

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

رشته عمران گرایش سازه‌های دریایی
پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مطالعه‌ی عددی بررسی عوامل مؤثر روی سرعت جریان شکافنده
(مطالعه عددی: سواحل انزلی)

نگارنده: لیلا همتی

استاد راهنما:
دکتر مهدی عجمی

استاد مشاور:
مهندس میثم بالی

تیر ۱۳۹۵

تقدیم نامہ

تقدیم بہ پدر مہربانم

سپاس‌گزاری

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه‌سار بنده‌نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر عجمی که از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند، تقدیر و تشکر نمایم.

با تقدیر و درود فراوان از اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر احمدی و جناب آقای دکتر عابدینی که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند؛

و با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند؛ باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهد نامه

اینجانب لیلا همتی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - گرایش سازه های دریایی دانشکده مهندسی عمران نویسنده پایان نامه مطالعه‌ی عددی بررسی عوامل مؤثر روی سرعت جریان شکافنده (مطالعه عددی: سواحل انزلی) تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی متعهد می شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

امواج دریا با حرکت به سمت ساحل همواره حجم زیادی از آب را به طرف خشکی منتقل می‌کنند. این حجم وسیع از آب می‌باید دوباره به داخل دریا برگردد و برای این منظور در نقاطی از ساحل، به صورت تقریباً غیرقابل پیش‌بینی، درون آب دریا آبراهه‌هایی به طرف دریا ایجاد می‌شود که در آن آب با سرعت زیادی برخلاف جهت امواج (یعنی از سمت ساحل به سمت دریا) جریان می‌یابد. این جریان‌ها کاملاً از امواج آب متفاوت بوده و به آن‌ها جریان‌های ساحلی، جریان‌های شکافنده (Rip currents) و یا جریان‌های مرگبار گفته می‌شود که به دلایل متفاوتی ایجاد می‌شود، اما نکته مشترک در همه‌ی موارد یک چیز است و آن، شکست موج و حرکت آن به سوی دریا از نقطه‌ای که ارتفاع آب بیشتر است به سوی نقطه‌ای که ارتفاع کمتر است تا این‌که به تراز متعادل برسد. در این پژوهش باهدف کاهش سرعت و قدرت جریان شکافنده به بررسی تأثیر عوامل اثرگذار بر روی جریان شکافنده پرداخته شده است. جریان شکافنده به ویژگی‌های باد، موج، بستر و انرژی جزر و مد وابسته است. در این پژوهش برای بررسی عوامل ذکر شده از نرم‌افزار مایک ۲۱ ماژول‌های Spectral waves FM(SW) و Flow Model Fm(FM) در سواحل انزلی استفاده و مشخص شد سرعت جریان شکافنده با ارتفاع موج، دوره تناوب موج، سرعت باد، تعداد بار رسوبی و طول کانال شکافنده رابطه مستقیم و با عرض کانال شکافنده و عمق آب رابطه معکوس دارد. جهت اطمینان از نتایج نرم‌افزار به مقایسه نتایج این نرم‌افزار با نتایج بالشتک هوا موجود در عمق ۱۰.۵ متری بندر انزلی پرداخته و درستی نرم‌افزار تأیید شد.

واژگان کلیدی: جریان‌های ساحلی؛ جریان شکافنده؛ عوامل اثرگذار؛ مایک ۲۱؛ ماژول SW؛ ماژول

FM؛ بالشتک هوا.

فهرست عنوان‌ها

فصل ۱ کلیات..... ۱

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- بیان مسأله..... ۹
- ۳-۱- ضرورت انجام پژوهش..... ۱۰
- ۴-۱- هدف‌ها و کاربردهای پژوهش..... ۱۱
- ۵-۱- سازمان‌بندی پایان‌نامه ۱۱

فصل ۲ مطالعات پیشین..... ۱۳

- ۱-۲- مقدمه ۱۴
- ۲-۲- ویژگی جریان شکافنده ۱۴
- ۳-۲- بررسی عوامل موثر بر روی سرعت جریان شکافنده..... ۱۵
- ۲-۳-۱- ارتفاع موج..... ۱۵
- ۲-۳-۲- دوره تناوب موج..... ۱۷
- ۲-۳-۳- جهت موج..... ۱۹
- ۲-۳-۴- عمق آب..... ۲۱
- ۲-۳-۵- انرژی جزر و مدی..... ۲۱
- ۲-۳-۶- باد..... ۲۲
- ۲-۳-۷- هیدروگرافی..... ۲۳
- ۴-۲- پیش‌بینی جریان شکافنده..... ۲۴
- ۲-۴-۱- اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی..... ۲۴
- ۲-۴-۲- مطالعات میدانی..... ۲۵
- ۲-۴-۳- مدل‌های کامپیوتری و عددی..... ۲۷
- ۲-۴-۴- نمونه‌ای از تحقیقات ترکیبی از دو روش..... ۲۹

فصل ۳ مواد و روش‌ها..... ۳۱

- ۱-۳- مقدمه ۳۲
- ۲-۳- منطقه مطالعاتی..... ۳۲

۳۲	۱-۲-۳ انتخاب سواحل شمال کشور
۳۳	۲-۲-۳ انتخاب سواحل انزلی
۳۶	۳-۳ موارد مورد استفاده در این پژوهش
۳۷	۱-۳-۳ ۲۱ مایک
۴۱	۲-۳-۳ داده های ورودی
۴۳	۴-۳ ضرایب کالیبراسیون
۴۴	۱-۴-۳ ضرایب کالیبراسیون ماژول SW
۴۵	۲-۴-۳ ضرایب کالیبراسیون ماژول FLOW MODEL FM
۴۶	۵-۳ خروجی های مدل
۴۶	۱-۵-۳ خروجی ماژول SW
۴۶	۲-۵-۳ خروجی ماژول FLOW MODEL FM
۴۶	۶-۳ نحوه استخراج رابطه

فصل ۴ نتایج و بحث..... ۴۹

۵۰	۱-۴ مقدمه
۵۰	۲-۴ نتایج کالیبراسیون مدل
۵۲	۳-۴ بررسی تاثیر شکل بستر و وجود کانال شکافی بر سرعت جریان شکافنده
۵۳	۱-۳-۴ ایجاد بار رسوبی بدون مش داخلی و تغییر هیدروگرافی
۵۳	۲-۳-۴ ایجاد بار رسوبی با مش داخلی و مرز بار رسوبی به صورت باز
۵۴	۳-۳-۴ ایجاد بار رسوبی با مش داخلی و مرز بار رسوبی به صورت بسته
۵۴	۴-۳-۴ تعداد بار رسوبی
۵۵	۵-۳-۴ عرض کانال شکافنده
۵۶	۶-۳-۴ طول کانال شکافنده
۵۷	۴-۴ بررسی تاثیر موج بر سرعت جریان شکافنده
۵۷	۱-۴-۴ عمق آب
۵۸	۲-۴-۴ جهت ورودی موج
۵۹	۳-۴-۴ ارتفاع موج
۵۹	۴-۴-۴ دوره تناوب موج
۶۰	۵-۴ بررسی تاثیر باد بر سرعت جریان شکافنده
۶۰	۱-۵-۴ سرعت باد
۶۱	۲-۵-۴ جهت باد

۶۴-۶- استخراج رابطه سرعت جریان شکافنده ۶۲

فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۵

۵-۱- مقدمه ۶۶

۵-۲- نتایج حاصل از مدل‌سازی در نرم‌افزار MIKE 21 ۶۶

۵-۳- بررسی رابطه سرعت جریان شکافنده ۶۷

۵-۴- پیشنهادات برای مطالعات آتی ۶۷

منابع و مراجع ۶۹

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- نمایش نحوه شکل‌گیری جریان شکافنده ۴
- شکل ۲-۱- نمایش بار رسوبی و جریان شکافنده در فاصله بین دو بار رسوبی ۵
- شکل ۳-۱- ساختار جریان شکافنده ۶
- شکل ۴-۱- نماهای مختلف از جریان شکافنده ۸
- شکل ۱-۲- نمایش تاثیر ارتفاع موج بر سرعت جریان شکافنده ۱۶
- شکل ۲-۲- نمایش تاثیر دوره تناوب موج بر سرعت جریان شکافنده ۱۸
- شکل ۳-۲- ارتباط بین ارتفاع و دوره تناوب موج در دو حالت وقوع و عدم وقوع جریان شکافنده ۱۹
- شکل ۴-۲- مقایسه پنج ضلعی به دست آمده از وصل کردن ۱۶ نقطه ایی که جهت متوسط موج را نشان می‌دهد در حالت وقوع و عدم وقوع جریان شکافنده ۲۰
- شکل ۵-۲- میانگین دسته بندی جریان شکافنده براساس میانگین جهت موج نسبت به خط ساحلی ۲۱
- شکل ۱-۳- سواحل انزلی ۳۶
- شکل ۲-۳- مرز سواحل انزلی ۴۱
- شکل ۳-۳- مش بندی سواحل انزلی ۴۲
- شکل ۴-۳- نمایش مرزهای مدل ۴۳
- شکل ۱-۴- مقایسه سرعت واقعی جریان در ساحل انزلی و سرعت به دست آمده از تحلیل مدل ۵۱
- شکل ۲-۴- نمایش عرض بار رسوبی ۵۲
- شکل ۳-۴- ایجاد بار رسوبی بدون مش داخلی و تغییر هیدروگرافی ۵۳
- شکل ۴-۴- ایجاد بار رسوبی با مش داخلی و در نظر گرفتن مرز بار رسوبی به صورت باز ۵۳
- شکل ۵-۴- ایجاد بار رسوبی با مش داخلی و در نظر گرفتن مرز رسوبی به صورت بسته ۵۴
- شکل ۶-۴- بررسی تعداد بار رسوبی بر سرعت جریان شکافنده ۵۵

- شکل ۷-۴- رابطه بین تعداد بار رسوبی و سرعت جریان شکافنده ۵۵
- شکل ۸-۴- بررسی عرض کانال شکافنده بر سرعت جریان شکافنده ۵۶
- شکل ۹-۴- رابطه بین عرض بار رسوبی و سرعت جریان شکافنده ۵۶
- شکل ۱۰-۴- بررسی تغییر طول کانال شکافنده بر سرعت جریان شکافنده ۵۷
- شکل ۱۱-۴- رابطه بین تعداد طول کانال شکافنده و سرعت جریان شکافنده ۵۷
- شکل ۱۲-۴- رابطه بین عمق آب و سرعت جریان شکافنده ۵۸
- شکل ۱۳-۴- رابطه بین جهت برخوردی موج و سرعت جریان شکافنده ۵۸
- شکل ۱۴-۴- رابطه بین ارتفاع موج و سرعت جریان شکافنده ۵۹
- شکل ۱۵-۴- رابطه بین تعداد بار رسوبی و سرعت جریان شکافنده ۵۹
- شکل ۱۶-۴- رابطه بین سرعت باد و سرعت جریان شکافنده ۶۰
- شکل ۱۷-۴- رابطه بین جهت برخوردی موج و سرعت جریان شکافنده در زاویه صفر درجه ۶۱
- شکل ۱۸-۴- رابطه بین جهت برخوردی موج و سرعت جریان شکافنده در زاویه ۴۵ درجه ۶۱
- شکل ۱۹-۴- رابطه بین جهت برخوردی موج و سرعت جریان شکافنده در زاویه ۲۷۰ درجه ۶۲
- شکل ۲۰-۴- رابطه بین جهت برخوردی موج و سرعت جریان شکافنده در زاویه ۳۱۵ درجه ۶۲
- شکل ۲۱-۴- رابطه بین سرعت جریان شکافنده محاسباتی و سرعت جریان شکافنده حاصل از
مدلسازی عددی ۶۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۲- تاثیر سرعت و جهت باد بر سرعت جریان شکافنده ۲۲

جدول ۱-۴- مقادیر پارامترهای مختلف در مرحله کالیبراسیون ۵۱

مقالات برگرفته از پایان نامه و چاپ شده در مراجع معتبر

1. Hemati, L., Adjami, M.(2016), " The impact of the rip channels on the power rip currents. (Case study: West Caspian Sea, Kelachay station) ". The 35th International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2016), Istanbul, TURKEY.

2. Hemati, L., Adjami, M. (2016), " The Numerical Modeling of Rip Channel in Power of Rip Currents (Case Study: West Caspian Sea, Kelachay Station) ". ISOPE-2016 Conferene, Greece.

۳. همتی ل، عجمی م، (۱۳۹۵)، " بررسی شکل گیری جریان شکافنده در شمال و جنوب ایران و مدلسازی جریان شکافنده در سواحل انزلی "، مجله علمی- ترویجی علوم و فناوری دریا (ارسال شده- در مرحله داوری).

۴. همتی ل، عجمی م، جباری خامنه ا، (۱۳۹۴)، " مقایسه روش های نیمه تجربی برای بررسی اقلیم امواج ناشی از باد (مطالعه موردی: بندر انزلی) "، چهاردهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، زاهدان، ایران.

فهرست علامت های اختصاری

تعریف پارامتر	واحد	پارامتر
شاخصهای مختلف مربوط به تعیین حالت ساحل	-	Ω, Σ, k^x
ارتفاع موج شکنا	m	H_b
سرعت ته نشینی ذرات رسوبی	-	W_s
دوره تناوب	Sec	T
زاویه شکست موج	Deg	B
ارتفاع موج در آب عمیق	M	H_0
طول موج در آب عمیق	M	L_0
قطر ۵۰٪ رسوبات	M	d_{50}
شتاب جاذبه گرانشی	m^3/sec	G
طیف انرژی موج فرکانسی_جهتی	-	E
زمان	Sec	T
مختصات دکارتی در حالت دوبعدی	M	X, y
فرکانس	$1/sec$	f
جهت انتشار امواج	Deg	θ
سرعت گروهی موج	m/sec	C_g
سرعت انتشار موج	m/sec	C
عبارت چشمه و چاه	-	S
انتقال انرژی از باد به سطح آب	-	S_{in}

تعریف پارامتر	واحد	پارامتر
انتقال انرژی توسط اندرکنش غیر خطی امواج	–	S_{nl}
استهلاک انرژی موج در اثر پدیده سفیدک رأس موج	–	S_{dis}
استهلاک انرژی موج ناشی از اندرکنش با آب بستر دریا	–	S_{bot}
استهلاک انرژی موج ناشی از شکست در ناحیه کم عمق	–	S_{surf}
پارامتر آماری درصد خطای میانگین	–	$MAPE$
پارامتر آماری میانگین اریبی	m	MBE
پارامتر آماری ضریب همبستگی	–	R
سرعت جریان و سرعت جریان شکافنده به دست آمده از رابطه تجربی	m/sec	V
سرعت جریان به دست آمده از نرم افزار	m/sec	V_m
تعداد داده های ورودی	–	N
پارامتر شکست	–	γ
ضریب اصطحاک	m	K_n
ضرایب سفیدک راس موج	–	$C_{dis}, DELTA_{dis}$
ضرایب ثابت	–	$a, b, c, d, e, w, h, j, m, o, p, q, r, u$
تعداد بار رسوبی	–	N
عرض کانال شکافنده	m	M
طول کانال شکافنده	m	L
عمق آب	m	D
ارتفاع موج	m	H
سرعت باد	m/sec	V_w

پارامتر	واحد	تعریف پارامتر
A	Rad	زاویه برخوردی موج
Δ	Rad	زمان
\dot{f}	-	ضریب اصطکاک باد
Z	m	تغییرات تراز سطح آب
\dot{C}	$m^{1/2}/sec$	ضریب شزی
P_a	Kg/sec^3	فشار هوا
P_w	Kg/sec^3	جرم حجمی آب
p, q	Kg/sec^3	دانسیته شار در جهت های مختلف
V_x, V_y	m/sec	سرعت متوسط عمقی در جهت های مختلف
Y	Kg/sec^3	چگالی سینماتیکی

فصل ۱ کلیات

معمولاً حفاظت بهینه از سواحل مبتنی به شناخت کامل و جامع خصوصیات هیدرودینامیکی و عوارض حاصل از آن‌ها در مناطق ساحلی است. همچنین برنامه‌ریزی بهینه برای مقابله با بحران‌های ساحلی و مخاطرات طبیعی با تعیین اولویت‌ها و ضرورت‌های کارشناسی به‌منظور شناخت و طبقه‌بندی کردن سواحل به لحاظ آسیب‌پذیری همراه است؛ بنابراین شناسایی وضعیت سواحل بسیار مهم است.

در محیط‌های ساحلی، تأثیر امواج و جریانات ساحلی و هم‌چنین تقابل رودها و دریا و علاوه بر آن اثر وزش باد در حضور ماسه‌زارهای وسیع از عوامل تغییردهنده شرایط مورفولوژی محسوب می‌شوند. در غالب سواحل، تغییرات ناشی از موارد فوق‌الذکر یا سرعت بسیار پایینی صورت می‌پذیرد و در واقع تقابل ساحل و عوامل تغییردهنده آن در پایداری نسبی می‌باشند. چنانچه تغییراتی بر طبیعت دریایی منطقه ساحلی اعمال گردد، روند طبیعی عملکرد متقابل دریا و ساحل از حالت پایدار و ماندگار خارج شده و واکنش‌هایی جهت رسیدن به پایداری جدید در منطقه به وجود خواهد آمد. این واکنش‌ها در قالب رسوب‌گذاری و فرسایش و تغییرات خط ساحل بروز می‌نمایند و تا زمان پایداری یا تعادل مجدد طبیعت ادامه می‌یابد.

مهم‌ترین فرآیندها در ناحیه ساحلی فرآیندهای ناشی از موج، جزر و مد، نوسان تراز آب و فرایندهای رودخانه‌ای و بادی است، بیشتر جریان‌های ساحلی بر اثر حضور موج و شکست آن ایجاد می‌شوند. این جریان‌ها آن قدر قوی هستند که می‌توانند حجم زیادی از رسوب را حمل کنند، سبب پاک‌سازی ساحل شوند یا این‌که شناگران ماهر را حتی غرق نمایند. شکست موج به علت دو پدیده رخ می‌دهد. اول اینکه وقتی آب از ناحیه عمیق به ناحیه کم‌عمق نزدیک می‌شود پدیده خزش و انکسار را شاهد خواهیم بود، هرچه تماس موج با بستر بیشتر باشد ضریب انکسار و خزش رشد بیشتری خواهند داشت که این خود باعث افزایش ارتفاع خواهد شد. دوم آنکه با افزایش ارتفاع موج و ثابت ماندن عمق فاصله بین قله و حوض موج افزایش می‌یابد و فاصله بین دو قله کاهش می‌یابد که این سبب افزایش بیشتر سرعت ذره موج در قله نسبت به سرعت گروهی موج می‌شود که این تفاوت سرعت باعث کج شدن موج می‌شود، این دو دلیل دست‌به‌دست هم می‌دهند و باعث شکست موج می‌شوند.

جریان‌های طولی ساحلی^۱ که به موازات ساحل حرکت می‌کنند و جریان‌های عمود بر ساحل^۲ دو جریان اصلی ناشی از شکست موج می‌باشند که بسته به زاویه‌ایی که موج به ساحل برخورد می‌کند جریان طولی و یا جریان عرضی قوی را شاهد خواهیم بود. جریان‌های عمود بر ساحل سبب تغییر شکل بستر دریا در ناحیه ساحلی و انتقال رسوب در جهت عمود بر ساحل و تشکیل پشته‌های ماسه‌ای ساحلی و پشته‌های زیرآبی می‌شوند. این جریان‌ها مسئول حوادث ناگوار برای شناگران هستند. جریان‌های موازی با ساحل مسئول انتقال رسوب و آلاینده‌ها به موازات ساحل هستند و زمانی که انرژی خود را از دست بدهند یا به مانعی همچون موج‌شکن بندرها برخورد کنند، رسوب را برجای می‌گذارند و مشکلات جدی برای سازه‌های ساحلی ایجاد می‌کنند. هنگامی که موج عمود بر ساحل شکست یابد، جریان‌های عمود بر ساحل به وجود می‌آیند و اگر شکست موج نسبت به خط ساحلی غیرعمودی باشد، جریان‌های موازی ساحل توسعه می‌یابند (پورتال پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی).

هنگامی که موج در آب کم‌عمق می‌شکند، بخشی از انرژی موج سبب راندن آب به سوی ساحل می‌شود. آبی که به سوی ساحل آمده به دلیل اختلاف ارتفاع با موج آغازین^۳ بر روی شیب ساحل به دریا بازمی‌گردد که این اختلاف ارتفاع ناشی از تفاوت تنش تشعشی^۴ می‌باشد. به این صورت که امواج در بعضی نقاط به علت تنش تشعشی بالا با شدت بیشتری می‌شکنند یعنی از ارتفاع بیشتری برخوردارند و در برخی نقاط که تنش تشعشی کمتر است با شدت کمتری می‌شکنند که نشان‌دهنده ارتفاع کمتر است. جریان برای رسیدن به تراز تعادل از جایی که ارتفاع بیشتری دارد به جایی که ارتفاع کمتری دارد حرکت می‌کند، از طرف دیگر هم همین اتفاق رخ می‌دهد، از برخورد این جریان‌ها، جریان شکافنده شکل می‌گیرد. بازگشت آب به دریا یکنواخت نیست و ممکن است از مسیرهایی که بیشتر شبیه کانال است که بین دو بار رسوبی شکل می‌گیرد، صورت گیرد، جریان‌هایی

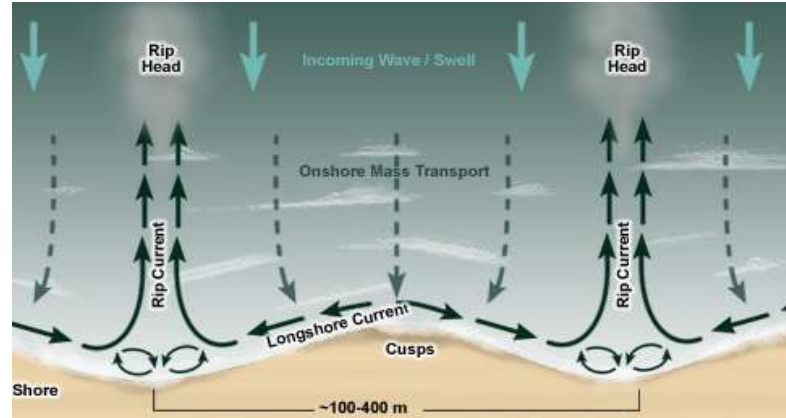
^۱ Long shore

^۲ Cross shore

^۳ Wave set-up

^۴ Radiation Stresses

که بدین گونه به سوی دریا حرکت می‌کنند، به جریان‌های شکافنده^۱ معروف هستند که در شکل ۱-۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱-۱- نمایش نحوه شکل‌گیری جریان شکافنده.

محل تشکیل بارهای رسوبی و یا به تعریفی دیگر محل تشکیل جریان شکافنده به نیروی جریان آندرتوو^۲ و نیروی استوکس دریفت^۳ وابسته است. جریان آندرتوو، جریان زیر آبی است که به سمت دریا حرکت می‌کند و عامل اصلی حرکت رسوبات بستر به سمت دریا است. این رسوبات تا جایی که انرژی جریان زیر آبی اجازه دهد شسته می‌شود و به سمت دریا حرکت می‌کنند از طرفی از سمت دریا به سمت ساحل نیروی استوکس دریفت وجود دارد، محلی که نیروی استوکس دریفت و جریان زیر آبی برابر باشند بار رسوبی شکل می‌گیرد. مطابق شکل ۱-۲ فاصله بین دوبار رسوبی محل تشکیل جریان شکافنده است (ارتش آمریکا، ۲۰۰۲)^۴.

^۱Rip current
^۲Under Tow Current
^۳Stokes Drift
^۴United States Army

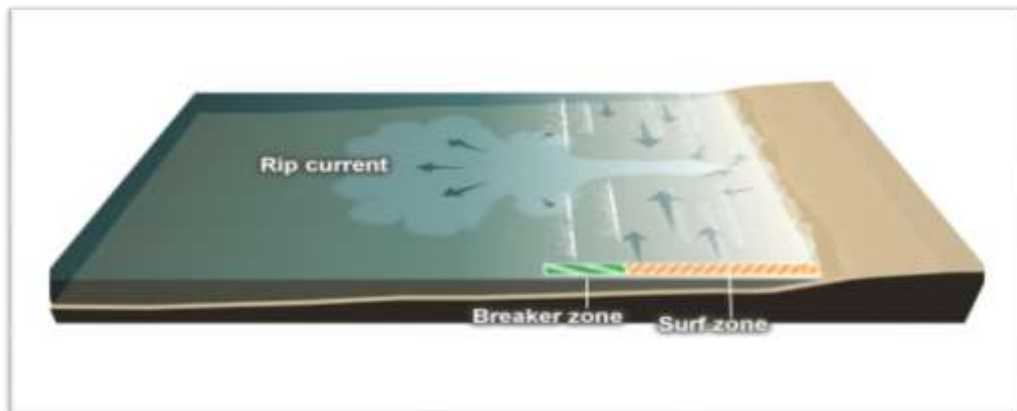


شکل ۱-۲- نمایش بار رسوبی و جریان شکافنده که در فاصله بین دو بار رسوبی.

تنش تشعشعی ترکیبی از S_{xx} ، S_{yy} و S_{xy} است. تغییرات تنش تشعشعی جریان عرضی، S_{yy} تغییرات تنش طولی و S_{xy} مؤلفه برشی تنش تشعشعی که به جریان شکافنده و ویژگی‌های کف بستر وابسته است را نشان می‌دهد. در ناحیه کم‌عمق ساحلی، $S_{xx} = 1.5E$ و $S_{yy} = 0.5E$ که هرچه انرژی بیشتر، ارتفاع بیشتر و سبب هرچه زودتر شکستن موج می‌شود. تغییرات تنش تشعشعی به‌صورت مستقیم بر روی جریان شکافنده اثرگذار است، بنابراین برای محاسبات جریان شکافنده نیاز به محاسبه تنش تشعشعی می‌باشد (مک ماهان و همکارانش، ۲۰۰۶).^۱

حرکت جریان شکافنده مطابق شکل ۱-۳ از داخل منطقه فعال ساحلی آغاز می‌شود و تا خارج از خط شکست موج ادامه می‌یابد.

^۱Macmahan et al



شکل ۱-۳- ساختار جریان شکافنده

از عمق ۱۰ متر به بعد جریان شکافنده وجود ندارد و این جریان یک جریان سطحی محسوب می‌شود و از آنجایی که وجود جریان‌های شکافنده به حضور موج وابسته است، این جریان‌ها در تمام فصول سال وجود دارد. جریان‌های شکافنده، جریان با عرض کم، طول متغیر و قدرتمندی هستند که هنگام شکست موج و بازگشت آب به سوی دریا از ناحیه نزدیک خط ساحلی به طرف دریا گسترش می‌یابند، این جریان‌ها معمولاً به صورت یک محدوده قابل‌رؤیت از آب متلاطم ظاهر می‌شوند.

زاویه برخورد موج به ساحل و شکل بستر از جمله عوامل اصلی ایجاد جریان شکافنده در یک منطقه ساحلی است. جریان‌های شکافنده به دلایل متفاوتی می‌تواند ایجاد شود، اما نکته مشترک در همه موارد یک چیز است و آن، شکست موج و حرکت آب به سوی دریا از نقطه‌ای که ارتفاع آب بیشتر است به سوی نقطه‌ای که ارتفاع کمتر است تا این که به تراز متعادل برسد.

سرعت متوسط جریان شکافنده حدود ۰.۵ متر بر ثانیه است، ولی سرعت جریان‌های شکافنده قوی ممکن است تا حدود ۲ متر بر ثانیه برسد. عواملی که بر روی سرعت جریان شکافنده اثرگذار است عبارتند از:

- ویژگی‌های بادی که در منطقه می‌وزد شامل سرعت و جهت باد.
- ویژگی‌های موج تشکیل شده در منطقه شامل دوره تناوب موج، ارتفاع موج و سرعت موج که به علت شکل‌گیری جریان شکافنده در ناحیه کم عمق سرعت موج تابعی از عمق دریا است.
- ویژگی‌های بستری که جریان شکافنده در آن رخ می‌دهد شامل شیب بستر، تنش برشی کف، اندازه متوسط ذرات رسوب و شکل بستر

- انرژی جزر و مد که تابعی از ارتفاع جزر و مدی است.

- انرژی امواج دورا^۱

- وجود سازه ساحلی

در این مطالعه تاثیر شیب بستر، تنش برشی کف، اندازه متوسط ذرات رسوب بر سرعت جریان شکافنده به علت ثابت بودن مقادیر آنها در سواحل انزلی، انرژی جزر و مد به علت جزر و مدی نبودن سواحل دریای خزر، انرژی امواج دورا به علت عدم اندازه گیری آن در سواحل ایران و وجود سازه ساحلی به علت عدم وجود سازه ساحلی در منطقه مورد مطالعه بررسی نشد.

این جریانها در محدوده آب کم عمق ساحلی به وجود می آیند و هر ساله در آبهای ساحلی ایران در دریای خزر سبب مرگ تعداد زیادی از شناگران می شوند (پورتال پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی).

برخی نشانه های قابل رؤیت جریانهای شکافنده که در شکل ۱-۴ مواردی از آنها دیده می شود، عبارتند از:

۱- اگر کسی در نقطه ایی با ارتفاع بیشتر نسبت به ساحل قرار گیرد و به کرانه دریا نگاه کند راهها و شکل های را که به بادبزنی دستی شباهت دارد را خواهد دید.

۲- آب در محل جریان شکافنده آرام و بدون موج است.

۳- رنگ آب در محل جریان شکافنده با بقیه تفاوت دارد.

۴- خطی از آب کف آلود، خزه یا زباله در محل جریان شکافنده به سمت دریا حرکت می کنند. می توان برای مشاهده بهتر این جریان، از رنگ استفاده کرد.

۵- امواجی که به سمت ساحل می آیند، در محل جریان شکافنده دچار شکست می شوند.

۶- در سواحل ماسه ای علائمی شبیه شکل هلال وجود دارد. نوک هلال جایی است که جریان شکافنده تشکیل می شود.

^۱Swell

نشانه‌های دیگر نیازمند سنجش با دستگاه‌های دقیق دریایی است (شوشتری زاده ناصری و توکلی، ۱۳۸۸).



شکل ۱-۴- نماهای مختلف از جریان شکافنده.

برای بررسی و مطالعه جریان شکافنده می‌توان از روش‌های مشاهده و اندازه‌گیری میدانی، اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و انجام آزمایش‌ها در فلوم‌های موج و همچنین روش‌های عددی بهره برد. در این پژوهش از روش عددی استفاده شده است. روش عددی به تنظیم، مطالعه و اعمال شیوه‌های تقریبی محاسباتی برای حل آن دسته از مسائل ریاضیات پیوسته می‌پردازد که با روش‌های تحلیلی و دقیق قابل حل نیستند. الگوریتم مربوط به محاسبات عددی در حل بسیاری از مسائل موجود در مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه بیشتر الگوریتم‌ها توسط رایانه اجرا می‌شوند که بدین منظور نرم‌افزارهایی برای اجرای محاسبات ریاضی طراحی شده‌اند. در این پروژه از نرم‌افزار مایک ۲۱ مازول‌های Spectral Waves FM (SW) و Flow Model FM (FM) استفاده شده است.

استفاده شد. این نرم‌افزار با رابطه‌بندی مبانی فیزیکی تولید و انتشار امواج ناشی از باد و فرایندهای خاص آب کم‌عمق و اثر بستر، نتایج قابل اطمینانی ارائه می‌کند. در این پژوهش با استفاده از داده‌های هیدروگرافی، باد، موج و جریان به مدل کردن سواحل انزلی پرداخته می‌شود و سپس با تغییر پارامترهای مؤثر بر روی جریان شکافنده، با استفاده از روش‌های آماری و با استفاده از SOLVER نرم‌افزار اکسل رابطه‌ی برای سرعت جریان شکافنده به دست می‌آید.

۱-۲- بیان مسأله

پیش‌بینی مخاطرات دریایی نقش کلیدی در برنامه‌های توسعه‌ای در نواحی ساحلی، دریایی و حتی در مناطق داخلی ایفا می‌کند. به علت آنکه جریان شکافنده از مخاطرات رایج دریایی است و خطر ناشی از آن در شمال کشور به علت مسافت‌های زیاد مردم در تابستان بیشتر است، به بررسی جریان شکافنده در سواحل انزلی پرداختیم.

جهت بررسی جریان شکافنده با استفاده از نرم‌افزار مایک ابتدا اطلاعات موردنیاز برای نرم‌افزار که عبارت‌اند از: سرعت باد، جهت باد، سرعت موج، جهت متوسط موج، عامل بدون بعد موج، تغییرات سطح آب و هیدروگرافی ساحل انزلی از کاربر پرسیده می‌شود. سپس با فرض مثلی بودن مش، خروجی ماژول SW که تنش تشعشی می‌باشد را به صورت داده وردی به ماژول FM می‌دهیم و سرعت جریان را به عنوان خروجی از آن می‌گیریم، به علت تأثیر تنش تشعشی بر روی جریان شکافنده دقت مدل‌سازی در ماژول SW^۲ ضروری به نظر می‌رسد، این عملیات تا زمانی که اختلاف سرعت جریان حاصله از نرم‌افزار با سرعت جریان متوسط گیری شده از بالشتک‌های هوا در عمق ۱۰.۵ از خطای قابل قبول (دقت مسئله) کمتر شود، ادامه پیدا می‌کند.

این نرم‌افزار بر مبنای حل عددی ۲ و ۳ بعدی معادلات میانگین نویر-استوکس برای حالت بدون تراکم پذیر با در نظر گرفتن بوسینسک و فشار هیدرواستاتیک بنا شده است؛ که معادلات پیوستگی، مومنتم، دما، شوری و دانسیته نیز لحاظ گردیده است. پس از اطمینان از صحت نتایج نرم‌افزار، برای جانمایی هرچه دقیق‌تر بارهای رسوبی می‌توان از نقشه‌های هوایی با ارتفاع کم استفاده شد. سپس به بررسی جریان شکافنده و عوامل مؤثر بر آن پرداخته شد.

درنهایت با توجه به آنالیز ابعادی و پارامترهای موثر بر سرعت جریان شکافنده و با استفاده از SOLVER نرم‌افزار اکسل رابیطی برای سرعت جریان شکافنده حاصل شد.

۱-۳- ضرورت انجام پژوهش

نواحی ساحلی به دلیل شرایط مناسب طبیعی و اقتصادی، بیشتر جمعیت دنیا را در خود جا داده است. سواحل به دلیل ایفای نقش‌های گوناگون چون نقش ارتباطی، اقتصادی و بازرگانی در زندگی انسان‌ها اهمیت زیادی دارند؛ اما سابقه رویدادهای سهمگین در محیط‌های دریایی و ساحلی باید توجه را نسبت به مخاطرات اقتصادی، اجتماعی و حتی امنیتی ناشی از آن‌ها جلب کند. کشور ایران به علت داشتن سواحل طولانی دریایی و دریاچه‌ای تحت تأثیر مخاطرات این محیط‌ها است. یکی از مخاطرات دریایی رایج جریان شکافنده است.

مخاطرات اقتصادی، اجتماعی و حتی امنیتی جریان شکافنده را از دو دید می‌توان بررسی کرد:

۱- جریان شکافنده تغییراتی در طبیعت دریای منطقه ساحلی اعمال می‌کند، روند طبیعی عملکرد متقابل دریا و ساحل را از حالت پایدار و ماندگار خارج می‌کند، واکنش‌هایی جهت رسیدن به پایداری جدید در منطقه به وجود خواهد آمد. این واکنش‌ها در قالب رسوب‌گذاری و فرسایش و تغییر خط ساحلی بروز می‌نماید و تازمان پایداری یا تعادل مجدد طبیعت ادامه می‌یابد. تغییر خط ساحلی میزان کاربری سواحل را کاهش می‌دهد. با کاهش سرعت و قدرت جریان شکافنده یا شناخت مناطقی با سرعت و قدرت جریان شکافنده کمتر استفاده بهینه‌تری از ساحل داریم.

۲- جریان شکافنده از جریان‌های ساحلی است که هر ساله باعث غرق شدن افراد زیادی در دریاها می‌شود، در ایران غرق‌شدگی به‌عنوان یک مشکل مهم سلامت محسوب می‌گردد. بر اساس آخرین گزارش‌ها، غرق‌شدگی در ایران ۰.۱ درصد از کل حوادث را به خود اختصاص می‌دهد. در شش ماه اول سال ۱۳۹۱، ۳۱۹ مورد غرق‌شدگی ثبت شده است. با کاهش سرعت و قدرت جریان شکافنده یا شناخت مناطقی با سرعت و قدرت جریان شکافنده کمتر غرق‌شدگی و خسارت‌های ناشی از آن کاهش می‌یابد.

در این پژوهش با توجه به اهمیت‌های ذکر شده به مطالعه و بررسی این موضوع پرداخته شده است.

۴-۱- هدف‌ها و کاربردهای پژوهش

این پروژه باهدف بررسی تأثیر سرعت باد، جهت باد، ارتفاع موج، دوره تناوب موج، جهت موج، عمق آب، شیب بستر، تنش برشی کف، اندازه متوسط ذرات رسوب، شکل بستر و به‌صورت خاص وجود کانال شکافی^۱ و ارتفاع جزر و مدی بر روی جریان شکافنده و پیش‌بینی جریان‌های شکافنده خطرناک در ساحل انزلی که ساحلی با جریان‌های شکافنده شدید می‌باشد، انجام می‌شود.

این کار به علت اهمیت فوق‌العاده جریان شکافنده امری ضروری می‌باشد که منجر به اتخاذ تصمیمات مدیریتی مؤثر برای جلوگیری از توسعه نابجا و انجام اقدامات مناسب جهت کاهش خسارات و لطمات جبران‌پذیر این مخاطره دریایی خواهد شد.

۵-۱- سازمان‌بندی پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل پنج فصل می‌باشد که در فصل یکم به بیان کلیات پژوهش پرداخته می‌شود. در فصل دوم به بررسی و بیان پیشینه پژوهش که در رابطه با ویژگی‌های جریان شکافنده، عوامل اثرگذار بر روی جریان شکافنده و پیش‌بینی جریان شکافنده است، پرداخته شد. فصل سوم با عنوان مواد و روش‌ها، به دو قسمت اصلی تقسیم می‌شود؛ در قسمت یکم، مشخصات منطقه مورد مطالعه در این پژوهش و در قسمت بعد به معرفی نرم‌افزار مورداستفاده در این پژوهش، اطلاعات ورودی در نرم‌افزار و معرفی نرم‌افزار اکسل برای تعریف رابطه سرعت جریان شکافنده پرداخته شده است. در فصل چهارم نتیجه‌های به‌دست‌آمده از مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت بررسی نتایج و نتیجه‌گیری از پژوهش انجام‌شده در فصل پنجم با عنوان نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است.

فصل ۲ مطالعات پیشین

در هر پژوهش با توجه به انجام تحقیق‌های مشابه در زمینه‌های مختلف یک کار علمی، بررسی و مطالعه دقیق کارهای انجام‌شده در رابطه با یک تحقیق از عوامل مؤثر و ضروری در پیشبرد هدفمند یک پروژه علمی است. به همین منظور این فصل به مطالعات مرتبط با موضوع پژوهش حاضر اختصاص یافته است. جهت بررسی تاریخچه موضوع، با توجه به اهداف پژوهش، مطالعات پیشین در چند قسمت مورد مطالعه قرار گرفت. در قسمت اول این مطالعات بررسی مختصری در رابطه با ویژگی جریان شکافنده و عوامل مؤثر بر سرعت آن پرداخته می‌شود. در قسمت دوم با مطالعه و بیان پژوهش‌های مرتبط با پیش‌بینی جریان شکافنده، مطالعات پیشین در رابطه با این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۲- ویژگی جریان شکافنده

شپارد و همکارانش^۱ در سال ۱۹۴۱ جزو اولین کسانی بودن که به شیوه علمی بر روی رفتار جریان شکافنده تحقیق کردند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که شدت و فاصله جریان‌های شکافنده تابعی از ارتفاع موج برخوردی به ساحل است. بوون^۲ در سال ۱۹۶۹ جریان شکافنده را جریانی با عرض کم و قوی که از ساحل به سمت دریا حرکت می‌کند و از منطقه فعال ساحلی شروع می‌شود، معرفی کرد. شپارد و اینمن^۳ طی مطالعات خود در سال ۱۹۵۰ و ۱۹۵۱ به این نتیجه رسیدند که جریان شکافنده بخشی از ساختار جریان نزدیک ساحل است که شامل امواجی که از سمت آب عمیق به سمت آب کم عمق حرکت می‌کنند و در نزدیکی خط ساحلی می‌شکند شکست موج سبب تشکیل جریان طولی می‌شود که از به هم پیوستن جریانات طولی جریانات مغزی و از به هم پیوستن جریانات مغزی در کانال شکافی جریان کم عرض و قوی شکافنده شکل می‌گیرد.

شپارد و همکارانش همچنین تنوع جریان طولی که در اثر ارتفاع‌های مختلف موج برخوردی ایجاد می‌شود، به عنوان مکانیسم اجباری برای ساختار جریان معرفی کردند.

^۱Shepard et al

^۲Bowen

^۳Inman

کومار^۱ در سال ۱۹۷۶ اعلام کرد که مکانیسم ایجاد جریان شکافنده شامل اندرکنش بین موج و سازه‌های ساحلی مانند اسکله‌های عمود بر ساحل، اسکله‌ها و آب‌شکن‌ها و یا اندرکنش موج و خط ساحلی است. در مورد مقدار سرعت جریان شکافنده مطالعات زیادی انجام شده است که شامل ۱-۰ متر بر ثانیه (شپارد و اینمن، ۱۹۵۰)، ۵۰ سانتی‌متر بر ثانیه (سنو، ۱۹۷۲)^۲، ۳۰ سانتی‌متر بر ثانیه (هانتلی و همکاران، ۱۹۸۸)^۳، ۷۰ سانتی‌متر بر ثانیه (شورت و هوگان، ۱۹۹۴)^۴ و سرعت بیشینه بالای ۲ متر بر ثانیه (می‌دوز و همکاران، ۲۰۰۴)^۵.

کوک^۶، کومار و شورت به ترتیب در سال‌های ۱۹۷۰، ۱۹۷۱ و ۱۹۹۹ به این نتیجه رسیدند که جریان شکافنده عامل تغییر ساحل شنی می‌باشد و برای انتقال رسوبات به فراساحل مهم است.

۲-۳- بررسی عوامل موثر بر روی سرعت جریان شکافنده

سرعت جریان شکافنده متغیر است و امکان دارد به علت عوامل ایجادکننده ناپایداری در الگوی گردش آب در نزدیکی ساحل که شامل سرعت باد، جهت باد، ارتفاع موج، دوره تناوب موج، جهت موج، عمق آب، شیب بستر، تنش برشی کف، اندازه متوسط ذرات رسوب، شکل بستر و ارتفاع جزر و مدی به سرعت تغییر کند. اگرچه سرعت متوسط جریان شکافنده ۰.۵ متر بر ثانیه است، اما این سرعت می‌تواند به ۲.۵ متر بر ثانیه نیز برسد که بر این اساس تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است.

۲-۳-۱ ارتفاع موج

شپارد و همکارانش در سال ۱۹۴۱ بیان کردند که فعالیت جریان شکافنده و بزرگی ارتفاع موج به هم مرتبط می‌باشند. انگل^۷ در سال ۲۰۰۲ عامل افزایش تفاوت سطح آب در نزدیکی ساحل را شکست امواج مرتفع‌تر در ناحیه فعال ساحلی بیان کرد به دلیل این اختلاف ارتفاع آبی که به سمت ساحل

¹Komar

²Sonu

³Huntley et al

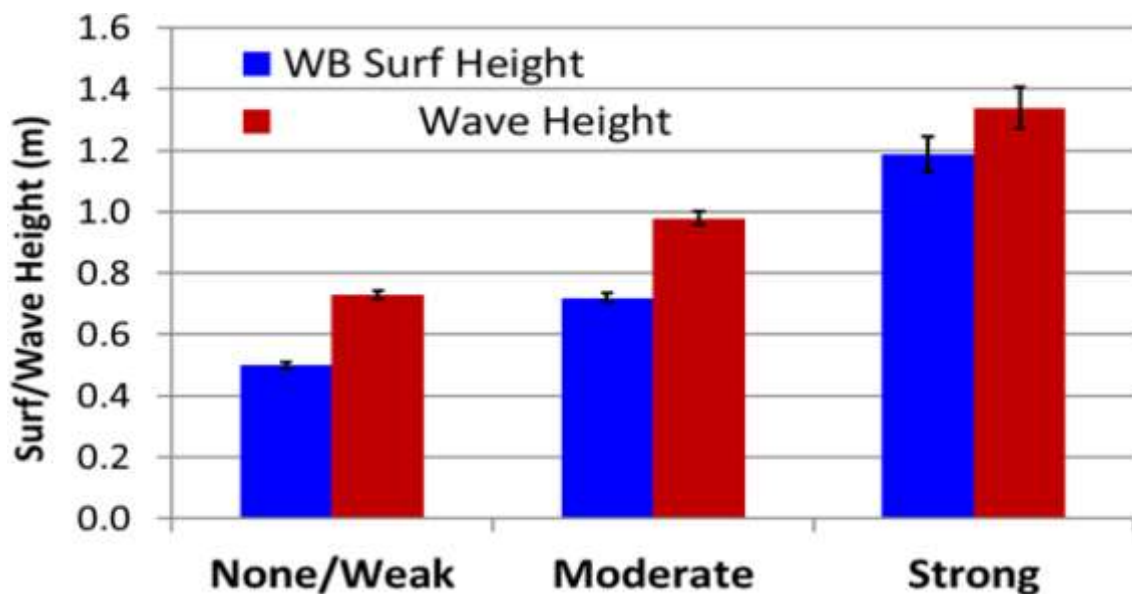
⁴Short and Hogan

⁵Meadows et al

⁶Cooke

⁷Engle

آمده بر روی شیب ساحل به دریا باز می‌گردد که هر چه میزان این اختلاف ارتفاع بیشتر باشد میزان انرژی جریان نیز بیشتر است. این برگشت می‌تواند از طریق شکست یا کانال‌هایی در پشته شنی رخ دهد. دیوسک^۱ در سال ۲۰۱۱ ارتفاع مشخصه امواج را پارامتری مؤثر بر تشکیل جریان شکافنده یافت. دیوسک و سیم^۲ در سال ۲۰۱۳ ارتفاع شاخص موج را به‌عنوان پارامتری کلیدی برای پیش‌بینی و شناسایی جریان شکافنده معرفی کردند. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که ۲/۳ جریان شکافنده در ارتفاع بین ۱ تا ۱.۲ متری رخ می‌دهد و میزان وقوع این جریان در ارتفاع بیشتر از ۱.۲ کاهش می‌یابد. رینهارت و فاف^۳ در سال ۲۰۱۶ طی بررسی‌هایی که بر روی تأثیر ویژگی امواج ساحل رایت سویل^۴ بر روی جریان شکافنده واقع در شمال کالیفرنیا انجام دادند به این نتیجه رسیدند که ارتفاع موج تأثیر به‌سزایی در قدرت و سرعت جریان شکافنده دارد که در شکل ۱-۲ به‌خوبی نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- نمایش تاثیر ارتفاع موج بر سرعت جریان شکافنده، ستون آبی میانگین ارتفاع ناحیه فعال ساحلی و ستون قرمز ارتفاع امواج به‌دست‌آمده از شناور که برای جریان شکافنده ضعیف، متوسط و قوی گزارش شده است. خط‌های مشکی نشان‌دهنده خطای استاندارد از میانگین برای هر دسته‌بندی است.

¹Dusek

²Seim

³Reinhart and pfaff

⁴Wrightsville

۲-۳-۲ دوره تناوب موج

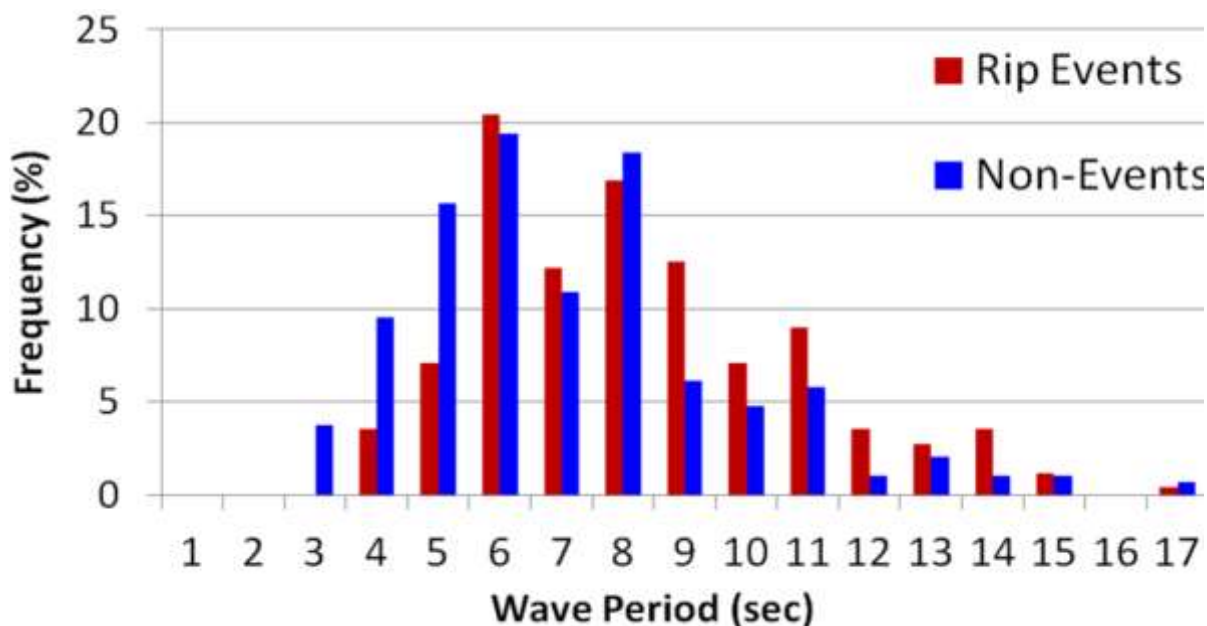
مطالعات بر روی تأثیر دوره تناوب موج بر روی جریان شکافنده نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. اولین مطالعه توسط لوسین^۱ در سال ۱۹۹۱ در جنوب شرقی فلوریدا انجام شد که ارتباط خوبی بین سرعت و جهت باد محلی با جریان شکافنده یافت و به این نتیجه رسید امواج با دوره کوتاه‌تر برای شکل‌گیری جریان شکافنده بسیار مهم هستند. سنو و همکارانش در سال ۱۹۷۲ و بومن^۲ در سال ۱۹۸۸ به این نتیجه رسیدند که جریان شکافنده در دوره تناوب طولانی اتفاق می‌افتد. از سوی دیگر لاسکودی^۳ در سال ۱۹۹۸ نشان داد که ۷۵ درصد نجات‌یافتگان در فلوریدای شرقی در روزهایی با دوره تناوب بلند اتفاق افتاد و دوره تناوب بیشتر از ۱۲ ثانیه با نجات‌یافتگان بیشتری همراه بود که نشان از قدرت و به عبارتی سرعت کمتر جریان شکافنده داشت. انگل و همکاران در سال ۲۰۰۲ دوره مطلوب‌ترین دوره موج برای تشکیل جریان شکافنده را بین ۸ تا ۱۰ ثانیه پیش‌بینی کرد. در کار انگل ۶۲ درصد از نجات‌یافتگان در دوره موج بین ۷.۵ تا ۹ نجات پیدا کردند. لانگ و هالر^۴ در سال ۲۰۰۵ به این نتیجه رسیدند که جریان شکافنده در دوره تناوب کوتاه شکل نمی‌گیرد. در سال ۲۰۱۲ طبق تحقیقات National Oceanic and Atmospheric و Florida division of emergency management Administration با افزایش دوره تناوب سرعت جریان شکافنده افزایش می‌یابد. دیوسک و سیم در سال ۲۰۱۳ نشان دادند که در کارولینای شمالی مطابق شکل ۲-۲ که با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده در ساحل رایت سیویل به‌دست آمده، ارتباط معناداری بین شدت جریان شکافنده و دوره تناوب موج وجود ندارد.

^۱Lushine

^۲Bowman

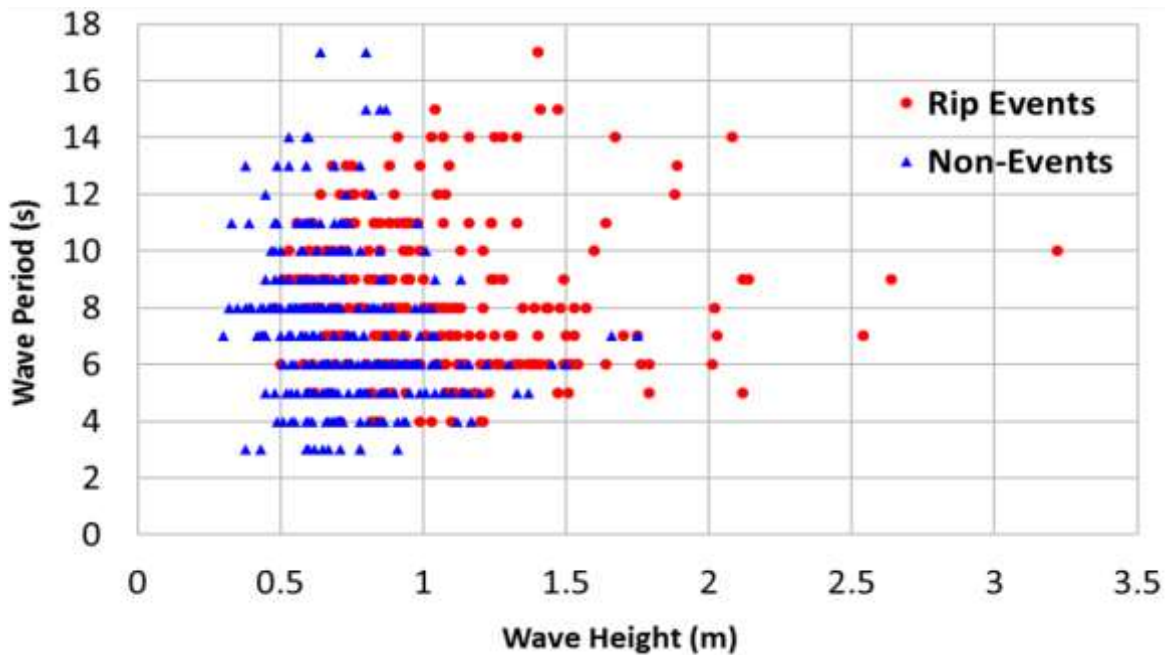
^۳Lascodey

^۴Long and Haller



شکل ۲-۲- نمایش تاثیر دوره تناوب موج بر سرعت جریان شکافنده. ستون آبی دوره تناوب موج و فرکانسی را نشان می‌دهد که در آن جریان شکافنده رخ داده و ستون قرمز دوره تناوب موج و فرکانسی را نشان می‌دهد که در آن جریان شکافنده رخ نداده است.

مقایسه این دو ستون نشان می‌دهد که در دوره موج کمتر از ۶ ثانیه وقوع جریان شکافنده با احتمال ضعیفی روبه‌رو است به طوری که تنها ۱۰ درصد از حوادث جریان شکافنده با دوره موج ۴ تا ۵ ثانیه رخ می‌دهد؛ اما دوره تناوب ۶ ثانیه بسیار قابل توجه بود به صورتی که به تنهایی ۲۰ درصد حوادث در این دوره تناوب و در دوره تناوب ۶ تا ۹ ثانیه، در ساحل رایت سیویل در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳، ۶۲ درصد حوادث جریان شکافنده قابل مشاهده بود. دوره تناوب بیش از ۱۰ ثانیه نیز بیش از ۲۵ درصد حوادث را به خود اختصاص داد. به منظور اطمینان حاصل کردن از این که امواج با دوره تناوب کمتر از ۶ ثانیه با فرکانس پایین جریان شکافنده، در ارتباط است مقایسه ایی بین ارتفاع و دوره تناوب موج در حالتی که جریان شکافنده رخ می‌دهد و جریان شکافنده رخ نمی‌دهد، انجام شد که نتایج آن در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. از ۵۴۹ داده حاصله از شناور، ۱۱۲ تای آن‌ها دوره تناوب موج کمتر از ۶ ثانیه را نشان می‌داد که ۷۲ تا از این ۱۱۲ تا ارتفاع موج بزرگ‌تر یا مساوی ۰.۷ متر را نشان می‌دادند.



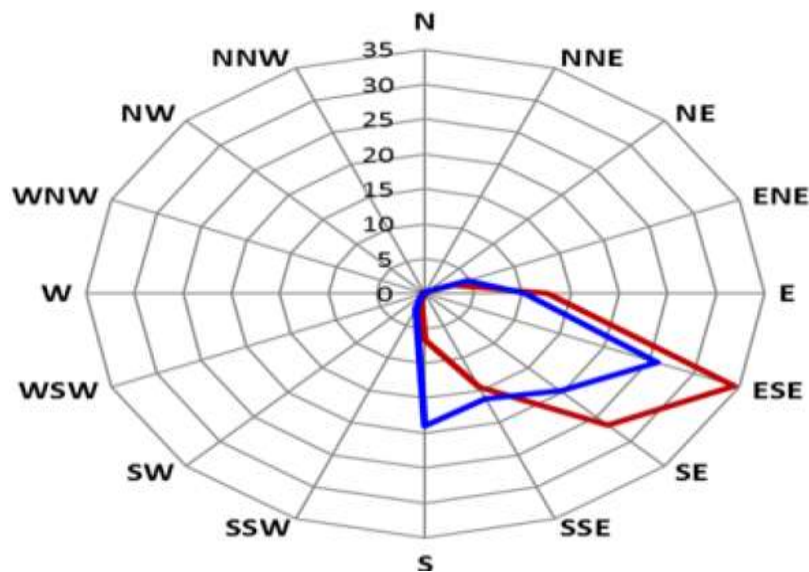
شکل ۲-۳- ارتباط بین ارتفاع و دوره تناوب موج در دو حالت وقوع و عدم وقوع جریان شکافنده، نقطه‌های قرمز که نشان‌دهنده ارتفاع و دوره تناوب موج در حالتی که جریان شکافنده رخ داده است و نقطه‌های آبی که نشان‌دهنده ارتفاع و دوره تناوب امواج در حالتی که جریان شکافنده رخ نداده است.

۲-۳-۲ جهت موج

یکی از نکات مهم که بر جریان شکافنده مؤثر است، جهت ورودی موج است. لوسین و لاسکودی به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۸ به این نتیجه رسیدند که جهت موج ورودی نقش مهمی در افزایش خطرآفرینی جریان شکافنده بازی می‌کند. به‌طور مشابه انگل و همکارانش در سال ۲۰۰۲ نشان دادند که میزان نجات‌یافتگان از جریان شکافنده به‌شدت به جهت موج ورودی وابسته است. مک ماهان و همکارانش در سال ۲۰۰۵ اهمیت جهت موج بر روی فعالیت جریان شکافنده را تأیید کردند. کستل^۱ و روسنینگ^۲ در سال ۲۰۱۱ به این نتیجه رسیدند که زاویه برخوردی موج باعث ایجاد تفاوت در فاصله‌ی بین کانال‌های شکافی و عدم ثبات در مدل و بی‌نظمی در کانال‌های شکافی و توسعه در پشته‌های ساحلی می‌شود و در صورتی که زاویه برخوردی موج به صفر میل کند میزان انتقال جریان طولی به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. دیوسک و سیم در سال ۲۰۱۳ با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های جهت امواج که از شناور ۴۱۱۱۰ به دست می‌آمد، به این نتیجه رسیدند که شدت جریان

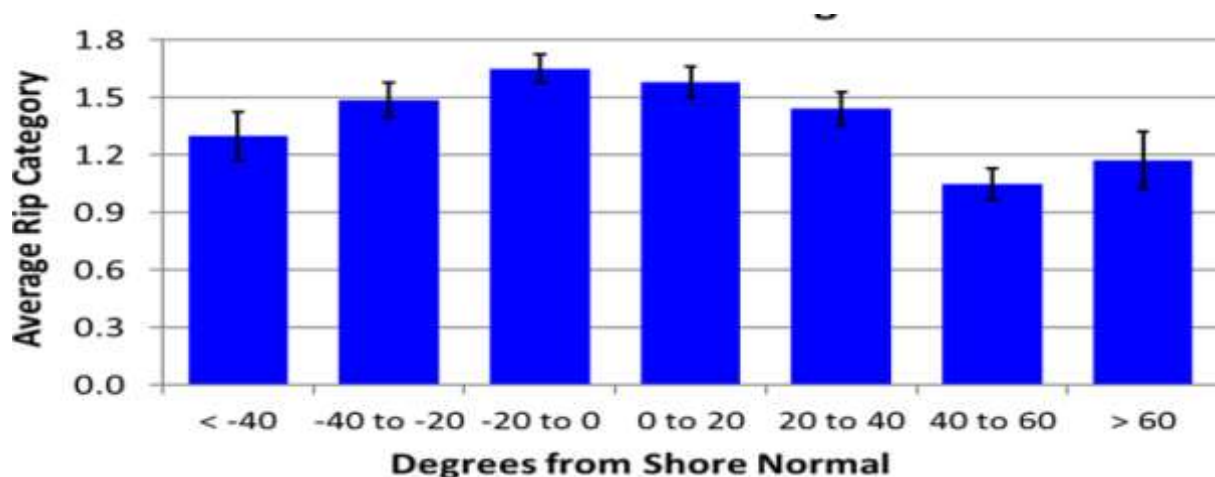
^۱Castelle
^۲Ruessink

شکافنده زمانی ماکزیمم است که جهت متوسط امواج به صورت عمود به ساحل نزدیک شود. آن‌ها جهت متوسط امواج را در حالتی که جریان شکافنده رخ می‌دهد و در حالتی که جریان شکافنده رخ نمی‌دهد با استفاده از شناور به دست آورند که شناور ۱۶ جهت متوسط موج را نشان داد. با توجه به شکل زیر جهت موج مناسب برای جریان شکافنده در ساحل رایت سیویل در جهت شرق و جنوب شرقی بود، به صورتی که ۶۱ درصد جریان شکافنده بین این محدوده رخ داده است؛ که در شکل ۲-۴ به خوبی قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۲-۴- مقایسه چندضلعی به دست آمده از وصل کردن ۱۶ نقطه ایی که جهت متوسط موج را نشان می‌دهد در حالت وقوع و عدم وقوع جریان شکافنده، چند ضلعی قرمز در حالتی که جریان شکافنده رخ می‌دهد و چندضلعی آبی در حالتی که جریان شکافنده رخ نمی‌دهد.

وقتی جریان شکافنده به صورت موازی به ساحل نزدیک می‌شود، از شدت جریان شکافنده کاسته می‌شود که در شکل ۲-۵ این نتیجه به خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۲-۵- میانگین دسته‌بندی جریان شکافنده بر اساس میانگین جهت موج نسبت به خط ساحلی، خط مشکی نشان‌دهنده خطای استاندارد از میانگین است.

۲-۳-۴ عمق آب

مک ماهان و همکارانش در سال ۲۰۰۵ با توجه به داده‌های آزمایشگاهی و میدانی به این نتیجه رسیدند که قدرت جریان شکافنده با افزایش انرژی موج و کاهش عمق آب افزایش می‌یابد.

۲-۳-۵ انرژی جزر و مدی

کامینز^۱ در سال ۲۰۰۶ با استفاده از آمار نجات‌یافتگان و بررسی داده‌های باد و موج در ولوسپای فلوریدا به این نتیجه رسیدند که خطر نسبی جریان شکافنده زمانی که ارتفاع جزر و مدی کم است، افزایش پیدا می‌کند. بری‌نای و همکارانش^۲ در سال ۲۰۰۹ به این نتیجه رسیدند که جریان شکافنده در جزر و مد بالا فعال نیست. دیوسک در سال ۲۰۱۱ با استفاده از یک جعبه‌ابزار منبع باز DPWP تمام داده‌های تجزیه و تحلیل طیف موج جهت‌دار ناشی از ADSPS را پردازش می‌کند و با استفاده از بررسی میزان نجات‌یافتگان در کارولینای شمالی به این نتیجه رسید که جریان شکافنده در مناطقی که ارتفاع جزر و مدی کمتری دارند با احتمال بیشتری تشکیل می‌شوند.

^۱Cummins
^۲Bruneau et al

۲-۳-۶ باد

می‌دو و همکارانش در سال ۲۰۰۰ همان‌طور که در جدول ۱-۲ مشاهده می‌شود به این نتیجه رسیدند که با افزایش سرعت باد در زاویه‌های بین ۴۰ تا ۱۱۰ درجه سرعت جریان به میزان بیشتری نسبت به زاویه‌های بین ۱۲۰ تا ۱۶۰ درجه یا ۳۰ تا ۳۴۰ درجه، افزایش می‌یابد.

جدول ۱-۲- تاثیر سرعت و جهت باد بر سرعت جریان شکافنده

WIND FACTORS	East Central Florida LURCS Checklist Most FAVORABLE FOR MOST FAVORABLE FOR	
	RIP CURRENT	LONGSHORE CURRENT
SPEED(knot)/DIRECTION(degree)	40-110	120-160 , 340-30
5	0.5	0
5-10	1	0.5
10	1.5	1
10-15	2	1.5
15	3	2
15-20	4	3
20	5	4
20-25	+5	4

۲-۳-۷ هیدروگرافی

پارامترهای شیب ساحل، اندازه متوسط رسوب، تنش برشی کف، شکل بستر و وجود کانال شکافی در تعیین تاثیر هیدروگرافی ساحل بر سرعت جریان شکافنده مورد بررسی قرار گرفته اند.

• شیب ساحل

مک ماهان و همکارانش در سال ۲۰۰۸ مشاهده کردند که تعداد جریان شکافنده در ساحلی با شیب ملایم بیشتر از ساحلی با شیب تند است. ولی پور و همکارانش در سال ۲۰۱۲ به این نتیجه رسیدند که تغییر شیب ساحل بر روی الگوی جریان شکافنده تأثیرگذار است.

• اندازه متوسط ذرات رسوب

ولی پور و همکارانش در سال ۲۰۱۲ به این نتیجه رسیدند که تغییر اندازه متوسط ذرات رسوب بر روی عمق کانال شکافی و میزان انتقال رسوب در کانال شکافی تأثیرگذار است و بر روی الگوی جریان شکافنده بی اثر است.

• تنش برشی کف

ولی پور و همکارانش در سال ۲۰۱۲ به این نتیجه رسیدند که تغییر تنش برشی کف بر روی الگوی جریان شکافنده مؤثر است.

آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که هیدروگرافی بستر شامل شیب ساحل و اندازه متوسط رسوب و تنش برشی کف بر روی میزان و چگونگی فرسایش و ته‌نشینی در کانال شکافی اثرگذار است.

• شکل بستر و وجود کانال شکافی

حسین یثوبی در سال ۱۳۸۸ شکل بستر را به‌عنوان عامل ایجاد جریان شکافنده معرفی کرد. او نشان داد که وجود توپوگرافی به‌صورت پشته سرتاسری و یا به‌صورت پشته-شکاف از مهم‌ترین عوامل ایجاد جریان شکافنده است، به همین دلیل برای پیش‌بینی این جریان قبل از هر چیز اطلاع از شکل بستر ضروری به نظر می‌رسد. کاکو و همکارانش^۱ در سال ۲۰۰۷ در مطالعات خود با استفاده از مطالعات میدانی و شبیه‌سازی نشان دادند فاصله و نحوه شکل‌گیری کانال‌های شکافی تابعی از ویژگی‌های موج

^۱Coco et al

است و همچنین نشان دادند که عدم پیش‌بینی درست کانال‌های شکافی به علت داده‌های بصی متری ضعیف است. بهنام برزگر در سال ۲۰۱۱ برای در نظر گرفتن تأثیر کانال شکافی بر روی جریان شکافنده، ساحلی بدون کانال شکافی با شیب ثابت و ساحلی با کانال شکافی را مدل‌سازی کردند. وجود کانال شکافی تأثیر به‌سزایی در قدرت جریان شکافنده دارد به‌صورتی که سرعت جریان شکافنده در ساحلی با کانال شکافی ۲۰ برابر بیشتر از زمانی است که کانال شکافی در آن ساحل وجود ندارد. علی قربانی و امیرحسین رسولی جمنانی در سال ۲۰۱۲ با استفاده از نرم‌افزار مایک ماژول BW کانال شکافی را مدل‌سازی کردند و اثرات کانال شکافی در ایجاد جریان شکافنده را مورد بررسی قرار دادند. در این مدل‌سازی شیب ثابت و کانال شکافی در مرکز مدل مدل‌سازی شد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سرعت جریان شکافنده در ساحلی با کانال شکافی بیشتر از ساحلی بدون کانال شکافی است.

۲-۴- پیش‌بینی جریان شکافنده

برای پیش‌بینی و بررسی جریان شکافنده به‌صورت کلی از سه روش که شامل اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، مشاهدات محلی و منطقه‌ای یا مطالعات میدانی، مدل‌های کامپیوتری و عددی و یا به‌صورت ترکیبی، استفاده می‌شود.

۲-۴-۱ اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

شامل مجموعه فنون و رویه‌هایی است که در محیط مصنوعی و کنترل‌شده آزمایشگاه به‌منظور اعمال کنترل و دست‌کاری روی متغیرهای مستقل و مشاهده نتیجه آن‌ها روی متغیرهای وابسته صورت می‌گیرد. این روش بیشتر در علوم طبیعی نظیر شیمی، زیست‌شناسی، فیزیک و غیره صورت می‌گیرد. آزمایشی علمی اجتماعی روش بسیار کنترل‌شده به‌منظور تعیین رابطه مستقیم بین دو متغیر مثلاً دما و آشوب است. پژوهشگر باید روی محیط کنترل داشته باشد تا مانع تأثیر متغیرهای بیرونی بر نتایج پژوهش شود.

هالر^۱، دالریمپل^۲ و اسونسن^۳ در سال ۲۰۰۰ بزرگ‌ترین پروژه آزمایشگاهی در زمینه جریان شکافنده را در دانشگاه دلاور آمریکا با همکاری مرکز تحقیقات کاربردی سواحل انجام دادند. آزمایش‌ها در یک مخزن موج به ابعاد ۱۷.۲*۱۸.۲ متر که سیستم تولید موج در آن از ۳۴ پدال که به صورت رفت و برگشتی امواج را به صورت سطحی ایجاد می‌کردند انجام شد. در این آزمایش، ساحلی با شیب ۱:۳۰ که از قسمت ایجاد امواج به سمت دیواره روبروی مخزن امتداد پیدا می‌کرد استفاده شد، یک سیستم پشته-شکاف به گونه‌ای در بستر قرار گرفتند که فاصله تاج پشته تا محل تولید امواج ۱۲ متر و نیز فاصله‌های لبه‌های روبه‌دربا و رو به ساحل آن تا محل تولید امواج به ترتیب ۱۱.۱ و ۱۲.۳ متر بوده است. نسبت فضای جریان برگشتی به عرض منطقه شکست موج در طول آزمایش در فاصله ۴-۲.۷ قرار داشت که در بازه ۸-۱.۵ که هانتلی و شورت در سال ۱۹۹۲ در یک اندازه‌گیری میدانی به دست آوردند قرار می‌گرفت. سیستم پشته از سه مقطع که از یکی مقطع اصلی با طول تقریبی ۷.۳۲ متر و دو مقطع دیگر با نصف طول مقطع اصلی حدوداً ۳.۶۶ متر در طول ساحل و در فاصله گفته‌شده قرار گرفتند و به منظور اطمینان از تقارن پشته‌ها موج به مرکز پشته‌ها برخورد کرد و در نتیجه دو شکاف به عرض ۱.۸۲ متر بین پشته‌ها ایجاد شد؛ که محل ایجاد جریان برگشتی است.

در این آزمایش از ده دستگاه موج نگار و سه عدد سرعت‌سنج آکوستیک داپلر استفاده شد که هم‌زمان داده‌ها را به صورت دیجیتال ثبت می‌کردند. نتایج این آزمایش‌ها که بزرگ‌ترین تحقیق آزمایشگاهی در این زمینه است به عنوان مرجع برای تعیین صحت و سقم بسیاری از معادلات ریاضی و مدل‌های کامپیوتری ارائه شده است.

۲-۴-۲ مطالعات میدانی

یکی از روش‌های دقیق برای مطالعه جریان شکافنده استفاده از نرم‌افزارهایی است که توانایی شبیه‌سازی جریان شکافنده را داشته باشد. به مطالعه آزمودنی‌ها در محیط طبیعی خود می‌پردازد و شامل جمع‌آوری داده‌های اولیه یا اطلاعات جدید از خود آزمودنی‌هاست. برای جریان شکافنده این جمع‌آوری داده بیشتر از طریق مشاهده و تجهیزات حاصل می‌شود.

^۱Haller
^۲Dalrymple
^۳svendsen

اندازه‌گیری میدانی مشخصات جریان‌های شکافنده به دلیل ماهیت ناپایدارشان و طبیعت متلاطم ناحیه فعال ساحلی از مشکل‌ترین اندازه‌گیری‌های مهندسی به شمار می‌آید. شپارد، امری^۱ و لافند^۲ در سال ۱۹۴۱ جزو اولین کسانی بودند که بر روی جریان شکافنده تحقیقاتی انجام دادند، آن‌ها برای بررسی جریان شکافنده از روش میدانی بهره گرفتند و به این نتیجه رسیدند که جریان برگشتی جریانی باریک با پهنای ۱۰ تا ۲۰ متر در جهت طولی ساحل، است و عموماً در کل ستون آب موجود گسترش می‌یابد و معمولاً تا بعد از منطقه شکست موج امتداد می‌یابد. کوارتل^۳ در سال ۲۰۰۷ در مطالعه خود از پانزده ماه تصاویر ویدیویی برای توصیف مکانی و سواحل هلند استفاده کرد و با استفاده از تصاویر ویدیویی به تجزیه و تحلیل تنوع مکانی و زمانی کانال جریان شکافنده پرداخت. نوار خطوط جزر و زیر خطوط جزر و مد با استفاده از تصاویر آرگوس^۴ در مکانی با حداکثر جریان طولی و جریان عرضی در کانال جریان شکافنده، مورد بررسی قرار گرفت. متوسط فاصله جزر و مد ۲۴۳ متر بود ولی این فاصله در همه جا منظم نبود. برخی از ریپ‌ها در طول سقوط (افتادن) جزر و مد پر می‌شوند ولی اکثریت همچنان باز هستند. آن کانال‌های جریان شکافنده جزر و مدی پر شده بیشتر به سمت ساحل می‌بندد و انتقال در جهت جریان طولی آرام‌تر از کانال‌های جریان شکافنده جزر و مدی باز است. خطوط نوار جزر همیشه در ترکیب با نوار زیر جزر و مد همراه است این موضوع به خوبی نشان‌دهنده آن است که مورفولوژی جزر تحت اثر تنوع جریان طولی زیر جزر و مدی است. شفعی ثابت و بارانی در سال ۲۰۱۱ برای پیش‌بینی جریان شکافنده از روش میدانی استفاده کرد، او با استفاده از شناورهای جی‌پی‌اس ردیاب جریان نقشه هیدروگرافی بزرگ‌مقیاس یک ناحیه حادثه‌خیز در بندر انزلی در دو سال متوالی را تهیه کرد و برلی اولین بار وجود جریان شکافنده در ساحل دریای خزر و مشخصات آن‌ها را تعیین کرد. شناورهای جی‌پی‌اس ردیاب جریان، برای نخستین بار در ایران طراحی و ساخته شد و صحت عملکرد آن‌ها از طریق مقایسه سرعت‌های اندازه‌گیری شده با سرعت‌های به‌دست‌آمده از یک دستگاه RCM9 نصب گردیده در ساحل دریای خزر مورد ارزیابی قرار گرفت. او عملکرد شناور جی‌پی‌اسی که در این تحقیق استفاده کرده بود با دو شناور جی‌پی‌اسی که در سال‌های

^۱Emery

^۲Lafond

^۳Quartel

^۴Argus

۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ در آمریکا و استرالیا ساخته شده و برای اندازه‌گیری جریان در نواحی ساحلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ مقایسه کرد. هم‌زمان با کاری که شفعی ثابت و بارانی در ایران انجام داده بود، یک شناور جی‌پی‌اس ساخت آمریکا در سال ۲۰۰۹ برای اندازه‌گیری مشخصات جریان‌های شکافنده در ساحل کالیفرنیا به کار گرفته شده است؛ لیکن هزینه ساخت شناور طراحی شده توسط شفعی ثابت و بارانی ۲۵٪ از نمونه اخیر آمریکایی کمتر گردید. او برای به دست آوردن تصویری از مشخصات جریان شکافنده در ساحل جنوبی دریای خزر در بندر انزلی از ۵ شناور جی‌پی‌اس ردیاب جریان استفاده کرد. سه اندازه‌گیری میدانی در ناحیه ساحلی این بندر در تابستان سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ انجام شد و در دو اندازه‌گیری از حرکت شناورهای جی‌پی‌اس، چرخش جریان سطحی ساحلی و ایجاد جریان شکافنده به خوبی قابل تشخیص بود. جریان شکافنده در این ناحیه ساحلی به وسیله کانال‌های شکافی موجود در پشته‌های رسوبی ماسه‌ای کنترل می‌شود و در عرضی بین ۱/۵ تا ۲ برابر عرض ناحیه خیزابی از خط ساحلی گسترش می‌یابد. او این اندازه‌گیری‌ها را در شرایط امواج متوسط و نسبتاً قوی دریا انجام و نتایج حاصله نشان داد که جریان‌های شکافنده ایجاد شده، قادرند حتی شناگران قوی را با خود به خارج از ناحیه خیزابی ببرند.

۲-۴-۳ مدل‌های کامپیوتری و عددی

منطقه شبیه‌سازی کامپیوتری یا شبیه‌سازی رایانه‌ای به اجرای یک شبیه‌سازی با استفاده از یک برنامه کامپیوتری را می‌گویند طوری که این برنامه کامپیوتری مدل شبیه‌سازی را تعریف کند. شبیه‌سازی کامپیوتری بستگی به برنامه کامپیوتری و مدل شبیه‌سازی شده آن دارد که برخی، داده‌ها را در چند دقیقه اجرا و برخی از شبکه‌های مبتنی بر کامپیوتر تشکیل شده و برای ساعت‌ها داده‌ای را تحلیل می‌کنند. مقیاس وقایع شبیه‌سازی شده با شبیه‌سازی‌های کامپیوتری به مراتب بسیار سریع‌تر و بالاتر از شیوه‌های سنتی آن که توسط یک یا چند فرد و ریاضیات روی کاغذ انجام می‌شود، می‌باشد (ویکی پدیا).

به موازات آزمایش‌ها انجام شده به صورت مدل فیزیکی و نیز اندازه‌گیری میدانی جمعی از متخصصان این زمینه از سال ۱۹۹۲ در دانشگاه دلاور آمریکا بر روی مدل عددی و کامپیوتری این جریان تلاش‌های بسیاری انجام دادند که نهایتاً منجر به ایجاد یک برنامه کامپیوتری به نام SHORECIRC

شده که نشان داده است توانایی خوبی در مدل کردن بسیاری از پدیده‌های منطقه ساحلی خصوصاً تخمین جریان برگشتی دارا می‌باشد. زهرا غلامی و همکاران در سال ۱۳۸۸ در مقاله خود تحت عنوان پهنه‌بندی جریان‌های شکافنده در سواحل غرب گیلان، پهنه‌بندی جریان‌های مزبور بر اساس شکل بستر و با استفاده از مدول مدل‌سازی امواج بوسینیسک نرم‌افزار MIKE21 انجام دادند، در نهایت در هر ۸۰۰ متر یک کانال شکافنده ثابت مشاهده گردید و سرعت جریان‌های شکافنده نیز با در نظر گرفتن عوامل مؤثر یعنی شکافها و پشته‌های بستری، قرارگیری عمودی ساحل و امواج تک‌فام ورودی عمود بر ساحل و با فرض اینکه تک‌فام بودن موج ورودی و فواصل به نسبت زیاد جریان‌های شکافنده در این منطقه در بیش‌ترین مقدار خود حدوداً به ۲ متر بر ثانیه رسید؛ بنابراین تمامی عواملی که فاصله جریان‌های شکافنده را کاهش می‌دهد، سرعت جریان‌های شکافنده را نیز کاهش خواهد داد. کستل با همکاری روسینیک در سال ۲۰۱۱ با استفاده از یک مدل غیرخطی مورفودینامیکی^۱ شکل‌گیری و پس از آن تکامل غیرخطی کانال جریان شکافنده و اثر ارتفاع موج، دوره تناوب و زاویه برخورد موج بر روی کانال جریان شکافنده را مورد بررسی قرار دادند و در همان سال کستل با همکاری دارباربیر و با استفاده از همان مدل غیرخطی به بررسی شکل‌گیری و تکامل غیرخطی کانال جریان شکافنده با محدوده جزر و مدی مختلف و اثر جزر و مد در تشکیل و تکامل کانال جریان شکافنده پرداختند. قربانی و رسولی جمنانی در سال ۲۰۱۲ در مطالعه خود با استفاده از نرم‌افزار مایک ماژول BW کانال جریان شکافنده را مدل‌سازی کردند و اثرات کانال جریان شکافنده در ایجاد جریان‌های شکافنده را مورد بررسی قرار دادند. ولی پور و همکارانش در سال ۲۰۱۲ با استفاده از نرم‌افزار مایک ماژول SW و FLOW MODEL FM اثر تغییر پارامترهای بستر را بر روی الگوی جریان شکافنده و انتقال رسوب در کانال شکافی را مورد بررسی قرار دادند. یاجیما و همکارانش در سال ۲۰۱۳ اثر جریان بر روی موج که شامل اختلاف ارتفاع با موج آغازین، تغییر داپلیر و شکست موج، برای تشکیل کانال جریان شکافنده با استفاده از مدل BAROTROPIC و رژن ROMS مورد بررسی قرار دادند. با تغییر این عوامل فاصله کانال‌های جریان شکافنده افزایش می‌یابد و با افزایش فاصله کانال‌های جریان

^۱Time-varying versus time – invariant wave forcing

شکافنده از هم عمق آب در کانال جریان شکافنده کاهش می‌یابد که در نتیجه میزان تپه‌های مغروق هلالی کاهش می‌یابد.

۲-۴-۴ نمونه ایی از تحقیقات ترکیبی از دو روش

بوئن و اینمن در سال ۱۹۶۹ نحوه شکل‌گیری جریان برگشتی را به استفاده از روش آزمایشگاهی و میدانی موردبررسی قراردادند. کالوت و همکارانش^۱ در سال ۲۰۰۷ از مطالعات میدانی و عددی استفاده کردند و نشان دادند فاصله و نحوه شکل‌گیری کانال‌های شکافی تابعی از ویژگی‌های موج است و همچنین نشان دادند که عدم پیش‌بینی درست کانال‌های شکافی به علت داده‌های بصری متری ضعیف است. آزاده ولی پور و همکارانش در سال ۱۳۹۰ در سواحل استان مازندران از طریق محاسبه شدت نیروی واداشت پس از انتخاب هفت ایستگاه مختلف در سراسر ساحل از طریق مطالعه گلموج‌های به‌دست‌آمده از ماژول SW نرم‌افزار MIKE21 به بررسی شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر سواحل این استان پرداخته شد. همچنین پس از محاسبه شیب عمومی ساحل با کمک نرم‌افزار ArcGIS پهنای منطقه خیزاب ساحلی و فاصله کانال‌های جریان برگشتی در هر ایستگاه موردمحاسبه قرار گرفت. به این ترتیب از طریق مقایسه شدت نیروی واداشت در ایستگاه‌های مختلف نوع جریان برگشتی و نحوه عملکرد آن‌ها در هر ایستگاه مورد مطالعه قرار گرفت. در نتایج اصلی این تحقیق مشخص شد که سواحلی با شدت نیروی واداشت بیشتر (ایستگاه‌های بابلسر و نفت چال) اصولاً پایدارترند و جریان‌های برگشتی در آن‌ها از شدت بیشتری برخوردار است. همچنین مشخص شد نوع جریان‌های برگشتی در اکثر اوقات سال در سواحل این استان خصوصاً در سواحل مرکزی و شرقی (ایستگاه‌های نکا، فرح‌آباد، لاریم، نفت چال، بابلسر و نور) از نوع جریان‌های برگشتی بستر (فرسایشی و نهستی) می‌باشند. درحالی‌که سواحل غربی استان (ایستگاه نشتارود) جریان‌های برگشتی اغلب بی‌دوام‌اند و از نوع جریان‌های برگشتی اغلب بی‌دوام‌اند و از نوع جریان‌های برگشتی کوچک و گذرا می‌باشند. برونو و همکارانش در سال ۲۰۱۱ از مدل‌سازی که ترکیبی از مدل SW و مدل FM بود، استفاده کردند که ورودی‌های این مدل‌سازی از داده‌های آزمایش بود که در سال ۲۰۰۷ در یک

^۱ Calvete et al

آزمایش ۵ روزه در ساحل بیسکارس به دست آمده بود. در این پژوهش با به کار گیری این دو مدل به بررسی عوامل مؤثر بر جریان شکافنده پرداختیم.

فصل ۳ مواد و روش‌ها

۳-۱- مقدمه

جهت بررسی دقیق‌تر جزئیات مطرح‌شده در یک پژوهش، نیاز است که منطقه مطالعاتی، موارد مورداستفاده شده در پژوهش، اطلاعات و داده‌های موردنیاز برای انجام پژوهش به تفصیل بیان شود. از این‌رو در این فصل به معرفی منطقه مطالعاتی و موارد مورداستفاده شده در پژوهش و مواد و اطلاعات موردنیاز برای انجام پژوهش پرداخته شده است.

در این بخش پس از تشریح منطقه مطالعاتی، به معرفی موارد استفاده شده در این پژوهش پرداخته شده است. از نرم‌افزار MIKE جهت بررسی جریان شکافنده استفاده شده است. از این‌رو در این بخش به معرفی این نرم‌افزار و ماژول‌های مورداستفاده آن در این پژوهش و روش‌های حل معادلات توسط آن‌ها پرداخته می‌شود. در قسمت بعدی به بررسی اطلاعات موردنیاز برای مدل‌سازی جریان، شرایط اولیه و شرایط مرزی پرداخته شد. درنهایت به چگونگی استخراج رابطه سرعت جریان شکافنده پرداخته شده است.

۳-۲- منطقه مطالعاتی

برای بررسی عوامل مؤثر بر سرعت جریان شکافنده، ساحلی که اطلاعات آن در دسترس باشد و برای تشکیل جریان شکافنده مستعد است، انتخاب شد.

۳-۲-۱ انتخاب سواحل شمال کشور

آنچه در سواحل ایران برای شناگران اهمیت دارد و برای آنان خطرناک است، موج و جریان‌های حاصل از موج در ناحیه کم‌عمق ساحلی (عمق آب به طول موج کمتر از ۰.۵) است. آب کم‌عمق ناحیه ایی است که در آن موج شکست می‌یابد و جریان‌های ساحلی شدیدی در آن وجود دارد. سالانه حدود ۲۵۰ نفر در سواحل خزر (عمدتاً ساحل گیلان و مازندران) گرفتار امواج دریا و جریان‌های ناشی از آن‌ها می‌شوند و می‌میرند. در سواحل دریای عمان و خلیج فارس هم مخاطرات ناشی از جریان شکافنده وجود دارد و ساکنان مناطق ساحل‌نشین و گردشگران را در معرض تهدید قرار می‌دهد؛ اما به علت حضور تعداد محدود گردشگر آمار غرق‌شدگان به مراتب نسبت به دریای خزر کمتر می‌باشد.

مرگومیر ناشی از شنا در خزر قابل مقایسه با تلفات زلزله‌های متوسط در ایران است (پورعلی و رضایی، ۱۳۹۱).

۳-۲-۲ انتخاب سواحل انزلی

رایت^۱ و شرت در سال ۱۹۸۵ سواحل مختلف جهان با توجه به شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر ساحل و سرعت ته‌نشینی ذرات رسوبی^۲ در هر بخش ساحل، در سه حالت اصلی دسته‌بندی کردند که شامل حالت‌های پراکنا^۳، بازتابان^۴ و میانه^۵ می‌باشد (ولی پور و همکارانش، ۱۳۸۵).

سواحل پراکنا بیانگر بیش‌ترین انرژی در ساحل‌اند که به‌طور دوره‌ای در معرض امواج بلند قرار می‌گیرند. از مشخصات بارز این سواحل، منطقه خیزاب ساحلی گسترده با شیب اندک است. انرژی امواج در این نوع سواحل به وسیله یک موج شکنای آشفته در ساحل پراکنده می‌شود، امواج فرودی به تدریج به سمت ساحل انرژی خود را از دست می‌دهند و در غالب جریان‌های برگشتی بستر و امواج ایستاده فروگرانشی بر منطقه فعال ساحلی حاکم می‌شوند.

$$\Omega = \frac{H_b}{W_s \times T} \quad (۱-۳)$$

$$\Sigma = \frac{\tan \beta}{\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.5}} \quad (۲-۳)$$

$$k^x = \frac{(H_b)^2}{g \times d_{50} \times (T)^2} \quad (۳-۳)$$

در معادلات بالا پارامترها به صورت زیر معرفی می‌گردد:

Ω, k^x, Σ : شاخص‌های مختلف مربوط به تعیین حالت ساحل H_b : ارتفاع موج شکنا W_s :

سرعت ته‌نشینی ذرات رسوبی T : دوره تناوب β : زاویه شکست موج H_0 : ارتفاع موج در

^۱Wright
^۲W_s
^۳dissipative
^۴reflective
^۵intermediate

آب عمیق L_0 : طول موج در آب عمیق d_{50} : قطر ۵۰٪ رسوبات g : شتاب جاذبه

گرانشی

این سواحل اغلب هنگامی ایجاد می‌شوند که $\Omega > 6$ ، $2-3$ وقتی $\Sigma < 0.23$ و $3-3$ وقتی $k^x > 20$ برقرار باشند.

در حالی که سواحل میانه سواحلی‌اند که در حد واسط بین سواحل پراکنا با انرژی بالا و سواحل بازتابان با انرژی پایین‌تر قرار دارند. تغییرات مکانی امواج در این سواحل بیشتر و شیب منطقه نزدیک ساحل تندتر است، در نتیجه امواج تابشی هنگامی که تیزی نسبتاً کمی دارند، تمایل به شکستن در قالب امواج شکنای چرخان یا آشفته دارند. از ویژگی‌های برجسته سواحل میانه، دارا بودن منطقه ساحلی افقی تکه‌تکه با سدهای رسوبی و جریان‌های تند بازگشتی است (ارتش آمریکا، ۲۰۰۲).

این سواحل اغلب هنگامی ایجاد می‌شوند که روابط $1 \leq \Omega \leq 6$ و $0.23 \leq \Sigma \leq 1$ و $k^x \leq 20$ برقرار باشد. به طوری که در این سواحل امواجی مرتفع تا متوسط (۰.۵ تا ۲.۵) بر ساحل حاکم‌اند و پوشش رسوبی ساحل متشکل از ماسه ریز تا متوسط است.

سواحل بازتابان سواحلی با پوشش ماسه‌ای ریز تا درشت‌دانه‌اند که در صورت حضور امواج کوتاه با دوره تناوب بلند در طیف انرژی پایین‌تری ایجاد می‌شوند. این نوع سواحل نسبتاً پایدارند و هنگامی ایجاد می‌شوند که روابط $\Omega < 1$ ، $\Sigma < 10$ و $k^x < 10$ برقرار باشند (ترن هیلی، ۱۹۹۷)^۱، (دین، ۲۰۰۳)^۲.

برای بررسی جریان شکافنده، به علت آنکه در حالت میانه منطقه ساحلی دارای جریان‌های تند بازگشتی منطقه مورد مطالعه ما باید ساحل میانه با پوشش رسوبی ماسه‌ای ریز تا متوسط باشد و علاوه بر آن تقریباً همه ساحل گیلان و بخش خاوری مازندران دارای ساحل ماسه‌ای است که در ساحل ماسه‌ای نشانه‌هایی همانند شکل هلال یافت می‌شود که نوک هلال جایی است که جریان شکافنده پدیدار می‌شود (تورنتون و همکارانش، ۲۰۱۵)^۳.

^۱Trenhaile

^۲Dean

^۳Thornton et al

شهرستان بندر انزلی دارای ۴۷ کیلومتر نوار ساحلی است که ۲۰ کیلومتر در اختیار مناطق نظامی و ۲۷ کیلومتر دیگر نیز شامل طرح سالم‌سازی دریا و همچنین نقاط خطرآفرین محسوب می‌شود. بر اساس گزارش‌ها، در نیمه اول سال ۹۳، ۲۸ نفر در شهرستان بندر انزلی غرق شدند، در حالیکه که این میزان در سال ۹۲، ۱۷ نفر بوده است. این تعداد غرق‌ی رشد ۶۰.۷ درصدی نسبت به مدت مشابه سال ۹۲ را نشان می‌دهد و این سؤال را به ذهن نزدیک می‌کند که علت این افزایش چیست. علل غرق‌شدگی در سواحل بندر انزلی به ویژگی‌های خاص ساحل بندر انزلی وابسته است که عبارت‌اند از:

- ✓ افزایش فراوانی هوای مساعد در فصل شنا در مقایسه با سال‌های گذشته (کاهش بارندگی)
- ✓ افزایش فراوانی مسافر در ایام تابستان
- ✓ تغییرات متوالی عمق کف دریا در سواحل
- ✓ شیب تند دریای خزر در محدوده بندر انزلی
- ✓ وجود امواج بلند و سنگین در سواحل دریای خزر در حوزه بندر انزلی
- ✓ فراوانی بالای وزش بادهای شمال و شمال غرب که منجر به افزایش ارتفاع موج در سواحل بندر انزلی می‌گردد.
- ✓ وجود موج شکافنده در سواحل بندر انزلی که در شرایط جوی مناسب (عدم کولاک و وزش بادهای شدید) با ایجاد کشش در دریا منجر به غرق گردیدن شناگران می‌شود.
- ✓ از ویژگی‌های دریای خزر وزش بادهای محلی است، به نحوی که از نقطه به نقطه‌ای دیگر با فاصله تقریبی ۱۵ تا ۲۰ کیلومتر میزان و شدت موج و سرعت وزش باد تفاوت دارد و این تنوع در سواحل منجر به افزایش ریسک بروز حادثه می‌گردد (وب سایت رسمی روزنامه خزر، ۱۳۹۴).

از این رو با توجه به اطلاعاتی که از مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر تهیه شده بود، محدوده ایی از ساحل انزلی به طول ۲۰ کیلومتری و عرض ۵ کیلومتر از ارتفاع صفر تا ۲۸ متری، مطابق شکل ۳-۱ مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۳-۱- سواحل انزلی

۳-۳- موارد مورد استفاده در این پژوهش

مدل‌سازی یکی از روش‌های ذهنی بشر می‌باشد که نه‌تنها برای اهداف علمی، بلکه برای انجام امور روزمره بشر به دفعات مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌عنوان یکی از ابزارهای ساده‌سازی است. یک مدل، یک انتزاع یا تقریبی است که برای شبیه‌سازی واقعیت استفاده می‌شود. با وجود مشکلاتی که در کارهای آزمایشگاهی از قبیل خطای وسایل آزمایشگاهی، خطای انسانی و ... وجود دارد و عدم امکان ایجاد برخی شبیه‌سازی‌های آزمایشگاهی مدل‌سازی‌های نرم‌افزاری کمک شایانی به پیشرفت در زمینه‌های علمی می‌کند.

برای شبیه‌سازی وقایع فراساحل و فرو ساحل از نرم‌افزارهای زیادی استفاده می‌شود. شبیه‌سازی مدل شامل رشد، تجزیه و انتقال و تغییر شکل موج‌های تولیدشده در منطقه ساحل و فراساحل می‌باشد. نرم‌افزارهای مورد کاربرد برای شبیه‌سازی جریان شکافنده همان‌طور که در فصل دو به تفصیل گفته شد عبارت‌اند از: BAROTROPIC, SHORECIRC و رورژن ROMS و مایک ۲۱ و رورژن BW یا وورژن SW و FM که در این پژوهش از نرم‌افزار مایک ۲۱ و رورژن SW برای مدل کردن تنش تشعشعی و FM جهت مدل‌سازی جریان، بهره گرفته شده است. سیستم مورد استفاده دارای هسته ی (cor i7-4790k CPU @ 4.0 GHz 4.0 GHz) با ۳۲ گیگا بایت رم می‌باشد که ویندوز هشت ۶۴ بیتی بر روی آن نصب شده است. ماژول‌های امواج طیفی MIKE21 با استفاده از ساختار نامنظم مش بندی و حل معادلات از روش احجام محدود، امواج را مدل‌سازی می‌کند. نتایج حاصل از مدل‌سازی در ماژول SW را به ماژول FLOW MODEL FM وارد کرده و سرعت جریان شکافنده به‌عنوان خروجی قابل‌بررسی خواهد بود.

برای به دست آوردن رابطه سرعت جریان شکافنده از رگرسیون غیرخطی و روش درصد خطای میانگین استفاده می‌شود. این عمل در محیط اکسل و به کمک برنامه SOLVER که در خود نرم‌افزار اکسل تعبیه شده است انجام می‌گیرد. روش کار بدین صورت است که یکی از آمارهای ارزیابی خطا

به عنوان تابع هدف انتخاب خواهند شد و ضرایب مجهول رابطه سرعت جریان شکافنده به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری معرفی می‌گردند. برنامه SOLVER این ضرایب را آن قدر تغییر می‌دهد تا مقدار تابع هدف بهینه گردد. بدین ترتیب ضرایب مجهول رابطه سرعت جریان شکافنده تعیین می‌شوند.

۳-۳-۱-۳ مایک ۲۱

این مدل عددی یکی از پرکاربردترین مدل‌های عددی برای مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی هیدرودینامیکی و انتقال رسوبی و آلودگی در محیط‌های آبی است. این برنامه کامپیوتری که توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک^۱ و با همکاری انستیتو کیفیت آب^۲ پایه‌ریزی و به مرور زمان تکمیل و توسعه یافته است، دارای قابلیت‌های محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه مدل کردن پدیده‌های مربوط به خورها، دریاچه‌ها، نواحی کم عمق ساحلی، خلیج‌ها و دریاها می‌باشد. این نرم‌افزار سیستم جامعی برای مدل کردن جریان‌های آزاد^۳ دوبعدی است که در آن‌ها لایه‌بندی^۴ جریان سیال قابل صرف نظر باشد و در عین حال در کامپیوترهای موجود قابل اجرا است. رقم‌های پسوند ۲۱ از چپ به راست در واقع کاربرد این سیستم برای جریان‌های دوبعدی و یک لایه را بیان می‌کند. علیرغم اینکه برنامه کامپیوتری MIKE 21 از مدرن‌ترین امکانات نرم‌افزاری بهره گرفته است، به طور پیوسته تحت بازنگری قرار داشته و کاربردهای جدیدتری به آن اضافه می‌شود. این مدل با دارا با بهره‌گیری از ماژول‌های مختلف، توانایی بررسی پدیده‌هایی همچون موارد زیر را دارا می‌باشد:

- ✓ تغییرات سطح آب و جریان‌های ناشی از پدیده جزر و مد (Tidal Exchange and currents)
- ✓ افزایش ارتفاع سطح آب در اثر بادهای شدید (برکشند طوفان) (Storm Surge)
- ✓ انتشار یا توزیع شوری و حرارت (Heat and Salt Recirculation)
- ✓ بررسی کیفیت آب (Water Quality)
- ✓ انتشار یا توزیع آلودگی از جنس فلزات سنگی (Heavy Metals Dispersion)
- ✓ توزیع امواج در داخل بندرگاه (Harbors-Wave disturbance)
- ✓ بررسی اثرات پدیده تفرق امواج با در نظر گرفتن موج طیفی (Spectral Wave Diffraction)
- ✓ انتشار امواج از منطقه آب عمیق به منطقه ساحلی (Nearshore Spectral Wind-Wave)
- ✓ تعیین مشخصات امواج فراساحل با استفاده از منحنی‌های هم‌فشار (Deep Water Wave Characteristics)

^۱Danish Hydraulic Institute

^۲Water Quality Institute

^۳Free Surface Flows

^۴Stratification

✓ ناوبری در بندرها

✓ برآورد نرخ انتقال رسوبات و میزان نهشت و فرسایش در منطقه ساحلی (Longshore)

(Sediment transport rate and erosion and deposition region)

این مدل قادر است با گرفتن اطلاعات اولیه مربوط پارامترهای اساسی و لازم برای امر طراحی در پروژه‌های نظیر ساخت بندرگاه‌ها، انتخاب روش‌های حفاظت سواحل مدل‌های متشابه برای ناوبری و مانور کشتی‌ها، سازه‌های دور از ساحل و حتی خطوط لوله در بستر دریاها را فراهم آورد (سجادیانفرد، ۱۳۹۳).

این مدل در حال حاضر بیش از ۲۰ ماژول تخصصی را داراست که SW و FLOW MODEL FM را نیز شامل می‌شود که هر کدام قابلیت‌های ویژه و کاربردی خاص را دارند. در کل مدول‌های این نرم‌افزار ۴ بخش

را در بر می‌گیرد:

(۱) هیدرولیک محیطی^۱ که هر چیزی را از جابجایی و حرکت طبقات اتمسفری به صورت افقی تحت تأثیر گرما به صورت نرمال و پراکندگی آلاینده‌های محافظه‌کارانه تا کیفیت آب شامل واکنش‌های شیمیایی را شبیه‌سازی می‌کند.

(۲) هیدرولیک ساحلی و اقیانوس‌شناسی^۲ که شامل مدل‌سازی هیدرولیک جزر و مد، باد، موج‌های به وجود آمده توسط جریان‌ها، امواج طوفانی و امواج سیلاب می‌باشد.

(۳) امواج، این بخش نیز تلاطم امواج در بندرگاه‌ها، پیش‌بینی‌ها، پارامترهای طراحی موج، تغییر شکل‌های غیرخطی و تکان‌های کشتی را شامل می‌شود که به‌عنوان ابزاری برای طراحی بندرگاه، سازه‌های ساحلی، کانال‌های کشتیرانی و آزمایش اثر امتداد موج‌شکن‌های جدید کاربرد دارد.

(۴) فرآیندهای انتقال رسوب در سواحل^۳، شامل پژوهش‌های انتقال رسوب جهت کانال‌های کشتی‌رانی، دهانه‌های بندرها، سواحل، اسکله‌ها و ... می‌شود.

ماژول‌های SW و FLOW MODEL FM از مایک ۲۱ در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند.

• ماژول SW

مدل SW یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی امواج می‌باشد که برای تمامی اعماق جواب قابل قبولی را ارائه می‌دهد. اساس محاسبه و تعیین مشخصات امواج در مدل‌های ریاضی پیش‌بینی موج از جمله SW حل معادلات پایستگی انرژی طیفی به صورت گسسته در بعد مکانی، زاویه‌ای و بسامدی به منظور لحاظ کردن طبیعت تصادفی امواج دریا، است (طالقانی و گلشنی، ۱۳۹۰).

^۱Environmental Hydraulics

^۲Oceanography And Coastal Hydraulics

^۳Sediment Processes On Coast

• معادلات حاکم بر ماژول SW

مبنای مدل SW برای پیش‌بینی موج، حل معادله انتقال انرژی همراه با ترم‌های چشمه و چاه می‌باشد. شکل معادلات انتقال در حالت دوبعدی به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\cos \theta}{C} \frac{\partial (E C C_g)}{\partial X} + \frac{\sin \theta}{C} \frac{\partial (E C C_g)}{\partial y} + \frac{C}{C_g} \left(\sin \theta \frac{\partial C}{\partial X} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \frac{\partial E}{\partial \theta} = S \quad (4-3)$$

در معادلات بالا پارامترها به صورت زیر معرفی می‌گردد:

E: طیف انرژی موج فرکانسی_ جهتی t: زمان x,y: مختصات دکارتی در حالت دو بعدی

θ: جهت انتشار موج C_g: سرعت گروهی موج C: سرعت انتشار موج S: عبارت چشمه و چاه

یا منبع

عبارت منبع در سمت راست معادله انتقال موج به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{dis} + S_{bot} + S_{surf} \quad (5-3)$$

که در آن S_{in} معرف انتقال انرژی از باد به سطح آب، S_{nl} معرف انتقال انرژی از یک فرکانس به فرکانس دیگر توسط اندرکنش غیرخطی امواج، S_{dis} معرف استهلاک انرژی موج در اثر پدیده سفیدک رأس موج^۱، S_{surf} معرف استهلاک انرژی موج ناشی از شکست در ناحیه کم‌عمق و S_{bot} معرف استهلاک موج ناشی از اندرکنش با بستر دریا می‌باشد.

• ماژول FLOW MODEL FM

FLOW MODE FM یک سیستم مدل‌سازی جامع برای مدل‌سازی دوبعدی و سه‌بعدی توسعه یافته توسط DHI است. این سیستم مدل‌سازی برای عملکردهای مختلط اقیانوس‌ها، مناطق ساحلی و مناطق با اهمیت محیط زیستی همچون خلیج‌ها توسعه یافته است و از زیر برنامه‌های زیر تشکیل شده است.

- ✓ زیر برنامه هیدرودینامیک
- ✓ زیر برنامه نقل و انتقالات دریایی
- ✓ زیر برنامه مدل‌سازی آزمایشگاهی
- ✓ زیر برنامه انتقال گل‌ولای
- ✓ زیر برنامه انتقال ماسه

زیر برنامه هیدرودینامیکی، تغییرات سطح آب و جریان در واکنش به نیروهای مختلف در محیط‌های دریایی را نشان می‌دهد.

^۱White Capping

• معادلات حاک بر ماژول FLOW MODEL FM

ماژول FLOW MODEL FM، تغییرات سطح آب و جریان در واکنش به نیروهای مختلف در محیط های دریایی را نشان می دهد. معادلات این ماژول به صورت متداول در حالت سه بعدی بیان می شود ولی معادلات برای جریان دو بعدی، با انتگرال گیری معادلات بر روی اعماق بدست می آید. معادلات بقای جرم و مومنتم به عنوان معادلات حاکم در این ماژول می باشد که در معادلات (۳-۶ تا ۳-۸) آورده شده است. در این ماژول جهت حل معادلات از روش حجم محدود استفاده شده است.

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial D}{\partial X} + \frac{\partial D}{\partial y} = 0 \quad (۳-۶)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{D} \right) + gD \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{f^2 \times D^2} - \gamma \left[\frac{\partial^2 p}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 q}{\partial^2 y} \right] - \dot{c}q \\ - fvV_x + D \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{Pa}{Pw} \right] = 0 \end{aligned} \quad (۳-۷)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{D} \right) + gD \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{f^2 \times D^2} - \gamma \left[\frac{\partial^2 p}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 q}{\partial^2 y} \right] - \dot{c}q \\ - fvV_y + D \frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{Pa}{Pw} \right] = 0 \end{aligned} \quad (۳-۸)$$

در معادلات بالا پارامترها به صورت زیر معرفی می گردد:

D: عمق آب t: زمان X,y: مختصات دکارتی در حالت دو بعدی f: ضریب اصطکاک باد

γ: تغییرات تراز سطح آب c-dot: ضریب شزی P_a: فشار هوا P_w: جرم حجمی آب

V_x, V_y: سرعت متوسط عمقی در جهت های مختلف p,q: دانسیته شار در جهت های

مختلف

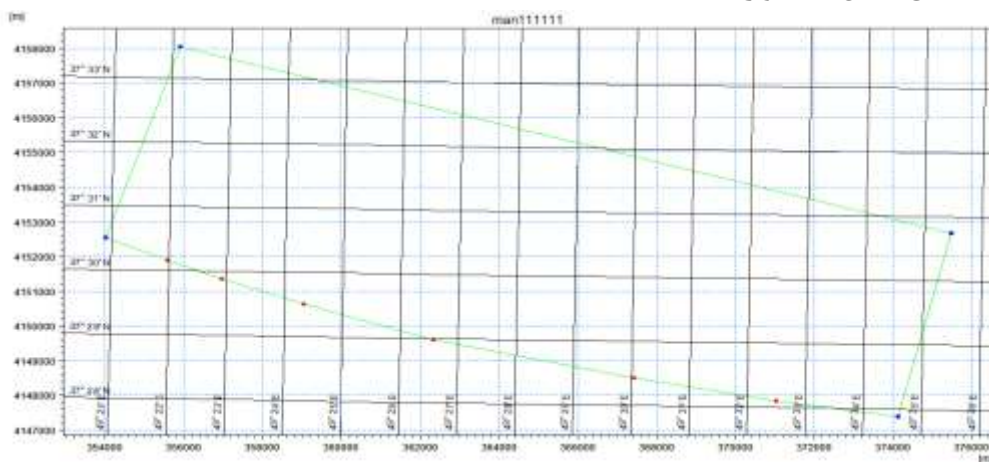
۳-۳-۲ داده های ورودی

دقت نتایج مدل سازی ارتباط مستقیمی با دقت داده های ورودی مدل دارد یعنی هرچه دقت داده های ورودی بیشتر باشد نتایج مدل سازی از اعتبار بیشتری برخوردار است. داده های ورودی در ماژول SW شامل موارد زیر است:

- ✓ مشخصات هندسی سواحل انزلی
- ✓ شرایط مرزی
- ✓ داده های موج
- ✓ داده های باد
- ✓ تنش تشعشعی خروجی ماژول SW

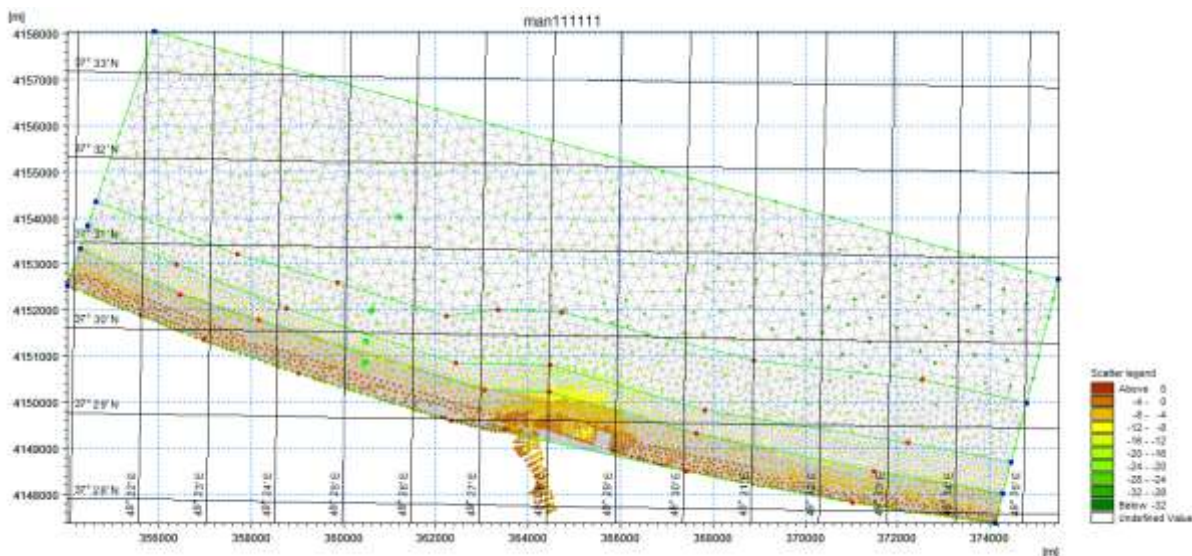
• مشخصات هندسی سواحل انزلی

مشخصات هندسی مورد نیاز سواحل انزلی برای مدل سازی هیدرودینامیکی شامل اطلاعات مرز و هیدرو گرافی سواحل انزلی می باشد. اطلاعات مرز از تصاویر موجود در GOOGLE EARTH و با به کارگیری زیر برنامه Add path استخراج گردید و با استفاده از نرم افزار GLOBALMAPPER. MAPSOURCE و dxf to xyz به صورت ورودی به نرم افزار MIKE ZERO زیر برنامه Mesh Generate، مطابق شکل ۳-۲ وارد شد.



شکل ۳-۲- مرز سواحل انزلی.

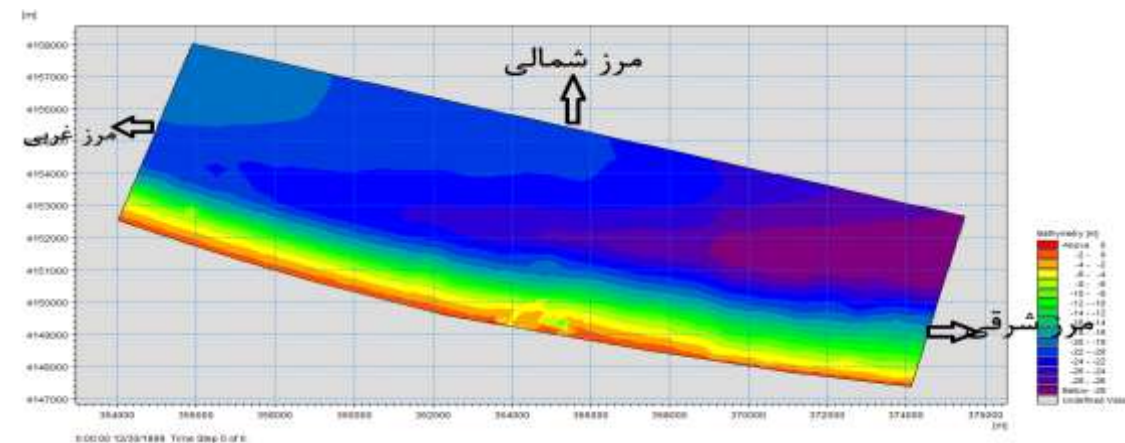
داده های هیدرو گرافی از مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر تهیه شد و به صورت وردی به زیر برنامه داده شد. سپس این ناحیه با ابعاد شبکه بندی ۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۴۰۰۰ و ۶۰۰۰۰ مترمربع و به صورت مثلثی به ترتیب از جنوب به شمال مطابق شکل ۳-۳ مش زده شد. هرچه اندازه مش ریزتر باشد دقت محاسبات در آن ناحیه بیشتر است به همین علت نواحی نزدیک ساحل که محل تشکیل جریان شکافنده است، مش های ریزتری زده شد. فایل مش برای هر دو ماژول مشابه است، این تشابه سبب بررسی دقیق تر بر روی خروجی ها می شود.



شکل ۳-۳- مش بندی سواحل انزلی.

• شرایط مرزی

در شبکه دو نوع مرز تعریف می‌گردد. یکی مرز باز و دیگری مرز بسته. مرز بسته مربوط به ساحل می‌شود و مرز باز مربوط به قسمت‌هایی می‌شود که آب به منطقه مطالعاتی وارد یا از آن خارج می‌شود. در این مطالعه، سه مرز شمالی، شرقی و غربی مطابق شکل ۳-۴ باز و مرز پایینی که در ساحل قرار دارد، بسته تعریف شد. در ماژول SW مرز شرقی و غربی به دلیل وجود جریان‌های موازی ساحل در منطقه مطالعاتی سواحل انزلی به صورت LATERAL BOUNDARY تعریف شد تا اثر خروج و یا صرف نظر کردن از جریان موازی ساحل در مدل‌سازی دیده شود. مرز شمالی محل ورودی موج در منطقه مدل‌سازی است که به مدل اعمال گردیده است. در ماژول FLOW MODEL FM مرز شرقی و غربی Specified level با سطح آب صفر در نظر گرفته شد تا جریان در محیط رفت و برگشت داشته باشد و از اختلال و بی‌نظمی در محیط مدل شده جلوگیری شود و جریان ناشی از شکست موج که در مدل‌سازی جریان شکافنده مهم است، دیده شود. مرز شمالی Land (Zero Normal Velocity) به علت آنکه جریان ناشی از شکست موج تا عمق ۶۰ متری می‌رسد و قابلیت اینکه به عمق ۲۰ متری برسد را ندارد، در نظر گرفتیم که این مرز به صورت یک دیوار صاف عمل می‌کند که جریان عرضی دارد ولی جریان عمودی صفر است.



شکل ۳-۴- نمایش مرزهای مدل.

- داده های موج

اطلاعت موج شامل ارتفاع، دوره تناوب، جهت متوسط و شاخص استاندارد انحراف موج در مرز باز شمال به عنوان شرط مرزی مدل مورد نیاز است. این داده ها نیز پس از دریافت و ساخت سری زمانی به مرز شمالی ماژول SW اعمال شد.

- داده های باد

باد به عنوان عامل محرک اولیه در ایجاد موج مهم ترین داده مورد استفاده در مدل سازی امواج است. اطلاعات باد که شامل سرعت و جهت باد است به صورت یک سری زمانی به نرم افزار داده شده است. داده های باد به دلیل وسعت منطقه، علاوه بر ایجاد موج باعث تشدید اثر جریانات در سواحل انزلی می شوند. پس در هر دو ماژول SW و FLOW MODEL FM به عنوان ورودی مدل لحاظ می گردد.

- تنش تشعشعی خروجی ماژول SW

همان طور که در فصل اول ذکر شد تغییرات تنش تشعشعی به صورت مستقیم بر روی جریان شکافنده اثرگذار است، بنابراین برای محاسبات جریان شکافنده نیاز به محاسبه تنش تشعشعی می باشد. برای این کار تنش تشعشعی که خروجی ماژول SW می باشد به عنوان ورودی به ماژول FLOW MODEL FM داده می شود تا سرعت جریان شکافنده به عنوان خروجی این ماژول حاصل شود.

۳-۴- ضرایب کالیبراسیون

کالیبراسیون در مدل سازی جهت تعیین شرایطی است که مدل در آن شرایط بهتر قادر خواهد بود یک پدیده فیزیکی را شبیه سازی کند. در هر مدل ریاضی ضرایبی وجود دارد که با تغییر آنها خروجی مدل با واقعیت تطبیق بیشتری خواهد داشت. برای تعیین ضرایب کالیبراسیون از کمیت آمارهای ارزیابی درصد خطای میانگین، ضریب همبستگی و میانگین اربیی که طبق روابط ۳-۱، ۳-۲ و ۳-۳ محاسبه می شود، استفاده شد.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{v - vm}{vm} \right| \quad (9-3)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (vm - vm^-)(v - v^-)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (vm - vm^-)^2 \sum_{i=1}^n (v - v^-)^2}} \quad (10-3)$$

$$MBE = v^- - vm^- \quad (11-3)$$

در معادلات بالا پارامترها به صورت زیر معرفی می گردند:

MAPE: پارامتر آماری درصد خطای میانگین R : پارامتر آماری ضریب همبستگی *MBE*:
 پارامتر آماری میانگین اریبی v : سرعت جریان و سرعت جریان شکافنده به دست آمده از
 رابطه تجربی
vm: سرعت جریان به دست آمده از نرم افزار n : تعداد داده های ورودی

۳-۴-۱ ضرایب کالیبراسیون ماژول SW

ضرایب کالیبراسیون ماژول SW شامل، ضریب شکست موج^۱، اصطکاک بستر^۲ و ضریب سفیدک رأس موج است (DHI Software 2007).

• ضریب شکست موج

ضریب شکست موج در مناطق کم عمق و یا در هنگام بررسی پدیده هایی که در مناطق کم عمق رخ می دهند، بسیار مهم هستند و نیاز به بررسی جامع و دقیقی دارند. γ پارامتر شکست است که مقدار آن به شیب ساحل و پارامترهای موج وابسته است و مقدار آن از ۰.۵ تا ۱ تغییر می کند و مقدار اولیه آن ۰.۸ است.

• اصطکاک بستر

وقتی موج از آب عمیق به سمت آب کم عمق حرکت می کند، ذرات به صورت چرخشی به بستر می رسد. لذا اصطکاک بستر در این حالت اهمیت بیشتری پیدا می کند. K_n ضریب اصطکاک است که مقدار اولیه برای K_n ، ۰.۰۴ متر است.

• ضرایب سفیدک رأس موج

^۱Wave Breaking

^۲Bottom Friction

^۳Nikuradse Roughness

این ضرایب در مواردی که موج می‌شکند و حباب‌های هوا ظاهر می‌شود، کاربرد دارند که شامل دو ضریب سی دی آی اس^۱ و دلتادیس^۲ می‌باشد؛ که می‌توانند به صورت ثابت و یا متغیر در محدوده مورد مطالعه به مدل داده شود. مقدار اولیه برای ضریب سی دی آی اس ۴.۵ و برای ضریب دلتادیس ۰.۵ است.

۳-۴-۲ ضرایب کالیبراسیون ماژول FLOW MODEL FM

ضرایب کالیبراسیون ماژول FLOW MODEL FM عبارت‌اند از: ضریب ویسکوزیته گردابی^۳، ضریب مقاومت بستر^۴ و ضریب اصطکاک باد^۵ (MIKE by DHI 2011).

- ضریب ویسکوزیته گردابی

ضریب ویسکوزیته گردابی می‌تواند به صورت ثابت و یا متغیر در محدوده مورد مطالعه به مدل داده شود. حالت ثابت برای موقعی که تنش افقی است، استفاده می‌شود. مقدار آن از ۰.۲۵ تا ۱ تغییر می‌کند و مقدار اولیه آن ۰.۲۸ است.

- ضریب مقاومت بستر

ضریب مقاومت بستر به عدد مانینگ^۶ وابسته است. عدد مانینگ می‌تواند به صورت ثابت و یا متغیر در محدوده مورد مطالعه به مدل داده شود. مقدار آن از ۲۰ تا ۴۰ ریشه سوم متر بر ثانیه تغییر می‌کند و مقدار اولیه آن ۳۲ ریشه سوم متر بر ثانیه می‌باشد.

- ضریب اصطکاک باد

ضریب اصطکاک باد می‌تواند به صورت ثابت و یا متغیر با سرعت باد به مدل داده شود. در مورد دوم، بین دو مقدار بر اساس سرعت باد و بر اساس حد بالا و حد پایین اصطکاک را درونیابی خطی می‌کنیم. مقدار اولیه برای ضریب اصطکاک باد ۰.۰۰۱۲۵۵ است.

^۱ C_{dis}
^۲ $DELTA_{dis}$
^۳Eddy Viscosity
^۴Bed Resistance
^۵Wind Friction
^۶Manning number

۳-۵- خروجی های مدل

خروجی های نرم افزار مایک شامل ۳ نوع فایل با فرمت متفاوت است.

- خروجی نقطه ای که بی بعد است و با پسوند dfs0 ذخیره می شود در این حالت داده های خروجی در یک نقطه با مختصات جغرافیایی مشخص استخراج می شوند.
- خروجی خطی که یک بعدی است و با پسوند dfs1 ذخیره می شود در این حالت داده های خروجی بر روی خطی با مختصات جغرافیایی مشخص استخراج می شوند که به صورت پیش فرض در دو نقطه ابتدایی و انتهایی خط خروجی نشان داده می شود و برای نشان دادن بیشتر خروجی می توان به تعداد نقاط افزود.
- خروجی محدوده ای که دوبعدی است و با پسوند dfs2 ذخیره می شود در این حالت داده های خروجی در محدوده ای با ساختار جغرافیایی منظم یا نامنظم و با مختصات جغرافیایی مشخص استخراج می شوند.

۳-۵-۱ خروجی ماژول SW

خروجی مورد نیاز برای انجام این تحقیق داده های تنش تشعشی می باشد که به صورت خروجی محدوده ای از ماژول sw گرفته می شود و به عنوان وردی به ماژول FLOW MODEL FM داده می شود.

۳-۵-۲ خروجی ماژول FLOW MODEL FM

خروجی ماژول نرم افزار FLOW MODEL FM سرعت جریان می باشد که به صورت محدوده ای و نقطه ای از ماژول FLOW MODEL FM گرفته می شود.

۳-۶- نحوه استخراج رابطه

هدف از مدل سازی تعیین رابطه سرعت جریان شکافنده در سواحل انزلی می باشد. رابطه سرعت جریان شکافنده به شرح زیر تعیین می شود.

- ۱- به کمک آنالیز ابعادی پارامترهای موثر بر سرعت جریان شکافنده مشخص می شوند.
- ۲- رابطه ای برای سرعت جریان شکافنده که در برگیرنده پارامترهای بی بعد موثر باشد ارائه می گردد.
- ۳- اقدام به مدل سازی در ۵۰۰ گام زمانی و استخراج نتایج و حذف داده های پرت با استفاده از روش های آماری.

۴- ارائه رابطه برای سرعت جریان شکافنده در محیط نرم افزار اکسل، به کمک روش رگرسیون غیرخطی نسبت به تعیین ضرایب ثابت و مجهول رابطه اقدام شد. این ضرایب به نحوی تعیین می شوند که کمترین درصد خطای میانگین را نسبت به داده های مدل سازی ایجاد نماید. درصد خطای میانگین مطابق با رابطه ۳-۹ می باشد. به منظور کنترل دقت رابطه پیشنهادی از روش آماری ضریب همبستگی استفاده شد. ضریب همبستگی مطابق با رابطه ۳-۱۰ محاسبه می شود. هرچه مقدار این ضریب به یک نزدیک تر باشد، اعتبار رابطه به دست آمده بیشتر است.

با استفاده از روش آنالیز ابعادی میتوان در بسیاری از حالات روابط پیچیده را تجزیه و تحلیل نمود و بین متغیرهای مختلف آن پدیده روابط صحیحی ایجاد کرد. برای ارائه رابطه سرعت جریان شکافنده از آنالیز ابعادی استفاده شده است. به این نحو که ابتدا همه متغیرهایی را که در سرعت جریان شکافنده مؤثر هستند انتخاب شده، سپس به کمک تئوری باکینگهام پارامترهای بی بعد مؤثر را که ترکیبی از متغیرهای اولیه می باشند مشخص کرد. سپس با انجام محاسبات متعدد که با استفاده از SOLVER اکسل و محاسبه ضریب همبستگی انجام می شود، نحوه تأثیر پارامترهای موردنظر در پدیده را مورد بررسی قرار داده و در نهایت رابطه ریاضی که دارای کمترین خطا و بیشترین ضریب همبستگی نسبت به مقادیر به دست آمده از نرم افزار را دارد، ارائه نمود.

به طور کلی پارامترهای مهم مؤثر بر روی سرعت جریان شکافنده می توان به شرح زیر دسته بندی نمود.

- ۱- خصوصیات مربوط به موج تشکیل شده در منطقه شامل: ارتفاع موج، دوره تناوب موج، جهت موج و سرعت موج که به علت شکل گیری جریان شکافنده در ناحیه کم عمق سرعت موج تابعی از عمق دریا می باشد.
- ۲- خصوصیات مربوط به بادی که در منطقه می وزد شامل: سرعت و جهت باد
- ۳- خصوصیات بستر شامل: شیب بستر، تنش برشی کف، اندازه متوسط ذرات رسوب و شکل بستر
- ۴- انرژی جزر و مد که برای بررسی آن ارتفاع جزر و مد مورد بررسی قرار می گیرد.

۵- وجود سازه ساحلی

در این مطالعه بخش از عوامل اثرگذار بر سرعت جریان شکافنده مورد بررسی قرار نگرفت، شامل:

۱- بررسی تاثیر وجود سازه ساحلی به علت وجود نداشتن سازه ساحلی در منطقه مورد مطالعه

۲- بررسی تاثیر انرژی جزر و مدی به علت کم بودن ارتفاع جزر و مدی دریای خزر که قابل صرف نظر کردن است.

۳- بررسی تاثیر شیب بستر و اندازه متوسط ذرات رسوب به علت ثابت بودن این مقادیر در منطقه مطالعاتی

۴- بررسی تاثیر تنش برشی کف به علت آنکه یکی از پارامترهای کالیبراسیون است.

با توجه به مواد فوق سرعت جریان شکافنده به متغیرهای زیر وابسته میگردد:

$$V = f(N, M, L, D, H, T, \alpha, Vw, \delta) \quad (10-3)$$

بطوریکه N تعداد بار رسوبی، M عرض کانال شکافنده، L طول بار رسوبی، D عمق آب، H ارتفاع موج، T دوره تناوب موج، α زاویه برخوردی موج، Vw سرعت باد و δ زاویه وزش باد است.

پس از انجام آنالیز ابعادی به کمک تئوری باکینگهام، پارامترهای بی بعد مؤثر بر سرعت جریان شکافنده به صورت زیر به دست می آیند:

$$V\left(\frac{T}{L}\right) = f\left(N, \frac{M}{L}, \frac{D}{L}, \frac{H}{L}, Vw\frac{T}{L}, \alpha, \delta\right) \quad (11-3)$$

فصل ۴ نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

در فصل‌های گذشته اشاره شد که هدف از این پژوهش استخراج رابطه سرعت جریان شکافنده با استفاده از مدل‌سازی عددی می‌باشد. بر همین اساس مجموعه شبیه‌سازی‌هایی با فرض‌های اولیه که در فصل سوم تعریف شد، برنامه‌ریزی گردید و پس از انجام 219 مدل‌سازی عددی، دیتاهای موردنیاز برداشت، گردآوری و پردازش شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

فصل چهارم به‌طور کلی شامل موارد زیر می‌باشد:

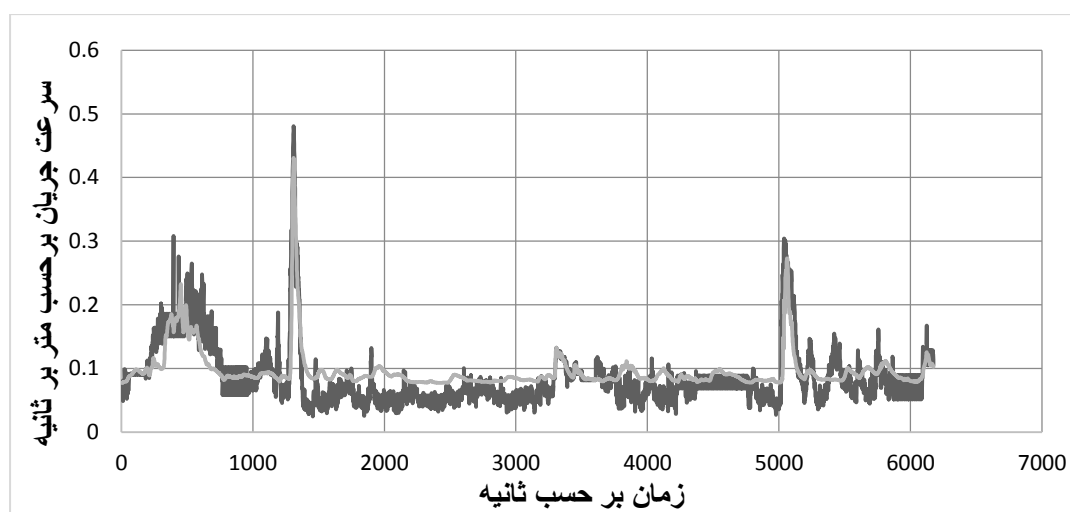
- ۱- نتایج کالیبراسیون مدل
- ۲- بررسی شکل بستر و وجود کانال شکافی بر سرعت جریان شکافنده
- ۳- بررسی تأثیر موج بر سرعت جریان شکافنده
- ۴- بررسی تأثیر باد بر سرعت جریان شکافنده
- ۵- استخراج رابطه سرعت جریان شکافنده

۴-۲- نتایج کالیبراسیون مدل

مدل‌سازی با مقادیر مختلف ضریب شکست موج، اصطکاک بستر، ضریب سفیدک رأس موج، ضریب ویسکوزیته گردابی، ضریب مقاومت بستر و ضریب اصطکاک باد انجام شد و در نهایت با در نظر گرفتن معیارهایی شامل میانگین اریبی (MBE)، ضریب همبستگی (R)، درصد خطای میانگین (MAPE) و انطباق نتایج واقعی و نتایج مدل‌سازی در مرحله کالیبراسیون، ضریب شکست موج بهینه ۰.۶۵، ضریب اصطکاک بستر ۰.۰۲ متر و ضریب سی دی آیس ۴.۵ و ضریب دلتا دیس ۰.۵ ضریب ویسکوزیته گردابی ۰.۲۸ ضریب مقاومت بستر ۵۰ ریشه سوم متر بر ثانیه و ضریب اصطکاک باد ۰.۰۰۱۱ به دست آمد. در جدول ۴-۱ مقادیر پارامترهای مختلف در شرایط بهینه ارائه شده است. در شکل ۴-۱ مقادیر سرعت جریان حاصل از مدل با مقادیر سرعت جریان برداشت‌شده توسط بالشتک‌های هوا در ۴۳ روز کالیبراسیون مقایسه شده است.

جدول ۱-۴- مقادیر پارامترهای مختلف در مرحله کالیبراسیون

پارامتر		MBE	R	MAPE
γ	۰.۶۵	۰.۰۰۹۹۶۸	۰.۸۲۱۱۴	۳۷
K_n	۰.۰۲			
C_{dis}	۴.۵			
$DELTA_{dis}$	۰.۵			
Eddy Viscosity	۰.۲۸			
Manning number	۵.۰			
Wind Friction	۰.۰۰۱۱			



شکل ۱-۴- مقایسه سرعت واقعی جریان در ساحل انزلی و سرعت به دست آمده از تحلیل مدل، خط پررنگ نشان دهنده سرعت واقعی جریان و خط کم رنگ نشان دهنده سرعت به دست آمده از تحلیل مدل

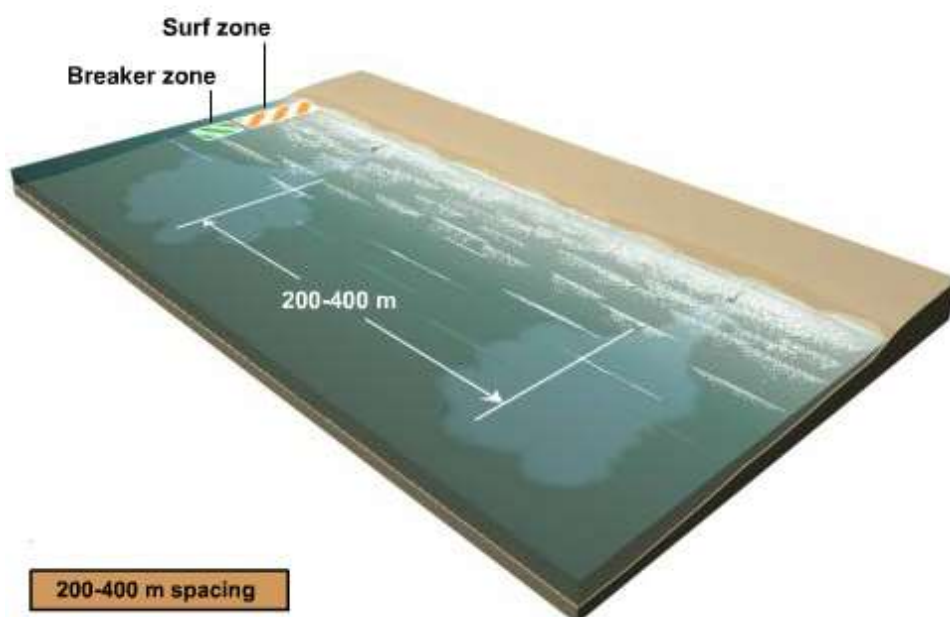
۳-۴- بررسی تاثیر شکل بستر و وجود کانال شکافی بر سرعت جریان شکافنده

جهت بررسی شکل بستر و کانال جریان شکافنده بر سرعت جریان شکافنده ۱۲ مدل‌سازی انجام شد. به دلیل دقت پایین اطاعات هیدرو گرافی و ضرورت وجود بار رسوبی برای ایجاد جریان شکافنده اقدام به ایجاد بار رسوبی در قسمت مرکزی سواحل انزلی شد.

به علت آنکه عرض بار رسوبی مطابق شکل ۴-۲ بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر تغییر می‌کند در ابتدا دو بار رسوبی به عرض ۲۰۰ متر، به طول ۶۰ و به فاصله ۱۰ متر از هم قرار داده شد.

مطابق با اطلاعاتی که از سازمان تحقیقات خزر به دست آمد ارتفاع بیشینه امواج ۳.۶ متر که با دوره تناوب ۶.۹ و با زاویه ۱۵۰ درجه در حالتی که بادی با سرعت ۱۲ متر بر ثانیه در جهت ۳۵۰ درجه می‌وزد، است که این داده‌ها به‌عنوان اطلاعات اولیه به نرم‌افزار داده شد.

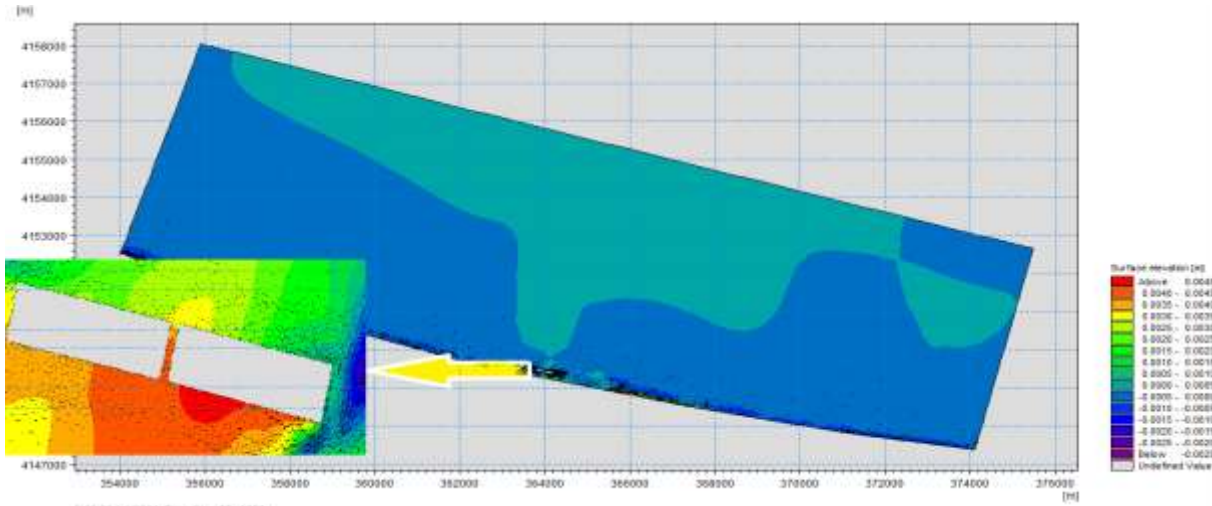
در اولین اقدام برای مدل‌سازی ناحیه داخلی بار رسوبی مش زده نشد و لزومی به تغییر هیدرو گرافی منطقه دیده نشد، در اقدام دوم ناحیه داخلی بار رسوبی مش زده شد، بار رسوبی را به‌صورت مرز باز در نظر گرفته شد و در نواحی مرزی و داخلی بار رسوبی به نقاط ارتفاع داده شد، نهایتاً در حالت آخر بار رسوبی به‌صورت مرز بسته در نظر گرفته شد.



شکل ۴-۲- نمایش عرض بار رسوبی.

۳-۴-۱ ایجاد بار رسوبی بدون مش داخلی و تغییر هیدروگرافی

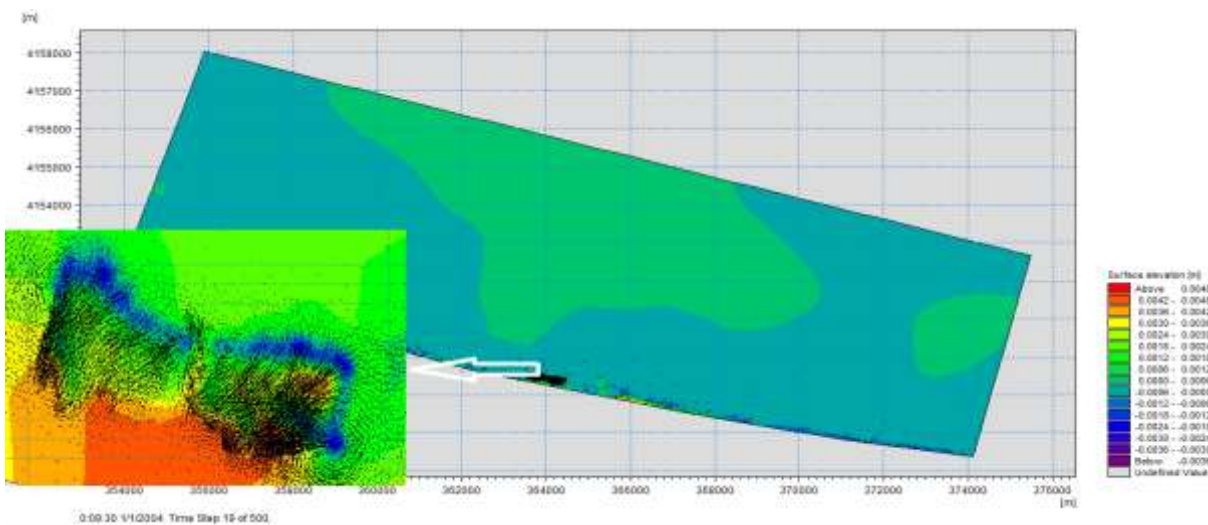
در این حالت بار رسوبی به عنوان یک منطقه که جریانی در آن رخ نمی‌دهد دیده شد و این امر همان طور که در شکل ۳-۴ دیده می‌شود، باعث ایجاد خطا و بی‌نظمی در شکل بردارهای جریان می‌شد.



شکل ۳-۴-۱ ایجاد بار رسوبی بدون مش داخلی و تغییر هیدروگرافی.

۳-۴-۲ ایجاد بار رسوبی با مش داخلی و مرز بار رسوبی به صورت باز

در مرحله بعدی به منظور نزدیک شدن به حالت واقعی شکل جریان در داخل بار رسوبی، مش زده شد تا جریان بر روی بار رسوبی ایجاد شود و اختلال و بی‌نظمی در این نواحی کاهش یابد.

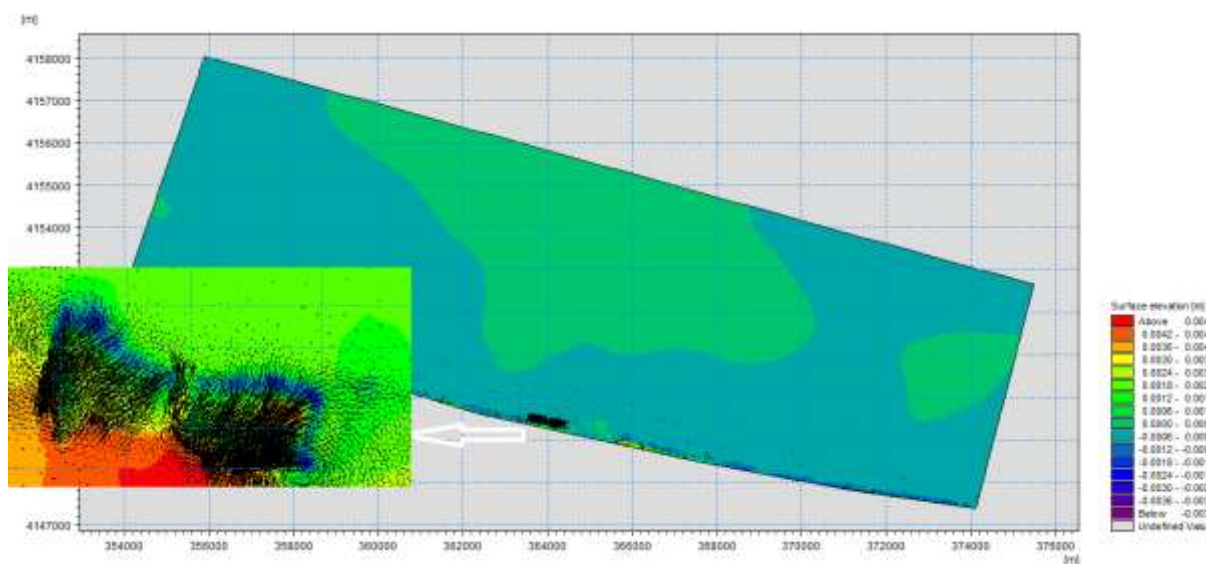


شکل ۳-۴-۲ ایجاد بار رسوبی با مش داخلی و در نظر گرفتن مرز بار رسوبی به صورت باز.

در این مرحله نرم‌افزار بار رسوبی را به صورت یک مرز خشک در نظر نمی‌گرفت. نواحی که به بار رسوبی ارتفاع داده شده بود را خشکی در نظر می‌گرفت و سایر نواحی بار رسوبی را با ارتفاعی که در ابتدای شبیه‌سازی به نرم‌افزار داده شده بود، می‌شناخت که این سبب اختلال و بی‌نظمی در جریان می‌شد.

۳-۳-۴ ایجاد بار رسوبی با مش داخلی و مرز بار رسوبی به صورت بسته

در مرحله آخر بار رسوبی را به عنوان مرز بسته معرفی شد تا در نواحی اطراف و داخل بار رسوبی جریان وجود داشته باشد و هم اینکه نرم‌افزار کل محدوده بار رسوبی را به عنوان یک ناحیه با ارتفاع بیشتر از نواحی اطراف خود بشناسد.

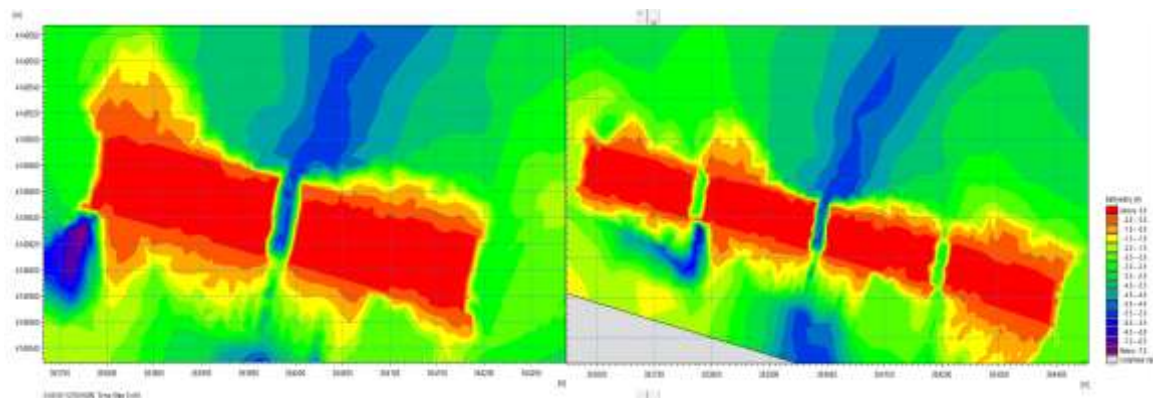


شکل ۴-۵- ایجاد بار رسوبی با مش داخلی و در نظر گرفتن مرز رسوبی به صورت بسته.

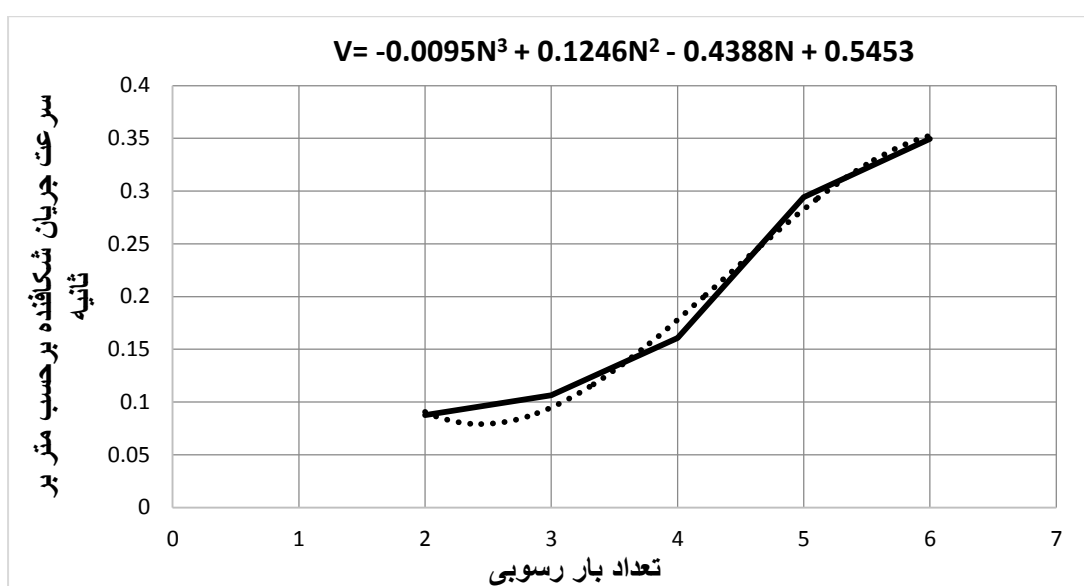
۴-۳-۴ تعداد بار رسوبی

یکی از عواملی که ممکن است بر روی سرعت جریان شکافنده اثرگذار باشد تعداد بار رسوبی است، به این علت که هرچه تعداد بار رسوبی بیشتر باشد تعداد کانال شکافی که به عنوان خروجی جریان بین دو بار رسوبی است بیشتر می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود، شاهد می‌شود، در این مطالعه با دو، سه، چهار، پنج و شش بار رسوبی این موضوع مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در شکل ۴-۷ نشان داده شده است.



شکل ۴-۶- بررسی تعداد بار رسوبی بر سرعت جریان شکافنده.

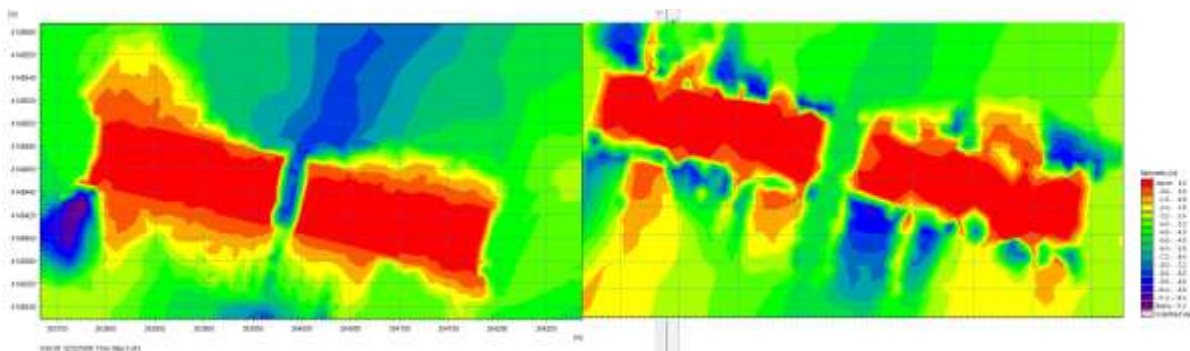


شکل ۴-۷- رابطه بین تعداد بار رسوبی و سرعت جریان شکافنده. خط مشکی از برخورد نقاط (تعداد بار رسوبی و سرعت جریان شکافنده) و خط چین برازش بر روی خط مشکی که برای محاسبه رابطه لازم است را نشان می‌دهد.

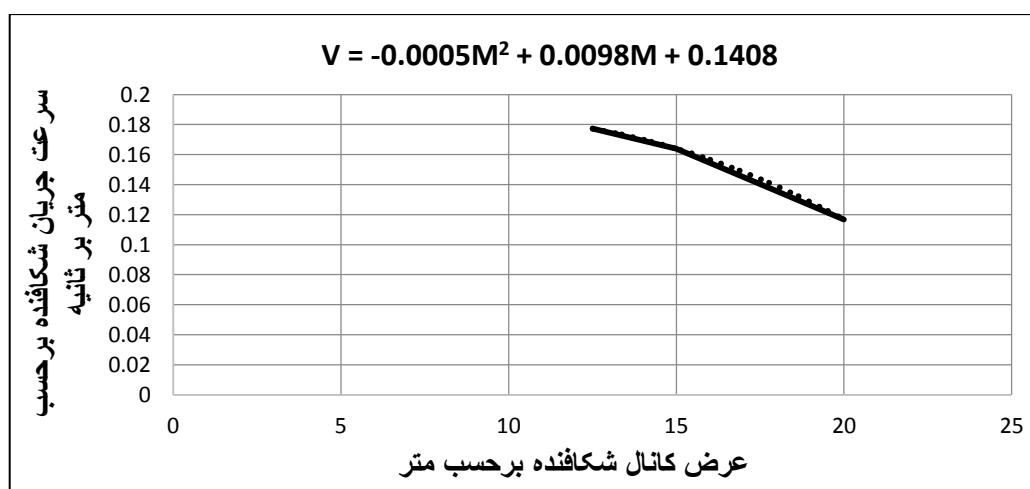
۴-۳-۵ عرض کانال شکافنده

عرض کانال شکافنده که در واقع فاصله بین پشته‌های رسوبی و عرض جریان شکافنده می‌باشد به عنوان پارامتر بعدی مورد بررسی قرار گرفت.

در این مطالعه عرض ۱۲.۵، ۱۵ و ۲۰ متر به علت آنکه عرض جریان شکافنده در این محدوده تغییر می‌کند، مطابق شکل ۴-۸ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در شکل ۴-۹ نشان داده شده است.



شکل ۴-۸- بررسی عرض کانال شکافنده بر سرعت جریان شکافنده.

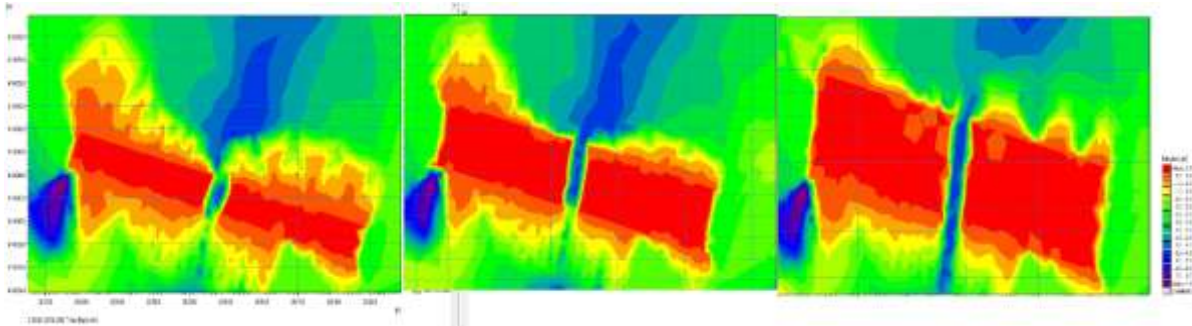


شکل ۴-۹- رابطه بین عرض بار رسوبی و سرعت جریان شکافنده. خط مشکی از برخورد نقاط (عرض کانال شکافنده و سرعت جریان شکافنده) و خط چین برازش بر روی خط مشکی که برای محاسبه رابطه لازم است را نشان می‌دهد.

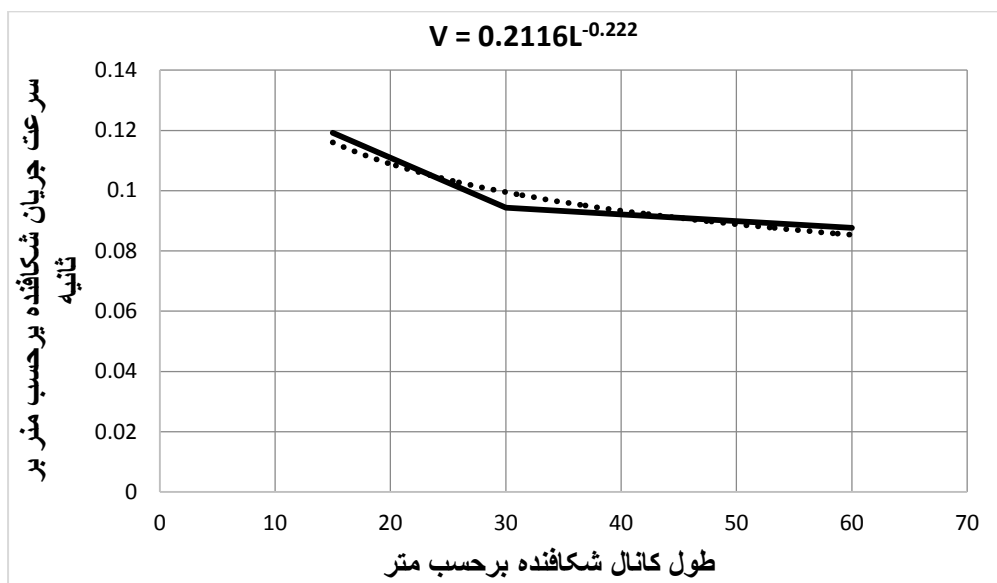
۴-۳-۶ طول کانال شکافنده

در بررسی بعدی میزان طول کانال شکافنده و به عبارتی طول پشته‌های رسوبی را مورد مطالعه قرار گرفت.

در این مطالعه طول ۱۵، ۳۰ و ۶۰ متر را مطابق شکل ۴-۱۰ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰- بررسی تغییر طول کانال شکافنده بر سرعت جریان شکافنده.



شکل ۴-۱۱- رابطه بین تعداد طول کانال شکافنده و سرعت جریان شکافنده. خط مشکی از برخورد نقاط (طول کانال شکافنده و سرعت جریان شکافنده) و خط چین برازش بر روی خط مشکی که برای محاسبه رابطه لازم است را نشان می‌دهد.

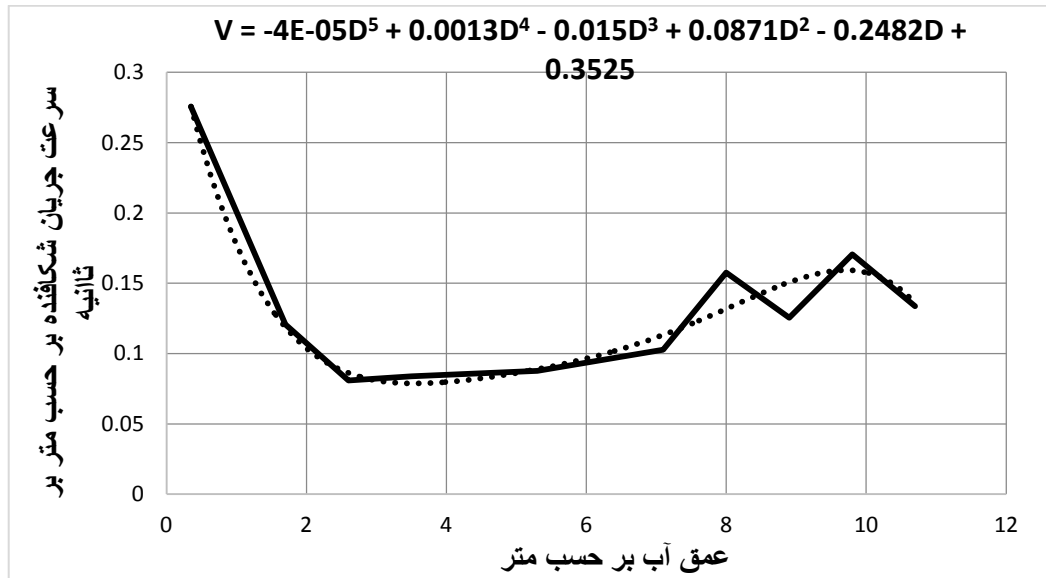
۴-۴- بررسی تاثیر موج بر سرعت جریان شکافنده

پارامترهای موج که بر روی سرعت جریان شکافنده اثرگذار است و در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است، عبارتند از: عمق آب، جهت ورودی موج، ارتفاع موج، دوره تناوب موج.

۴-۴-۱ عمق آب

جریان شکافنده در ناحیه فعال ساحلی که بیشتر در عمق بین ۵ تا ۱۰ متری است، شکل می‌گیرد، عمق‌های زیر ۵ متر به علت مطالعه و بررسی بیشتر تاثیر عمق بر سرعت جریان شکافنده مورد بررسی

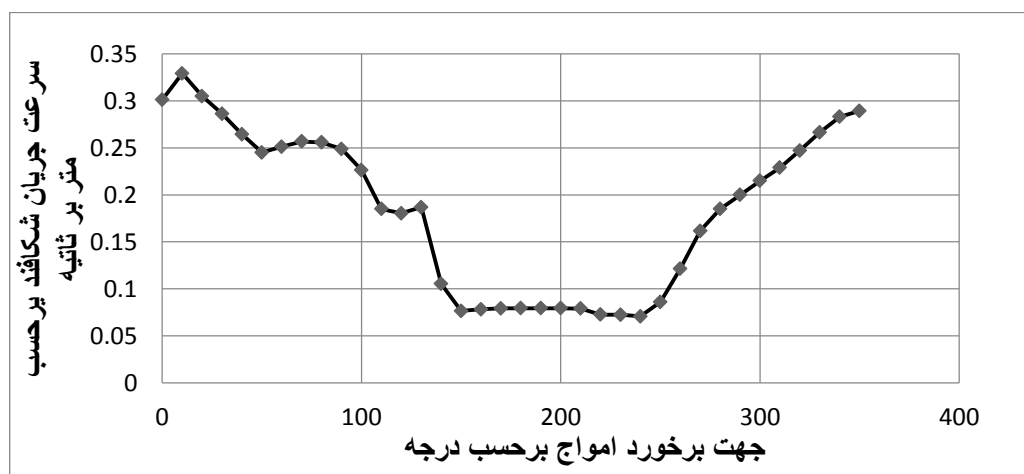
قرارگرفت. بررسی تأثیر عمق‌های ۰.۳۵، ۱.۷، ۲.۶، ۳.۵، ۵.۳، ۷.۱، ۸، ۸.۹، ۹.۸ و ۱۰.۷ بر روی سرعت جریان شکافنده در شکل ۴-۱۲ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۴-۱۲- رابطه بین عمق آب و سرعت جریان شکافنده. خط مشکی از برخورد نقاط (عمق آب و سرعت جریان شکافنده) و خط چین برازش بر روی خط مشکی که برای محاسبه رابطه لازم است را نشان می‌دهد.

۴-۴-۲ جهت ورودی موج

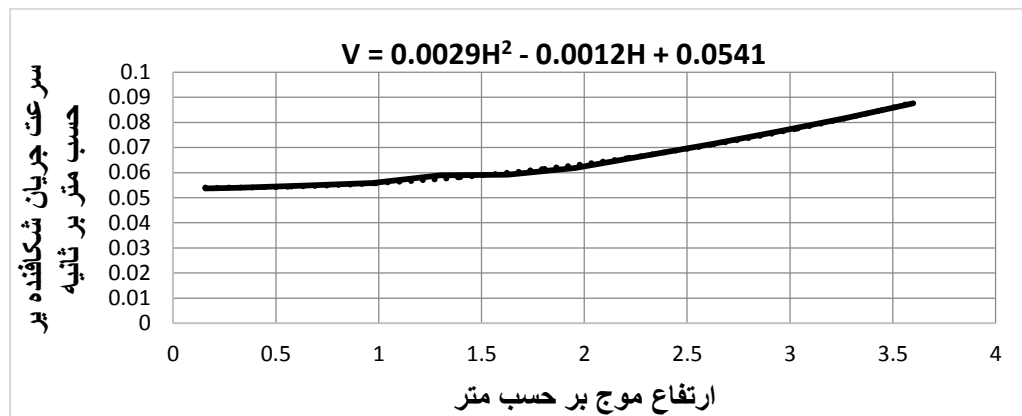
تأثیر جهت ورودی موج بر روی سرعت جریان شکافنده در تمامی زوایای جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در شکل ۴-۱۳ آورده شده است. به علت تأثیر جهت وزیدن باد بر جهت موج اثر باد در این قسمت در نظر گرفته نشد.



شکل ۴-۱۳- رابطه بین جهت برخوردی موج و سرعت جریان شکافنده.

۳-۴-۳ ارتفاع موج

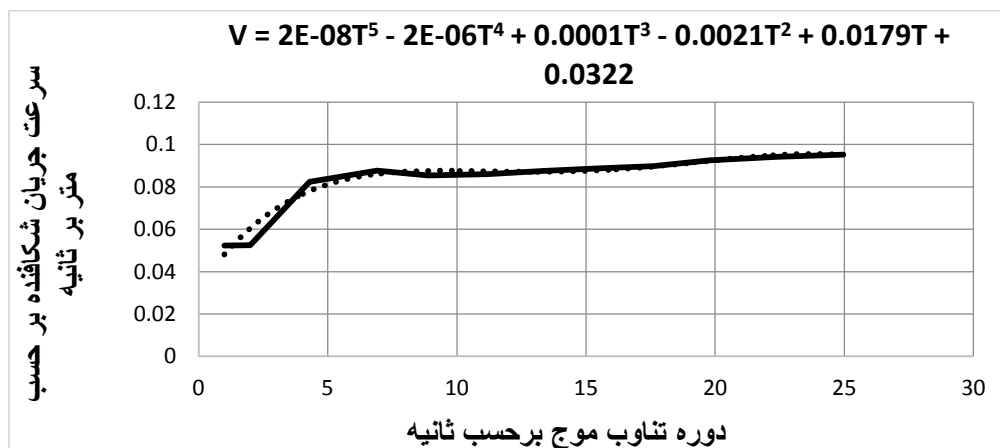
ارتفاع ماکزیمم موج در سواحل انزلی ۳.۶ است و کمترین مقدار آن ۰.۱۵۶۲۵ متر است، برای بررسی تأثیر ارتفاع بر روی سرعت جریان میزان ارتفاع در این بازه تغییر داده شد که نتایج به صورت شکل ۱۴-۴ می‌باشد.



شکل ۱۴-۴- رابطه بین ارتفاع موج و سرعت جریان شکافنده. خط مشکی از برخورد نقاط (ارتفاع موج و سرعت جریان شکافنده) و خط چین برازش بر روی خط مشکی که برای محاسبه رابطه لازم است را نشان می‌دهد.

۴-۴-۴ دوره تناوب موج

تغییرات دوره تناوب موج در سواحل انزلی بین ۰.۹۹۶۱ تا ۲۴.۹۶۰۹۴ ثانیه می‌باشد که برای بررسی این عامل بر روی سرعت جریان شکافنده، میزان سرعت جریان شکافنده در ۱۲ دوره تناوب که در این محدوده تغییر می‌کنند، مطابق شکل ۱۵-۴ محاسبه شد.



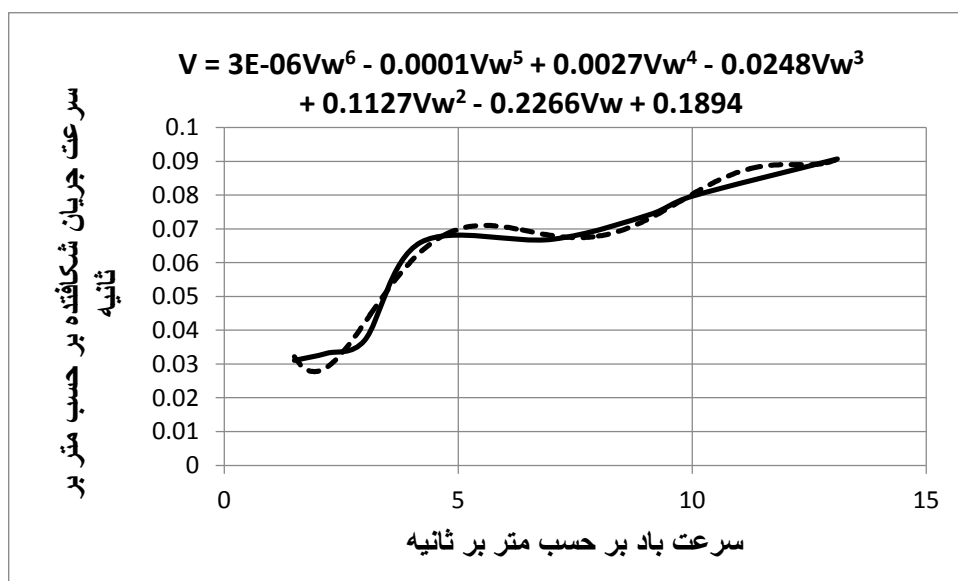
شکل ۱۵-۴- رابطه بین دوره تناوب موج و سرعت جریان شکافنده. خط مشکی از برخورد نقاط (دوره تناوب موج و سرعت جریان شکافنده) و خط چین برازش بر روی خط مشکی که برای محاسبه رابطه لازم است را نشان می‌دهد.

۴-۵- بررسی تاثیر باد بر سرعت جریان شکافنده

بادی که بر فراز سطح آب دریا می‌وزد، باعث ایجاد اصطکاک در میان آب و دریا می‌شود. این پدیده نه تنها باعث ایجاد موج می‌شود، بلکه موجب حرکت آب دریا در مسیر وزش باد می‌شود. از این رو به بررسی سرعت و جهت وزش باد بر روی سرعت جریان شکافنده در این تحقیق پرداخته شد.

۴-۵-۱- سرعت باد

سرعت ماکزیمم در سواحل انزلی ۱۳.۱ متر بر ثانیه است و منیم مقدار آن صفر است که به علت طول موجگاه زیاد در سواحل انزلی که سبب تأثیر زیاد باد بر روی جهت و سرعت جریانات دریایی می‌شود. میزان سرعت جریان شکافنده در سرعت‌های ۱۳.۱، ۱۲، ۳، ۷ و ۱۰ متر بر ثانیه و در سرعت ۲.۲ که میانگین سرعت باد سالانه و در سرعت‌های ۱.۵، ۲.۲، ۴.۲، ۹.۱ که در سرعت بیشینه باد در بیشتر ماه‌های سال در بندر انزلی طبق شکل ۴-۱۶ اندازه‌گیری شد.



شکل ۴-۱۶- رابطه بین سرعت باد و سرعت جریان شکافنده. خط مشکی از برخورد نقاط (سرعت باد و سرعت جریان شکافنده) و خط چین برازش بر روی خط مشکی که برای محاسبه رابطه لازم است را نشان می‌دهد.

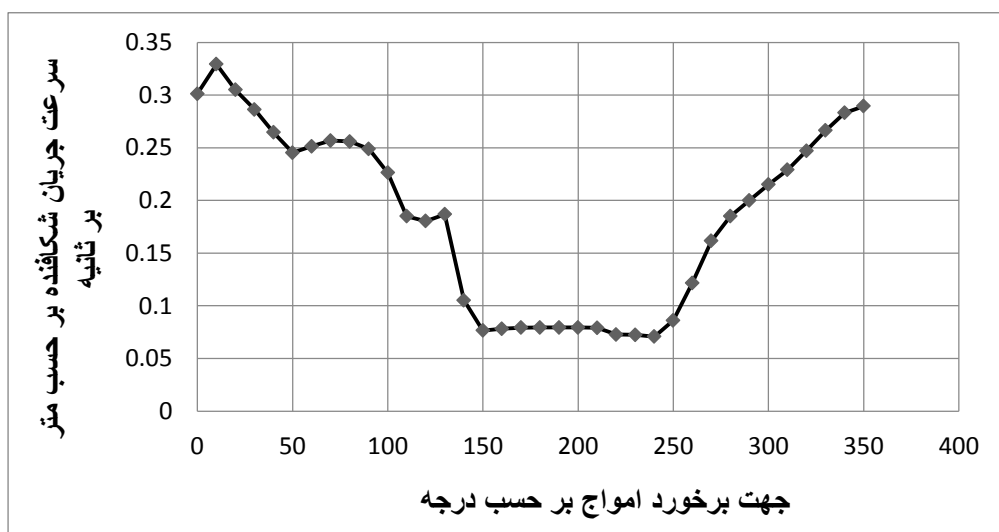
۴-۵-۲ جهت باد

جهت باد غالب انزلی در ماه‌های مه، ژوئن، ژوئیه و اوت ۴۵ درجه (شمال شرقی)، در ماه‌های مارس، آوریل، سپتامبر و اکتبر ۳۶۰ درجه (شمالی) و در ماه‌های ژانویه، فوریه و نوامبر ۳۱۵ درجه (شمال غربی) و در ماه دسامبر ۲۷۰ درجه (غربی) می‌باشد.

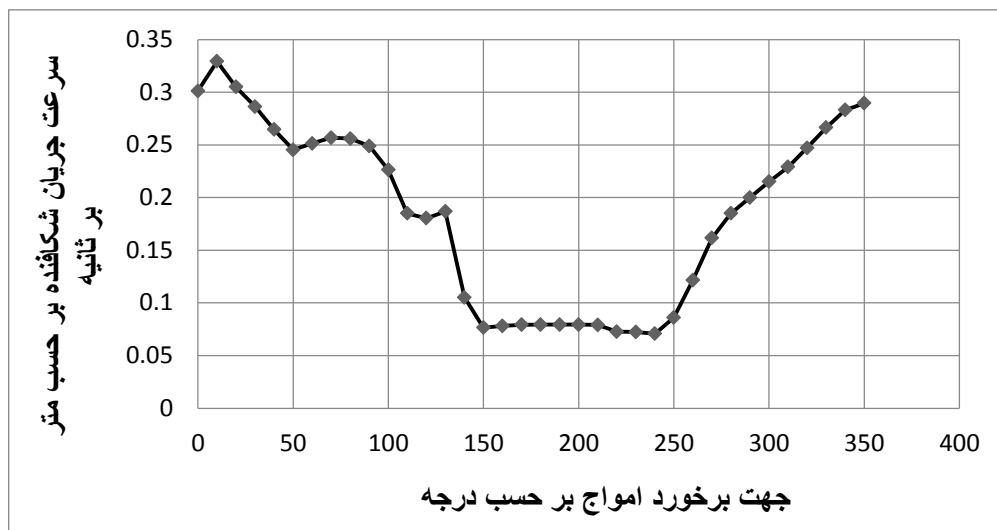
بر همین اساس در این چهار راستا به ازای تمامی جهت‌های جغرافیایی مطابق شکل‌های ۴-۱۷، ۴-۱۸، ۴-۱۹ و ۴-۲۰ سرعت جریان شکافنده محاسبه شد.



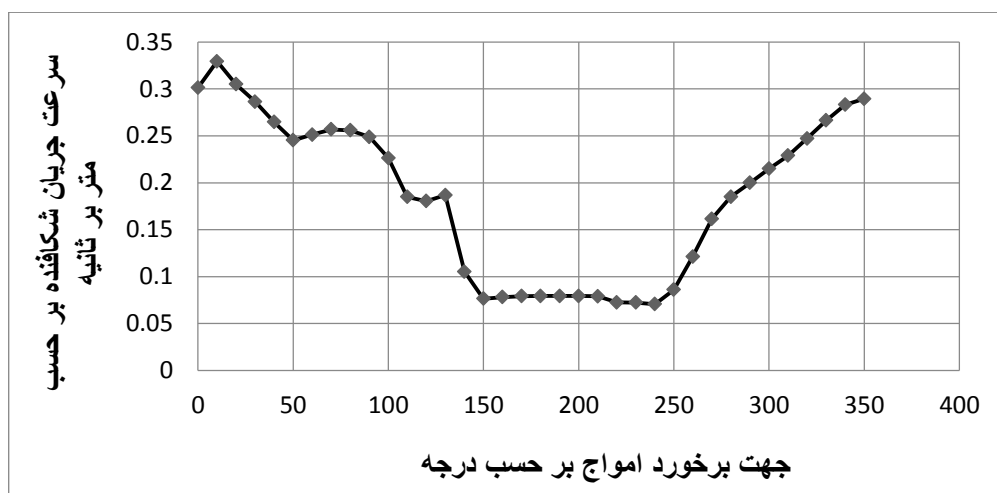
شکل ۴-۱۷- رابطه بین جهت برخوردی موج و سرعت جریان شکافنده در زاویه صفر درجه.



شکل ۴-۱۸- رابطه بین جهت برخوردی موج و سرعت جریان شکافنده در زاویه ۴۵ درجه.



شکل ۴-۱۹- رابطه بین جهت برخوردی موج و سرعت جریان شکافنده در زاویه ۲۷۰ درجه.



شکل ۴-۲۰- رابطه بین جهت برخوردی موج و سرعت جریان شکافنده در زاویه ۳۱۵ درجه.

۴-۶- استخراج رابطه سرعت جریان شکافنده

در فصل سوم پارامترهای بی بعد شناسایی شد برای استخراج رابطه بین این پارامترهای بی بعد حالت های مختلف (ضرب و جمع کردن پارامترهای بی بعد در هم، تغییر توابع مثلثاتی) بررسی شد که از میان این رابطه ها، رابطه ۴-۱ کمترین میزان درصد خطا و بیشترین ضریب همبستگی را دارا بود.

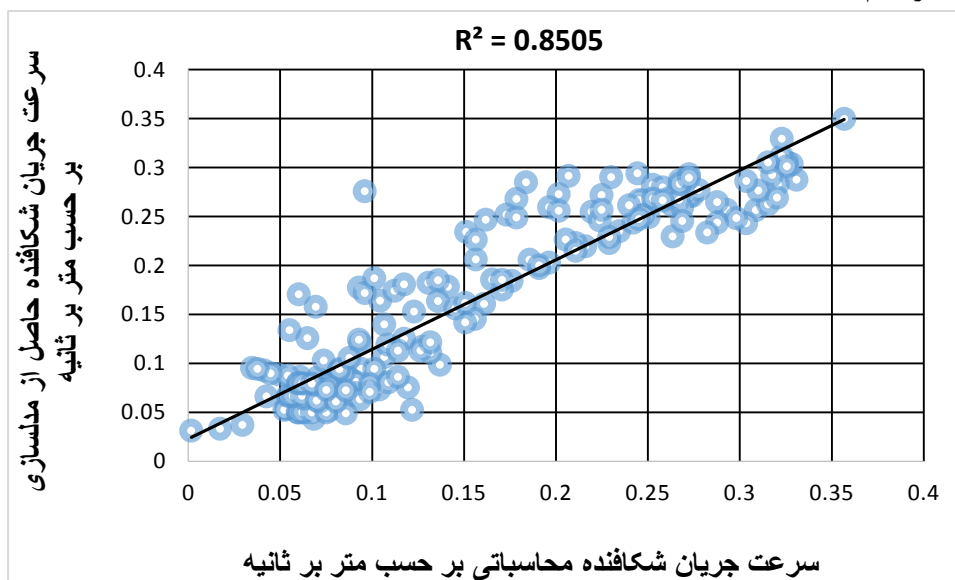
$$V\left(\frac{T}{L}\right) = N(aN + b) + c\left(\frac{M}{L}\right)^d + e\left(\alpha * \frac{D}{L}\right)^w + h\left(\frac{H}{L}\right)^j + m\left(Vw\frac{T}{L}\right)^o + p((\cos \alpha)^2) + q(\cos \alpha) + r((\cos \delta)^2) + u \quad (1-4)$$

که در آن $a, b, c, d, e, w, h, j, m, o, p, q, r, u$ ضرایب ثابت و مجهولی هستند که به کمک داده‌های مدل‌سازی و با حداقل سازی درصد خطای میانگین بین سرعت مدل‌سازی و سرعت به دست آمده از معادله در نرم‌افزار اکسل به دست می‌آیند و $N, M, L, D, H, Vw, T, \alpha, \delta$ به ترتیب عبارتند از: تعداد بار رسوبی، عرض کانال شکافنده بر حسب متر، طول بار رسوبی بر حسب متر، عمق آب بر حسب متر، ارتفاع موج بر حسب متر، سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه، دوره تناوب موج بر حسب ثانیه، زاویه برخوردی موج بر حسب رادیان، زاویه وزش باد بر حسب رادیان.

پس از مشخص شدن مجهولات، رابطه پیشنهادی برای سرعت جریان شکافنده با خطای میانگین ۱۸.۷۱۶ درصد به صورت رابطه ۲-۴ پیشنهاد می‌شود.

$$V = \frac{L}{T} (N (0.0017 N - 0.0055) + 0.0321 \left(\frac{M}{L}\right)^{1.04} - 0.0144 \left(\alpha * \frac{D}{L}\right)^{1.463} + 0.3657 \left(\frac{H}{L}\right)^{1.678} - 0.215 \left(\frac{V}{L}\right)^{3.4016} - 0.0639 \left(Vw \frac{T}{L}\right)^{-0.0659} + 0.00194 ((\cos \alpha)^2) + 0.0142 (\cos \alpha) + 0.0012 ((\cos \delta)^2) + 0.079) \quad (2-4)$$

در شکل ۴-۲۱ رابطه بین سرعت جریان شکافنده محاسباتی به سرعت جریان شکافنده حاصل از مدل‌سازی ترسیم شده است.



شکل ۴-۲۱- رابطه بین سرعت جریان شکافنده محاسباتی و سرعت جریان شکافنده حاصل از مدل‌سازی عددی.

با توجه به شکل (۴-۲۱)، ملاحظه می‌شود که سرعت جریان شکافنده محاسباتی در مقایسه با سرعت جریان شکافنده حاصل از مدل‌سازی اختلاف جزئی داشته و ضریب رگرسیون نمودار سرعت جریان شکافنده برابر ۰.۸۵۰۵ و نزدیک به یک می‌باشد.

فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

در این فصل با توجه به نتایج ارائه شده در فصل قبل، به بیان نتایج به دست آمده از این پژوهش جهت بررسی عوامل مؤثر بر روی سرعت جریان شکافنده پرداخته می شود. از آنجایی که هدف از انجام این پژوهش بررسی عددی سرعت جریان شکافنده است در این بخش نیز ابتدا به نتایج حاصل از مدل سازی عددی پرداخته و سپس به بررسی رابطه به دست آمده از نرم افزار اکسل پرداخته می شود.

۵-۲- نتایج حاصل از مدل سازی در نرم افزار MIKE 21

در مدل سازی با این نرم افزار نتایج زیر حاصل شد.

- با افزایش تعداد بار رسوبی در منطقه مورد مطالعه سرعت جریان شکافنده طبق رابطه $V = -0.0095N^3 + 0.1246N^2 - 0.4388N + 0.5453$ افزایش می یابد.
- با افزایش عرض کانال شکافنده طبق رابطه $V = -0.0005M^2 + 0.0098M + 0.1408$ جریان شکافنده کاهش می یابد.
- با افزایش طول کانال شکافنده طبق رابطه $V = 0.2116L^{-0.222}$ سرعت جریان شکافنده افزایش می یابد.
- با افزایش عمق آب طبق رابطه $V = -4E-05D^5 + 0.0013D^4 - 0.015D^3 + 0.0871D^2 - 0.2482D + 0.3525$ سرعت جریان شکافنده کاهش می یابد.
- بیشترین میزان سرعت جریان شکافنده هنگامی رخ می دهد که موج با زاویه ۱۰ درجه به ساحل برخورد می کند که در این حالت با توجه به ساحل انزلی، موج عمود بر ساحل است.
- با افزایش ارتفاع موج، سرعت جریان شکافنده طبق رابطه $V = 0.0029H^2 - 0.0012H + 0.0541$ افزایش می یابد.

- با افزایش دوره تناوب موج سرعت جریان شکافنده طبق رابطه $V=2E-08T^5 - 2E-06T^4 + 0.0001T^3 - 0.0021T^2 + 0.0179T + 0.0322$ افزایش می‌یابد که این نتیجه گیری با تحقیقات سنو و همکارانش در سال ۱۹۷۲، بومن در سال ۱۹۸۸، لانگ و هالر در سال ۲۰۰۵، Florida division of emergency و National Oceanic and Atmospheric Administration و management همخوانی دارد.

- سرعت باد طبق رابطه $V = 3E-06Vw^6 - 0.0001Vw^5 + 0.0027Vw^4 - 0.0248Vw^3 + 0.1127Vw^2 - 0.2266Vw + 0.1894$ تأثیر مستقیمی بر سرعت جریان شکافنده می‌گذارد.
- جهت وزش باد طبق شکل‌های ۴-۱۷، ۴-۱۸، ۴-۱۹ و ۴-۲۰ بر سرعت جریان شکافنده اثرگذار است. سرعت بیشینه جریان شکافنده زمانی رخ می‌دهد که باد با زاویه صفر درجه می‌وزد و موج با زاویه ۱۰ درجه به ساحل برخورد می‌کند.

۳-۵- بررسی رابطه سرعت جریان شکافنده

رابطه پیشنهادی برای سرعت جریان شکافنده به صورت رابطه ۴-۲ می‌باشد.

- مقدار درصد میانگین خطا ۱۸.۷۱۶ می‌باشد، که در محدوده کم و قابل قبولی قرار دارد که نشان‌دهنده دقت مناسب رابطه پیشنهادی می‌باشد.
- مقدار ضریب همبستگی ۰.۸۵۰۵ می‌باشد، که این نشان‌دهنده اختلاف جزئی سرعت جریان شکافنده به دست‌آمده از رابطه و سرعت جریان شکافنده به دست‌آمده از مدل‌سازی عددی می‌باشد.

۴-۵- پیشنهادها برای مطالعات آتی

پیشنهادهایی که برای ادامه در پژوهش‌های آینده مطرح می‌گردد عبارتند از:

- برداشت میدانی داده‌های سرعت جریان شکافنده و مقایسه داده‌های مدل‌سازی با این داده‌ها برای افزایش دقت رابطه پیشنهادی
- بررسی تأثیر انرژی امواج دورا بر سرعت جریان شکافنده

- بررسی تأثیر سازه‌های ساحلی بر روی سرعت جریان شکافنده
- بررسی و رابطه کردن سرعت جریان شکافنده در سایر سواحل

منابع و مراجع

❖ مراجع فارسی

پورتال پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، "جریان شکافنده"،

<http://www.inio.ac.ir/Default.aspx?tabid=1267>

پورتال پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی، "مخاطرات جریان های دریایی و ساحلی"،

<http://www.inio.ac.ir/Default.aspx?tabid=2021>

پورعلی س م، رضایی و، (۱۳۹۱)، " علت اصلی مرگ در سواحل دریای خزر"، *فصلنامه دانش انتظامی*

مازندران، شماره ۱۰، دوره سوم پاییز، صفحه ۷۹ تا ۹۵.

شوشتری زاده ناصری ع، توکلی م، (۱۳۸۸)، "جریان شکافنده؛ شناخت چالش ها و راهکارها"،

ماهنامه بندر و دریا، شماره ۲۰۳.

طالقانی م ا، گلشنی ع، (۱۳۹۰)، " بررسی اقلیم موج در بندر امیرآباد با اجرای مدل محلی Mike21-

Sw و روش های نیمه تجربی"، *مجله فیزیک زمین و فضا*، شماره ۲، دوره ۳۷، صفحه ۱۹۳ تا ۲۱۰.

غلامی ز، چگینی و، لاری ک، (۱۳۸۸)، " پهنه بندی جریانهای شکافنده در سواحل غرب گیلان"،

یازدهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، جزیره کیش، انجمن مهندسی دریایی ایران، کد COI

مقاله: NSM11_164

وب سایت رسمی روزنامه خزر، (۱۳۹۴)، " موج های شکافنده در ساحل بندر انزلی"، شماره ۳۷۳۶،

دوره اول تابستان.

ولی پور آ، چگینی و، ترابی آزاد م، (۱۳۸۵)، " واکنشهای مختلف خط ساحلی استان مازندران در

مقابل امواج ناشی از باد"، *مجله علوم و فنون دریایی ایران*، شماره ۱-۲، دوره ۵، صفحه ۷۵ تا ۸۸.

ولی پور آ، کرمی خانیکی ع، علی اکبر بیدختی ع، چگینی و (۱۳۹۰)، " مطالعه و بررسی انواع جریان

های برگشتی در سواحل استان مازندران از طریق محاسبه شدت نیروی واداشت"، *سیزدهمین*

همایش ملی صنایع دریایی ایران، جزیره کیش، انجمن مهندسی دریایی ایران، کد COI مقاله:

NSMI13_049

یثوبی ح، (۱۳۸۸)، پایان نامه ارشد: "جریان شکافنده"، دانشکده عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

- Bowen A.J. & Inman D.L. (1969) " Rip currents: 2. Laboratory and field Observations", J. Geophys. Res. 74, 5479– 5490.
- Bowman D., Rosen D.S., Kit E., Arad D. & Slavicz A. (1988b) "Flow characteristics at the rip current neck under low-energy conditions", Mar.Geol, 79, 41–54.
- Bruneau N., Bonneton P., Castelle B. & Pedreros R. (2011) " Modeling rip current circulations and vorticity in a high-energy mesotidal-macrotidal environment", J. Geophys. Res. – Oceans 116. <http://dx.doi.org/10.1029/2010JC006693>.
- Bruneau N., Castelle B., Bonneton P., Pedreros R., Almar R., Bonneton N., Bretel P., arisot J. & Sénéchal N. (2009) " Field observations of an evolving rip current on a meso-macrotidal well-developed inner bar and rip morphology" ,Cont. Shelf Res. 29, 1650–1662. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2009.05.005>.
- Bown A. J. (1969), " Rip currents, 1. Theoretical investigations" Journal of Geophysical Research, 74 (23), 5467–5478.
- Castelle B. & Ruessink B. G. (2011), " Modeling formation and subsequent nonlinear evolution of rip channels: time varying versus time-invariant wave forcing ", Journal of Geophysical Research, 116, F04008, doi: 10.1029/2011jf001997.
- Cooke D. O. (1970), " The occurrence and geologic work of rip currents off Southern California " , Mar. Geol. 9, 173-186.
- CUMMINS J.R. (2006), A THESIS PRESENTED TO THE GRADUATE SCHOOL OF THE UNIVERSITY OF FLORIDA IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE: " IMPROVING RIP CURRENT FORECASTING TECHNIQUES FOR THE EAST COAST OF FLORIDA", UNIVERSITY OF FLORIDA.
- Dean R. G. (2003), "Coastal processes with engineering application", pp 109-112.
- DHI Software (2007), Mike 21 Sw, Spectral Waves FM Module User Guide.
- Durbarbier B. & Castelle B. (2011), "Numerical modeling investigation of the influence of tide on the formation and subsequent non linear evolution of rip channels", Journal of Coastal Research, Special Issue 64, 1018–1022.
- Dusek G. & Seim H. (2013), " Rip current intensity estimates from lifeguard observations", Journal of Coastal Research, 29 (3), 505–518.

Engle J., MacMahan J., Thieke R. J., Hanes D. M. & Dean R. G. (2002) " Formulation of a rip current predictive index using rescue data", Proc. National Conference on Beach Preservation Technology, Biloxi, MS, Florida Shore and Beach Preservation Association. [Available online at <http://ripcurrents.noaa.gov/resources/Engle2002.pdf>]. Florida division of emergency Management National Oceanic and Atmospheric Administration.

Ghorbani A. & Rasulyjamnany A. H. (2012), " The modeling of rip channel in creation of rip currents ", Indian Journal of Science and Technology, Vol 5, No. 4, ISSN: 0974- 6846.

Haller H. O. & Long J. W. (2005), "offshore controls on nearshore rip currents", JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 110, C12007, doi:10.1029/2005JC003018.

Huntley D.A., Hendry M.D., Haines J. & Greenidge B. (1988) " Waves and rip currents on a Caribbean pocket beach", Jamaica. J. Coast. Res. 4, 69– 79.

Huntley D.A., Short A.D. (1992) " On the spacing between observed rip Currents", Coast. Eng. 17 (23), 211– 225.

Komar P. D. (1971), " Nearshore cell circulation of the formation of giant cusps Geol " Soc, Amer, Bull. 82, 2643-2650.

Lascody R. L. (1998), " East central Florida rip current program" National Weather Digest, 22 (2), 25–30.

Lascody R.L. (1998) "East central Florida rip current program. National Weather Service" In-house Report, p. 10.

Luschine, J.B.(1991) " A study of rip current drownings and weather related Factors", Natl. Weather Dig., 13–19.

MacMahan J. H., Thornton E. B. & Reniers H. M. (2006), " Limits to Growth: the 30 year update ", White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing co.

Meadows D. H., Randers J. & Meadows D. L. (2004), " Rip current review ", Coastal Engineering 53 (2006) 191 – 208.

Mike by DHI (2011), Mike 21 Flow model, Hydrodynamic Module user Guide. National Oceanic and Atmospheric Administration, http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:s7afFOdV88QJ:www.ripcurrents.noaa.gov/resources/Final%2520Talking%2520Points%2520and%2520Fact%2520Sheet_041707.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ir

- Reinhart B. J. & Pfaff S. (2016), " Wave Analysis for Rip Current Forecasting in Southeast North Carolina ", Eastern Region Technical Attachment, No. 2016-01.
- Shafiei Sabet B. & Barani Gh. A. (2011), " Field investigation of rip currents along the southern coast of the Caspian sea ", *Scientia Iranica A* (2011) 18 (4), 878–884.
- Shepard F.P., Emery K.O. & La Fond E.C.(1941) " Rip currents: a process of geological importance", *Journal Geol.* 49, 337–369.
- Shepard F.P., Inman D.L. (1950)" Nearshore water circulation related to bottom topography and refraction", *Trans. Am. Geophys. Union* 31, 196– 212.
- Short A.D. (1999), " Handbook of Beach and shorefac Morphodynamics" Johnwiley and sons, pp 379.
- Short A.D. & Hogan, C.L.(1994),"Rip currents and beach hazards, their impact on public safety and implications for coastal management. In: Finkl, C.W. (Ed.)", *Coastal Hazards, Journal of Coastal Research, Special Issue, vol. 12, pp. 197– 209.*
- Sonu C. J. (1972), " Field observation of nearshore circulation and meandering currents" *Journal of Geophysical Research*, 77 (18), 3232–3247.
- Svendsen, I.A., Haas, K.A., Zhao, Q. (2000) " Analysis of rip current systems", In: Edge, B.L. (Ed.), *Coastal Engineering, Proceedings of 27th International Conference. Am. Soc. Civ. Eng., New York, pp. 1127– 1140.*
- Thornton E.B., MacMahan J. & Sallenger Jr A.H. (2006), "Rip Currents, Mega-Cusps, and Eroding Dunes", Submitted to *Marine Geology*.
- Trenhaile A. S. (1997), "Coastal Dynamic and landforms", pp 85-116.
- Uchiyama Y., Kaida H. & Miyazaki D. (2013), " WAVE-CURRENT INTERACTION IN FORMATION OF RIP CHANNEL SYSTEM ", *Proceedings of the 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts.*
- United States Army. (2002), " Coastal Engineering manual " EM 1110-2-1100,part1.
- Valipour A., karami Khaniki A. & Bidokhti A. A. (2012), " WAVE-CURRENT INTERACTION IN FORMATION OF RIP CHANNEL SYSTEM ", *National Conference of air flow and pollution, Tehran, November 14-15.*

Abstract

Sea waves usually pass large amount of water toward the beach. This amount of water must come back toward the sea again, And for this purpose, In some areas of the beach, unpredictably, Sea water make waterways to the sea Where water flows With great speed against the waves (ie, from the beach to the sea). this flows are completely different from the sea waves this kind of waves call coastal currents, rip currents or deadly currents which is caused by different reasons but the same property in all cases is wave breaking and moving it toward the sea from the point where the water level is higher to the point where a lower height until reach to balanced level. In this study effecting factors of rip current and power has been investigated in order to slow down the rip current. Rip current is dependent of wind characteristics, wave bed and tidal energy. Mike 21 software modules Spectral Waves Fm (SW) and Flow Model Fm (FM) was used to investigate the factors listed in Anzali coast and it was found that the rip current velocity is directly related with wave height, wave period, wind speed, the number of sediment bar and length rip channel and has reverse relation with width rip channel and water depth. To ensure that the results of the software are correct the results have been compared with the results of the air cushion in the depth of 10.5 m Bandar Anzali And it have been proved that the results were correct.

Keywords: coastal currents, rip current, factors affecting, Mike 21, module SW, module FM, the air cushion.



Shahrood University of Technology

**Faculty of Civil Engineering
MSC Thesis in civil Engineering Marine Structures Engineering**

**Numerical Study on Effective Parameters Coastal Rip current
(Case Study: Anzali Coast)**

By: Leyla Hemati

**Supervisors:
DR. Mahdi Adjami**

**Advisor:
Eng. Meysam Bali**

July 2016