

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک دریا

**مطالعه عددی اثر موج بر موج شکن‌ها و سکوه‌های نفتی**

استاد راهنما:

دکتر اسماعیل حسنزاده

پژوهشگر:

یاسر دهقان

تیر ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات  
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه  
متعلق به دانشگاه اصفهان است.



دانشگاه اصفهان  
دانشکده علوم  
گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک دریا آقای یاسر دهقان

تحت عنوان

**مطالعه عددی اثر موج بر موج‌شکن‌ها و سکوه‌های نفتی**

در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

امضا

با مرتبه علمی دانشیار

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر اسماعیل حسن‌زاده

امضا

با مرتبه علمی استادیار

۲- استاد داور داخل گروه دکتر فهیمه حسینی بالام

امضا

با مرتبه علمی استاد

۳- استاد داور خارج گروه دکتر عباسعلی علی‌اکبری بیدختی

امضا مدیر گروه

## چکیده

ایران به دلیل داشتن هزاران کیلومتر مرز آبی در شمال و جنوب کشور دارای انواع سازه‌های دریایی نظیر موج‌شکن‌ها و سکوه‌های نفتی است. صنعت طراحی و ساخت سازه‌های دریایی بسیار پیچیده و هزینه‌بر است از این رو تعمیر و نگهداری سازه‌های دریایی از مسائل مهم در علوم دریایی می‌باشد. از آن‌جا که سازه‌ها دائماً در معرض امواج قرار دارند بررسی برهم‌کنش موج و سازه بسیار حائز اهمیت است که در این تحقیق به آن پرداخته شده است.

در این پایان‌نامه به کمک مدل سوان انتشار طیف امواج اطراف موج‌شکن‌های نیم‌بینه‌ای و شکاف موج‌شکن شبیه‌سازی شده است و اثر هر یک از مؤلفه‌های طیف موج، طیف فرکانس و تابع توزیع زاویه‌ای، در الگوی تفرق موج مطالعه شد. نتایج به دست آمده از مدل سوان (SWAN) با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد و مشاهده شد که توافق بالایی دارند.

در بخش دوم این پایان‌نامه طیف نیروی غیرخطی که توسط موج به موج‌شکن وارد می‌شود محاسبه گردید. بدین منظور ابتدا با توجه به اثرات غیرخطی نظریه موج استوکس مرتبه دو معرفی شد و سپس روشی ارائه شد که به کمک توابع انتقال هر یک از مؤلفه‌های خطی و غیرخطی نیرو را با تقریب مرتبه دو می‌توان به دست آورد. با مقایسه طیف‌های خطی و غیرخطی مشخص شد که اثرات غیرخطی اهمیت بسیار بالایی دارد. بررسی اثرات غیرخطی در قلمرو فرکانس نشان داد که در بعضی از فرکانس‌ها اثرات غیرخطی بیشینه است.

در بررسی اثر موج روی پایه قائم سکوه‌های نفتی فرض بر این است که قطر پایه سکو کوچک نیست،  $D/L > 0.2$  که  $D$  قطر پایه و  $L$  طول موج است، بنابراین مشخصه‌های موج در حضور سازه تغییر می‌کند لذا معادله مورسون برای محاسبه نیرو صادق نیست. در این حالت برای محاسبه نیروی هیدرودینامیکی موج، نظریه تفرق موج به کار گرفته شده است. در نظریه تفرق، پتانسیل سرعت موج متفرق شده محاسبه شد و سپس با کمک معادله برنولی فشار موج پیدا شد و با انتگرال‌گیری از فشار در سطح پایه قائم، نیرو به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که نیروی موج متفرق شده دارای یک مقدار بیشینه است و با افزایش پارامتر تفرق مقدار نیرو کاهش می‌یابد.

**واژگان کلیدی:** موج‌شکن، مدل سوان، تفرق موج، نیروی غیرخطی، سکوی نفت

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: مقدمه

۱-۱- مروری بر کارهای انجام شده..... ۲

### فصل دوم: مقدمه‌ای بر موج

۱-۲- مقدمه..... ۵

۲-۲- تحلیل دینامیکی امواج دریا..... ۵

۱-۲-۲- پارامترهای مهم موج..... ۷

۲-۲-۲- نظریه خطی موج..... ۸

۳-۲-۲- نظریه غیرخطی موج..... ۹

۴-۲-۲- محدوده کاربرد..... ۱۱

۳-۲- تحلیل طیفی امواج دریا..... ۱۲

۱-۳-۲- تراز سطحی امواج نامنظم..... ۱۲

۲-۳-۲- واریانس نوسانات سطح آب..... ۱۳

۳-۳-۲- طیف واریانس..... ۱۳

۴-۳-۲- طیف چگالی واریانس..... ۱۴

۵-۳-۲- ساخت سری زمانی از طیف چگالی واریانس..... ۱۵

۶-۳-۲- طیف پیرسون موسکوویچ..... ۱۶

۷-۳-۲- طیف جان سوپ..... ۱۶

۸-۳-۲- طیف جهتی موج..... ۱۷

۹-۳-۲- شبیه‌سازی طیف جهتی موج..... ۱۹

### فصل سوم: اثر امواج روی موج‌شکن‌ها

۱-۳- مقدمه..... ۲۳

۲۳	.....انتشار طیف موج اطراف موج شکن‌ها.....
۲۴	.....مدل سوان.....
۲۴	.....تفرق موج.....
۲۵	.....موج شکن نیم‌بینهایت.....
۲۵	.....شکاف موج شکن.....
۲۶	.....مشخصات موج مدل سازی شده.....
۲۶	.....تفکیک پذیری فضایی.....
۲۶	.....تفکیک پذیری زاویه‌ای.....
۲۷	.....نتایج شبیه سازی.....
۲۸	.....شبیه سازی موج اطراف موج شکن نیم‌بینهایت.....
۳۳	.....شبیه سازی موج اطراف شکاف موج شکن ۴L.....
۳۸	.....شبیه سازی موج اطراف شکاف موج شکن ۲L.....
۴۳	.....بحث در مورد نتایج.....
۴۴	.....نتیجه گیری.....
۴۵	.....نیروی وارد بر موج شکن.....
۴۵	.....انواع نیروهای وارد بر موج شکن.....
۴۶	.....محاسبه نیروی شبه استاتیک.....
۴۶	.....پتانسل سرعت مرتبه دو.....
۴۸	.....فشار مرتبه دو.....
۵۰	.....فشار ایستنا امواج.....
۶۱	.....محاسبه نیروی امواج ایستنا.....
۷۲	.....تحلیل طیفی نیرو.....
۷۲	.....اتوکواریانس نیرو.....
۷۲	.....طیف نیرو.....
۷۳	.....ارزیابی طیف نیرو.....

- ۳-۳-۱- طیف نیرو در منطقه‌ای با عمق ۴/۵ متر..... ۷۵
- ۳-۳-۲- طیف نیرو در منطقه‌ای با عمق ۶ متر..... ۸۰
- ۳-۳-۳- طیف نیرو در منطقه‌ای با عمق ۹ متر..... ۸۵
- ۳-۳-۵- بحث در مورد نتایج..... ۹۰
- ۳-۳-۶- نتیجه‌گیری..... ۹۰

### فصل چهارم: نیروی وارد بر سکوه‌های نفتی

- ۴-۱- مقدمه..... ۹۲
- ۴-۲- تفرق امواج اطراف پایه استوانه‌ای شکل..... ۹۳
- ۴-۳- محاسبه نیروی وارد بر پایه استوانه‌ای شکل..... ۹۴
- ۴-۴- ارزیابی نیروی وارد بر پایه..... ۹۷

### فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادات

- ۵-۱- جمع‌بندی..... ۹۹
- ۵-۲- پیشنهادات..... ۱۰۱
- پیوست الف..... ۱۰۲
- پیوست ب..... ۱۰۴
- پیوست ج..... ۱۱۲
- منابع و ماخذ..... ۱۲۲



## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۶	شکل (۱-۲) نمایش موج خطی و دستگاه مختصات.....
۱۰	شکل (۲-۲) نمایه موج استوکس.....
۱۱	شکل (۳-۲) محدوده کاربرد نظریه‌های امواج.....
۱۳	شکل (۴-۲) برهم‌نهی تعداد زیادی موج هماهنگ ساده و تشکیل امواج تصادفی دریا.....
۱۳	شکل (۵-۲) طیف واریانس.....
۱۴	شکل (۶-۲) طیف گسسته چگالی واریانس.....
۱۵	شکل (۷-۲) طیف پیوسته چگالی واریانس.....
۱۷	شکل (۸-۲) طیف جان‌اسواپ به‌ازای مقادیر مختلف $\gamma$ .....
۱۹	شکل (۹-۲) تابع توزیع زاویه‌ای به‌ازای مقادیر مختلف $\gamma$ .....
۲۰	شکل (۱۰-۲) شبیه‌سازی طیف دوبعدی موج به‌ازای $\gamma = 3/3$ و $m = 2$ .....
۲۰	شکل (۱۱-۲) شبیه‌سازی طیف دوبعدی موج به‌ازای $\gamma = 3/3$ و $m = 10$ .....
۲۱	شکل (۱۲-۲) شبیه‌سازی طیف دوبعدی موج به‌ازای $\gamma = 3/3$ و $m = 30$ .....
۲۱	شکل (۱۳-۲) شبیه‌سازی طیف دوبعدی موج به‌ازای $\gamma = 3/3$ و $m = 75$ .....
۲۲	شکل (۱۴-۲) شبیه‌سازی طیف دوبعدی موج به‌ازای $\gamma = 3/3$ و $m = 100$ .....
۲۲	شکل (۱۵-۲) شبیه‌سازی طیف دوبعدی موج به‌ازای $\gamma = 3/3$ و $m = 140$ .....
۲۵	شکل (۱-۳) موج‌شکن نیم‌بینهایت.....
۲۵	شکل (۲-۳) شکاف موج‌شکل.....
۲۸	شکل (۳-۳) طیف تفرق امواج باد ( $m = 2$ ) حول موج‌شکن نیم‌بینهایت با طیف‌های فرکانسی مختلف.....
۲۹	شکل (۴-۳) طیف تفرق امواج کوتاه ( $m = 10$ ) حول موج‌شکن نیم‌بینهایت با طیف‌های فرکانسی مختلف.....
۳۰	شکل (۵-۳) طیف تفرق امواج دورا ( $m = 30$ ) حول موج‌شکن نیم‌بینهایت با طیف‌های فرکانسی مختلف.....
۳۱	شکل (۶-۳) طیف تفرق امواج بلند ( $m = 75$ ) حول موج‌شکن نیم‌بینهایت با طیف‌های فرکانسی مختلف.....
۳۲	شکل (۷-۳) مقایسه خطوط تفرق امواج با توزیع زاویه‌ای مختلف حول موج‌شکن نیم‌بینهایت.....
۳۳	شکل (۸-۳) طیف تفرق امواج باد ( $m = 2$ ) حول شکاف موج‌شکن ( $2L$ ) با طیف‌های فرکانسی مختلف.....

- شکل (۳-۹) طیف تفرق امواج کوتاه ( $m = 10$ ) حول شکاف موج‌شکن ( $2L$ ) با طیف‌های فرکانسی مختلف..... ۳۴
- شکل (۳-۱۰) طیف تفرق امواج دورا ( $m = 30$ ) حول شکاف موج‌شکن ( $2L$ ) با طیف‌های فرکانسی مختلف..... ۳۵
- شکل (۳-۱۱) طیف تفرق امواج بلند ( $m = 75$ ) حول شکاف موج‌شکن ( $2L$ ) با طیف‌های فرکانسی مختلف..... ۳۶
- شکل (۳-۱۲) مقایسه خطوط تفرق امواج با توزیع زاویه‌ای مختلف حول شکاف موج‌شکن ( $2L$ )..... ۳۷
- شکل (۳-۱۳) طیف تفرق امواج باد ( $m = 2$ ) حول شکاف موج‌شکن ( $4L$ ) با طیف‌های فرکانسی مختلف..... ۳۸
- شکل (۳-۱۴) طیف تفرق امواج کوتاه ( $m = 10$ ) حول شکاف موج‌شکن ( $4L$ ) با طیف‌های فرکانسی مختلف..... ۳۹
- شکل (۳-۱۵) طیف تفرق امواج دورا ( $m = 30$ ) حول شکاف موج‌شکن ( $4L$ ) با طیف‌های فرکانسی مختلف..... ۴۰
- شکل (۳-۱۶) طیف تفرق امواج بلند ( $m = 75$ ) حول شکاف موج‌شکن ( $4L$ ) با طیف‌های فرکانسی مختلف..... ۴۱
- شکل (۳-۱۷) مقایسه خطوط تفرق امواج با توزیع زاویه‌ای مختلف حول شکاف موج‌شکن ( $4L$ )..... ۴۲
- شکل (۳-۱۸): نیروی ضربه‌ای موج (ناحیه کم‌عمق)..... ۴۵
- شکل (۳-۱۹): بارهای شبه ایستا (ناحیه عمیق)..... ۴۵
- شکل (۳-۲۰) انعکاس امواج و تشکیل امواج ایستا..... ۵۰
- شکل (۳-۲۱) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 2s, H_s = 1/5m$ ..... ۷۵
- شکل (۳-۲۲) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 3s, H_s = 2/3m$ ..... ۷۶
- شکل (۳-۲۳) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 4s, H_s = 2/3m$ ..... ۷۷
- شکل (۳-۲۴) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 6s, H_s = 1m$ ..... ۷۸
- شکل (۳-۲۵) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 10s, H_s = 0/5m$ ..... ۷۹
- شکل (۳-۲۶) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 3s, H_s = 2/3m$ ..... ۸۰
- شکل (۳-۲۷) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 4s, H_s = 3/2m$ ..... ۸۱
- شکل (۳-۲۸) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 6s, H_s = 1/6m$ ..... ۸۲
- شکل (۳-۲۹) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 8s, H_s = 1/1m$ ..... ۸۳
- شکل (۳-۳۰) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 10s, H_s = 0/75m$ ..... ۸۴
- شکل (۳-۳۰) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 3s, H_s = 2/5m$ ..... ۸۵
- شکل (۳-۳۲) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 4s, H_s = 4/3m$ ..... ۸۶
- شکل (۳-۳۳) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 6s, H_s = 3/5m$ ..... ۸۷

- شکل (۳-۳۴) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 8s, H_s = 2/2m$  ..... ۸۸
- شکل (۳-۳۵) مؤلفه‌های طیف نیروی ناشی از طیف موج با مشخصات  $T_p = 10s, H_s = 2m$  ..... ۸۹
- شکل (۳-۳۶) مؤلفه فرکانس پایین نیروی غیرخطی وارد بر سازه شناور..... ۹۱
- شکل (۴-۱) نمای استوانه و دستگاه مختصات به کار گرفته شده..... ۹۳
- شکل (۴-۲) نیروی بیشینه بر حسب پارامتر تفرق در عمق‌های مختلف..... ۹۷
- شکل (۴-۳) نیروی محاسبه شده توسط نام هیونگ کیم..... ۹۸
- شکل (۵-۱) الگوریتم محاسبه طیف نیرو به کمک تابع انتقال..... ۱۰۰

## فهرست جدول‌ها

- جدول (۱-۳) پهناي زاويه‌اي به‌ازاي مقادير مختلف  $m$ ..... ۱۸
- جدول (۲-۳) مشخصات طيف امواج مدل‌سازي شده و ابعاد شبكه..... ۲۷
- جدول (۳-۳) مشخصات امواج شكل (۲۰-۳)..... ۵۱
- جدول (۴-۳) مشخصات طيف موجي كه به موج‌شكن قائم برخورد مي‌كند..... ۷۴

## فصل اول

### مقدمه

نقش بسیار مهم حمل و نقل دریایی و وجود منابع سرشار نفت و گاز در آب‌های اطراف کشور از یک طرف و وجود صدها کیلومتر مرز آبی در شمال و جنوب ایران از طرف دیگر لزوم احداث بنادر و ساخت سازه‌های مختلف دریایی را ضروری می‌سازد. در این میان انواع اسکله‌ها، موج‌شکن‌ها و سایر سازه‌های دریایی حفاظتی نظیر دیوارهای دریایی<sup>۱</sup> و پوشش‌ها بیشتر از سایر ابنیه طراحی و ساخته می‌شوند و به همین دلیل از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. با توجه به ماهیت تصادفی نیروی وارد بر این سازه‌ها دقت در تعیین مشخصات آن‌ها امری الزامی است چرا که عدم توجه به این نکته ممکن است منجر به تخریب سازه و یا مقاوم‌سازی بیش از حد آن شود که در هر دو حالت با هزینه‌های سنگین همراه است. در نتیجه مسأله حفظ و نگهداری سازه‌های دریایی از مسائل بسیار مهم و حساس در علوم دریایی است که خود مستلزم مطالعه دقیق موج در این نواحی و بررسی برهم‌کنش آن با سازه است. بدین منظور در چند دهه اخیر روش‌های مختلفی نظیر روش‌های آماری و مدل‌های عددی ارائه شده است. روش آماری بر پایه مشاهدات و داده‌های جمع‌آوری شده در ایستگاه‌های اندازه‌گیری استوار است. در این روش به کمک الگوهای آماری نظیر آرما<sup>۲</sup>

---

<sup>1</sup> Sea wall

<sup>2</sup> ARMA

و آریما<sup>۱</sup> داده‌های گذشته را تحلیل کرده و از آن برای پیش‌بینی داده‌های آینده استفاده می‌شود. در چند دهه اخیر شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تحلیل داده‌ها به کار گرفته شده است و نشان داده است که قابلیت بسیار بالایی در پیش‌بینی موج دارد. شبکه عصبی با توانایی قابل توجه در استنتاج نتایج از داده‌های پیچیده می‌تواند در استخراج الگوهایی که شناسایی آن برای انسان‌ها بسیار دشوار است استفاده گردد. از آنجا که این روش مبتنی بر تحلیل داده‌های ثبت‌شده است در صورتی دقت بالایی دارد که مجموعه کاملی از داده‌ها در دسترس باشد لذا برای مناطقی که مشکل کمبود داده وجود دارد این روش دقت بالایی ندارد.

در اواخر دهه ۵۰ تا کنون انواع مدل‌های عددی نظیر سوان<sup>۲</sup> و وم<sup>۳</sup> به وجود آمده‌اند که در مدل‌سازی امواج به کار گرفته شده‌اند. هم‌چنین به منظور بررسی برهم‌کنش موج با سازه نرم‌افزارهایی نظیر SACS و WAMT به کار گرفته شده‌اند.

## ۱-۱ مروری بر کارهای گذشته

مطالبی که در این قسمت ذکر می‌شود نمونه کارهایی است که در رابطه با مدل‌سازی و مطالعه موج در اطراف سازه انجام شده است. سعی می‌شود تا نکات مهم و مطالب قابل توجه کتاب و مقالاتی که در دسترس نگارنده بوده است به‌طور خلاصه ذکر شود.

کانگ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۸) طیف‌های جان‌سواپ<sup>۵</sup>، ون<sup>۶</sup> و ویو<sup>۷</sup> را اطراف موج‌شکن شبیه‌سازی کرد. وی در صحت-سنجی نتایج خود در آزمایشگاه دانشگاه دالیان<sup>۸</sup> دریافت که طیف ون و جان‌سواپ شباهت بالایی با نتایج آزمایشگاهی دارند، لذا در این تحقیق نیز از طیف جان‌سواپ استفاده شده است [۱].

<sup>1</sup> ARIMA

<sup>2</sup> SWAN

<sup>3</sup> WAM

<sup>4</sup> Kang

<sup>5</sup> JONSWAP

<sup>6</sup> Wen

<sup>7</sup> Wu'spectrum

<sup>8</sup> Dalian University of Technology

جانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶) رهیافت نقطه ثابت<sup>۲</sup> را برای بررسی تفرق امواج اطراف موج شکن به کار گرفت و

نتایج خود را با الگوی تفرق زمرفیلد<sup>۳</sup> مقایسه کرد و نشان داد که توافق خوبی بین دو روش وجود دارد[۲].

خالد زوبیر<sup>۴</sup> (۲۰۰۲) مدل سوان و مدل سی جی ویو<sup>۵</sup> را برای پیش بینی امواج به کار برد و نشان داد که نتایج مدل سی - جی ویو نسبت به مدل سوان و مقادیر اندازه گیری شده کوچک تر بوده و در این تحقیق مشخص شده که مدل سوان دقیق تر است[۳].

هونگ ژیاو<sup>۶</sup> (۲۰۰۹) با حل عددی معادلات دیفرانسیل نیروی وارد بر سازه های ساحلی را محاسبه کرد. وی در محاسبات خود مدل تلاطمی  $k-\epsilon$  را به کار گرفت[۴].

ای لیک<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۷) انتقال امواج را اطراف موج شکن های جدا از هم در منطقه المر<sup>۸</sup> مطالعه کرد. منطقه المر در معرض امواج دورای اقیانوس اطلس و امواج محلی ناشی از بادهای کانال انگلیس<sup>۹</sup> قرار دارد. وی در کار خود مدل سوان را به کار گرفت و نشان داد نتایج حاصله از دقت بالایی برخوردار است[۵].

یو<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۷) در آزمایشگاه دانشگاه دالیان تفرق و انکسار امواج تصادفی را حول شکاف موج شکن بررسی کرد. وی تغییرات هر یک از پارامترهای طیف را در الگوی تفرق مطالعه کرد و نشاد داد که تابع توزیع زاویه ای در الگوی تفرق بیشترین تأثیر را دارد[۶].

پینکستر<sup>۱۱</sup> (۱۹۸۰) مؤلفه فرکانس پایین نیروی غیرخطی وارد بر سازه شناور را محاسبه کرد و مشاهده کرد که این نیرو در فرکانس پایین مقدار بیشینه دارد[۷].

---

<sup>1</sup> Jang

<sup>2</sup> Fixed point approach

<sup>3</sup> Somerfold

<sup>4</sup> Khalid M. Zubier

<sup>5</sup> CGWAVE

<sup>6</sup> Hong Xiao

<sup>7</sup> Ilic

<sup>8</sup> Elmer

<sup>9</sup> English Channel

<sup>10</sup> Yu

<sup>11</sup> Pinkster

راگنار<sup>۱</sup> (۱۹۸۱) نیروی غیرخطی وارد بر پایه سکوها را محاسبه کرد. وی معادله موريسون<sup>۲</sup> را برای محاسبه نیروی دینامیکی به کار گرفت و مشاهده کرد که نیروی وارد بر پایه در آب‌های عمیق دارای یک مقدار حدی است [۸].

افتخار آنام<sup>۳</sup> (۲۰۰۰) رفتار سکو شناور را در برابر امواج مطالعه کرد. وی در گزارش کار خود عبارتی را برای پتانسیل سرعت امواج تصادفی آورده است که در این تحقیق از این عبارت برای محاسبات نیروی غیرخطی امواج تصادفی استفاده شده است [۹].

در این فصل به اهمیت برهم‌کنش موج با سازه و خلاصه‌ای از کارهای انجام شده اشاره شد. در فصل دوم مفاهیم پایه حاکم بر امواج دریا معرفی می‌شوند. ابتدا نظریه خطی موج معرفی می‌شود، این نظریه که توسط ایری<sup>۴</sup> معرفی شد برای آب‌های متوسط و عمیق کاربرد دارد. درک نظریه موج ایری پایه مهندسی دریا و زمینه ادراک نظریه‌های مرتبه بالاتر است. در ادامه به منظور در نظر گرفتن اثرات غیرخطی موج، نظریه موج استوکس<sup>۵</sup> مرتبه دوم معرفی می‌شود. این نظریه در رابطه با برهم‌کنش غیرخطی امواج دانش بالایی ارائه می‌دهد که از آن در فصل چهار برای محاسبه نیروی غیرخطی مرتبه دو استفاده می‌شود. در ادامه فصل دوم تحلیل طیفی امواج دریا معرفی می‌شود که لازمه کار با مدل طیفی سوان است هم‌چنین چند نمونه از طیف‌های موج در فضای سه‌بعدی شبیه‌سازی شده است.

در فصل سوم انتشار طیف موج اطراف موج‌شکن‌ها شبیه‌سازی شده است. بدین منظور تفرق طیف موج را توسط مدل سوان شبیه‌سازی کرده و اثر تغییرات پارامترهای طیف موج در الگوی تفرق بررسی می‌شود. نتایج حاصل از مدل سوان با نتایج آزمایشگاهی که توسط یو و همکاران در آزمایشگاه دانشگاه دالیان انجام شده است مقایسه می‌شود. در ادامه فصل سوم با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی نیرویی که توسط طیف موج به موج‌شکن وارد می‌شود، در قلمرو زمان و فرکانس محاسبه شده است.

در فصل چهارم با به کارگیری نظریه تفرق نیروی وارد بر پایه استوانه‌ای شکل سکو نفتی محاسبه شده است. در فصل پنجم خلاصه‌ای از نتایج به دست آمده ارائه شده است.

---

<sup>1</sup> Ragnar

<sup>2</sup> Morison's Equation

<sup>3</sup> Iftekhar Anam

<sup>4</sup> Airy

<sup>5</sup> Stokes



## فصل دوم

### مقدمه‌ای بر موج

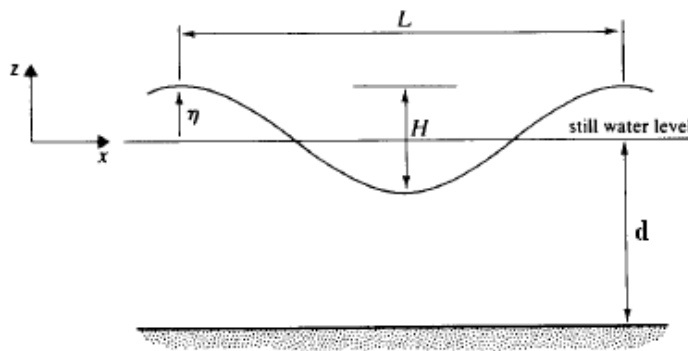
#### ۱-۲ مقدمه

به طور کلی مبحث نظری امواج و حرکت آب دریا محاسبات ریاضی نسبتاً پیچیده‌ای را شامل می‌شود. در این جا فقط هدف رسیدن به درک کلی از چنین نظریه‌هایی است که با بررسی پدیده فیزیکی آنها بیان می‌شوند، بدون آن که به جزئیات از نقطه نظر ریاضی پرداخته شود. بدین منظور ابتدا تحلیل دینامیکی امواج دریا مطرح می‌شود که لازمه مطالعه برهم‌کنش موج با موج‌شکن و سکوه‌های نفتی است. سپس تحلیل طیفی امواج معرفی می‌شود که لازمه کار با مدل سوان است.

#### ۲-۲ تحلیل دینامیکی امواج دریا

تمام حرکات دریا می‌تواند به وسیله اختلاف بین سرعت و فشار و به صورت تابعی از فضا و زمان بیان شود. معادلات اساسی هیدرودینامیکی تمامی حرکات دریا، معادلات پیوستگی و تکانه می‌باشد که به ترتیب منجر به معادله لاپلاس<sup>۱</sup> و معادله برنولی<sup>۲</sup> می‌شود. این معادلات می‌توانند بسته به کاربرد و راه حل جستجو شده متفاوت باشند.

فرض کنید که یک موج تخت در ناحیه‌ای به عمق  $d$  در حال انتشار است. به طوری که  $x$  در جهت انتشار و محور  $z$  به طرف بالاست، شکل (۱-۲).



شکل (۱-۲) نمایش موج خطی و دستگاه مختصات [۱۰]

فرض بر این است که موج غیرچرخشی است بنابراین یک پتانسیل سرعت  $\phi$  وجود دارد به طوری که:

$$\vec{V} = \vec{\nabla} \phi \quad (1-2)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad \text{معادله پیوستگی} \quad (2-2)$$

برای حالت دو بعدی با ترکیب معادلات (۱-۲) و (۲-۲) داریم:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \text{معادله لاپلاس} \quad (3-2)$$

<sup>1</sup> Laplace Equation

<sup>2</sup> Bernoulli's Equation

همچنین از معادله تکانه می‌توان معادله برنولی را به دست آورد:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2} |\vec{\nabla} \phi|^2 + \frac{P}{\rho} + gZ = f(t) \quad \text{معادله برنولی:} \quad (4-2)$$

که در آن  $\phi$  پتانسیل سرعت،  $P$  فشار سیال،  $\rho$  چگالی آب ( $1024 \text{ kg/m}^3$ )،  $g$  شتاب گرانشی ( $9/8 \text{ m/s}^2$ )،  $Z$  ارتفاع و  $f(t)$  ثابت انتگرال گیری است.

شرط مرزی کف:

با توجه به این که بستر دریا نفوذ ناپذیر است جریان قائم بر کف دریا وجود ندارد، بنابراین:

$$w \Big|_{z=-d} = \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{z=-d} = 0 \quad (5-2)$$

شرط مرزی در سطح:

$$w \Big|_{z=\eta} = \frac{d\eta}{dt} = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial \phi}{\partial z} \Big|_{z=\eta} \quad (6-2)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} \Big|_{z=\eta} + \frac{1}{2} |\vec{\nabla} \phi|^2 \Big|_{z=\eta} + g\eta = f(t) \quad (7-2)$$

معادله (۳-۲) باید با شرایط مرزی (۵-۲) و (۶-۲) و (۷-۲) حل شود. بدیهی است که از لحاظ ریاضی یک راه حل کلی برای حل این معادله وجود ندارد لذا در ساده‌ترین حالت باید از تقریب استفاده کرد. راه حل‌های مورد استفاده به اثرات غیرخطی، یعنی جز لختی مکانی به جز لختی زمانی بستگی دارد که به جای مواجهه مستقیم با اجزای لختی گفته شده بهتر است آن‌ها را با پارامترهای ملسوس تری مربوط کرد.

## ۲-۲-۱ پارامترهای مهم موج

پارامترهای مهم موج عبارتند از:

۱. ارتفاع موج  $H$

۲. طول موج  $L$

۳. عمق آب  $d$

روابط بین اجزای اینرسی و این سه پارامتر ساده نیستند. ولی مقدار نسبی آنها کمک زیادی به طبقه‌بندی ریاضی امواج

آب می‌کند. سه نسبت مشخصه از مؤلفه‌های  $H$  و  $L$  و  $d$  به دست می‌آیند. این سه نسبت عبارتند از  $\frac{L}{d}$ ,  $\frac{H}{d}$ ,  $\frac{H}{L}$ .

اهمیت نسبی جز اینرسی مکانی با افزایش این سه نسبت افزایش می‌یابد. مهمترین عامل در آب‌های عمیق، تیزی موج

است.  $\left(\frac{H}{L}\right)$  و مهمترین عامل در آب‌های کم عمق ارتفاع نسبی  $\left(\frac{H}{d}\right)$  است. پارامتر مهم دیگری که هر سه حالت

را پوشش می‌دهد. عدد اورسل<sup>۱</sup> ( $N$ ) است که به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۱]:

$$N = \frac{\text{تیزی}}{(\text{ارتفاع نسبی})^3} = \frac{\frac{H}{L}}{\left(\frac{d}{L}\right)^3} \quad (۸-۲)$$

## ۲-۲-۲ نظریه خطی موج

ساده‌ترین حالت نظریه امواج آب نظریه خطی است که اولین بار توسط ایری ارائه شد که از آن معمولاً با عناوین

تقریب مرتبه اول، تئوری موج دامنه کوتاه و یا تئوری موج ایری یاد می‌شود درک نظریه موج دامنه کوتاه پایه

مهندسی سواحل و زمینه ادراک نظریه‌های مرتبه بالاتر می‌باشد. در نظریه خطی از جز اینرسی مکانی صرف نظر می‌-

<sup>1</sup> Ursell number