

پیشگفتار

امواج قدمتی به اندازه پیدایش آب در روی کره خاکی داشته و همچنان که آب را مایه حیات می‌دانند، شاید بتوان امواج را نیز نشانه جنب و جوش و اتصال آب به دریای بیکران هستی دانست. آب بی‌تلاطم مردابی بیش نخواهد بود و این حرکت است که آن را از رکود و سکون تبدیل به دریایی سرشار از زندگی و تازگی می‌نماید. در دنیای علم نیز امواج دریا از اولین پدیده‌هایی بود که مورد توجه دانشمندان واقع شده و بسیاری از دانشمندان تلاشهای مستمری برای بررسی و تجزیه و تحلیل رفتار آن داشته‌اند. در حال حاضر نیز شناخت دقیق امواج دریا در بسیاری از حوزه های صنعتی و عمران ضروری است. طراحی و ساخت سازه‌های دریایی، کشتی‌سازی و دریانوردی، طراحی و احداث بنادر و بسیاری حوزه‌های دیگر همه متکی به اطلاعات و تجزیه و تحلیل دقیق امواج هستند. بر این اساس در کتاب حاضر سعی شده اصول علمی بررسی امواج در کنار روش‌های بکارگیری آنها بیان و امید است مورد استفاده علاقمندان قرار گیرد.

پیشاپیش از نواقص احتمالی عذر خواسته و انشاءالله با تذکر صاحب‌نظران و متخصصین گرامی بتوان آنها را رفع نمود. از اساتید خود و صاحب‌نظرانی که از محضر آنها بهره برده‌ام سپاسگزارم و همه نتایج را مرهون صبوری و حمایت‌های خانواده عزیزم می‌دانم.

محمد سعید سیف

مقدمه

یکی از متداول‌ترین پدیده‌هایی که بر روی سطح آب مشاهده می‌شود، پدیده موج است. موج را می‌توان بر روی سطح آب، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، دریاها، اقیانوس‌ها و هر جای دیگر که آب وجود دارد مشاهده کرد.

پدیده موج از دیرباز برای بشر شناخته شده بوده است و از زمانی که انسان تصمیم گرفت بر روی دریاها و دریاچه‌ها به قایقرانی بپردازد، سعی کرد تا مشخصات موج را بهتر و بیشتر بشناسد. بدین ترتیب از همان زمان شروع به ثبت و ضبط ویژگی‌های موج در دریاها و دریاچه‌ها و در فصول متفاوت نمود، چرا که این امواج از یک سو می‌توانستند به‌عنوان یک نیروی محرکه کمکی برای دریانوردان و کشتیرانان عمل کند و از سوی دیگر می‌توانستند باعث درهم شکسته شدن کشتی‌ها و مرگ دریانوردان گردند.

به‌ندرت می‌توان دید که حجمی از آب در معرض اتمسفر واقع شود ولی موجی در سطح آن تشکیل نشود. این امواج نمادی از نیروهای اعمال شده روی سیال هستند که منجر به تغییر شکل آن در مقابل عملکرد نیروهای وزن و کشش سطحی می‌شوند (دو نیرویی که باعث قرار گرفتن یک سطح سیال به صورت هموار هستند). بنابراین، برای ایجاد امواج نیاز به نیروهایی مانند نیروی اعمال شده توسط یک تندباد یا سقوط یک سنگ روی آب می‌باشد. با ایجاد امواج، نیروهای وزن و کشش سطحی فعال شده و باعث پیشروی امواج می‌شوند. این مسئله همانند ایجاد نوسان به علت کشش یک سیم است که می‌تواند باعث تولید یک صدای خوشایند شود.

بنا به اندازه نیروهای اعمال شده روی آب، امواج در همه اندازه‌ها و شکلها تشکیل می‌شوند. یک مثال ساده، ایجاد امواج با اندازه‌های مختلف در اثر برخورد یک سنگ کوچک و یا بزرگ با سطح آب می‌باشد. بعلاوه، سرعت‌های برخورد مختلف، امواج با اندازه‌های متفاوت ایجاد می‌کنند که نشان‌دهنده و اهمیت نیروهای فشار اعمال شده روی سیال و همچنین مقدار سیال جابه‌جا شده است. جاذبه ماه، خورشید و دیگر اجرام سماوی، بلندترین نوع امواج آبی شناخته شده یعنی امواج جزری و مدی را تولید می‌کنند. این امواج نیمی از دور زمین را احاطه کرده و با سرعت‌های زیادی حرکت می‌کنند. در مقابل، طول موجی کوتاه‌ترین امواج می‌تواند کمتر از یک سانتیمتر باشد. اندازه طول موج، ایده‌ای از اندازه نیروهای اعمال شده روی امواج را بدست می‌دهد. برای مثال، هر چه موج طولانی‌تر باشد، اثر ثقل (شامل اثرات زمین، ماه و خورشید) نسبت به کشش سطحی مهمتر است.

اهمیت امواج از بسیاری جهات قابل توجه است. هر بنایی که در کنار یک محیط دریایی یا درون آن است، در معرض تاثیر موج قرار دارد. در ساحل، موج می‌تواند منجر به حرکت رسوب در امتداد ساحل شده و یا باعث فرسایش یا ایجاد خسارت به سازه‌ها در طی طوفان شود. در محیط دریایی، سکوهایی نفتی ساحلی باید بدون اینکه خسارت ببینند، بتوانند طوفانهای سخت را تحمل کنند. برای تأمین این منظور، در عمق‌های حفاری کنونی که متجاوز از ۳۰۰ متر است، نیاز به ساخت سازه‌های عظیم و پرهزینه می‌باشد. بر روی آب نیز، همه کشتی‌ها در معرض برخورد امواج هستند و کشتی‌های بی‌شماری در اثر امواجی که ارتفاع آنها تا ۳۴ متر هم بوده، غرق شده‌اند. به علاوه، هر کشتی که در آب حرکت می‌کند یک میدان فشار و لذا امواجی را تولید می‌کند که بخش قابل توجهی از مقاومت در برابر حرکت کشتی را موجب می‌شوند.

اهمیت و کاربرد

دریاها پیوسته تحت تاثیر نیروهای طبیعی هستند که در آنها امواج را به وجود می‌آورند. به‌طور کلی، می‌توان امواج دریا را به پنج دسته تقسیم کرد: امواج صوتی، امواج مویبندی، امواج گرانش سطحی، امواج داخلی و امواج سیاره‌ای. امواج صوتی بسیار کوچک بوده و ناشی از تراکم‌پذیری آب می‌باشند. نیروهای گرانشی وارد بر ذرات آب در سطح دریا (مرز بین آب و هوا) موجب ایجاد امواج سطحی و در مرز بین لایه‌های آب با چگالی‌های متفاوت، موجب ایجاد امواج داخلی می‌شوند. امواج مویبندی که دارای ارتفاع کم و بسامد زیاد می‌باشند، نیز بر اثر اندرکنش کشش سطحی و آشفتگی ناشی از باد در مرز بین آب و هوا شکل می‌گیرند. برعکس، امواج سیاره‌ای یا رازی بسیار بزرگ مقیاس بوده و در اثر برهم‌خوردن تعادل گردابه ناشی از تغییرات عمیق یا عرض جغرافیایی بوجود می‌آیند (Mussel, 1988). تمامی این امواج می‌توانند همزمان در دریا به وجود آیند اما مهمترین آنها برای مهندسين، امواج سطحی (گرانشی) می‌باشند. این امواج بیشترین تاثیر را بر روی سازه‌های دریایی و ساحلی داشته و از اینرو مهمترین عامل محیطی هستند که باید در طراحی‌ها در نظر گرفته شوند. وجود این امواج باعث می‌شود که طراحی سازه‌ها در دریا کاملاً متفاوت از طراحی آنها در خشکی باشد (Coda, 2000).

از آنجایی که امواج یکی از پیچیده‌ترین و متغیرترین پدیده‌های طبیعی می‌باشند، فهم کامل خصوصیات و پیش‌بینی آنها کار چندان ساده‌ای نیست. پیش‌بینی امواج از این لحاظ لازم است که طراحی ایمن و اقتصادی سازه‌های دریایی و ساحلی مستلزم شناخت و تعیین مشخصات امواج می‌باشد. مهندسان این سازه‌ها را برای مقاصد گوناگونی طراحی و اجرا می‌کنند. موجشکن‌ها و اسکله‌ها در بنادر و لنگرگاه‌ها به منظور پهلوگیری آرام و مطمئن کشتی‌ها ساخته می‌شوند. دیوارهای دریایی و آب‌شکنها به منظور حفاظت ساحل به کار برده می‌شوند و سکوهایی دریایی برای استخراج منابع نفت و گاز زیر دریاها به کار برده می‌شوند. همه این سازه‌ها باید در محیط دریا و در شرایط

توفانی مقاوم بوده و برای اطمینان یافتن از این موضوع لازم است تا عوامل محیطی که مهمترین آنها امواج هستند، شناخته شوند (Goda, 2000). این سازه‌ها باید بگونه‌ای طراحی شوند که قابلیت تحمل بارهای وارد ناشی از امواج را داشته باشند. محاسبات لازم برای تعیین بارگذاری سازه‌های دریایی شامل این موارد می‌باشد: الف. تعیین اقلیم امواج ب. تخمین مشخصات امواج طرح ج. انتخاب تئوری موج مناسب برای تعیین بارهای هیدرودینامیکی وارد بر سازه. در طراحی سازه‌های ساحلی نیز امواج دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای هستند. امواج با نزدیک شدن به ساحل می‌شکنند و انرژی خود را بر روی ساحل مستهلک می‌کنند. در مواقع توفانی امواج نیروهای شدیدی بر سازه‌های طبیعی و مصنوعی وارد می‌کنند. این امواج همچنین موجب ایجاد جریانهای ساحلی و در نتیجه انتقال رسوب، فرسایش و رسوب‌گذاری می‌شوند. اطلاع از مشخصات امواج و رسوبات لازمه انتخاب سازه‌های محافظ ساحل و روشهای حفاظت سواحل می‌باشد. برای مثال در طراحی سازه‌ای موج‌شکن‌ها، وزن قطعات آرمور با توان سوم ارتفاع موج طرح رابطه مستقیم دارد و این بدان معنی است که تنها ۱۰ درصد خطا هر تخمین ارتفاع موج طرح موجب ۳۳ درصد خطا در برآورد وزن قطعات آرمور می‌شود. یک جنبه دیگر اهمیت مدلسازی امواج، اثر مستقیم آنها در اندرکنش جو- دریا می‌باشد. این امر می‌تواند تخمین دقیق‌تر شارهای ناشی از اندرکنش هوا- آب را که نقش مهمی در مدل‌سازی اقلیم و کیفیت آب دریاها دارد، ممکن سازد.

دکتر محمد سعید سیف

فهرست مطالب

فصل ۱ مشخصات آب دریا ۱

۱.۱	خواص عمومی آب دریا ۲
۲.۱	نمکهای محلول ۲
۳.۱	گازهای محلول ۳
۴.۱	وزن مخصوص ۳
۵.۱	رنگ و شفافیت ۵
۶.۱	توزیع دما ۵
۷.۱	یخ زدگی ۶
۸.۱	خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ۶
۹.۱	عمده‌ترین ویژگی‌های فیزیکی ۷
۱۰.۱	درجه شوری ۷
۱۱.۱	سرعت صوت در آب ۹

فصل ۲ مبانی هیدرودینامیک ۱۱

۱.۲	مقدمه ۱۳
۲.۲	معادلات حرکت اویلر برای سیال غیرویسکوز ۱۳
۳.۲	معادلات پیوستگی ۱۶
۴.۲	پتانسیل سرعت ۱۷
۵.۲	انتگرال معادله حرکت اویلر: معادله برنولی ۱۹
۶.۲	معادله لاپلاس ۲۲
۷.۲	تابع جریان ۲۲
۸.۲	جریانهای ساده ۲۴
۱.۸.۲	جریانهای یکنواخت ۲۶
۲.۸.۲	چشمه و چاه ۲۶
۳.۸.۲	دو قطبی (DOUBLET OR DIPOLE) ۲۷

چند قطبی (MULTIPLES) ۳۰	۴.۸.۲
جریان حول یک استوانه ۳۱	۵.۸.۲
ویسکوزیته ۳۲	۹.۲
نیروی درگ ۳۴	۱۰.۲
مشخصات مقاطع خط جریانی ۳۵	۱۱.۲

فصل ۳ امواج منظم ۳۹

مقدمه ۴۰	۱.۳
امواج منظم ۴۲	۲.۳
تئوری پتانسیل ۴۴	۱.۲.۳
پتانسیل سرعت ۴۴	۲.۲.۳
شرط پیوستگی و معادله لاپلاس ۴۵	۳.۲.۳
شرایط مرزی بستر دریا ۴۶	۴.۲.۳
شرط مرزی دینامیکی سطح آزاد ۴۷	۵.۲.۳
شرط مرزی سینماتیکی سطح آزاد ۴۹	۶.۲.۳
سرعت فاز ۵۲	۳.۳
سینماتیک ذره آب ۵۳	۴.۳
سرعت‌ها ۵۳	۱.۴.۳
جابه‌جایی‌ها ۵۵	۲.۴.۳
خط سیر ۵۵	۳.۴.۳
شتاب‌ها ۵۷	۴.۴.۳
فشار ۵۷	۵.۴.۳
انرژی موج ۵۸	۶.۴.۳
انتقال انرژی یا توان ۶۱	۵.۳
موج گروهی ۶۲	۶.۳
سرعت گروهی ۶۵	۷.۳

فصل ۴ امواج نامنظم ۷۱

مقدمه ۷۲	۱.۴
برهم‌نهی امواج ۷۲	۱.۱.۴
اندازه‌گیری مشخصات امواج ۷۴	۲.۱.۴
تحلیل آماری ساده امواج ۷۶	۳.۱.۴

۴.۱.۴	تحلیل اطلاعات ثبت شده امواج	۷۹
۵.۱.۴	طیف انرژی امواج	۸۳
۶.۱.۴	طیف استاندارد موج	۸۷
۷.۱.۴	ممان‌های طیفی SPECTRAL MOMENTS	۹۰

فصل ۵ امواج غیر خطی ۹۵

۱.۵	مقدمه	۹۶
۲.۵	امواج استوکس	۹۷
۳.۵	امواج کنوئیدال (CNOIDAL WAVE)	۱۰۳
۴.۵	امواج یکتا (SOLITARY WAVE)	۱۰۵
۵.۵	امواج عددی تابع جریان	۱۰۸
۶.۵	کاربرد تئوری موج	۱۱۰
۱.۶.۵	محدوده کاربرد	۱۱۱

فصل ۶ اطلاعات آماری امواج ۱۱۷

۱.۶	مقدمه	۱۱۸
۲.۶	نمونه‌های چشمی	۱۱۸
۱.۲.۶	کدهای وضعیت دریا	۱۱۸
۲.۲.۶	نمونه‌های مشاهده شده برای ارتفاع و دوره تناوب امواج	۱۱۹
۳.۶	اطلس امواج	۱۲۱
۱.۳.۶	نمونه‌های مشاهده شده	۱۲۱
۲.۳.۶	هیند کستینگ (HIND CASTING)	۱۲۳
۳.۳.۶	آمار اندازه‌گیری شده امواج	۱۲۴
۴.۶	شرایط دریایی	
۵.۶	اطلاعات باد در بنادر	
۱.۵.۶	اطلاعات باد در خلیج فارس	۱۳۱
۲.۵.۶	اطلاعات باد در دریای خزر	۱۳۵
۶.۶	اطلاعات جامع امواج در کشور	۱۳۶
۱.۶.۶	اطلاعات امواج در خلیج فارس	۱۳۶
۲.۶.۶	امواج در دریای خزر	۱۴۳

فصل ۷ امواج بلند ۱۴۹

۱.۷	جزر و مد	۱۵۰
-----	----------	-----

نیروهای تولیدکننده جزرومد	۱۵۱	۲.۷
چرخه جزرومدی شدید و خفیف	۱۵۳	۳.۷
اختلاف روزانه جزرومدی	۱۵۴	۴.۷
نیروهای مولد جزرومد	۱۶۰	۱.۴.۷
تحلیل و پیش بینی جزرومد	۱۶۲	۲.۴.۷
تسونامی	۱۶۲	۵.۷
نظریه‌های تولید تسونامی	۱۶۳	۱.۵.۷

فصل ۸ تغییر شکل امواج ۱۶۵

تولید و نمو موج به وسیله باد	۱۶۶	۱.۸
مدت وزش باد و طول بادگیر	۱۶۸	۱.۱.۸
تأثیر سواحل بر امواج	۱۷۰	۲.۸
انکسار موج	۱۷۰	۱.۲.۸
شکست امواج در آب کم عمق	۱۷۰	۳.۸
تفرق موج	۱۷۲	۴.۸
انعکاس موج	۱۷۲	۵.۸

فصل ۹ نیروی ناشی از امواج روی سازه‌های فراساحلی ۱۷۵

مقدمه	۱۷۶	۱.۹
جرم افزوده	۱۷۷	۲.۹
معادله مورپسون	۱۷۹	۳.۹
نیروهای ناشی از تئوری ایری	۱۸۲	۴.۹
تئوری فرود-کریلوف	۱۸۵	۵.۹
تئوری عمومی	۱۸۵	۶.۹
تئوری تفرق	۱۸۶	۷.۹
حل تحلیلی نیروی تفرق موج روی پایه استوانه ای بزرگ	۱۹۱	۸.۹
حل تحلیلی برای یک استوانه عمودی	۱۹۳	۹.۹
محاسن تفرق	۱۹۶	۱۰.۹
نیروهای کوبشی و ضربتی موج	۱۹۸	۱۱.۹

فصل ۱۰ تحلیل آزمایشگاهی و عددی امواج ۲۰۳

موج سازها و انواع آنها	۲۰۳	۱.۱۰
------------------------	-----	------

موج‌ساز هوایی ۲۰۳	۱.۱.۱۰
موج‌ساز پیستونی ۲۰۵	۲.۱.۱۰
موج‌ساز لولایی ۲۰۶	۳.۱.۱۰
موج‌ساز گوه‌ای ۲۰۹	۴.۱.۱۰
مقایسه انواع موج‌سازها ۲۰۹	۵.۱.۱۰
جاذب‌های انرژی از امواج ۲۱۱	۲.۱۰
حوضچه‌های آرامش و موج‌شکن‌ها ۲۱۵	۳.۱۰
موج‌شکن‌های شناور ۲۱۵	۱.۳.۱۰
موج‌شکن‌های شیب‌دار سنگی ۲۱۹	۲.۳.۱۰
مراجع ۲۲۵	