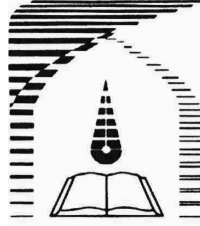


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده کشاورزی

پایان نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی سازه های آبی

شبیه سازی انتقال رسوب پشت موج شکن با هدف مقایسه نرم افزار ایرانی PMO  
Dynamics و MIKE 21 (مطالعه موردی: موج شکن بندر انزلی)

الهام جعفرزاده

اساتید راهنما

دکتر سید علی ایوب زاده

دکتر مسعود منتظری نمین

استاد مشاور

دکتر اصغر بهلولی

زمستان 1392

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إِنَّا أَعْطَيْنَاكَ الْكَوْثَرَ ﴿١﴾ فَصَلِّ لِرَبِّكَ وَأَنْصِرْ ﴿٢﴾ إِنَّ شَانِئَكَ هُوَ الْأَبْتَرُ ﴿٣﴾

تقدیم به

دلیل بناشدن آسمان، گسترده شدن زمین، تابان گشتن ماه

درخشیدن خورشید، چرخان شدن فلک و روان شدن دریا

مادر مفاطمه زهرا سلام الله علیها

ستایش خداوندی را سزا است که صفتی بر صفت دیگرش پیشه نگرفته تا بتوان  
گفت 'پیش از آنکه آخرباشد اول است و قبل از آنکه باطن باشد ظاهر است' هر  
واحدی و تنهایی جزاوند کس است و هر عزیزی جزاودلیل و هر نیرومندی جزاوا  
ضعیف و ناتوان 'و هر مالک جزاوبنده و هر عالم جزاودانش آموز

امیرالمومنین علی (ع)

نهج البلاغه خطبه 65

بر خود واجب می دانم از اساتید محترم راهنما جناب آقای دکتر سید علی ایوب زاده و جناب آقای  
دکتر مسعود منتظری نمین که مرا در این راه یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

با سپاس و تقدیر فراوان از راهنمایی های ارزشمند و رهگشای جناب آقای دکتر اصغر بهلولی که  
همکاری صمیمانه ای در طی مراحل این پایان نامه داشتند و از هیچ کمکی به اینجانب دریغ نفرموده و با  
سعه صدر در رفع مشکلات پیش آمده یاری نمودند.

از اساتید محترم جناب آقای دکتر مرتضی کلاهدوزان و دکتر مهدی مظاهری که قبول زحمت  
فرمودند و داوری پایان نامه را بعهده گرفتند صمیمانه تشکر می نمایم.

بر خود لازم می دانم که از زحمات و دلسوزی های پدر و مادر مهربانم که در تمام مراحل زندگی مرا  
یاری نموده و همواره وجودشان نعمت، دعایشان برکت، یاری شان تکیه گاه محکم و نصایحشان چراغ راه  
من در طول زندگی است، خاضعانه تشکر و قدردانی نمایم.

و برادر عزیزم را سپاس می گویم که همواره پشتیبانم بود و یاریم نمود.

الهام جعفرزاده

زمستان 1392

## چکیده

سازه های دریایی به دلیل اهمیت راهبردی حمل و نقل دریایی از جمله کلیدی ترین بناها، در مجموعه ساخت و ساز کشوری می باشند. بشر با احداث بنادر و سازه های ساحلی در حقیقت باعث تغییر در الگوی جریانات ساحلی و به تبع آن تغییر در الگوی رسوب گذاری می شود. به واسطه جابجایی رسوبات ساحلی، مسئله رسوب گذاری سواحل و فرسایش در سواحل مطرح می گردد که هر یک از این پدیده ها، کاربری تأسیسات و سازه های ساخته شده در دریا را می تواند با مشکل مواجه نماید. موج شکن ها سازه های دیواره ای شکلی هستند که با استهلاک انرژی امواج، حوضچه آرامشی در سمت ساحلی خود ایجاد می نمایند و از بنادر و سواحل در مقابل امواج و جریان های ساحلی محافظت می کنند. در این تحقیق مسئله رسوب گذاری پشت موج شکن های انزلی به وسیله دو مدل هیدرولیکی MIKE 21 و PMO Dynamics (Persian Modeling for Ocean Dynamics) مدل سازی شد. مدل PMO Dynamics یک مدل ایرانی از انواع مدل های دوبعدی در صفحه افق است و هدف از انجام این تحقیق شبیه سازی انتقال رسوب پشت موج شکن و مقایسه عملکرد یا برآورد کارایی مدل ریاضی ایرانی PMODynamics در مقابل مدل هیدرولیکی MIKE 21 و اندازه گیری های میدانی است. ضرورت توسعه این مدل از این جهت است که مدل های تجاری و غیر تجاری خارجی الزاماً نمی توانند در مطالعات دریا و سواحل جوابگوی همه نیازهای داخلی باشند. با توجه به اهمیت بندر انزلی و انتقال رسوب پشت موج شکن ها به منظور شناسایی دقیق فرآیندهای هیدرودینامیک و انتقال رسوب، با استفاده از اندازه گیری های میدانی و شبیه سازی عددی، مطالعات دقیقی در محدوده موج شکن ها به انجام رسیده است. در این تحقیق ابتدا امواج آب عمیق به آب کم عمق انتقال داده شده و سپس تنش های شعاعی حاصل از این مدل سازی به عنوان ورودی در مدل جریان وارد شده و پس از آن میزان رسوب انتقال یافته برآورد شد. این مراحل در هر دو نرم افزار انجام شده و در هر مرحله نتایج دو مدل مقایسه گردید و همبستگی حدود 90 درصد بین نتایج مدل ایرانی و مدل MIKE21 نشان داد نرم افزار ایرانی PMO Dynamics در برآورد مقادیر جریان و رسوب حاصل از امواج دارای عملکرد مناسبی بوده و لذا می توان آن را به عنوان جایگزین مدل های رایج تجاری همچون MIKE21 توصیه نمود.

کلید واژه: PMO Dynamics, MIKE21، بندر انزلی، رسوب، موج شکن

## فهرست

1	فصل 1- کلیات
2	1-1- مقدمه
3	2-1- ضرورت تحقیق
4	3-1- اهداف تحقیق
4	4-1- روش و محدوده تحقیق
6	5-1- نحوه تدوین تحقیق
7	فصل 2- مروری بر مفاهیم و منابع
8	1-2- مقدمه
8	2-2- موج شکن
8	3-2- تئوری انتقال رسوب
8	1-3-2- علل انتقال رسوبی در سواحل
10	2-3-2- انتقال رسوبات به موازات ساحل
11	3-3-2- محاسبه انتقال رسوب به موازات ساحل
14	4-3-2- محاسبه انتقال رسوب عمود بر ساحل
15	1-4-3-2- عوامل موثر در انتقال رسوب عمود بر ساحل
15	5-3-2- سایر فرمول‌های انتقال رسوب
17	6-3-2- معیارهای شروع حرکت رسوبات به صورت لایه‌ای
19	7-3-2- انتقال رسوب در جریان‌های لایه‌ای (Sheet-Flow)
20	8-3-2- رابطه‌های محاسبه انتقال رسوب امواج در جریان‌های لایه‌ای

22	..... نحوه انتقال رسوب در جریان‌های لایه‌ای	9-3-2
22	..... نیروهای عمل‌کننده در کرانه ساحلی (near shore)	10-3-2
25	..... مدل‌های ریاضی موجود در انتقال رسوبات ساحلی	11-3-2
25	..... روش‌های عددی محاسبه تغییر شکل بستر ساحل	12-3-2
26	..... تحقیقات و مطالعات انجام شده با استفاده از مدل ریاضی MIKE21	4-2
34	..... تحقیقات و مطالعات انجام شده با استفاده از مدل ریاضی PMO Dynamics	5-2
34	..... جمع‌بندی	6-2
<b>35</b>	<b>..... تشریح مدل‌های MIKE21 و PMO Dynamics</b>	<b>فصل 3</b>
36	..... مقدمه	1-3
36	..... مدل ریاضی PMO Dynamics	2-3
37	..... مدل موج طیفی PMO Dynamics , (SW)	1-2-3
39	..... معادلات به کار رفته در مدل موج	1-1-2-3
39	..... معادله بیلان عمل موج	2-1-2-3
40	..... چشمه-چاه‌ها	3-1-2-3
40	..... اثر چرخک‌های سطحی	4-1-2-3
41	..... اثر اصطکاک	5-1-2-3
42	..... اثر شکست موج	6-1-2-3
42	..... اثر اندرکنش سه تایی امواج	7-1-2-3
44	..... اثر اندرکنش چهارتایی امواج	8-1-2-3
45	..... طراحی شبکه محاسباتی	9-1-2-3
46	..... طراحی شبکه محاسباتی برای فضای طیفی	10-1-2-3
46	..... روش عددی	11-1-2-3

- 47.....مرحله انتقال -12-1-2-3
- 50.....شرایط مرزی -13-1-2-3
- 51.....شرایط اولیه -14-1-2-3
- 52.....مدل هیدرودینامیک PMO Dynamics (HD) .....-2-2-3
- 52.....انتخاب معادلات حاکم بر جریان دو بعدی.....-1-2-2-3
- 54.....انتخاب و طراحی شبکه محاسباتی.....-2-2-2-3
- 55.....انتخاب روش حل عددی معادلات.....-3-2-2-3
- 55.....حل معادلات با استفاده از حل تقریبی تابع ریمان با استفاده از روش Roe.....-2-2-2-3
- 55.....نحوه محاسبه نیروهای کالبدی.....-4-2-2-3
- 56.....محاسبه تنش بستر .....-5-2-2-3
- 56.....محاسبه نیروی کوریولیس.....-6-2-2-3
- 56.....نحوه محاسبه تنش باد.....-7-2-2-3
- 57.....محاسبه لزجت آشفتگی.....-8-2-2-3
- 58.....شرایط مرزی جریان .....-9-2-2-3
- 59.....اطلاعات ورودی مدل برای شبیه سازی.....-10-2-2-3
- 60.....اطلاعات خروجی مدل .....-11-2-2-3
- 60.....قابلیت های مهم مدل .....-12-2-2-3
- 61.....انتخاب عدد کورانت مناسب.....-13-2-2-3
- 62.....مدل رسوب PMO Dynamics (ST) .....-3-2-3
- 63.....معادلات حاکم بر انتقال رسوب.....-1-3-2-3
- 63.....تعیین ظرفیت حمل رسوب.....-2-3-2-3
- 68.....معادله انتقال-انتشار .....-3-3-2-3



68.....	معادله تغییرات تراز بستر	4-3-2-3
70.....	شرایط مرزی رسوب	5-3-2-3
70.....	اطلاعات ورودی مدل برای شبیه‌سازی رسوب	6-3-2-3
71.....	اطلاعات خروجی مدل	7-3-2-3
71.....	مدل ریاضی MIKE21	3-3
76.....	مدل موج طیفی MIKE21 (SW)	1-3-3
81.....	معادلات به کار رفته در مدول SW	1-1-3-3
83.....	مدل هیدرودینامیک MIKE21 (HD)	2-3-3
84.....	مطالعات به کار رفته در مدول HD	1-2-3-3
85.....	وجود چشمه و چاه در مدل	2-2-3-3
86.....	مرز خشکی متغیر	3-2-3-3
86.....	ویسکوزیته چرخشی	4-2-3-3
87.....	ضریب زبری بستر	5-2-3-3
88.....	بازه زمانی شبیه سازی پدیده	6-2-3-3
88.....	پایداری مدل	7-2-3-3
89.....	مدل رسوب MIKE21 (ST)	3-3-3
90.....	نوع رسوبات در منطقه	1-3-3-3
90.....	معرفی اجمالی مدول ST مدل ریاضی MIKE21	2-3-3-3
90.....	داده های ورودی مدول ST مدل ریاضی MIKE21	3-3-3-3
91.....	جمع بندی	4-3
<b>93.....</b>	<b>مواد و روش‌ها</b>	<b>فصل 4</b>
94.....	مقدمه	1-4

94	..... شرح منطقه	-2-4
94	..... شناخت خصوصیات رسوبی و مورفودینامیک منطقه	-1-2-4
95	..... تالاب انزلی	-1-1-2-4
95	..... آبراهه‌ها، روگها	-2-1-2-4
95	..... محدوده بندر	-3-1-2-4
95	..... موج شکن‌های انزلی	-2-2-4
96	..... موج شکن‌های شرق و غرب جدید	-1-2-2-4
97	..... محدوده دریایی اطراف بندر	-3-2-4
98	..... اطلاعات مورد استفاده	-3-4
98	..... شناخت اقلیم موج منطقه	-1-3-4
98	..... محاسبه مشخصات موج منطقه	-2-3-4
100	..... داده های بویه موج نگار و جریان سنج	-3-3-4
102	..... داده‌های موج	-4-3-4
103	..... آمار بویه ی موج‌نگار سازمان بنادر و کشتیرانی (PSO)	-1-4-3-4
103	..... آمار موج ثبت شده توسط مرکز تحقیقات آب (WRC)	-2-4-3-4
103	..... نتایج پروژه‌ی «مدل سازی امواج دریا‌های ایران» - ISWM	-3-4-3-4
105	..... ارتفاع موج مشخصه انزلی	-5-3-4
105	..... اطلاعات رسوب بندر انزلی	-6-3-4
105	..... هیدروگرافی بستر دریا	-7-3-4
106	..... جمع‌بندی اطلاعات	-4-4
107	..... طراحی مدل‌های ریاضی PMO Dynamics , MIKE21	-5-4
107	..... برپایی مدل‌ها	-1-5-4

107	تهیه فایل عمق نگاشت	-2-5-4
109	کنترل استقلال نتایج از مش	-3-5-4
110	آنالیز حساسیت	-4-5-4
110	واسنجی مدل	-5-5-4
112	شرایط مرزی	-6-5-4
113	شرایط اولیه	-7-5-4
113	تعیین گام زمانی حل معادلات	-8-5-4
114	طراحی مدول SW	-9-5-4
115	طراحی مدول HD	-10-5-4
116	طراحی مدول ST	-11-5-4
116	اجرای مدل‌ها و فهرست سناریو های مورد مطالعه	-6-4
118	نحوه‌ی مقایسه‌ی بین نتایج مدل‌های عددی با یکدیگر و اندازه گیری‌های میدانی	-7-4
120	روش برآورد میزان رسوبات بندر انزلی توسط نرم افزار GIS	-8-4
121	روش اجرای نرم افزار GIS در تغییرات خط ساحلی و بار رسوبی	-1-8-4
123	جمع بندی	-9-4
<b>124</b>	<b>نتایج و بحث</b>	<b>فصل 5</b>
125	نتایج مدل PMO Dynamics در مورد مسائل شکست هیدرولیکی سد	-1-5
130	نتایج مدل PMO Dynamics در مورد انتقال امواج	-2-5
130	نتایج مدل PMO Dynamics در مقایسه با داده های اندازه گیری شده امواج در موقعیت ADCP	-1-2-5
131	نتایج مدل PMO Dynamics در مقایسه با مدل MIKE21 در مورد انتقال امواج در موقعیت ADCP	-2-2-5
133	نتایج مدل PMO Dynamics در مقایسه با مدل MIKE21 در مورد انتقال امواج در عمق 5 متری	-3-2-5
134	نتایج مدل PMO Dynamics در مقایسه با مدل MIKE21 در مورد انتقال امواج در عمق 10 متری	-4-2-5

135.....	نمایش کانتور و وکتور پلات برای دو مدل PMO Dynamics و مدل MIKE21	5-2-5
137.....	نتایج پارامترهای آماری در مورد انتقال امواج در دو مدل PMO Dynamics و MIKE21	6-2-5
137.....	نتایج مدل PMO Dynamics در مورد شبیه سازی پارامترهای جریان	3-5
138.....	نتایج مدل PMO Dynamics در مقایسه با مدل MIKE21 در مورد جریان حاصل از موج فرضی 2 متر	1-3-5
139.....	نتایج مدل PMO Dynamics در مقایسه با مدل MIKE21 در مورد جریان حاصل از امواج منطقه	2-3-5
156.....	مقایسه آماری نتایج نرم افزار PMO Dynamics و MIKE21 در مورد پارامترهای جریان	3-3-5
156.....	تحلیل نتایج شبیه سازی جریان حاصل از امواج مختلف	4-3-5
157.....	نتایج مدل PMO Dynamics در مقایسه با مدل MIKE21 در مورد انتقال رسوب	4-5
165.....	پارامترهای آماری شبیه سازی انتقال رسوب	1-4-5
165.....	تحلیل نتایج شبیه سازی رسوب حاصل از امواج مختلف	2-4-5
168.....	نتایج تحلیل تصاویر ماهواره ای جهت برآورد رسوب بندر انزلی	5-5
173.....	مقایسه نتایج نرم افزار GIS و مدل LITPACK	6-5
<b>175.....</b>	<b>نتیجه گیری و پیشنهادات</b>	<b>6</b>
176.....	نتیجه گیری	1-6
177.....	پیشنهادات	2-6
<b>180.....</b>	<b>واژه نامه انگلیسی به فارسی</b>	
<b>182.....</b>	<b>فهرست مراجع</b>	

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
65.....	جدول 1-3 کمیت‌های رابطه بار بستر.....
66.....	جدول 2-3 کمیت‌های رابطه بار معلق.....
97.....	جدول 1-4 مشخصات بندر انزلی.....
99.....	جدول 2-4 زمان تناوب ارتفاع موج آب عمیق 25 ساله بندر انزلی.....
102.....	جدول 3-4 درصد فراوانی ارتفاع امواج بویه ی موج نگار انزلی.....
102.....	جدول 4-4 درصد فراوانی امواج بویه ی موج نگار در جهت های مختلف.....
102.....	جدول 5-4 بلندترین و فراوان ترین ارتفاع موج در جهت‌های مختلف.....
106.....	جدول 6-4 مجموعه‌ی اطلاعات هیدروگرافی موجود.....
111.....	جدول 7-4 پارامترهای واسنجی شده مدل موج.....
111.....	جدول 8-4 پارامترهای واسنجی شده مدل جریان.....
111.....	جدول 9-4 پارامترهای واسنجی شده مدل رسوب.....
137.....	جدول 1-5 نتایج پارامترهای آماری در مورد انتقال امواج در دو مدل MIKE21 و PMO Dynamics.....
140.....	جدول 2-5 مشخصات موج با ارتفاع 0/5 متر.....
142.....	جدول 3-5 مشخصات موج با ارتفاع 1 متر.....
144.....	جدول 4-5 مشخصات موج با ارتفاع 1/5 متر.....
146.....	جدول 5-5 مشخصات موج با ارتفاع 2 متر.....
148.....	جدول 6-5 مشخصات موج با ارتفاع 2/5 متر.....
150.....	جدول 7-5 مشخصات موج با ارتفاع 3 متر.....
152.....	جدول 8-5 مشخصات موج با ارتفاع 3/5 متر.....
154.....	جدول 9-5 مشخصات موج با ارتفاع 4 متر.....
156.....	جدول 10-5 مقایسه آماری نتایج جریان ساحل شرقی.....
156.....	جدول 11-5 مقایسه آماری نتایج جریان ساحل غربی.....
165.....	جدول 12-5 مقایسه آماری نتایج رسوب در ساحل شرقی.....
165.....	جدول 13-5 مقایسه آماری نتایج رسوب در ساحل غربی.....

- جدول 14-5 محاسبه تنش برشی یستر حاصل از نتایج دو نرم افزار ..... 167
- جدول 15-5 محاسبه تنش برشی بحرانی ..... 167
- جدول 16-5 محاسبه حجم رسوب سالیانه ..... 168
- جدول 17-5 مقایسه نتایج نرم افزار GIS و LITPACK ..... 174

صفحه	عنوان
54	شکل 3-1 نمایش ارتباط تراز آب، تراز بستر و عمق
54	شکل 3-2 نمایی کلی از شبکه محاسباتی مورد استفاده در مدل
74	شکل 3-4 الگویی از تقسیم بندی نرم افزار MIKE21
76	شکل 3-4 ارتباط مدول های MIKE21
97	شکل 4-1 موج شکن‌های بندر انزلی
98	شکل 4-2 گل موج آب عمیق 25 ساله بندر انزلی
99	شکل 4-3 درصد فراوانی ارتفاع امواج (P فراوانی نسبی درصدی)
100	شکل 4-4 توزیع فراوانی ارتفاع امواج بویه ی موج نگار
101	شکل 4-5 توزیع فراوانی پرپود امواج بویه ی موج نگار
101	شکل 4-6 توزیع فراوانی جهت امواج بویه ی موج نگار
104	شکل 4-7 ارتفاع امواج اندازه‌گیری شده توسط بویه موج نگار سازمان بنادر و کشتیرانی
104	شکل 4-8 زمان تناوب امواج اندازه‌گیری شده توسط بویه موج نگار سازمان بنادر و کشتیرانی
105	شکل 4-9 منحنی دانه بندی رسوبات بستر
106	شکل 4-10 هیدروگرافی پردازش شده محدوده بندر انزلی
108	شکل 4-11 شبکه بندی محدوده شبیه سازی شده مش 200 و ابعاد تقریبی 8*16 کیلومتر
109	شکل 4-12 شبکه بندی محدوده شبیه سازی شده مش 12 و ابعاد تقریبی 8*10
118	شکل 4-13 جانمایی خطوط در نظر گرفته شده جهت مقایسه نتایج
123	شکل 4-14 تصویر ماهواره‌ی لندست در سال 2011
123	شکل 4-15 تصویر ماهواره‌ی لندست در سال 2013
125	شکل 5-1 شرایط هیدرولیکی ناشی از شکست سد (W.H. Graf, 1998 صفحه 347)

- شکل 2-5 نتایج حاصل از حل عددی و تحلیلی مسئله شکست سد شماره 1 ..... 125
- شکل 3-5 شکست سد دایره ای چپ؛ نمودار سطح آب؛ راست؛ نمودار سرعت جریان ..... 128
- شکل 4-5 نمایش سطح آب در زمان  $T/2$  ثانیه براساس مرجع [2] ..... 129
- شکل 5-5 نمایش سطح آب در زمان  $T/2$  ثانیه براساس مدل‌های حاضر ..... 129
- شکل 6-5 مقایسه ارتفاع امواج شبیه سازی شده در PMO و داده های میدانی ADCP ..... 130
- شکل 7-5 مقایسه پرپود امواج شبیه سازی شده در PMO و داده های میدانی ADCP ..... 131
- شکل 8-5 مقایسه ارتفاع امواج شبیه سازی شده در PMO و MIKE 21 ..... 132
- شکل 9-5 مقایسه پرپود امواج شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 ..... 132
- شکل 10-5 مقایسه ارتفاع موج شبیه سازی شده در PMO Dynamics و MIKE21 در عمق 5 متری ..... 133
- شکل 11-5 مقایسه پرپود موج شبیه سازی شده در PMO Dynamics و MIKE21 در عمق 5 متری ..... 134
- شکل 12-5 مقایسه ارتفاع موج شبیه سازی شده در PMO Dynamics و MIKE21 در عمق 10 متری ..... 134
- شکل 13-5 مقایسه پرپود موج شبیه سازی شده در PMO Dynamics و MIKE21 در عمق 10 متری ..... 135
- شکل 14-5 نمایش وکتور های مربوط به ارتفاع موج در شبیه سازی موج با ارتفاع 1 متر در مدل MIKE21 ..... 135
- شکل 15-5 نمایش وکتور های مربوط به ارتفاع موج در شبیه سازی موج با ارتفاع 1.5 متر در مدل ..... 136
- شکل 16-5 نمایش کانتور های مربوط به ارتفاع موج در شبیه سازی موج با ارتفاع 1.5 متر در مدل MIKE21 ..... 136
- شکل 17-5 نمایش کانتور های مربوط به ارتفاع موج در شبیه سازی موج با ارتفاع 1.5 متر در مدل ..... 137
- شکل 18-5 سرعت جریان در خطی به طول 1 کیلومتر و فاصله 3 کیلومتر از موج شکن ها ..... 138
- شکل 19-5 سرعت جریان در خطی به طول 1 کیلومتر و فاصله 2 کیلومتر از موج شکن ها ..... 138
- شکل 20-5 سرعت جریان در خطی به طول 1 کیلومتر و فاصله 1 کیلومتر از موج شکن ها ..... 139
- شکل 21-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی موج 0/5 متر ..... 140
- شکل 22-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی موج 1 متر ..... 142
- شکل 23-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی موج 1 متر ..... 143



- 4 شکل 24-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی موج 1/5 متر .. 144
- شکل 25-5 مقایسه سرعت جریان شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی موج 1/5 متر..... 145
- شکل 26-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی موج 2 متر..... 146
- شکل 27-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی موج 2 متر..... 147
- شکل 28-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی موج 2/5 متر..... 148
- شکل 29-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی موج 2/5 متر..... 149
- شکل 30-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی موج 3 متر..... 150
- شکل 31-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی موج 3 متر..... 151
- شکل 32-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی موج 3/5 متر..... 152
- شکل 33-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی موج 3/5 متر..... 153
- شکل 34-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی موج 4 متر..... 154
- شکل 35-5 مقایسه سرعت جریان و عمق آب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی موج 4 متر..... 155
- شکل 36-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 ساحل شرقی حاصل از موج 1 متری..... 158
- شکل 37-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی حاصل از موج 1 متری..... 158
- شکل 38-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی حاصل از موج 1/5 متری..... 159
- شکل 39-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی حاصل از موج 1/5 متری..... 159
- شکل 40-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی حاصل از موج 2 متری..... 160
- شکل 41-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی حاصل از موج 2 متری..... 160
- شکل 42-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی حاصل از موج 2/5 متری..... 161
- شکل 43-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی حاصل از موج 2/5 متری..... 161
- شکل 44-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی حاصل از موج 3 متری..... 162
- شکل 45-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی حاصل از موج 3 متری..... 162

- شکل 46-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی حاصل از موج 3/5 متری ..... 163
- شکل 47-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی حاصل از موج 3/5 متری ..... 163
- شکل 48-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل شرقی حاصل از موج 4 متری ..... 164
- شکل 49-5 مقایسه انتقال رسوب شبیه سازی شده در PMO و MIKE21 در ساحل غربی حاصل از موج 4 متری ..... 164
- شکل 50-5 تغییرات خطوط ساحلی ..... 169
- شکل 51-5 میزان تغییرات خط ساحل در محل موج شکن‌ها ..... 169
- شکل 52-5 خطوط ساحلی شرقی ..... 170
- شکل 53-5 خطوط ساحلی غربی ..... 170
- شکل 54-5 تراز رسوب نقاط واقع در ساحل الف- ساحل شرقی ب- ساحل غربی ..... 171
- شکل 55-5 نمای سه بعدی ساحل الف- ساحل شرقی ب- ساحل غربی ..... 172
- شکل 56-5 تغییرات شبیه‌سازی شده خط ساحل 25 سال پس از احداث موج‌شکن‌های جدید بندر انزلی ..... 173

## فصل ۱- کلیات

## 1-1- مقدمه

سازه های دریایی به دلیل اهمیت راهبردی حمل و نقل دریایی، حجم عظیم و کیفیت بالای منابع غذایی و از همه مهم تر، منابع انرژی موجود در اعماق و بستر دریا از جمله کلیدی ترین بناها، در مجموعه ساخت و ساز کشوری می باشند. همچنین این سازه ها از گران ترین و پرخرج ترین سازه ها تلقی می شوند.

لذا جانمایی مناسب، طراحی بهینه و نگهداری درست از این سازه ها اهمیت فراوان دارد. دستیابی به سازه های با مشخصات فوق نیاز به شناخت دقیق و عمیقی از پدیده ها و فرآیندهای محیطی و اثرات آن ها بر سازه و همچنین اثرات ساخت سازه بر این فرآیندها دارد. مهم این است که سازه ساخته شده، سازگاری مناسبی با طبیعت پیرامون خود داشته و فرآیندهای محیطی خود را کمتر دچار تغییر نماید.

بشر با احداث بنادر و سازه های ساحلی در حقیقت باعث تغییر در الگوی جریانات ساحلی و به تبع آن تغییر در الگوی رسوب گذاری می شود. واسطه جابجایی رسوبات ساحلی، مسئله رسوب گذاری سواحل و فرسایش در سواحل مطرح می گردد که هر یک از این پدیده ها، کاربری تأسیسات و سازه های ساخته شده در دریا را می تواند با مشکل مواجه نماید. مخصوصاً پدیده رسوب گذاری در کانال دسترسی و حوضچه آرامش بنادر، مشکلات زیادی را در بهره برداری از آن ها بوجود می آورد.

موج شکن ها سازه های دیواره ای شکلی هستند که با استهلاک انرژی امواج، حوضچه آرامشی در سمت ساحلی خود ایجاد می نمایند و از بنادر و سواحل در مقابل امواج و جریان های ساحلی محافظت می کنند. در آیین نامه ها طراحی این گونه سازه ها نیروی غالب طراحی عمدتاً نیروی امواج دریا می باشد. از محیط آرام ایجاد شده به وسیله بازوهای موج شکن استفاده های دیگری نیز می شود که از آن جمله می توان باراندازی، و باربرداری و عملکرد ایمن شناورها و نیز حفاظت از تسهیلات بندری را بر شمرد. علاوه بر موارد فوق الذکر موج شکن ها می توانند با بهبود شرایط ورودی بنادر و هدایت جریان های دریائی و ایجاد ترازهای متفاوت آب، روند رسوب گذاری را کنترل نمایند. دو نوع اصلی موج شکن عبارتند از: توده ای و دیواره ای. نوع توده ای خود دارای انواع متفاوتی است نظیر، سنگ طبیعی، بلوک های بتنی و ترکیبی از سنگ و بلوک های بتنی اشکال بتنی نظیر تترا پاد، کوادری پاد، تریبار و ... در این نوع مورد استفاده قرار می گیرند. نوع دیوارهای نیز مشتمل است بر مواردی نظیر دیوار بلوک بتنی وزنی، صندوقه های بتنی و سلول های شیت پایلی پر شده از سنگ و ... انتخاب نوع موج شکن عموماً با توجه به عوامل زیر صورت می گیرد:- در دسترس بود مصالح در سایت اجرای موج شکن یا نزدیکی آن - عمق آب در محل احداث موج شکن - شرایط بستر - عملکرد مورد انتظار از موج شکن در بندر - شرایط محیطی (جوی) - ماشین آلات مناسب و در دسترس برای ساخت موج شکن.

یکی از مهم ترین دلایل انتقال رسوب نزدیک شدن موج به ساحل می باشد که به علت کم شدن عمق آب، طول موج کاهش می یابد و به دلیل فشردگی موج، شکل موج از حالت سیونسی خارج شده و ارتفاع آن زیاد می شود که این امر باعث ایجاد جریان های ساحلی و نقل و انتقالات رسوبی در سواحل می شود و نیروی وارده از موج به سازه های ساحلی افزایش می یابد. پدیده breaking یا شکست موج وقتی اتفاق