوری خودتشکیل زیاد می شود و اندازه ی کاسپ ها بزرگتر می شود.

با کاهش شیب ساحل، طول نفوذ کاسپ ها افزایش یافته و فاصله ی بین کاسپ ها در تئوری خودتشکیل زیاد می شود و موجب بزرگتر شدن اندازه ی کاسپ ها می گردد اما در تئوری موج لبه ای با توجه به رابطهی ۲-۴ با کاهش شیب، کاهش فواصل بین کاسپ ها و کوچکتر شدن اندازه ی آنها مشاهده می شود. با افزایش ارتفاع موج، افزایش فرورفتگی کاسپ ها و افزایش فاصله بین کاسپ ها در تئوری خودتشکیل و بزرگتر شدن اندازه ی کاسپ ها مشاهده می شود اما در تئوری موج لبه ای با توجه به رابطه ی۲-۴ تغییر خاصی در فاصله ی کاسپ ها دیده نمی شود.

با تغییر موج بایکروماتیک به موج منظم، به دلیل کم شدن انرژی موج، طول نفوذ کاسپ ها کمتر می شود، فواصل بین کاسپ ها با تئوری موج لبه ای و همچنین تئوری خودتشکیل کاهش یافته و اندازه ی کاسپ ها کوچکتر می شود.

با تغییر موج بایکروماتیک به موج نامنظم، به دلیل افزایش انرژی موج، افزایش بالاروی و افزایش طول نفوذ کاسپ مشاهده می شود. همچنین افزایش طول سواش و بالاروی و در نتیجه افزایش فاصله ی بین کاسپ ها با تئوری خودتشکیل دیده می شود اما در تئوری موج لبه ای کاهش فاصله موجب کوچکتر شدن اندازه ی کاسپ ها می گردد.

در تمامی سناریوها با توجه به پارامتر Ω سواحل از نوع انعکاسی بوده و مستعد تشکیل کاسپ می باشند. همچنین با توجه به پارامتر \overline{z} کاسپ ها ارتفاع کمتری داشته و صاف تر می باشند. در مورد پارامتر $\frac{H_0}{L_0}$ شرایط غالب در سناریوها، شرایط صاف شدن و از بین رفتن کاسپ ها و شرایط سواش فرسایشی و دوباره تشکیل شدن کاسپ ها می باشد.

4–6. ساخت مدل واقعی، تحلیل و بررسی(مطالعه موردی سواحل بندر رودیک)

۴–۵–۱. اطلاعات ورودی مدل عددی سواحل بندر رودیک

مشابه بخش ۴-۳-۱-۱ معرفی تست آزمایشگاهی و کالیبراسیون مدل آزمایشگاهی، ماژول BW یک بعدی در مدل واقعی شامل اجزای مطرح شده می باشد که عبارتند از :

الف. نیمرخ بستر (عمق سنجی): نیمرخ انتخابی در نزدیکی بندر رودیک واقع در ساحل رودیک بوده به طولی معادل ۱۷۰۰ متر، ابعاد مش ۰/۵۰ متر و تعداد گره های نیمرخ برابر ۳۴۰۰ عدد (۳۴۰۰ کد نقطه با فواصل ۰/۵۰ متری) می باشد. تغییرات عمق نیمرخ از ۸/۱۲– در طرف آب عمیق و ۲/۶۸+ متر در سمت ساحل می باشد که مطابق شکل (۴–۳۳) نمایش داده شده است.




پ. لایه فیلتر: مشابه شکل(۴–۴) فیلتر از اجزای ساختاری مدلسازی می باشد که به تفضیل در فصل اول بخش تعاریف و فصل چهارم بخش ۴–۳–۱–۱ بیان شده است. این لایه درناحیه سواش ساحل قرار می گیرد با توجه به سناریوهای مدل رودیک که در ادامه مشاهده می شود ابعاد مش مدل سازی ها یکسان است فقط یک نوع لایه فیلتر استفاده شده است که در شکل(۴–۳۵) مشاهده می شود.



ت.موج ورودی مدل رودیک: موج ورودی مدل واقعی بندر رودیک زیر مجموعه امواج نامنظم می باشد بندر رودیک در محدوده دریای عمان و سواحل مکران واقع شده که طیف جان سوآپ کاربرد فراوان داشته و با شرایط منطقه متناسب می باشد. برای ساخت طیف به ارتفاع موج مشخصه (H_{m0}) و پریود حداکثر (T_P) نیاز است که با توجه به سناریو های مدلسازی در ادامه، برای هر سناریو یک موج ورودی ساخته شده است.



شکل(۴–۳۶)، تغییرات ارتفاعی موج ورودی مدل ساحل رودیک در واحد زمان، سناریو ۱۸

۴-۵-۲. سناریو های اجرایی مدل ساحل بندر رودیک

در این پایان نامه ۱۸ سناریو در دو بخش طوفان های اقیانوسی و مونسونی(در فصل سوم توضیح داده شده است) آورده شده است. با توجه به این که سواحل مکران زیر مجموعه سواحل موج حاکم می باشد و تاثیر جزر و مد در این مناطق ضعیف است بر این اساس کاسپ های منطقه تحت تاثیر امواج شکل گرفته و عمده ترین پارامتر تاثیرگذار در شکل گیری کاسپ ها بالاروی ناشی از امواج می باشد از طرفی سواحل مکران در طول یکسال نزدیک به ۴ ماه تحت تاثیر طوفان مونسون و عمده زمان باقی مانده نیز محموعه اسواحل موج حاکم می باشد الرفتی و تاثیر جزر و مد در این مناطق ضعیف است بر این اساس کاسپ های منطقه تحت تاثیر امواج شکل گرفته و عمده ترین پارامتر تاثیرگذار در شکل گیری کاسپ ها بالاروی ناشی از امواج می باشد از طرفی سواحل مکران در طول یکسال نزدیک به ۴ ماه تحت تاثیر طوفان مونسون و عمده زمان باقی مانده نیز تحت تاثیر طوفان ها به عنوان شرایط حدی موثر، به لحاظ ارتفاع بالای امواج و پریود بالا کاملا منطقی می باشد. سناریو طوفان ها در جدول ۴–۲۸ مشاهده می شود. برای نحوه شکل گیری، ابعاد کاسپ های ساحل رودیک و… تحلیل و بررسی انجام گرفته و در احالم در این شده است.

T_{P} (Sec)	نوع موج ورودی	H_{s} (m)	شيب بستر	سناريو	طوفان
18	موج نامنظم طيف جان سوآپ	• /۵ •	۱:۶۰	١	
١٧	موج نامنظم طيف جان سوآپ	• /۵ •	۱:۶۰	٢	
۱۸	موج نامنظم طيف جان سوآپ	• /۵ •	۱:۶۰	٣	_
18	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۰/۷۵	۱:۶۰	۴	مواج
١٧	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۰/۷۵	۱:۶۰	۵	اقيان
۱۸	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۰/۷۵	۱:۶۰	۶	ولي
18	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۱/۰۰	۱:۶۰	۷	5
١٧	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۱/۰۰	۱:۶۰	٨	
١٨	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۱/۰۰	۱:۶۰	٩	
١١	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۱/۵۰	۱:۶۰	١٠	
١٢	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۱/۵۰	۱:۶۰	۱۱	
۱۳	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۱/۵۰	۱:۶۰	١٢	-
١١	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۲/۰۰	۱:۶۰	۱۳	مواي
١٢	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۲/۰۰	۱:۶۰	14	مۇنى
١٣	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۲/۰۰	1:80	۱۵	بلونى
١١	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۲/۵۰	۱:۶۰	18	5
١٢	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۲/۵۰	۱:۶۰	١٧	
۱۳	موج نامنظم طيف جان سوآپ	۲/۵۰	۱:۶۰	۱۸	

جدول(۴–۲۸)، سناریو های اجرای مدلسازی

۴–۵–۳. تحلیل و بررسی خروجی مدل سازی ها

۴–۵–۳–۱. تغییرات کاسپ های ساحلی رودیک

مطابق جدول ۴–۲۹، سناریو طوفان اقیانوسی، با افزایش پریود موج و همچنین ارتفاع موج، طول سواش و طول نفوذ کاسپ افزایش می یابد که این به دلیل افزایش طول بالاروی بوده و موجب تشکیل کاسپ هایی با نفوذ بیشتر و اندازه بزرگتر می شود.

با توجه به جدول ۴–۲۹ ، مشاهده می شود پارامتر فاصله ی بین کاسپ ها با استفاده از نظریه ی موج لبه ای که با شیب ساحل و پریود موج ارتباط مستقیم دارد، با افزایش پریود موج افزایش یافته و نسبت به مقادیر بدست آمده از نظریه خودتشکیل، اندازه های بیشتری دارند که دلیل آن می تواند تاثیر بیشتر تئوری موج لبه ای بر تشکیل کاسپ ها با این نوع امواج باشد. همچنین پارامتر فاصله ی بین کاسپ ها با استفاده از روش خودتشکیل که در آن طول سواش پارامتر تاثیر گذار بوده و پارامتر ثابت f مطابق کارهای مشابه برابر با ۱/۵ در نظر گرفته شده است، با افزایش ارتفاع موج و درنتیجه افزایش طول سواش، زیاد می شود.

همانطور که ذکر شد، پارامتر تعیین نوع ساحل به ارتفاع شکست، سرعت سقوط ذره و پریود موج وابسته است که با افزایش پریود و افزایش ارتفاع موج، افزایش ارتفاع شکست موج و زیاد شدن پارامتر امگا مشاهده می شود که از سناریوی ۱ تا ۳ مقادیر بین ۹۵۲/۰ و ۹۸۸/۰ است این مقادیر نشان دهنده ی سواحل انعکاسی است که کاسپ ها در آنها تشکیل می شوند. از سناریوی ۴ تا ۹ مقادیر بین ۱/۳۱۶ و ۱/۵۴۴ است که نشان دهنده ی سواحل بینابینی می باشد که شرایط تشکیل کاسپ می تواند در آنها وجود داشته باشد.

مطابق آزمایشات مسلینک و همکاران در سال ۱۹۹۶، برای 1.2 > 5اشکال کاسپ ها صاف تر یعنی ارتفاع آنها کمتر است و برای 1.2 < 5 مورفولوژی کاسپ ها افزایش می یابد. پارامتر 5 در ساحل رودیک با توجه به جدول ۴–۲۹، کمتر از ۱/۲ است و نشان دهنده ی تشکیل کاسپ هایی صاف تر با ارتفاع کمتر می باشد.

مطابق آزمایشات پوایت و همکاران در سال ۲۰۱۴ همانطور که در قسمت تحلیل حساسیت مطرح $\frac{H_0}{L_0}$ کمتر از ۲۰۰۳ است و در نتیجه عملکرد

سواش فرسایشی و فرورفتگی کاسپ عمیق تر می شود و در نتیجه کاسپ رشد بیشتری دارد. مطابق جدول ۴–۳۰، سناریو طوفان مونسونی، با افزایش پریود موج و همچنین ارتفاع موج، طول سواش و طول نفوذ کاسپ افزایش یافته است که این به دلیل افزایش طول بالاروی بوده و موجب تشکیل کاسپ هایی با نفوذ بیشتر و اندازه بزرگتر می شود.

با توجه به جدول4-7، مشاهده می شود پارامتر فاصله ی بین کاسپ ها با استفاده از نظریه ی موج لبه ای که با شیب ساحل و پریود موج ارتباط مستقیم دارد، با افزایش پریود موج افزایش یافته و نسبت به مقادیر بدست آمده از نظریه خودتشکیل، اندازه های کمتری دارند که دلیل آن می تواند تاثیر بیشتر تئوری خودتشکیل بر نحوه تشکیل کاسپ ها با این نوع امواج باشد. همچنین پارامتر فاصله ی بین کاسپ ها با استفاده از روش خودتشکیل که در آن طول سواش پارامتر تاثیرگذار است و پارامتر ثابت fمطابق کارهای مشابه برابر با ۱/۵ در نظر گرفته شده است، با افزایش ارتفاع موج و در نتیجه افزایش طول سواش، زیاد می شود.

با افزایش پریود و ارتفاع موج، افزایش ارتفاع شکست موج و افزایش پارامتر امگا مشاهده می شود که مقادیر بین ۲/۶۱۵ تا ۳/۹۰۶ بوده و سواحل بینابینی است که شرایط تشکیل کاسپ می تواند در آن وجود داشته باشد. پارامتر ⁵ در ساحل رودیک با توجه به جدول، کمتر از ۱/۲ بوده و نشان دهنده ی تشکیل کاسپ هایی صاف تر با ارتفاع کمتر می باشد.

مطابق جدول۴–۳۰، امواج مونسونی، پارامتر $\frac{H_0}{L_0}$ در سناریوهای ۱۵،۱۴،۱۲،۱۱و۱۸۹ و ۱۵، مطابق جدول۴–۵۰، امواج مونسونی، پارامتر $\frac{H_0}{L_0}$ در اناریوهای ۵۵۰۱ و ۱۶،۱۳،۱۰ و ۱۵ در بازه ی $\frac{H_0}{L_0} < 0.01$ قرار دارد که در آنها 0.01

به ترتیب، سواش شرایط رشد رسوبی دارد و در شاخ کاسپ رسوب گذاری بیشتر است و در نتیجه کاسپ رشد می کند و همچنین گاهی شرایط صاف شدن کاسپ و از بین رفتن آن حاکم است. با مقایسه بین دو سناریو یعنی طوفان های اقیانوسی و مونسونی که در جداول (۴–۲۹) و (۴–۳۰) مشاهده می شود، در طوفان های اقیانوسی با توجه به این که ارتفاع امواج از ۲۵/۰۰ تا ۲۰/۰۰ متر افزایش می یابد به تبع آن بالاروی نیز افزایش یافته البته در کنار ارتفاع امواج پریود هم در افزایش بالاروی نقش داشته که با افزایش پریود از ۱۶ تا ۱۸ ثانیه، افزایش بالاروی مشاهده می گردد همچنین در طوفان های مونسونی با توجه به این که ارتفاع امواج از ۲۵/۱ تا ۲/۵۰ متر افزایش میابد به تبع آن بالاروی نیز افزایش یافته همچنین با افزایش پریود از ۱۶ تا ۱۸ ثانیه، افزایش بالاروی مشاهده می گردد همچنین در طوفان با توجه به این که میزان بالاروی طوفان های اقیانوسی ۲۵/۰ تا ۲/۵۰ متر افزایش میابد به تبع آن بالاروی نیز با توجه به این که میزان بالاروی طوفان های اقیانوسی ۲۵/۰ تا ۲۱/۱۰ می باشد و بالاروی طوفان های مونسونی از ۲۸/۸۰ تا ۲۵/۲۰ متر تغییر می کند واضح است به دلیل بالاروی های بیشتر در مونسون کاسپ های شکل گرفته در سناریو های اقیانوسی در پایین ترین قسمت ناحیه سواش به سمت دریا و سناریو های مونسونی بالاتر از آن ها قرار می گیرند. می توان گفت به نوعی رفتار آنها مطابق شکل (۴–۳۷) خط قرمز و آبی می باشد. نمودار های این بخش برای درک بهتر و صرفه جویی در صفحات تویوست آورده شده است.



شکل(۴-۳۷)، کاسپ های ساحل رودیک (Google Earth)

				,))						
						امواج اقيانوسى	ناريوهای	3						
Run	Bed Slope	Hs (m)	Type of Wave	T(sec)	Run up (m)	Run Down (m)	As (m)	Cusps (Max Pen)	λ_{ev}	λ_{so} I	$I_b(m)$	C	2	H_{0}/L_{0}
1	1:60	0.50	JONSWAP	16.00	5.90	-1.45	3.675	5.90	13.32	5.513	1.066	0.952	0.472	0.001
2	1:60	0.50	JONSWAP	17.00	6.14	-1.49	3.815	6.14	15.04	5.723	1.092	0.918	0.501	0.001
3	1:60	0.50	JANSWAP	18.00	6.40	-1.52	3.960	6.40	16.86	5.940	1.117	0.887	0.531	0.001
4	1:60	0.75	JONSWAP	16.00	8.20	-1.75	4.975	8.20	13.32	7.463	1.474	1.316	0.385	0.002
ŝ	1:60	0.75	JONSWAP	17.00	8.40	-1.79	5.095	8.40	15.04	7.643	1.510	1.269	0.409	0.002
9	1:60	0.75	JONSWAP	18.00	8.70	-1.70	5.200	8.70	16.86	7.800	1.545	1.226	0.434	0.001
7	1:60	1.00	JONSWAP	16.00	10.70	-1.87	6.285	10.70	13.32	9.428	1.855	1.657	0.334	0.003
*	1:60	1.00	JONSWAP	17.00	11.20	-1.90	6.550	11.20	15.04	9.825	1.901	1.598	0.355	0.002
6	1:60	1.00	JONSWAP	18.00	11.50	-1.95	6.725	11.50	16.86	10.088	1.945	1.544	0.375	0.002
				IJ	فان های مونسون _و	سپ ها در سناريو طو	شخصات كاد	شکل(۲۰۰۴)، م						
						، امواج مونسونی	ناريوهاى	3						
Run	Bed Slope	$H_{s}(m)$	Type of Wave	T (sec)	Run up (m)	Run Down (m)	As (m)	Cusps (Max Pen)	λ_{ew}	\mathcal{X}_{so}	$H_{b}(m)$	C	n°	$H_{\mathfrak{H}_0}$
10	1:60	1.50	JONSWAP	11.00	18.80	-6.00	12.400	18.80	6.297	18.600	2.014	2.615	0.149	0.013
11	1:60	1.50	JONSWAP	12.00	20.50	-6.90	13.700	20.50	7.495	20.550	2.287	2.723	0.204	0.007
12	1:60	1.50	JANSWAP	13.00	22.00	-7.10	14.550	22.00	8.796	21.825	2.362	2.596	0.221	0.006
13	1:60	2.00	JONSWAP	11.00	24.30	-8.90	16.600	24.30	6.297	24.900	2.535	3.292	0.129	0.017
14	1:60	2.00	JANSWAP	12.00	26.60	-8.80	17.700	26.60	7.495	26.550	2.879	3.428	0.177	0.009
15	1:60	2.00	JONSWAP	13.00	28.00	-8.70	18.350	28.00	8.796	27.525	2.973	3.267	0.192	0.008
16	1:60	2.50	JONSWAP	11.00	32.00	-10.00	21.000	32.00	6.297	31.500	3.030	3.935	0.115	0.021
17	1:60	2.50	JONSWAP	12.00	33.30	-9.20	21.250	33.30	7.495	31.875	3.442	4.098	0.158	0.011
18	1:60	2.50	JONSWAP	13.00	35.30	-8.30	21.800	35.30	8.796	32.700	3.554	3.906	0.171	0.009

شکل(۲۹–۲۹)، مشخصات کاسپ ها در سناریو طوفان های اقیانوسی

۴-۵-۳-۲. نحوه شکل گیری کاسپ ها (مدل آزمایشگاهی و ساحل رودیک)

برای تشخیص نحوه شکل گیری کاسپ ها از یک روش نوین در این پایان نامه استفاده شده است بدین صورت که ابتدا با استفاده از محاسبات دستی، عمق شکست موج در همه سناریو های مدل واقعی بندر رودیک و همچنین مدل آزمایشگاهی بدست آمد چرا که بیشترین انرژی امواج در ناحیه ی عمق شکست به وجود می آید و امواج لبه ای در این ناحیه مشاهده می شوند. پس از دریافت خروجی تغییرات تراز سطح آب در ناحیه شکست با استفاده از تابع FFT^{۳۴} ابتدا طیف چگالی انرژی استخراج شده و سپس بیشینه قله ای که شکل گرفته در فرکانسی که مشاهده می شود، نشان دهنده موج لبه ای می باشد. مطابق شکل۴–۳۸ طیف چگالی انرژی در سناریو های ۹ و ۱۸ نشان داده شده است.



³⁴ Fast Fourier Transform

سپس با در نظر گرفتن بازه فرکانسی در بلندترین قله به وجود آمده در طیف چگالی انرژی موج لبه ای، نوسانات سطح آب باید در آن بازه ی فرکانسی استخراج شود، با استفاده از تابع FFT فیلتر در بازه ی گفته شده انجام گرفته و موج لبه ای استخراج می شود. به عنوان مثال موج لبه ای در سناریو ۹ مطابق شکل۴–۳۹ نشان داده شده است.



شکل(۴–۳۹)، موج لبه ای خارج شده در سناریو ۹

در انتها با روی هم انداختن موج لبه ای خارج شده و بالاروی کلی^{۳۵} نحوه شکل گیری کاسپ های ساحلی مشخص می گردد. در فصل دوم ذکر شد که عامل اصلی در شکل گیری کاسپ ها با استفاده از تئوری موج لبه ای، امواج لبه ای می باشند بنابراین زمانی که موج لبه ای و بالاروی کلی که شکل کاسپ را مشخص می کند، الگوی نوسانی مشابهی داشته باشند به طور قطع می توان ذکر کرد که کاسپ ساحلی از تئوری موج لبه ای پیروی می کند. پیش از آنکه شکل گیری کاسپ ها در ساحل رودیک بیان شود ابتدا در خصوص تست آزمایشگاهی و نحوه مقایسه توضیح داده می شود. بیشینه مقدار بالاروی مشاهده می شود که به ازای هر سیکل از موج لبه ای رنگ سبز یک سیکل از بیشینه مقدار بالاروی وجود دارد که اصطلاحا همسازی کامل گفته می شود. این بدین معنی است که

³⁵ Total Run up

در تست آزمایشگاهی شکل گیری کاسپ های ساحلی به طور کامل از تئوری موج لبه ای پیروی می کند البته لازم به ذکر است که دلیل این همخوانی دقیق و مناسب به دلیل شرایط آزمایشگاهی مدل، ابعاد کوچکتر و موج ورودی منظم آن می باشد که طبیعتا در مدل واقعی به این صورت همبستگی نباید مشاهده شود.



مطابق با توضیحاتی که داده شد در مدل واقعی ساحل بندر رودیک در سناریوهای طوفان اقیانوسی با توجه به شکل۴–۴۱ قسمت های الف تا خ مشاهده می شود که:



٩٧



شکل(۴۱-۴)، نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۲ تا ۴ (ادامه)







شکل(۴۱-۴)، نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۵ تا ۷ (ادامه)





با بررسی شکل۴–۴۱ قسمت الف تا خ ملاحظه می شود که در همه سناریو ها همسازی بالاروی کلی و موج لبه ای به صورت نسبتا مناسبی وجود دارد مقداری اختلاف فاز در این شکل ها نسبت به شکل مدل آزمایشگاهی مشاهده می شود که دلیل آن هم تاثیر شرایط واقعی حاکم بر مدل، اعم از موج نامنظم مدل واقعی در مقایسه با موج منظم مدل آزمایشگاهی می باشد. از این روی به طور قطع می توان گفت کاسپ های ساحلی تشکیل شده در سواحل بندر رودیک در فصول طوفان های اقیانوسی، با

با توجه به این که در این بخش ثابت شد، در سناریوهای طوفان اقیانوسی تئوری موج لبه ای برقرار می باشد مطابق جدول۴–۲۹، نیز مشاهده می شود مقادیر فواصل بین شاخ کاسپ ها در تئوری موج لبه ای منطقی تر (مطابق با واقعیت) است و مطابق شکل۴-۳۷ نیز در کاسپ های ردیف خط آبی رنگ فاصله شاخ تا شاخ کاسپ ها در حدود ۷ تا ۱۱ متر می باشد. مدل واقعی ساحل بندر رودیک در سناریوهای طوفان مونسون با توجه به شکل۴-۴۲ قسمت های الف تا خ مشاهده می شود که:









شکل(۴-۴۲)، نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۱۳ تا ۱۵ (ادامه)







شکل(۴-۴)، نمایش موج لبه ای و بالاروی حداکثر در سناریو ۱۶ تا ۱۸

با بررسی شکل۴-۴۲ قسمت الف تاخ، ملاحظه می شود که در مجموعه سناریو ها، همسازی در بالاروی کلی و موج لبه ای مشاهده نمی شود چرا که اولا سیکل موج بلند در محل قله خود دو قعر و یک قله

از بالاروی کلی را پوشش می دهد و ثانیا در بیشتر قسمت ها قله موج لبه ای قعر بالاروی و بالعکس را پوشش می دهد و در مواردی بعضا جزئی همسازی مشاهده می گردد که به هیچ وجه عملکرد تئوری موج لبه ای را نمی تواند داشته باشد از این روی به طور قطع می توان گفت کاسپ های ساحلی تشکیل شده در سواحل بندر رودیک در فصول طوفان های مونسونی، با توجه به تئوری موج خودتشکیل شکل می گیرند.

همانطور که در این بخش ثابت شد، در سناریوهای طوفان مونسونی تئوری خودتشکیل برقرار می باشد مطابق جدو(۴–۳۰، مشاهده می شود که مقادیر فواصل بین شاخ کاسپ ها در تئوری خودتشکیل اختلاف بسیار زیادی با تئوری موج لبه ای دارد که تئوری خود تشکیل منطقی تر (مطابق با واقعیت) می باشد و مطابق شکل۴–۳۷ نیز در کاسپ های ردیف خط قرمز رنگ فاصله شاخ تا شاخ کاسپ ها را در حدود ۲۰ تا ۳۰ متر نشان می دهد.

۴–۶. جمع بندی

مطابق با نتایج بدست آمده برای طوفان های اقیانوسی، عملکرد سواش به صورت فرسایشی می باشد که موجب رشد بیشتر کاسپ ها به صورت عمیق تر شدن فرورفتگی آنها می شود. همچنین به صورت کلی، کاسپ ها مورفولوژی صاف تر دارند و با افزایش ارتفاع و پریود امواج، اندازه ی آنها بزرگتر می شود. با توجه به ارتفاع شکست موج و پارامتر امگا، ساحل شرایط انعکاسی و بینابینی داشته که امکان تشکیل کاسپ در آن وجود دارد. همچنین برای طوفان های مونسونی، در ساحل رودیک، عملکرد سواش به صورت رشد رسوبی بوده که موجب رشد بیشتر کاسپ ها به صورت رسوب گذاری در شاخ ها می شود. آن بر ساحل حاکم می شود. با توجه به ارتفاع شکست موج و پارامتر امان می شود. که امکان تشکیل کاسپ در آنها وجود دارد به عنوان مثال تحت شرایطی مانند پریود موج ورودی، شیب کم ساحل، و ارتفاع موج مناسب که در این ساحل با توجه به برقرار شدن این شرایط، کاسپ ها تشکیل شده اند. به صورت کلی، کاسپ ها مورفولوژی صاف تر دارند و با افزایش ارتفاع و پریود امواج، اندازه ی آنها بزرگتر می شود.

مطابق با نتایج جداول۴–۲۹ و ۴–۳۰ همانطور که مشاهده شد مقادیر فواصل شاخ کاسپ ها در دو طوفان مطابق با دو تئوری کاملا متفاوت است که در سناریو طوفان های اقیانوسی مقادیر خود تشکیل از موج لبه ای کمتر است البته مقادیر بیشتر با توجه به میزان بالاروی تئوری موج لبه ای را تایید می کند. در سناریو طوفان های مونسونی این دو پارامتر اختلاف بسیار زیادی دارند که با توجه به مقادیر محاسبه گردیده و میزان بالاروی و انرژی بیشتر طوفان های مونسونی به طور قطع می توان گفت تئوری خود تشکیل حاکم است.

در سناریو های اقیانوسی از آنجایی که همسازی بسیار خوبی(در هر سیکل موج لبه ای یک سیکل بالاروی کلی وجود دارد) بین موج لبه ای و بالاروی کل وجود دارد که نشان می دهد در این زمان ها کاسپ ها از تئوری موج لبه ای برای شکل گیری تبعیت می کنند و در سناریو های مونسونی از آنجایی که همسازی بین موج لبه ای و بالاروی کلی دیده نمی شود تئوری موج خودتشکیل در شکل گیری کاسپ ها تاثیرگذار می باشد که این مطالب موارد مطرح شده بند قبل را نیز تایید می کند.



فصل پنجم

۵–۱.پیشگفتار

خط ساحلی، مرز بین دریا و زمین، شکل و موقعیت خود را به صورت مداوم تغییر می دهد. به منظور نگهداری از سواحل و سازههای ساحلی، شناخت کامل ویژگیهای هیدرودینامیکی و مورفولوژیکی ساحلی دارای اهمیت می باشد. کاسپها در برخی سواحل دیده می شوند و نحوه ی شکل گیری و اشکال منظم آنها همواره مورد توجه محققین بوده است. کاسپ ها می توانند به صورت کوتاه مدت شکل خط ساحلی را تغییر دهند اما اگر تحت شرایط خاصی از عواملی مانند پریود موج، شیب ساحل و ارتفاع موج قرار گیرند عمق و ارتفاع فرورفتگی آنها زیاد می شود و در نتیجه موجب فرسایش خط ساحلی می شوند. همچنین اگر رسوب گذاری در قسمت شاخ آنها به سمت دریا زیاد شود موجب مشکلات رسوبی برای سازه های نزدیک آن خواهد شد. بنابراین اطلاع از وضعیت و نحوه ی تشکیل و رشد کاسپ ها در سواحلی که مستعد رشد کاسپ می باشد؛ یعنی سواحل انعکاسی و بینابینی، می تواند برنامه ریزی برای پروژه ها و اتخاذ راهکارهای مناسب برای مواجهه با اثرات ناگهانی تغییرشکل خط ساحلی را بهبود بخشد.

در این پژوهش به صورت مطالعه موردی به بررسی چگونگی تشکیل و توسعه کاسپ های ساحل رودیک در شهرستان چابهار پرداخته شده است. به کمک نرم افزار مایک ۲۱ پارامترهای اثرگذار بر تغییرات کاسپ ها و اثر تئوری های ذکر شده بر تشکیل آنها تحت تاثیر ۱۸ سناریو بررسی شده و نتایج تحلیل حساسیت سنجی پارامترهای دخیل در تشکیل و تغییر کاسپ ها ارائه شده است. در این پژوهش ایده ی نوینی بیان شده است که در آن با استخراج موج لبه ای از طیف انرژی امواج و قیاس با بالاروی کل، می توان تئوری نحوه شکل گیری و گسترش کاسپ های ساحلی را تعیین کرد.

۵–۲. نتیجه گیری

با بررسی نتایج بدست آمده از سناریوها، نشان می دهد هنگامی که منطقه ی رودیک تحت اثر طوفان های اقیانوسی قرار دارد عملکرد جریان سواش در ساحل آن به صورت فرسایشی است یعنی با فرسایش فرورفتگی کاسپ ها و عمیق تر شدن آنها، کاسپ ها بزرگتر می شوند. به صورت کلی کاسپ های این منطقه مورفولوژی صاف تری دارند یعنی ارتفاع آنها کم و پهن تر می باشند. با افزایش ارتفاع امواج و افزایش پریود آنها کاسپ ها نیز بزرگتر شده و رشد آنها افزایش می یابد. با توجه به پارامتر ارتفاع شکست موج و پارامتر امگا که برای ساحل رودیک تحت تاثیر طوفانهای اقیانوسی محاسبه گردید، این ساحل جزو سواحل انعکاسی و بینابینی بوده که احتمال تشکیل کاسپ در آنها بسیار زیاد است و در ساحل واقعی رودیک نیز تشکیل کاسپ ها مشاهده می شود.

نتایج بدست آمده برای طوفان های مونسونی نشان می دهد ساحل رودیک تحت تاثیر این طوفان ها، عملکرد جریان سواش به صورت رشد رسوبی دارد بدین معنا که با رسوب گذاری در شاخ های کاسپ ها که رو به سمت دریا قرار دارند، اندازه ی کاسپ ها بزرگتر شده و رشد می کنند. اما گاهی با کم شدن پریود و بدون توجه به ارتفاع موج، شرایط صاف تر شدن تا از بین رفتن کاسپ ها بر ساحل حاکم می شود. با توجه به پارامتر ارتفاع موج، شرایط صاف تر شدن تا از بین رفتن کاسپ ها بر ساحل حاکم می مونسونی محاسبه گردید، ساحل جزو سواحل بینابینی بوده که امکان تشکیل کاسپ در آنها وجود دارد که با توجه به برقرار بودن عواملی مانند پریود بلند امواج، شیب کم ساحل و ارتفاع مناسب و متوسط امواج در این ناحیه کاسپ ها تشکیل شده است. تحت اثر طوفان های مونسونی همانند طوفان های اقیانوسی، کاسپ ها مورفولوژی صاف تری دارند و پهن تر می باشند همچنین افزایش ارتفاع و پریود امواج موجب افزایش رشد کاسپ ها می شود.

در مورد بررسی تئوری های موج لبه ای و خودتشکیل برای کاسپ های این منطقه می توان گفت مقادیر فواصل شاخ کاسپ ها در دو طوفان مطابق با دو تئوری کاملا متفاوت است. در سناریوی طوفان های اقیانوسی مقادیر فواصل با استفاده از تئوری خود تشکیل از فواصل با تئوری موج لبه ای کمتر است البته مقادیر بیشتر با توجه به میزان بالاروی در ساحل رودیک، تئوری موج لبه ای را تایید می کند. در سناریوی طوفان های مونسونی این دو پارامتر اختلاف بسیار زیادی دارند که با توجه به میزان بالاروی در ساحل رودیک به طور قطع می توان گفت تئوری خود تشکیل حاکم است.

در این پایان نامه یک روش نوین جهت مطالعه نحوه شکل گیری کاسپ ها به کار برده شده است این روش بر اساس رابطه معنادار بین امواج لبه ای و میزان بالاروی ایجاد شده است با توجه به این که بالاروی، کاسپ های ساحلی را به صورت ریتمیک شکل می دهد لذا از روش مطرح شده در فصل چهارم به عنوان یک روش نوین استفاده گردید بدین صورت که با استفاده از تابع FFT از خروجی تغییرات تراز آب، طیف چگالی انرژی استخراج شده و بیشینه قله ای که شکل گرفته، موج لبه ای را نشان می دهد. سپس با در نظر گرفتن بازه فرکانسی در بلندترین قله به وجود آمده در طیف چگالی انرژی موج لبه ای، نوسانات سطح آب باید در آن بازه ی فرکانسی استخراج شود که با استفاده از تابع FFT فیلتر در بازه ی گفته شده انجام گرفته و موج لبه ای استخراج می شود. در انتها با روی هم انداختن موج لبه ای خارج شده و بالاروی کلی نحوه شکل گیری کاسپ های ساحلی مشخص می گردد. همانطور که در بخش ۲-۲ توضیح داده شد در ناحیه ی سواش هر دو نوع اغتشاش شامل موج لبه ای و بورها وجود دارند که بسته به محیط و شرایط ناحیه ی شکست، تنها یکی ازآنها در ناحیه ی سواش غالب است. بررسی تئوری موج لبه ای نشان داد که در سناریو های اقیانوسی از آنجایی که همسازی بسیار خوبی(در هر سیکل موج لبه ای یک سیکل بالاروی کلی وجود دارد) بین موج لبه ای و بالاروی کل وجود دارد که نشان می دهد در این زمان ها کاسپ ها از تئوری موج لبه ای برای شکل گیری تبعیت می کنند و در ناحیه ی سواش امواج لبه ای غالب می باشند. در سناریو های مونسونی از آنجایی که همسازی بین موج لبه ای و بالاروی کلی دیده نمی شود تئوری موج خودتشکیل در شکل گیری کاسپ ها تاثیرگذار می باشد و همچنین در ناحیه ی سواش بورها غالب می باشند که این مطالب موارد مطرح شده بند قبل را نیز تایید می کند.

۵–۳. پیشنهادات

پیشنهاداتی که برای ادامه در پژوهش های آینده مطرح می گردند عبارتند از: ۱. بررسی شرایط خاص سواحل استهلاکی که در آن ها امکان شکل گیری کاسپ وجود دارد. ۲. بررسی کمی و میدانی تغییرات اندازه های کاسپ ها در دوره های چندماهه و بومی سازی پارامتر ثابت *f* در تئوری خودتشکیل. ۳. بررسی ارتباط بین انرژی سواحل و نوع سواحل با تشکیل کاسپ ها. ۴. مقایسه ی تئوری های تشکیل دهنده ی کاسپ ها در سواحل ایران با بررسی میدانی. ۵. تاثیر امواج لبه ای موازی ساحل بر شکل گیری کاسپ ها با استفاده از مدل دو بعدی.





شکل (۱)، نمودار بالاروی سناریو های امواج مونسونی



شکل (۲)، نمودار طول سواش سناریو های امواج مونسونی



شکل (۳)، نمودار تئوری امواج لبه ای در سناریو امواج مونسونی



شکل (۴)، نمودار تئوری خودتشکیل در سناریو امواج مونسونی



شکل (۵)، نمودار بالاروی در سناریو امواج اقیانوسی



شکل (۶)، نمودار طول سواش در سناریو امواج اقیانوسی



شکل (۲)، نمودار تئوری امواج لبه ای در سناریو امواج اقیانوسی



شکل (۸)، نمودار تئوری خودتشکیل در سناریو امواج اقیانوسی





مراجع فارسى

حبیبی ف، (۱۳۷۹) ، "بررسی تاثیرات مونسون هند بر روی ایران"، پژوهش های جغرافیایی – شماره ۳۹، دانشگاه تهران. شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس، (۱۳۹۱) ، گزارش مطالعات و طراحی مراحل اول و دوم موجشکن بندر رودیک شرکت دریا ترسیم، (۱۳۹۱)، گزارش هیدروگرافی بندر رودیک

مراجع انگلیسی

- Allen J. R., Psuty N. P., Bauer B. O., & Carter R. W. G. (1996), "A field data assessment of contemporary models of beach cusp formation," J. Coast. Res., vol. 12, no. 3, pp. 622–629.
- Almar R., Coco G., Bryan K. R., Huntley D. A., Short A. D., & Senechal N. (2008),
 "Video observations of beach cusp morphodynamics," *vol. 254, pp. 216–223.*
- Antia E. E. (1989), "Beach cusps and beach dynamics: A quantitative field appraisal," *Coast. Eng., vol. 13, no. 3, pp. 263–272.*
- Aoki H., Sunamura T. (2000),"A laboratory experiment on the formation and morphology of beach cusps", *Article in chikei, january*
- Bagnold R. A. (1940), "Beach formation by waves: some model experiments in a wave tank", *Journal of the Institute of Civil Engineers*, 15, 27–52.
- Benavente J., Harris D. L., & Austin T. P. (2011), "Medium term behavior and evolution of a beach cusps system in a low energy beach, Port Stephens, NSW, Australia. ", *Methods, no. 64, pp. 170–174.*
- Birrien F., Castelle B., Dailloux D., Marieu V., & Rihoue D. (2013), "Video observation of megacusp evolution along a high-energy engineered sandy beach: Anglet, SW France," no. 65, pp. 1727–1732.
- Butt T. & Russell P. (2000), "Hydrodynamics and cross-shore sediment transport in the swash zone of natural beaches: a review". J. *Coastal Res.*, *16*:255-268.

- Butt T. & Russell P. (1999), "Suspended sediment transport mechanisms in high-energy swash." *Mar. Geol.*, *161:361-375*.
- B. W. Module, "MIKE 21," 2012.
- Calvete D., Dodd N., Falques A., & Van Leeuwen S. M. (2005), "Morphological development of rip channel systems: normal and near normal wave incidence." J. Geophys. Res., 110(CIO):CI0007, doi:10.1029/2004JC002803.
- Ciriano Y.(2005), "Field observations of swash zone infragravity motions and beach cusp evolution," J. Geophys. Res., vol. 110, no. C2, p. C02018.
- Coco G., Huntley D. a., & O'Hare T. J.(2000), "Investigation of a self-organization model for beach cusp formation and development," *J. Geophys. Res., vol. 105, p. 21991.*
- Coco G, Burnet T.K, & Werner B. T.(2004), "The role of tides in beach cusp development," J. Geophys. Res., vol. 109, no. C4, p. C04011.
- Coco G. (1999), "Mechanisms for the Formation of Rhythmic Topography in the Nearshore Region," *no. October*.
- Coco G., O'Hare T. J., & Huntley D. (1999). "Beach cusps: A comparison of data and theories for their formation." *J. Coastal Res.*, *15:741-749*.
- Coco G., Burnet T. K., Werner B. T., & Elgar S. (2003). "Test of selforganization in beach cusp formation." *J. Geophys. Res.*, *108* (*C3*)(*3101*).
- Cox, D.T., N. Kobayashi and A.Wurjanto (1992). "Irregular wave transformation processes in surf and swash zones." *Proc.23rd Int. Con. Coastal Eng.*,156-169.
- Dean R. G. & Maurmeier E. M. (1980), "Beach cusps at Point Reyes and Drakes Bay beaches, California", Proceedings 17th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, 863–884.
- Dean R. G. & Dalrymple R. A. (2004), "Coastal processes with engineering applications", *Cambridge*.
- Dodd N., Stoker A. M., Calvete D., & Sriariyawat A. (2008), "On beach cusp formation,"J. Fluid Mech., vol. 597, pp. 145–169..

- Dubois R. N. (1978), "Beach topography and beach cusps", *Geological Society of America Bulletin*, 89, 1133–1139.
- Elfrink B. & Baldock T. (2002), "Hydrodynamics and sediment transport in the swash zone: a review and perspectives". *Coastal Eng.*, 45:149-167.
- Evans O. F. (1938), "Classification and origin of beach cusps", *Journal of Geology*, 46, 615–627.
- Flemming N. C. (1964), "Tank experiments on the sorting of beach material during cusp formation", *Journal of Sedimentary Petrology*, *34*, *112–122*.
- Garnier R., Ortega-Sánchez M., Losada M. a., Falqués A., & Dodd N.(2010), "Beach cusps and inner surf zone processes: growth or destruction? A case study of Trafalgar Beach (Cádiz, Spain)," Sci. Mar., vol. 74, no. 3, pp. 539–553.
- Guza R. T. & Inman D. L. (1975), "Edge waves and beach cusps". J Geophys.Res, 80:2997-3012.
- Guza R.T. & Bowen A. J. (1981), "On the amplitude of beach cusps". J. Geophys.Res., 86:4125-4132.
- Hibberd S. & Peregrine D. H. (1979), "Surf and run-up on a beach: A uniform bore". J. Fluid Mech., 95:323-345.
- Holland K. T. & Holman R. A. (1996), "Field observations of beach cusps and swash motions". *Mar. Geol.*, 134:77-93.
- Holland K. T. (1995), "Foreshore Dynamics: Swash Motions and Topographic Interactions on Natural Beaches" *Oceanography*.
- Holland K. T.(1998), "Beach cusp formation and spacings at Duck, USA,"vol. 18, no. January, pp. 1081–1098, 1998.
- Hom-ma M. & Sonu C.(1962), "Rhythmic pattern of longshore bars related to sediment characteristics," *Coast. Eng. Proc., pp.* 248–278.
- Horikawa K., editor (1988). "Nearshore dynamics and coastal processes: Theory, Measurement and Predictive Models". *University of Tokyo Press*.

- Hughes M. (1992), "Application of a nonlinear shallow water theory to swash following bore collapse on a sandy beach". *J. CoastalRes.*, *8*(*3*):562-578.
- Hughes M. G., Masselink G., & Brander R. W. (1997), "Flow velocity and sediment transport in the swash zone of a steep beach". *Mar. Geol.*, *138:91-103*.
- Huntley D. a & Bowen a J.(1984), "Beach Cusps and Edge Waves" .*Coast. Eng.*, pp. 1378–1393.
- Inman D. L. & Guza R. T. (1982), "The origin of swash cusps on beaches". Mar.Geol.,49:133-148
- Johnson D. W. (1919), "Shore Processes and Shoreline Development", Wiley, New York, 583 pp.
- Kaneko A.(1978), "A Laboratory Experiment of Beach Cusps", pp. 1311-1324.
- Kaneko A.(1985), "Formation of beach cusps in a wave tank", *Coastal Engineering*, 981--98
- Komar P. D. (1973), "Observations of beach cusps at Mono Lake, California", Geological Society of Amercia Bulletin, 84, 3593–3600
- Kuenen P. H. (1948), "The formation of beach cusps", Journal of Geology, 56, 34-40.
- Longuet-Higgins M. & Parkin D. (1962), "Sea waves and beach cusps". *Geogr.I.*, 128:194-201.
- Lopes.V.(2011),"Beach cusps: Using multivariate data analysis techniques for the identification of important variables and for predicting their spacing" *Analysis, no. 64, pp. 1106–1110.*
- Madsen, P. A. and Sørensen, O. R. (1992)." A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics" *Part 2. A slowly-varying bathymetry* .Coastal Engineering, 18:183 – 204.
- Madsen P.A., Sorensen O.R., Schaffer H.A.,(1997),"Surf zone dynamics simulated by a boussinesq type model." *ICCH,Alle 5,2970,Horsholm,Denmark*.
- Mangor K. (2004), "Shoreline management guidelines "*Horsholm, Denmark, : DHI Water & Environment.*

- Mase,H.(1994). "Uprush-backrush interaction dominated and longwave dominated swash oscillations." Proc. Int.Symp.:Waves—Physical and Numerical Modelling, UBC Vancouver, August 21-24 1994,eds.M.Isaacson andM.Quirk,316-325
- Masselink G., Russell P., Coco G., & Huntley D. (2004), "Test of edge wave forcing during formation of rhythmic beach morphology". *Ceophys. Res.* 109(C06003):doi:10.10
- Masselink G. (1999), "Alongshore variation in beach cusp morphology in a coastal embayment," *Earth Surf. Process. Landforms, vol. 24, no. 4, pp. 335–347.*
- Masselink G., Evans D., Hughes M. G., & Russell P. (2005), "Suspended sediment transport in the swash zone of a dissiaptive beach". *Mar. Geol.*, 216:169189
- Masselink G. & Hughes M. (1998), "Field investigation of sediment transport in the swash zone". *Cont. Shelf Res.*, 18:1179-1199.
- Masselink G., Hegge B. J., & Pattiaratchi, C. (1996), "Beach cusp morphodynamics". *Earth Surface Processes and Landforms*, 22:1139-1155.
- Masselink G. & Pattiaratchi C. B. (1998), "Morphological evolution of beach cusps and associated swash circulation". *Mar. Geol.*, *146:93-113*.
- Masselink G.(2004), "Test of edge wave forcing during formation of rhythmic beach morphology," J. Geophys. Res., vol. 109, no. C6, p. C06003.
- Mortensen S,B,. Madsen A,. (2006),"Numerical modeling of the surf zone dynamics in Waimea Bay", *Technical university of Denmark.spring*.
- Nielsen A,W., Simonsen H,J.,(2002)," Analysis of Near Field in Front of a Piston Wavemaker and MIKE 21 BW's Handling of Surfzone", *Polytechnical Midway Project, MEK, DTU*.
- Otvos E. G. (1964), "Observations of beach cusps and beach ridge formation on Long Island Sound", *Journal of Sedimentary Petrology*, 34, 554–560.
- Poate T.(2014), "Storm-driven cusp behaviour on a high energy gravel beach," no. January
- Pruszak Z., Sea B., & Szmytkiewicz P.(2008), "Megascale rhythmic shoreline forms on a beach with multiple bars ," *vol. 50, no. 2, pp. 183–203.*
- Russell R. J. & McIntire W. G. (1965), "Beach cusps", *Geological Society of America Bulletin*, 76, 307–320.
- Sallenger A. H. (1979), "Beach cusp formation", Marine Geology, 29, 23–37.
- Sánchez M., Fachin S., Sancho F., & M. A. Losada.(2008), "Relation between beachface morphology and wave climate at Trafalgar beach (Cádiz, Spain)," vol. 99, pp. 171–185.
- Sato M., Kuroki k., Shinohara T,(1980)," A field experiment on the formation of beach cusps", *Kagoshima University*, 1-21-40 Korimoto, Kagoshima-shi, 890 JAPAN
- Schäffer H.A, Madsen P.A, Deigaard R.(1993), "A Boussinesq model for waves breaking in shallow waterCoastal Engineering", 20 (3-4), pp. 185-202 [doi:10.1016/0378-3839(93)90001
- Senechal N., Laibi R.A., Almar R., Castelle B., Biausque M., Lefebvre J.-P., Anthony E., Michio Sato M., Kuroki k., Shinohara T.(2014), "A field experiment on the formation of beach cusps", *Kagoshima University*, 1-21-40 Korimoto, Kagoshima-shi, 890 JAPAN
- Sorensen R. M. (2006), "Basic coastal engineering", Third Edition, Springer, pp. 330.

Coastal Engineering Manual

- Sriariyawat A., Grt G., & Library E. N.(2009), "Formation and Evolution of Beach Cusps," no.january
- Sunamura.T,(2015) "A laboratory experiment on the formation and morphology of beach cusps" *no. October.*
- Takeda I. & Sunamura, T. (1983), "Formation and spacing of beach cusps", Coastal Engineering in Japan, 26, 121–135.
- United States, Army. Coastal Engineering Research Center (2006), "Coastal engineering manual," U.S. Government Printing Office, Washington DC 20314-1000.
- Van Gaalen J. F., Joseph Frank.(2011), "Alternative Statistical Methods for Analyzing Geological Phenomena : Bridging the Gap Between Scientific Disciplines," *no. January*.
- Vousdoukas M. I.(2012), "Erosion/accretion patterns and multiple beach cusp systems on a meso-tidal, steeply-sloping beach," *Geomorphology*, vol. 141–142, pp. 34–46.

- Werner B. T. & Fink T. M. (1993), "Beach cusps as self-organized patterns". Science, 260:968-971.
- Williams Z.(2010), "Localized generation of low frequency swash motion through," no. May.
- Worrall G. A. (1969), "Present day and subfossil beach cusps on the West African coast", *Journal of Geology*, 77, 484–487.
- Wright, L.D. and Short, A.D., (1984), "Morpbodynamic variability of surf zones and beaches" a synthesis. *Marine Geology*, *56*, *93-118*

Abstract

Beach cusps are quasi-regularly spaced feature in the swash zone. Many scientists have attempted to explain how beach cusps form and develop. As a result of this work, two contrasting theories for their formation have gained acceptance: the sub harmonic edge wave theory and the self-organization theory. Cusps can change the form of the shoreline in the short period of time but if their embayment's depth and height grows too much, causes erosion of shoreline and if sedimentation in the seaward point horns increases causes sedimentary problems for near facilities and ports. So Knowing about the formation and development of cusps can improve and complete the planning of future engineering projects and management of coastal areas. In this study the formation and development of beach cusps of Roddick beach in the Chabahar city have been discussed. At first, the morphology of the area and then monsoon and ocean storms Introduced and more information of hydrodynamic and classification of coast of Ruddick expressed. In the end, by the Mike 21 software and 18 scenarios, parameters that affecting the change of cusps and the effect of theories that has been said previously, have been investigated. In this study, a new idea expressed that by separating edge wave from wave energy spectrum and compared it to the total run up, the theory of the formation and development of coastal cusps can be determined. The results show that beach Roddick have reflective and intermediate conditions that forming the cusp in there is possible. Increasing wave height and period, increases the size of cusp. For Storm Ocean, there is erosive swash conditions with embayment deepening and so grow thing cusps and the formation of cusps supports edge wave theory. For monsoon storms, there is accretionary swash conditions with horn deposit and so grow thing cusps and the formation of cusps supports self-organization theory.

Keywords: Beach Cusps, Edge wave theory, Self-organization theory, Mike 21 BW modules, Roddick beach.



Faculty of Civil Engineering

MSc Thesis in Coastal Engineering, Ports and Marine Structures

Numerical and Analytical Modeling of Beach Cusps Formation and Evolution (Case Study; Rudic Ports)

By: Elham Zakeri Anarak

Supervisor: Dr. Mahdi Adjami

Advisor: Eng. Ahmad Rezaei

May 2017