

بررسی عددی شیب بهینه دیوارهای ساحلی در مواجهه با امواج تصادفی دریایی با استفاده از نرم افزار SACS

رامین وفائی پور سرخابی^۱، محمدحسین امین فر^۲ و محمدعلی لطف‌اللهی یقین^{۳*}

^۱ دانشجوی دکتری تخصصی دانشکده فنی - مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

^۲ استادیار دانشکده فنی - مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

^۳ دانشیار دانشکده فنی - مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

چکیده

یکی از مهمترین بارهای وارد بر دیوارهای ساحلی، بار ناشی از امواج دریایی در حالت طوفانی می‌باشند. سطح آزاد آب، در این حالت تصادفی و تابع زمان بوده، لذا می‌تواند بصورت سری زمانی یا طیفی نشان داده شود. با برخورد امواج تصادفی، فشار وارد بر دیوار نیز بصورت سری زمانی و تصادفی بوده و در نتیجه نیروهای داخلی بوجود آمده در دیوار، مانند لنگر خمشی یا نیروی برشی، توزیع زمانی نامنظم خواهد داشت. با تغییر شیب دیوار، می‌توان نیروهای داخلی بوجود آمده دیوار را بررسی و به مقادیر حداقل دست یافت. در این راستا، دیوار در محدوده زاویه‌های ۴۵ درجه مثبت تا ۴۵ درجه منفی نسبت به محور قائم، با تغییرات ۵ درجه‌ای (در محدوده تأثیرگذار با تغییرات ۱ درجه) در نرم‌افزار SACS مدل‌سازی شده و تحت تأثیر امواج قرار داده شد. به منظور بررسی دقیق، وزن سازه و فشار هیدرواستاتیکی در نظر گرفته شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهند که وقتی دیوار با زاویه ۱۵ درجه مایل در امتداد موج قرار می‌گیرد، لنگر در پای دیوار کمترین مقدار را داشته، که می‌تواند در طراحی مورد استفاده قرار گیرد. **واژگان کلیدی:** دیوارهای ساحلی، امواج تصادفی، تحلیل پاسخ دینامیکی موج، شیب بهینه دیوار، نرم‌افزار SACS.

۱- مقدمه

افزایش می‌دهد و در دیوارهای شیبدار با شیب زیاد بالا روی موج و وزن آب روی دیوار افزایش خواهد یافت، لذا در حالت شیب کم، به نظر می‌رسد که وجود شیب کم در دیوار می‌تواند در کاهش لنگر، موثر واقع شود.

۲- مروری بر سوابق تحقیقات

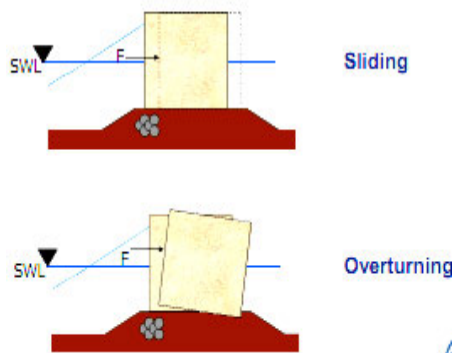
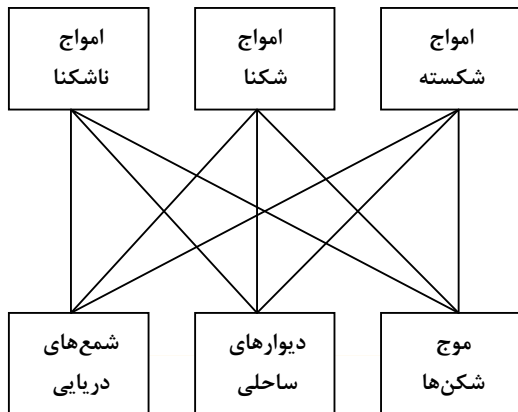
دیوارهای ساحلی زیادی در سراسر دنیا به دلیل نبود دقت فراوان در طراحی موجب خسارات فراوانی شده‌اند که بسیاری از عیب‌ها در نتیجه واژگونی سازه، ترک در قسمت‌های ضعیف و لغزش کل سازه بوده است. در شکل (۱)، برخورد موج با یک دیوار ساحلی و در شکل (۲)، نحوه لغزش و واژگونی در دیوارهای ساحلی نشان داده شده است [۲].



شکل ۱- برخورد موج با دیوار ساحلی [۳]

دیوارهای ساحلی به منظور حفاظت سواحل در برابر امواج و جلوگیری از ورود آب به سواحل و به منظور بکارگیری مناسب از زمین‌های ساحلی طراحی و ساخته می‌شوند. به منظور طراحی بهینه، در مهندسی سواحل بایستی اطلاعات مناسبی از بارهای وارد و رفتار سازه‌های ساحلی در برابر این بارها را داشت. مهمترین بارهای وارد بر روی دیوارهای ساحلی، امواج دریا می‌باشد که مسلماً در حالت طوفانی شدت آن بیشتر خواهد بود. پارامترهای اصلی هیدرودینامیکی موج شامل ارتفاع، پرپود و طول موج می‌باشند. با توجه به رفتار تصادفی موج، نمی‌توان رفتار سازه‌های ساحلی را فقط با تکیه بر تئوری‌های موجود به طور دقیق معین نمود، لذا در این موارد، استفاده از مطالعات آزمایشگاهی و همچنین استفاده از نرم‌افزارهای معتبر حائز اهمیت خواهد بود. در طراحی دیوارهای ساحلی، با توجه به اینکه لنگر پای دیواره، یکی از تأثیرگذارترین عوامل طراحی می‌باشد لذا تعیین آن، به هنگام تابش امواج تصادفی، کمک شایانی به طراحی خواهد نمود [۱].

باتوجه به امکان شیبدار نمودن دیوار، می‌توان از دیوارهای ساحلی شیبدار به منظور طراحی بهینه استفاده نمود. بکارگیری دیوارهای قائم، نیروی ضربه‌ای موج را به دلیل انعکاس کامل



شکل ۲- لغزش و واژگونی در دیوار [۳]

شکل ۳- مطالعه تأثیر نیروی امواج بر روی سازه‌های ساحلی

$$p_1 = \frac{1 + C_r}{2} \cdot \frac{\rho g H_i}{\cosh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \quad (3)$$

$$M = M_{HS} + M_{HD} = \frac{1}{6} \rho g d^3 + M_{HD} \quad (4)$$

در معادلات فوق ρ ، جرم حجمی آب، d عمق آب در جلوی دیوار، g شتاب ثقل، L طول موج و M_S لنگر حاصل از نیروی هیدرواستاتیکی آب، M_{HD} لنگر حاصل از نیروی هیدرودینامیکی (لنگر حاصل از ضربه امواج)، p_1 اضافه فشار در سطح آب در حالت برخورد موج با نقطه اوج خود و M لنگر کل در پای دیوار می‌باشند که می‌توان برای بدست آوردن M از دیاگرام‌های ارائه شده توسط Rundgren استفاده نمود که در شکل (۵)، آورده شده‌اند.

تئوری Minikin در سال ۱۹۶۳، بر مبنای مشاهدات تجربی بر روی دیوارهای بزرگ مقیاس، برای امواج منظم ارائه شده است. روابط (۱۰، ۱۱، ۱۲) و شکل (۶) دیاگرام فشار موج توسط ایشان، ارائه شده‌اند [۲].

$$p_{max} = 101\gamma d(1 + d/h)H/L \quad (5)$$

$$M = 8H^2d \quad \text{برای } \frac{H}{L_0} < 0.045 \quad (6)$$

$$M = 12.5H^3 \quad \text{برای } \frac{H}{L_0} > 0.045 \quad (7)$$

در معادلات فوق H ارتفاع موج و L_0 طول موج در آب عمیق بر حسب فوت می‌باشند.

امواج روی سازه‌ها، در سه حالت ناشکنا، شکنا و شکسته وارد می‌شوند که می‌توان با عدد تشابه شکست (ζ)، بصورت زیر بیان نمود [۳].

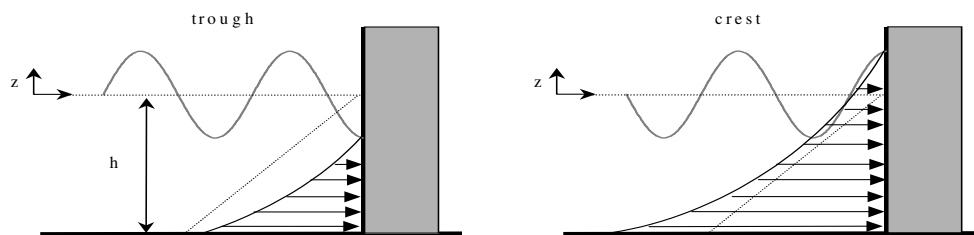
$$\zeta = \left(\frac{H_i}{L_0}\right)^{-0.5} \cdot \text{tg}\theta \quad (1)$$

که H_i ارتفاع موج تابشی روی سازه، L_0 طول موج در آب عمیق و θ زاویه شیب دیواره است. در دیوارهای با شیب کم و نزدیک به قائم معمولاً انعکاس اتفاق می‌افتد و ضریب انعکاس (C_r) نزدیک یک خواهد بود که در این حالت موج از نوع ناشکنا و در حالت با شیب زیاد دیوار C_r نزدیک صفر بوده و حالت موج شکسته و در حالت بینابین، موج شکنا خواهد بود [۳ و ۴].

$$C_r = \frac{H_r}{H_i} \quad (2)$$

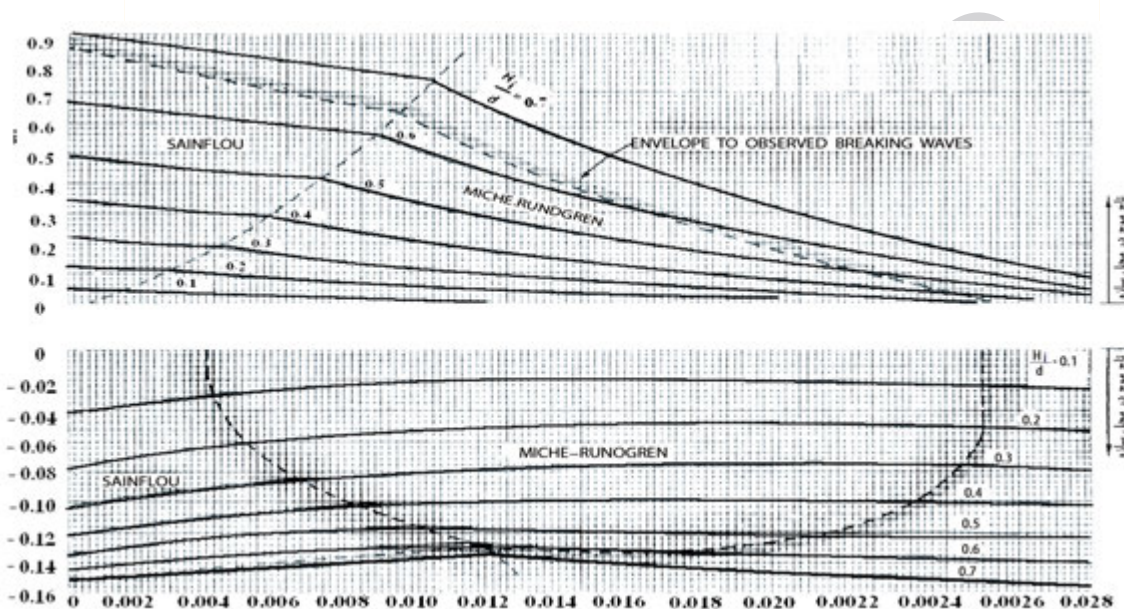
که H_r ، ارتفاع موج برگشتی از جلوی سازه می‌باشد. برای بررسی تأثیر نیروی امواج بر روی سازه‌های ساحلی مطابق الگوریتم شکل (۳)، تأثیر هر سه حالت امواج ناشکنا، شکنا و امواج شکسته مورد مطالعه قرار می‌گیرد [۳].

اولین مطالعات، به منظور طراحی دیوارهای ساحلی توسط Sainflou در سال ۱۹۲۸ انجام گرفته است که تئوری امواج ساده را برای محاسبه عملکرد هیدرودینامیکی موج روی دیوارها، ارائه داده است و این مطالعات توسط Rundgren در سال ۱۹۵۸ با بررسی‌های آزمایشگاهی تکمیل گردید. نحوه تأثیر موج و فشار وارده در شکل (۴) نشان داده شده است. معادلات (۳) و (۴)، معادلات Sainflou برای محاسبه تأثیر امواج ناشکنا روی دیوارهای قائم را ارائه می‌دهد [۴ و ۵].



Pressure distribution under standing waves based on Sainflou's theory

شکل ۴- نحوه تأثیر امواج روی دیوارهای قائم براساس تئوری Sainflou [۴ و ۵]



شکل ۵- دیاگرام‌های Rundgren برای محاسبه لنگر خمشی حاصل از تأثیر امواج روی دیوارهای قائم [۵]

$$M_{Goda} = l_{h;Goda} F_{h;Goda} + l_{v;Goda} F_{v;Goda} \quad (۸)$$

$$F_{h;Goda} = \frac{1}{2}(p_1 + p_4)R_c^* + \frac{1}{2}(p_1 + p_3)(d + d_c) \quad (۹)$$

$$F_{u;Goda} = \frac{1}{2} p_u B_c \quad (۱۰)$$

$$l_{h;Goda} = d + d_c + \frac{R_c^* (p_1 + 2p_4) - (d + d_c)^2 (p_1 + 2p_3)}{3R_c^* (p_1 + p_4) + 3(d + d_c)(p_1 + p_3)} \quad (۱۱)$$

$$l_{v;Goda} = \frac{1}{6} B_c \quad (۱۲)$$

در معادلات فوق:

$$\eta^* = 0.75H_i ,$$

Goda در سال ۱۹۷۴، تئوری اساسی تأثیر امواج بر روی دیوارهای ساحلی را ارائه نمود. معادلات (۵) تا (۹)، با فرض توزیع خطی برای فشار موج و مقدار ماکزیمم P_1 در سطح ایستایی، استوار است [۱]. شکل (۷) دیاگرام توزیع فشار با استفاده از تئوری Goda را نشان می‌دهد. همان‌طوری که از شکل ملاحظه می‌شود امواج در نظر گرفته شده حالت تصادفی ندارد و برای حالت حداکثر امواج منظم در نظر گرفته شده است. همچنین با استفاده از این تئوری می‌توان فشار بالا برنده ناشی از امواج برای دیوارهای ساخته شده روی بستر نفوذپذیر را در نظر گرفت.

لنگر پای دیوار با استفاده از تئوری Goda با استفاده از معادلات (۵) تا (۹) بیان می‌شوند.

سال ۲۰۰۵ مطالعات آزمایشگاهی را بر روی دیوارهای شیبدار و تأثیر زبری بر مقدار نیروی تأثیر امواج انجام داد [۶].
Muni Reddy در سال ۲۰۰۵، به منظور کاهش اثرات موج بر روی دیوارهای ساحلی از موج‌شکن‌های مستغرق، در جلوی دیوار استفاده نموده و کاهش اثرات آن بر مبنای نسبت ارتفاع موج‌شکن مستغرق به ارتفاع دیوار را مشاهده نمود [۷].
Jeng در سال ۲۰۰۵ نیز همانند Muni Reddy استفاده از موج‌شکن‌های مستغرق متخلخل در جلوی دیوار استفاده کرد [۸].

Zanuttigh در سال ۲۰۰۵، تأثیر استفاده از انواع مصالح بکار برده شده روی دیوار را در کاهش تأثیرات موج مورد مطالعه قرار داد [۹]. Pullen در سال ۲۰۰۹، با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری دقیق، مقدار خمش بوجود آمده بر روی دیوار ساحلی Wallingford در Edinburgh را مطالعه نمود [۱۰].
Cumo در سال ۲۰۱۰، مطالعات آزمایشگاهی وسیعی بر روی دیوارهای با شیب ملایم در مواجهه با امواج تصادفی [۱۱] و Anand در سال ۲۰۱۰، تأثیر امواج تصادفی بر روی دیوارهای انحنادار را بصورت عددی مورد بررسی قرار داد [۱۴].

در زمینه طراحی و مدل سازی دیوارهای ساحلی بسته‌های نرم‌افزاری جدیدی ارائه شده اند. از شاخص‌ترین این نرم افزارها می‌توان به SACS، OIAC، HYDRO PRO T HDMS اشاره نمود. علیرغم تحقیقات وسیع انجام یافته روی دیوارهای ساحلی، در خصوص تأثیرات قابل توجه شیبدار نمودن دیوار در جهت راستای موج و رو به موج، به منظور تعیین نیروهای حاصل از امواج تصادفی، با بکارگیری نرم‌افزارهای روز بخصوص نرم‌افزار SACS، تحقیقات زیادی صورت نگرفته است.

۳- امواج بر روی دیوارهای ساحلی

در حالت کلی امواج به دو دسته امواج منظم و تصادفی طبقه‌بندی می‌شوند که امواج تصادفی می‌توانند به وسیله ترکیبی از امواج منظم تعریف شوند. امواج دریا، در حالت طوفانی از نوع امواج تصادفی بوده و تراز سطح آب، به صورت غیرمنظم می‌باشد. پارامترهای هیدرولیکی موج تصادفی در شکل (۸)، تعریف شده است. در این حالت برای تعیین ارتفاع و پریدود موج از روش موج به موج با تقاطع صفر روبه بالا استفاده می‌شود.
امواج تصادفی را می‌توان با استفاده از تحلیل‌های طیفی روی امواج ثبت شده مورد بررسی قرار داد که در این راستا می‌توان با چگالی طیفی توجیه جامعی از امواج تابیده شده در شرایط دریا را بیان نمود [۱۶].

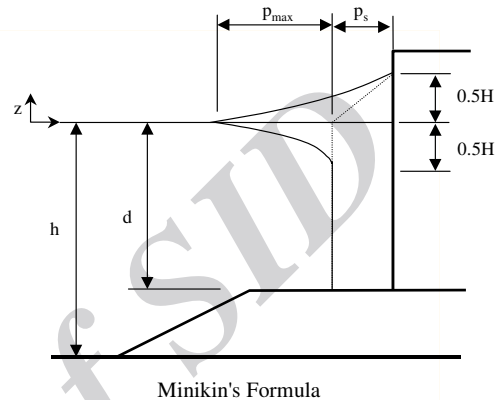
$$p_1 = 0.5(\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha^*) \rho g H_i,$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

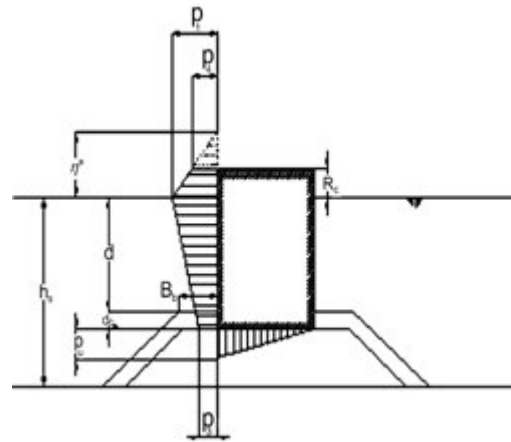
$$p_4 = \alpha_4 p_1,$$

$$p_u = 0.5 \alpha_1 \alpha_3 \rho g H_i$$

می‌باشد که ضرایب α ، ضرایب شرایط موج و ضرایب λ ضرایب شرایط هندسه سازه و $R_c^* = \min(R_c, \eta^*)$ تعریف می‌شود [۱].

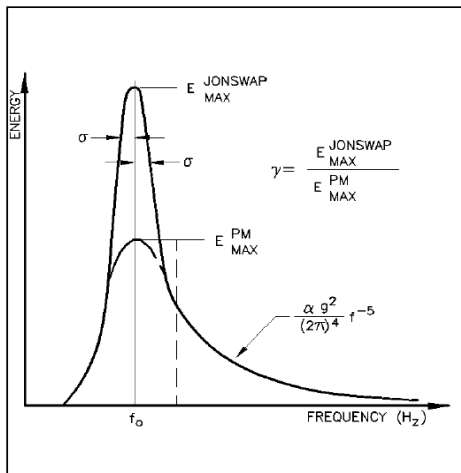


شکل ۶- دیاگرام فشار موج Minikin [۲]



شکل ۷- توزیع فشار با استفاده از تئوری Goda [۱]

Shuto در سال ۱۹۷۲ تئوری موج دوبعدی برای محاسبه نیروی حاصل از امواج دوبعدی با استفاده از تئوری لاگرانژ را ارائه نمود که این تئوری می‌تواند لنگر پای دیوار را هم در حالت شکنا و هم ناشکنا ارائه دهد [۴]. مطالعات عددی اندرکنش بین دیوار و امواج توسط Ahrens در سال ۱۹۹۳، Vander Meer در سال ۱۹۹۵ و Schüttrumpf, et. al. در سال ۱۹۹۴ در بررسی نیروهای وارد از طرف امواج انجام یافته است [۳ و ۵]. Neelamani در



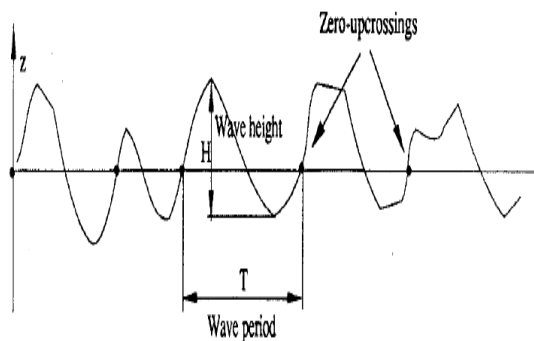
شکل ۹- طیف موج JONSWAP [۱۷]

۴- روش تحقیق

در این تحقیق مدل یک دیوار ساحلی به ابعاد $1m \times 1m$ و ضخامت $1cm$ ، از جنس فولادی که در کف گیردار و در کناره‌ها آزاد است در نظر گرفته شده است که این دیوار می‌تواند تحت زوایای مختلف نسبت به محور قائم قرار گیرد. دلیل در نظر گرفتن طول واحد برای دیوار، طول زیاد دیوارهای ساحلی نسبت به ابعاد مقطع آنها می‌باشند و اینگونه سازه‌ها، معمولاً در امتداد سواحل ساخته می‌شوند، بنابراین رفتار طول واحد می‌تواند بیانگر رفتار کل دیوار باشد. مدل در نظر گرفته شده، تحت زوایای مختلف در جهت امتداد موج و رو به موج، تحت تابش امواج تصادفی به مدت معینی قرار می‌گیرد و نمودار تاریخچه زمانی نیمرخ سطح آب و نیرو و لنگر پای دیوار ترسیم می‌گردد. مقادیر حداکثر لنگرها در هر مورد استخراج گردیده و باهم مورد مقایسه قرار می‌گیرند. به منظور بدست آوردن اندرکنش بین دیوار و امواج از نرم‌افزار SACS استفاده شده است.

۴-۱- نرم‌افزار SACS

SACS یکی از قوی‌ترین و پرکاربردترین نرم‌افزارهای تحلیل و طراحی سکوها دریا می‌باشد. با توجه به تعریف مسئله، اندرکنش بین دیوار و امواج در زیر شاخه برنامه تحلیل پاسخ دینامیکی امواج خواهد بود. ساختار کلی نرم‌افزار در شکل (۱۰) و روند پیشبرد تحلیل پاسخ دینامیکی در شکل (۱۱) نشان داده شده‌اند [۱۸].



شکل ۸- شمای تراز سطح آب برحسب زمان

براین مبنا، طیف‌های مختلفی نظیر طیف Bretschneider در سال ۱۹۵۹، P-M در سال ۱۹۶۴، TMA در سال ۱۹۸۵ و طیف JONSWAP در سال ۱۹۷۴ از روی داده‌های ثبت شده تعریف شده‌اند [۵ و ۱۵ و ۱۷].

Sorensen، طیف JONSWAP را یکی از پرکاربردترین طیف‌ها برای طراحی در سازه‌های ساحلی معرفی کرده است [۱۷]. از طرفی باتوجه به شرایط طبیعی آب‌های ایران، طیف‌های P-M و JONSWAP کاربرد بیشتری در طراحی سازه‌های ساحلی کشور را می‌تواند داشته باشد [۱۶]. تحقیقات جدیدی درباره ساخت طیف متناسب با شرایط اقلیمی ایران شروع شده است ولی در نبود این طیف می‌توان از طیف‌های مذکور استفاده نمود که در تحقیق حاضر از طیف JONSWAP استفاده شده است.

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} e^{-1.25(f_p/f)^4} \gamma a \quad (13)$$

در این طیف، ضریب γ معمولاً مقادیری بین $1/6$ تا 6 دارد اما عدد $3/3$ توصیه می‌شود. ضریب γ ، نسبت چگالی در فرکانس حداکثر برای طیف JONSWAP به طیف P-M می‌باشد. در معادله (۱۳)،

$$a = e^{-[(f-f_p)/(2\sigma^2 f_p^2)]}$$

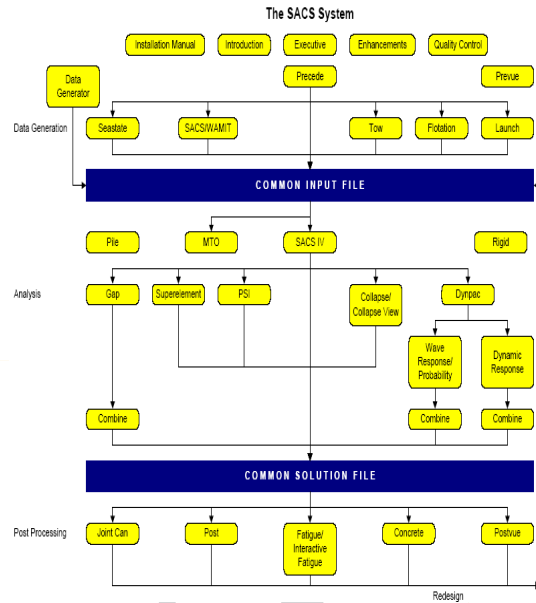
$$f_p = \frac{3.5g}{W} \left(\frac{gF}{W^2} \right)^{-0.33} \quad \text{و} \quad \alpha = 0.076 \left(\frac{gF}{W^2} \right)^{-0.22}$$

می‌باشند. در معادلات فوق F طول موجگاه، W سرعت باد در تراز $19/5$ متری، f فرکانس و f_p فرکانس حداکثر می‌باشد.

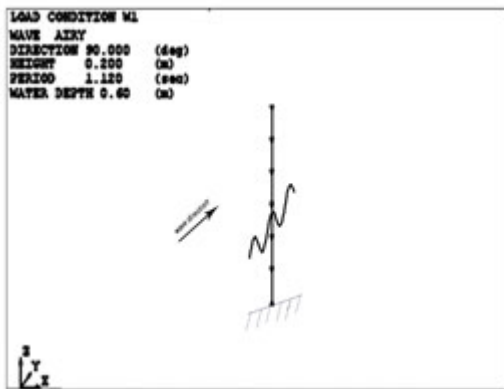
در جدول (۱)، مشخصات موج، آمده است. این مشخصات با توجه به شرایط محیطی حاکم بیان می‌شوند که پارامترهای ورودی موج می‌باشند. در کارهای عملی معمولاً پرپود موج ۱ الی ۱۰ ثانیه بوده و پرپود ۲/۵ ثانیه برای شرایط سواحل ایران مناسب می‌باشد و با توجه به تشابه عدد فرود و در نظر گرفتن اشل ۱ به ۵، پرپود موج اعمالی ۱/۱۲ ثانیه در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- مشخصات موج ورودی

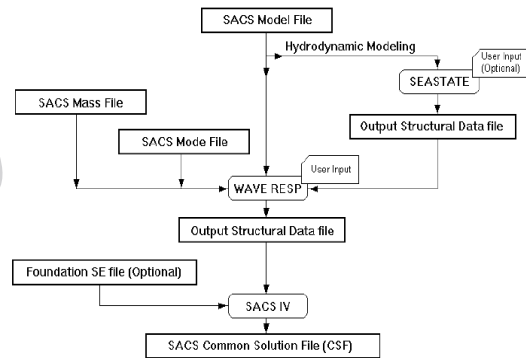
ارتفاع موج	۲۰ سانتی متر
ارتفاع آب	۶۰ سانتی متر
پرپود موج منظم	۱/۱۲ ثانیه
طیف موج	JONSWAP
پارامتر γ در طیف	۳
طول مدت اعمال موج	۱۵۰ و ۳۰۰ ثانیه
گام زمانی	۰/۰۲ ثانیه
پارامتر C در طیف	۰/۱۴۲



شکل ۱۰- ساختار کلی نرم‌افزار SACS [۱۸]



شکل ۱۲- مدل دیوار در نرم‌افزار

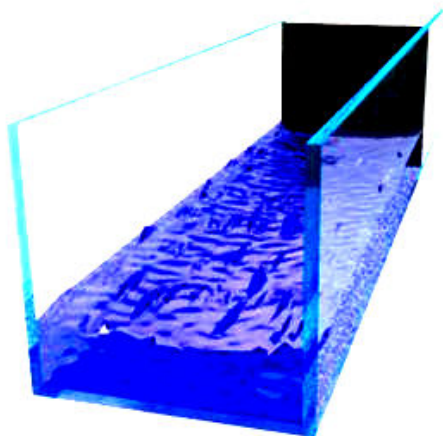


شکل ۱۱- روند پیشبرد تحلیل پاسخ دینامیکی در نرم‌افزار

SACS [۱۸]

۴-۲- مدل استفاده شده در نرم‌افزار

مدل هندسه دیوار، در زیر مجموعه SACINP، وارد می‌شود. در این قسمت علاوه بر معرفی هندسه سازه، بارگذاری اولیه، نظیر وزن سازه، حالت سکون دریا و موج منظم معرفی می‌گردند. این اطلاعات در قسمت تحلیل پاسخ دینامیکی موج مورد استفاده واقع می‌شوند. در شکل (۱۲)، مقطع عرضی مدل ایجاد شده و در شکل (۱۳) نمای سه‌بعدی دیوار ملاحظه می‌شود. به منظور تحلیل پاسخ دینامیکی موج^۱، ابتدا تحلیل استاتیکی^۲ و سپس تحلیل مودال^۳ صورت می‌گیرد.



شکل ۱۳- نمای سه بعدی دیوار قائم

^۱ Wave Response

^۲ Linear Static Analysis

^۳ Extract Mode

پروفیل سطح آب مطابق شکل‌های (۱۷) و (۱۸) برای طول مدت اعمال موج ۳۰۰ ثانیه باگام های ۰/۱۵ و ۰/۰۲ ثانیه و در شکل‌های (۱۹) و (۲۰) نمودار تاریخچه زمانی لنگر خمشی و نیروی برشی، برای طول مدت اعمال موج ۳۰۰ ثانیه باگام ۰/۰۲ ثانیه بدست آمده اند.

با مقایسه نمودار تاریخچه زمانی سطح آب (شکل (۱۸)) و تغییرات لنگر خمشی پای دیوار (شکل (۱۹)) می‌توان بصورت ظاهری ملاحظه نمود که وقوع ماگزیم‌های لنگر با حداکثرهای تراز سطح آب تطابق کاملاً خطی ندارد. در شکل (۲۱) و (۲۲) ملاحظه می‌شود که حداکثر فرکانس طیف سطح آب ۱ هرتز و حداکثر فرکانس طیف لنگر خمشی ۳/۶ هرتز می‌باشد. با توجه به اینکه از نتایج خروجی آنالیز مودال دیوار، فرکانس اصلی آن در مود اول ۳/۶۱ هرتز گردیده بود، ملاحظه می‌گردد که فرکانس غالب در پاسخ لنگر دیوار مربوط به فرکانس مود اول دیوار می‌باشد و علیرغم اینکه رفتار دیوار نسبت به تغییرات سطح آب خطی نبوده، لیکن با تقریب تابع تبدیل فرکانسی بین تغییرات سطح آب و لنگر خمشی پای دیوار، تعیین و در شکل (۲۳) ارائه گردیده است. در این شکل ملاحظه می‌گردد که پیک تحریک در ازای فرکانس طبیعی سازه یعنی ۳/۶ هرتز اتفاق می‌افتد.

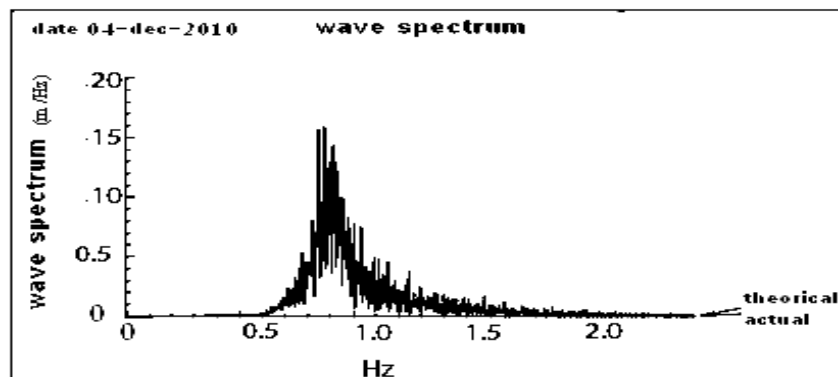
نرم‌افزار SACS، توانایی تحلیل استاتیکی و دینامیکی در برابر امواج تصادفی را دارد. همانطوری که در شکل (۲۴) مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی نسبت به تحلیل استاتیکی بیشتر بوده و رفتار دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. بنابراین در تحقیق حاضر تحلیل دینامیکی مبنای آنالیز قرار داده شده است.

طول مدت اعمال موج و گام زمانی مناسب، می‌تواند عامل مهمی در شبیه‌سازی موج، هم در سیستم‌های تولید موج آزمایشگاهی و هم در نرم‌افزار باشد. تحلیل‌های مختلف روی این دو عامل بر روی دیوار قائم، انجام یافته است. در این راستا، طول مدت تابش و گام زمانی‌های مختلفی در نرم‌افزار مورد بررسی قرار گرفت. به عنوان نمونه در شکل (۱۴) ملاحظه می‌شود که در ازای گام زمانی ۰/۱۵ ثانیه با مدت اعمال موج ۳۰۰ ثانیه، هم‌پوشانی مناسبی بین طیف تولیدی SACS و طیف JONSWAP وجود ندارد در صورتی که در شکل (۱۵)، با تغییر گام زمانی به ۰/۰۲ ثانیه هم‌پوشانی مطلوبی مشاهده می‌شود. این مسئله به دلیل افزایش نقاط برداشت شده در یک طول موج می‌باشد. کاهش طول مدت اعمال موج باعث کاهش دقت افزایش آن موجب، بیشتر شدن زمان پردازش برنامه و تعداد داده‌ها می‌شود لذا بعد از تحلیل‌های زیاد و سعی و خطا، طول مدت اعمال موج ۳۰۰ ثانیه با گام زمانی ۰/۰۲ ثانیه اعمال گردید.

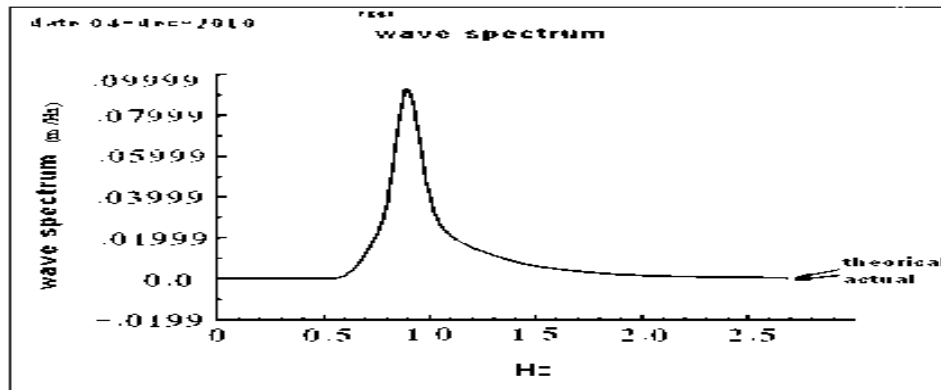
۵- تحلیل‌های انجام یافته

برای بدست آوردن بهترین شیب به منظور دستیابی به کمترین لنگر خمشی در دیوارهای ساحلی، انتخاب دیوار مطابق شکل (۱۶) انتخاب گردیده‌اند. در این شکل در صورتی که دیوار رو به موج باشد زاویه $(+\theta)$ ، در دیوار قائم، زاویه $(\theta=0)$ و در دیوارهای در جهت امتداد موج $(-\theta)$ در نظر گرفته می‌شود. مقادیر زوایای قرارگیری دیوار بین $+45$ و -45 درجه با تغییر ۵ درجه‌ای در نظر گرفته شده است. و در محدوده زاویه‌هایی که کاهش اثر موج روی لنگر مشاهده گردیده، تغییرات بازای هر ۱ درجه مورد بررسی قرار گرفته است.

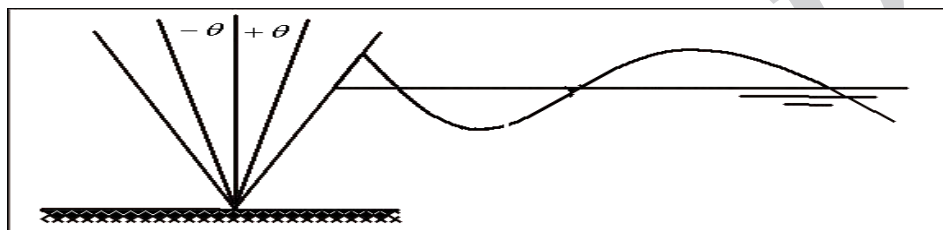
برای هر زاویه، تحلیل‌های استاتیکی، مودال و دینامیکی مجزا صورت گرفته است.



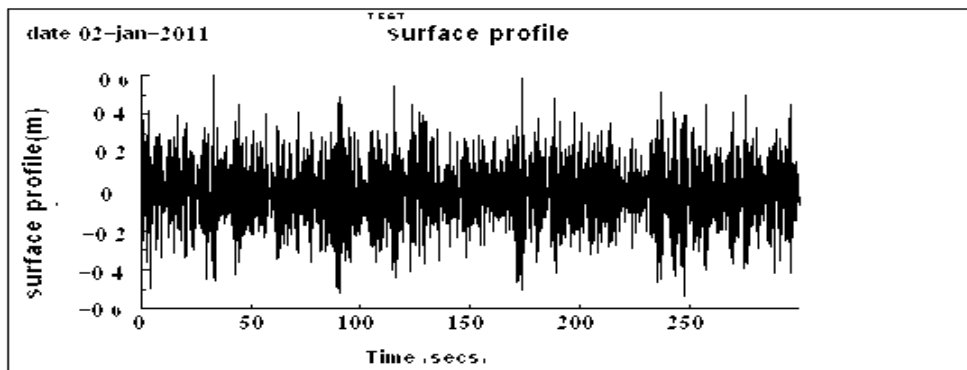
شکل ۱۴- طیف تئوری و ایجاد شده برای طول مدت اعمال موج ۳۰۰ ثانیه با گام زمان ۰/۱۵ ثانیه



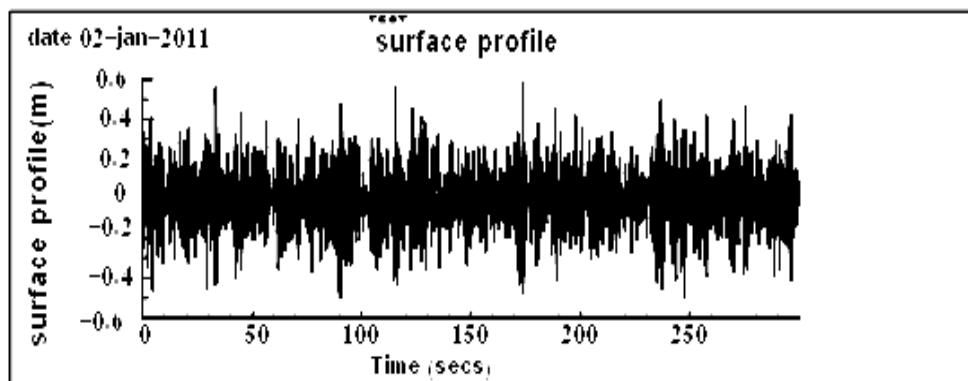
شکل ۱۵- طیف تئوری و ایجاد شده برای طول مدت اعمال موج ۳۰۰ ثانیه با گام زمانی ۰/۰۲ ثانیه



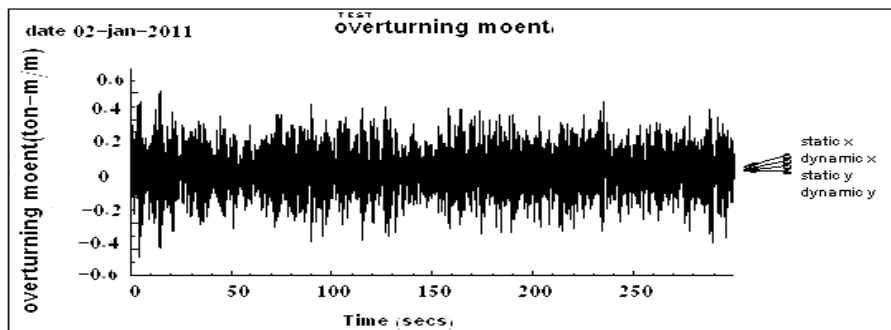
شکل ۱۶- نحوه قرارگیری دیوار در مقابل موج



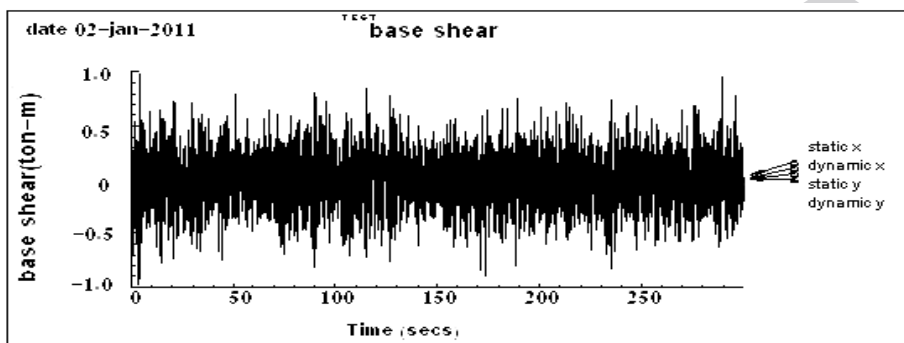
شکل ۱۷- پروفیل سطح آب (طول مدت اعمال موج ۳۰۰ ثانیه و گام ۰/۱۵ ثانیه)



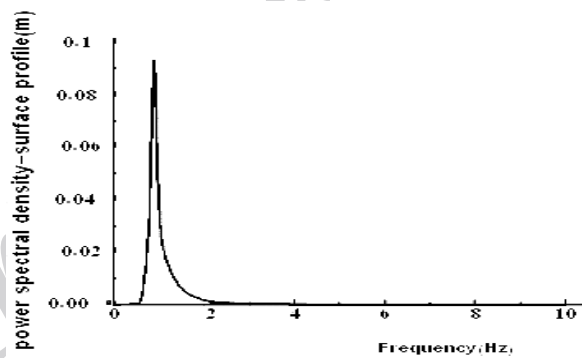
شکل ۱۸- پروفیل سطح آب (طول مدت اعمال موج ۱۵۰ ثانیه و گام ۰/۰۲ ثانیه)



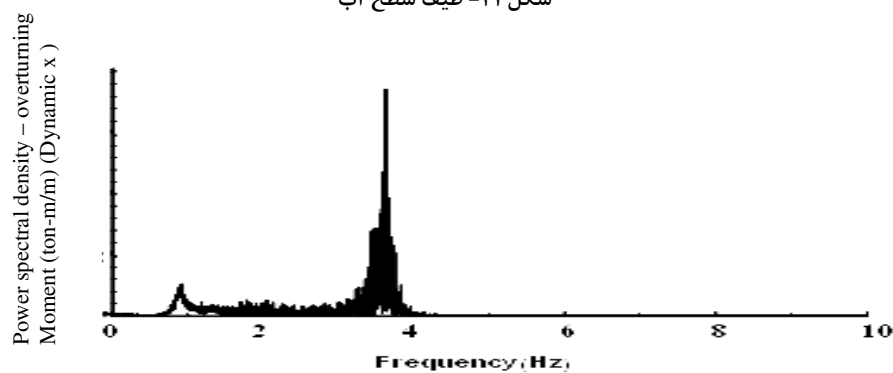
شکل ۱۹- لنگر خمشی پای دیوار (طول مدت اعمال موج ۳۰۰ ثانیه و گام ۰/۰۲ ثانیه)



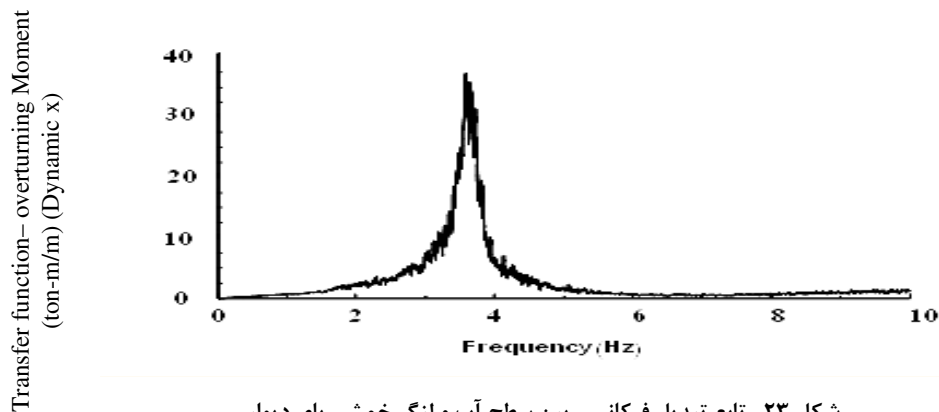
شکل ۲۰- نیروی برشی پای دیوار (طول مدت اعمال موج ۳۰۰ ثانیه و گام ۰/۰۲ ثانیه)



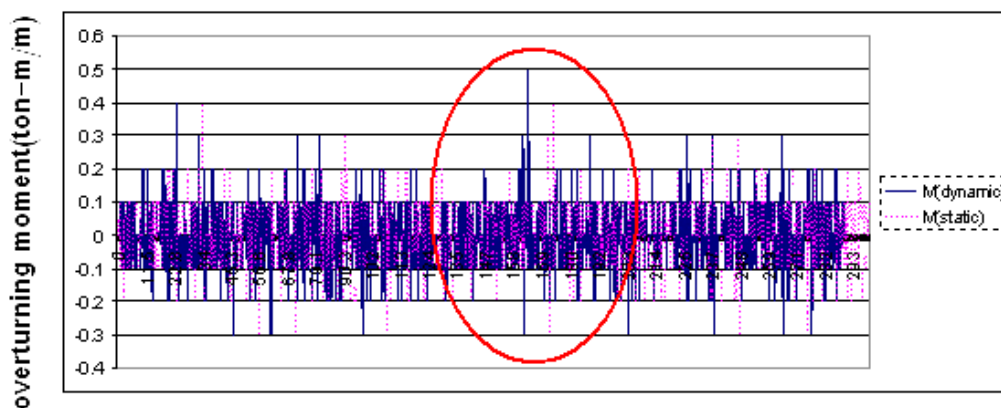
شکل ۲۱- طیف سطح آب



شکل ۲۲- طیف لنگر خمشی پای دیوار



شکل ۲۳- تابع تبدیل فرکانسی بین سطح آب و لنگر خمشی پای دیوار



شکل ۲۴- لنگر پای دیوار در حالت استاتیکی و دینامیکی برای دیوار قائم

۶- بحث و بررسی نتایج

با توجه به مباحث فوق، به منظور تعیین بهینه‌ترین شیب دیواری که موجب کاهش لنگر خمشی پای دیوار می‌گردد، مدل‌های مربوط به دیوار با زای شیب‌های مختلف و با گام‌های زاویه‌ای ۵ درجه بین ۴۵+ و ۴۵-، مورد تحلیل قرار گرفته و از هر سری زمانی استخراج شده مربوط به تابش موج تصادفی ۳۰۰ ثانیه تحلیل، مقادیر حداکثر لنگر خمشی بدست آمده‌اند. با توجه به اینکه در این نمودار محدوده زوایای ۲۵- تا ۱۰- درجه بیشترین کاهش در مقدار لنگر را نشان می‌دهند لذا این محدوده بصورت مجزا مجدداً با تغییرات ۱ درجه‌ای زاویه دیوار نسبت به محور قائم مورد تحلیل قرار گرفته و حداکثرهای استخراج شده از هر سری زمانی استخراج و نتیجه آن در شکل (۲۶) ارائه گردیده است. در هر دو شکل لنگر خمشی در محور قائم بصورت بی‌بعد ($\frac{M}{\rho g d^3}$) به ازای طول واحد دیوار نشان داده شده است.

همانطوری که از نمودار شکل (۲۶) مشاهده می‌شود در صورت قرار گرفتن دیوار با زاویه ۱۵ درجه نسبت به محور قائم و در امتداد موج، لنگر خمشی حاصل از برخورد امواج تصادفی با دیوار

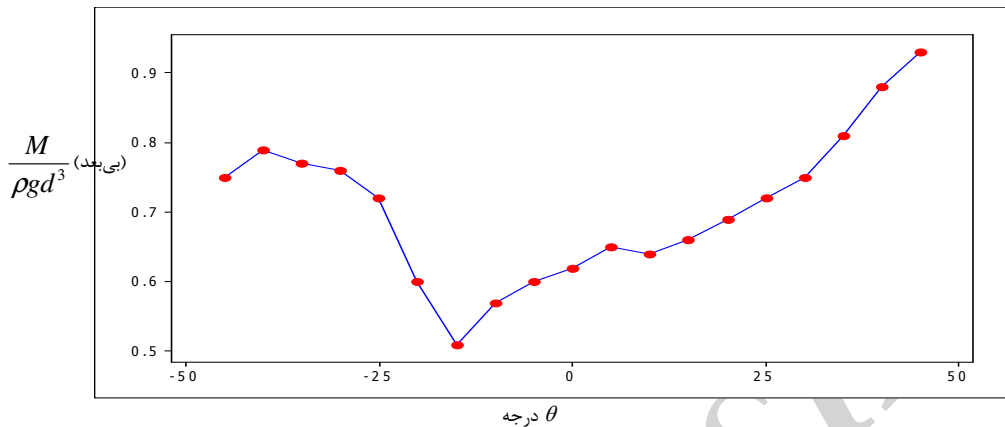
کمترین مقدار را خواهد داشت. به منظور ارائه دقیق از شیب بهینه شکل (۲۷) نحوه قرارگیری دیوار با زاویه مورد نظر را نشان می‌دهد.

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

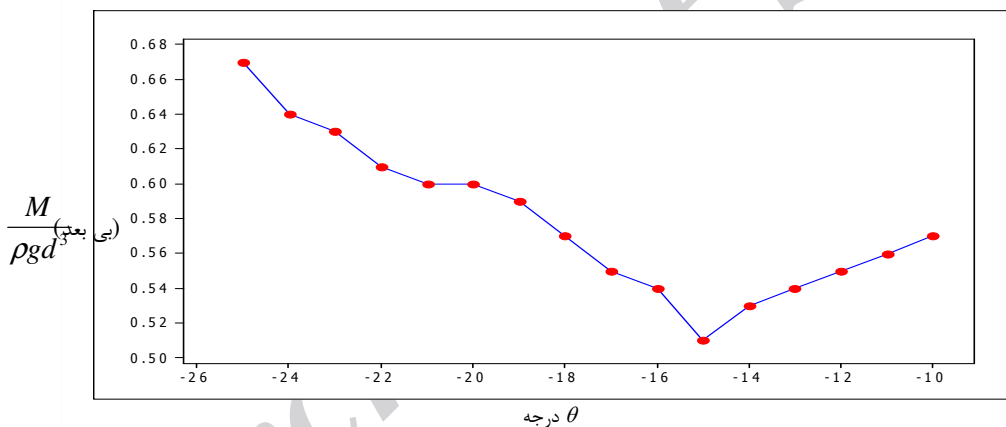
اهم نتایج حاصل از تحقیق حاضر به شرح زیر خلاصه می‌شود.

- ۱- تعیین مدت تداوم اعمال موج و گام موج بایستی بگونه‌ای تعیین گردد که تطابق مناسبی با طیف‌های معتبر داشته باشد. در این تحقیق مدت زمان اعمال موج ۳۰۰ ثانیه با گام زمانی ۰/۰۲ ثانیه، طیف JONSWAP را به خوبی پوشش می‌دهد.
- ۲- مقادیر لنگر پای دیوار در برابر امواج تصادفی حاصل از تحلیل دینامیکی، نسبت به تحلیل استاتیکی بیشتر و دقیق‌تر است.
- ۳- لنگر خمشی پای دیوار تحت اثر امواج عمدتاً در ازای فرکانس طبیعی خود سازه حداکثر واکنش خود را نشان می‌دهد. این موضوع از بررسی تغییرات تابع تبدیل فرکانسی لنگر نسبت به تغییرات سطح آب نیز قابل مشاهده است.

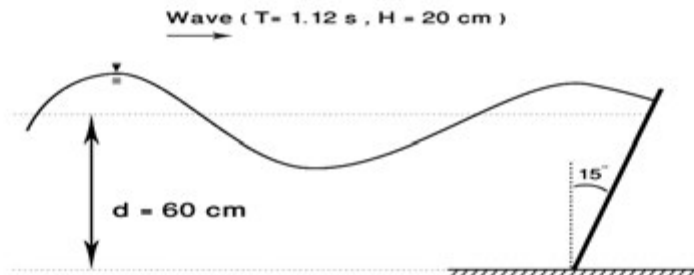
۴- بهترین زاویه قرارگیری دیوار به منظور دستیابی به حداقل لنگر پای دیوار ۱۵ درجه در راستای موج برآورد شده است.
 ۵- با توجه به قابلیت تغییر هندسه دیوارهای ساحلی، می‌توان با اشکال مختلف از دیوارها، نظیر دیوارهای انحنادار و دیوارهای پوشش‌دار، تحقیق حاضر را بسط داد.



شکل ۲۵- نمودار زاویه (θ) در مقابل $\frac{M}{\rho g d^3}$ (قرارگیری دیوار بین زوایای ۴۵+ و ۴۵- درجه با تغییر ۵ درجه‌ای)



شکل ۲۶- نمودار زاویه (θ) در مقابل $\frac{M}{\rho g d^3}$ (قرارگیری دیوار بین زوایای ۲۵- تا ۱۰- درجه با تغییر زاویه ۱ درجه)



شکل ۲۷- دیوار با زاویه ۱۵ درجه مایل در امتداد موج، لنگر

- ۸- مراجع
- [11] Cuomo, G., Allsop, W., Takahashi, S., "Scaling Wave Impact Pressures on Vertical Walls", *Coastal Engineering*, Vol. 57, 2010, 604-609.
- [12] Ichikawa, M., Saitoh, T., Miao, G., "Theoretical Analysis of Wave and Structure interaction Around a composite-type coastal structures- A case Study of a Seawall and Detached Breakwaters", *Journal of Hydrodynamics*, Vol 22, 2010, 482-488.
- [13] Cuomo, G., Allsop, W., Bruce, T., Pearson, J., "Breaking Wave Loads at Vertical Seawalls and Break Waters", *Coastal Engineering*, Vol. 57, 2010, 424- 439.
- [14] Ahand, K.V., Sundor, V., Sannasiraj, W., "Dynamic Pressures on Curved from Seawall Models under Random Waves", *Journal of Hydrodynamics*, Vol22, 2010, 538-544.
- [15] SACS 5.2 Users Guide, SACS Inc, 2005.
- [۱۶] آیین‌نامه طراحی و سازه‌های دریایی ایران، نشریه شماره ۱-۳۰۰، ۱۳۸۵.
- [17] Sorensen, R.M., "Basic Wave Mechanic for Coastal and Ocean Engineers", John Wiley, New York, 1993.
- [۱۸] هوشیار، س.، "مبانی طرح و اجرای سکوه‌های دریایی"، فدک ایستاتیس، ۱۳۸۸.
- [۱۹] وفایی‌پور، ر.، لطف‌اللهی یقین، م. ع.، امین‌فر، م. ح.، "تولید امواج نامنظم با استفاده از سیستم موج‌ساز لولایی"، دوازدهمین همایش صنایع دریایی ایران، زیباکنار، ۱۳۸۹.
- [1] Goda, Y., "Random Seas and Design of Maritime structures", World scientific, 2000, 443-551.
- [2] Minkin, R. R., "Winds, Waves and Maritime structures", *Studies in Harbor Making and in Protection of Coasts*, 2nd Rev. Ed., Griffin, 1963, 224-304.
- [3] SPM, "Shore protection Manual", US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg MS. 1984
- [4] Neelamani, S., Schüttrumpf, H., Muttary, M., Oumeraci, H., "Prediction of Wave pressures on Smooth Impermeable Seawalls", *Ocean Engineering*, Vol26, 1999, 739-765.
- [۵] چگینی، و.، "راهنمای طراحی موج شکن‌ها"، شرکت جهاد تحقیقات و آبخیزداری، ۱۳۷۷.
- [6] Neelamani, S., Sandhya, N., "Surface Roughness Effect of Vertical and Sloped Seawall in Incident Random Wave Fields", *Ocean Engineering*, Vol32, 2005, 395-416.
- [7] Muni Reddy, M. G., Neelamani, S., "Hydrodynamic Studies on Vertical Seawall Defended by Low-Crested Break Water", *Ocean Engineering*, Vol 32, 2005, 747-764.
- [8] Jeng, D. S., Schacht, C., Lemckert, C., "Experimental Study on Ocean Waves Propagation over a Submerged Ocean Engineering", Vol32, 2005, 2231-2240.
- [9] Zanuttigh, B., Vander Meer, W., "Wave Reflection from coastal structures in Design conditions", *Coastal Engineering*, Vol55, 2008, 771-779.
- [10] Pullen, T., Allsop, W., Pearson, J., "Field and Laboratory Measurements of Mean Over topping and Spatial Distribution at vertical Seawall", *Coastal Engineering*, Vol. 56, 2009, 121-140.