ارزیابی سکوهای پایه ثابت تحت امواج حدی منطقه خلیج فارس با استفاده از روش زمان دوام موج

وحیدرضا جهانمرد[۱]، محمد علی داستان[۲*]، محمد رضا تابش‌پور[۳]، محمد سعید سیف[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ v_jahanmard@mech.sharif.edu
[۲] دانشجوی دکترا، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ dastan@mech.sharif.edu
[۳] استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ tabeshpour@sharif.edu
[۴] استاد، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف؛ seif@sharif.edu

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۱/۱۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۲۳
تاریخ انتشار مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

کلمات کلیدی:
شرایط دریایی خلیج فارس
روش زمان دوام موج
سکوی پایه ثابت
ارزیابی

چکیده

زمان دوام موج روشی در حوزه زمان است که از آن می‌توان جهت ارزیابی پاسخ سازه‌های دریایی تحت شرایط طوفانی مختلف استفاده کرد. در این روش، رکوردهای شرایط حدی مختلف امواج دریا که نشان دهنده طوفان‌هایی با شدت‌های مختلف هستند جای خود را به رکورد مصنوعی (تابع موج) می‌دهند که شدت آن با گذشت زمان افزایش می‌یابد. بر این مبنا یک رکورد تابع موج می‌تواند جایگزین تعداد زیادی رکورد امواج دریا با شدت‌های مختلف شود و بدین صورت هزینه محاسباتی به میزان قابل توجهی کاهش یابد. همچنین در این روش قابلیت اعتمادپذیری سازه‌ها می‌تواند بر اساس مدت زمانی که آن‌ها در برابر بارگذاری تابع موج پاسخ قابل قبولی نشان می‌دهند، سنجیده شود. در این مطالعه روش تولید این رکوردهای مصنوعی تشریح شده و کاربرد آن بر روی یک سکوی پایه ثابت تحت امواج حدی منطقه خلیج فارس بررسی شده است. جهت ارزیابی دقت این روش در تخمین پاسخ سازه، پاسخ‌های بیشینه جابجایی عرشه و برش پایه حاصل از روش زمان دوام موج با پاسخ‌های حاصل از تحلیل‌های سه ساعته با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که روش زمان دوام موج توانسته است که نتایج تحلیل سه ساعته را با دقت قابل قبولی تخمین بزند.

Evaluation of Fixed Offshore Structures under Persian Gulf Sea Conditions by WET Method

Vahidreza Jahanmard[1], Mohammad Ali Dastan Diznab[2*], Mohammad Reza Tabeshpour[3], Mohammad Saeed Seif[4]

[1] M.Sc. Student, Dept. of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology; v_jahanmard@mech.sharif.edu
[2] Ph.D. candidate, Dept. of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology; dastan@mech.sharif.edu
[3] Assistant professor, Center of Excellence in Hydrodynamics and Dynamic of Marine Vehicles, Department of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology; tabeshpour@sharif.edu
[4] Professor, Center of Excellence in Hydrodynamics and Dynamic of Marine Vehicles, Department of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology; seif@sharif.edu

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 8 Apr. 2014
Accepted: 13 Jan. 2015
Available online: 11 Mar. 2015

Keywords:
Persian Gulf sea conditions
WET
Fixed offshore structure
Assessment

ABSTRACT

Wave endurance time (WET) is a time domain method for evaluating the response of offshore structures under different storm conditions. In this method, intensifying artificial records named wave functions (WFs) are generated in place of various random records of extreme sea states. In this regard, the computational costs are reduced, and reliability of structures is evaluated by the endurance time. In this study, a description of WET concept is presented, and also generation of initial type of WFs is thoroughly addressed for the Persian Gulf region. To consider the accuracy of this method, the results of WET method are compared with typical 3h extreme wave simulations for maximum base shear and deck displacement. The results indicate that there is acceptable agreement between two approaches.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]

۱ - مقدمه

برای دستیابی به طراحی مطلوب در سازه‌های فراساحلی، نیاز به ارزیابی قابل اطمینان از بارگذاری‌های محیطی به خوبی احساس می‌گردد. در میان بارهای محیطی وارد بر سازه، امواج دریا با ماهیت غیرخطی و پیچیده، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشند. این حقیقت موجب گردیده تا مطالعات صورت گرفته، در راستای ارائه مدلی ساده و قابل اطمینان از سطح دریا سوق یابد [۱-۴]. در راهکارهای پیشنهاد شده، عمدتا تلاش می‌گردد که تحلیل‌ها در کمترین زمان و با قابلیت اطمینان بالا صورت پذیرند. در آیین‌نامه‌های سازه‌های دریایی، سه روش پوش‌آور، طیفی و تاریخچه زمانی برای تحلیل سازه‌ها توصیه می‌گردد [۵, ۶]، که هر کدام دارای مزایا و معایبی می‌باشند. در این میان، تحلیل‌های صورت گرفته برای محاسبه پاسخ‌های حدی در حوزه زمان از صحت قابل قبولی نسبت به دیگر روش‌ها برخوردار می‌باشند. این در حالی است که تحلیل‌های تاریخچه زمانی بسیار زمان‌بر می‌باشند، به ویژه هنگامی که تحلیل برای سطوح مختلف تحریک صورت پذیرد [۷].

در مطالعات اخیر، فرم‌های مختلفی از روش تاریخچه زمانی برای برآورد عملکرد کامل سازه در حالت‌های دریایی مختلف معرفی شده است [۸-۱۰]. در روش‌های ارائه شده، رکوردهای مختلف امواج در حالت‌های دریایی مورد نظر تولید شده و بصورت قطار امواج در کنار یکدیگر قرار داده می‌شوند و رکورد واحدی برای ارزیابی سازه در سطوح تحریک انتخاب شده، عرضه می‌کنند. در این ساختارها، انتخاب سطوح تحریک بیشتر به طول رکورد بزرگتر منجر می‌گردند، که بدلیل افزایش زمان تحلیل، برای مهندسین خوشایند نمی‌باشد.

هدف از این مطالعه، معرفی روش جدید زمان دوام موج[1] برای ارزیابی سازه‌های فراساحلی تحت شرایط امواج حدی مختلف با انجام تنها یک تحلیل تاریخچه زمانی می‌باشد. در این روش سعی می‌گردد تا بر خلاف روش‌های قبل، افزایش تعداد سطوح تحریک تاثیری بر طول رکورد نداشته باشد و با عرضه رکوردی مصنوعی از پدیده پیچیده موج، تخمین قابل قبولی از پاسخ سازه در شرایط طوفانی مختلف و در مدت زمان تحلیل کوتاه ارائه شود. در این مقاله، تعریف و فرآیند طراحی روش زمان دوام موج شرح داده خواهد شد و در نهایت با بررسی موردی یک سکوی ساده سازی شده به روش سیستم چند درجه آزادی و مقایسه نتایج، با نتایج حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی سه ساعته توصیه شده در آیین‌نامه‌ها، اعتبار روش زمان دوام موج ارزیابی می‌گردد.

۲- مفاهیم روش زمان دوام موج

تعاریف اولیه روش زمان دوام موج، از تست ورزشی استاندارد که به منظور ارزیابی سطح سلامت سیستم قلبی عروقی بدن انسان‌ها استفاده می‌گردد، الهام می‌گیرد [۱۲،۱۱]. در این تست، عملکرد سیستم قلبی عروقی با پیاده‌روی بر روی نوارگردانی که سرعت و شیب متغییر دارد ارزیابی می‌گردد. افزایش سرعت و شیب در این تست تا زمانی که معیارهای بیولوژیکی غیر طبیعی مشاهده گردد، ادامه می‌یابد. در سال‌های اخیر، این تعریف برای ارزیابی عملکرد سازه‌ها تحت بارگذاری زلزله نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳-۱۵].

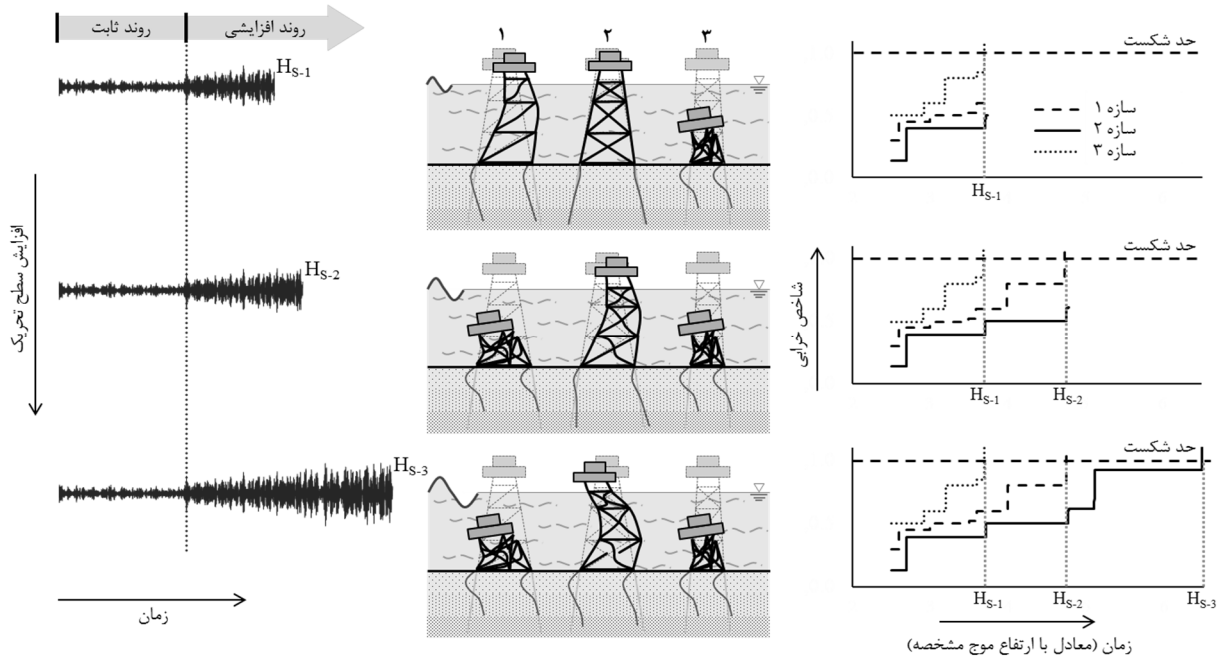
در روش زمان دوام موج، سازه‌های فراساحلی تحت شرایط موج حدی مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و سعی می‌گردد، تا حد امکان در زمان تحلیل صرفه جویی گردد. در این روش، عملکرد سازه‌های فراساحلی تحت تحریک یک رکورد افزایشی موج با عنوان تابع موج[2] و بر مبنای حداکثر زمان تحمل، مورد قضاوت قرار می‌گیرند. تابع موج بر حسب زمان بیانگر حالت‌های مختلفی از شرایط دریا می‌باشد که از این رو، می‌تواند جایگزین مناسبی برای چندین تحلیل سه ساعته موج باشد.

مفهوم روش زمان دوام موج را می‌توان با ارائه یک آزمایش فرضی بیان نمود (شکل ۱). در این آزمایش، مقاومت سه سکوی دریایی با مشخصات سازه‌ای مجهول تحت تحریک تابع موج مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

با شروع آزمایش، پارامترهای مورد نیاز مهندسی[3] نظیر جابجایی عرشه و یا برش پایه در طول زمان آزمایش ثبت می‌گردد. در گام نخست، برای دستیابی به اولین حالت دریایی (تولید اولین طیف مشخص موج)، نیاز می‌باشد که تابع موج برای مدتی روندی غیر افزایشی (روند ثابت[4]) داشته باشد. طول این بازه برابر با حداقل زمان لازم برای تولید اولین طیف انرژی از رکورد تابع موج می‌باشد. در گام بعد، تابع موج روندی افزایشی به خود می‌گیرد و ارتفاع موج مشخصه با زمان افزایش می‌یابد. در این هنگام، همانطور که ارتفاع موج افزایش می‌یابد، زمانی فرا می‌رسد که پاسخ اولین سازه (سازه ۳) از حد معیار قابل قبول عبور می‌کند. با گذشت زمان، بترتیب سازه‌های ۱ و ۲ نیز فرو می‌پاشند و آزمایش به پایان می‌رسد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]



شکل ۱ - آزمایش فرضی سکوهای دریایی به روش زمان دوام موج

در این تست، سازه‌هایی که دارای زمان تحمل بزرگتری می‌باشند، عملکرد بهتری در برابر تحریک موج از خود نشان می‌دهند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که سازه ۲ و ۳ بترتیب بعنوان بهترین و بدترین سازه در برابر بارگذاری حدی امواج رتبه‌بندی می‌شوند. قابل توجه است که فروپاشی سازه، همواره معیار مناسبی برای زمان دوام موج نمی‌باشد و دیگر معیارها، همچون بیشینه جابجایی عرشه مجاز نیز می‌تواند بعنوان معیاری مناسب، انتخاب گردد.

تحلیل زمان دوام موج و تاریخچه زمانی مشابه یکدیگر صورت می‌پذیرند با این تفاوت که در تحلیل زمان دوام موج، بجای رکورد سه ساعته امواج از توابع موج استفاده می‌گردد. تحریک در تحلیل‌های تاریخچه زمانی، رکورد تصادفی امواج در یک حالت خاص دریایی می‌باشد، در حالی که در روش زمان دوام موج، سازه تحت تحریک تابع موج، حالت‌های مختلف دریایی را با اولین تحلیل تجربه می‌کند. به همین دلیل، انتظار می‌رود پاسخ سازه در روش زمان دوام موج برخلاف روش تاریخچه زمانی معمول دارای روندی افزایشی باشد.

۳- تولید توابع موج

در روش پیشنهاد شده، توابع موج نقش کلیدی در ارزیابی سازه‌های دریایی را ایفا می‌کنند. این توابع می‌بایست بگونه‌ای تولید گردند که تنها با یک تحلیل تاریخچه زمانی، بتوان تخمین مناسبی از عملکرد سازه در شرایط موج حدی مختلف ارائه داد. در این راستا، می‌بایست دو موضوع مهم، روند افزایشی پروفیل موج و همچنین سازگاری با ماهیت بارگذاری موج، در این توابع مورد توجه قرار گیرد. واضح است که تلاش‌های بیشتر برای دستیابی به اهداف ذکر شده، بهبود دقت در ارزیابی سازه‌ها را در پی خواهد داشت.

۳-۱- روند افزایشی

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد، روند افزایشی ارتفاع موج مشخصه در پروفیل توابع موج، دارای دو فاز ثابت و افزایشی می‌باشد. طول فاز ثابت تابع موج، برابر است با حداقل زمان قابل اطمینان که می‌توان طیف انرژی را برای رکورد موج تعیین نمود. مطابق با توصیه آیین‌نامه‌های دریایی، زمان مورد نیاز برای استخراج طیف از تاریخچه زمانی و بلعکس برابر با سه ساعت می‌باشد [۱۷،۱۶] و برای تعیین طیف موج یک منطقه خاص باید از رکوردهای مختلف استفاده کرد. علاوه براین، مطابق با گزارشات ITTC (1984)، می‌توان حداقل طول رکورد برای ثابت ماندن شرایط دریایی را بر حسب تعداد سیکل‌ها موج (N) بیان نمود. در این صورت، طول رکورد بسته به پریود غالب موج، متغییر می‌گردد [۱۸]. بنابراین، زمان مورد نیاز برای فاز اولیه تابع موج بصورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$t_{initial} = N \times T_{p\text{-}initial} \qquad (۱)$$

که در اینجا $T_{\text{p-initial}}$ پریود غالب طیف اولیه و t_{initial} نقطه زمانی جداکننده دو فاز تابع موج از یکدیگر می‌باشد. مطالعات اولیه نشان می‌دهند که ۵۰۰ سیکل، مقدار قابل قبولی برای بیان حداقل تعداد سیکل مورد نیاز امواج خلیج فارس می‌باشد [۱۹].

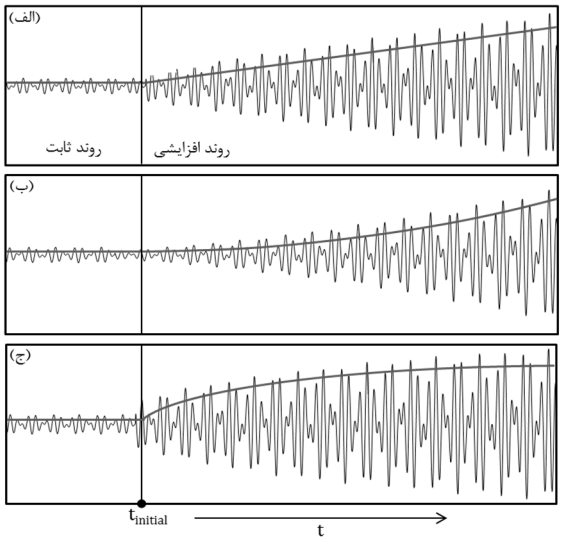
در فاز دوم از تابع موج، ارتفاع موج مشخصه نسبت به زمان روندی افزایشی پیدا می‌کند. افزایش پیوسته پروفیل تابع موج موجب می‌گردد که سازه‌های فراساحلی در طول مدت زمان تحلیل، تحت چندین سطح تحریک امواج دریا، مورد ارزیابی قرار گیرند. همانطور

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]

که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد، می‌توان از فرم‌های مختلفی برای تولید توابع موج استفاده نمود. در این مقاله، تصمیم گرفته شده است که از فرم پروفیل خطی برای تولید اولین نمونه از توابع موج استفاده گردد. بنابراین، پروفیل افزایشی تابع موج می‌تواند بصورت زیر بیان گردد:

$$H_{\mathrm{S}}(t)=\begin{cases} H_{\text{s-initial}} & 0\le t<t_{\text{initial}} \\ \left(\dfrac{H_{\text{s-initial}}}{t_{\text{initial}}}\right)t & t\ge t_{\text{initial}} \end{cases} \qquad (۲)$$

که در آن $H_{\text{S-initial}}$ ارتفاع موج مشخصه اولین طیف موج و $H_{\mathrm{S}}(t)$ ارتفاع مشخصه موج در کل بازه زمانی تابع موج می‌باشد.



شکل ۲- فرم‌های پروفیل تابع موج. الف) خطی، ب) افزایش، ج) کاهشی

۳-۲- شبیه‌سازی امواج حدی

این نکته قابل تامل است که روند افزایشی ارتفاع موج مشخصه در تابع موج، هنگامی کاربردی و مفید می‌باشد که این تابع به نحوی تولید گردد که با شرایط سطح دریا در حالت‌های دریایی مختلف مطابقت داشته باشد. برای این منظور، می‌توان از تطابق طیف انرژی امواج و همچنین حداکثر ارتفاع موج قابل رخداد در شرایط دریایی مربوطه، به تابع موج مورد نظر دست یافت. در این راستا، همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، اگر بازه زمانی $0-t\ \ (t>t_{initial})$ از تابع موج در نظر گرفته شود، می‌بایست طیف محاسبه شده از تابع موج در این بازه زمانی با طیف موج هدف، همخوانی قابل قبولی داشته باشد. همچنین، حداکثر ارتفاع موج موجود در تابع موج $(H_{\max}^{\mathrm{WF}})$ در این بازه، با حداکثر ارتفاع موج متناظر با حالت دریایی هدف $(H_{\max}^{\mathrm{tar}})$ مطابقت داشته باشد. می‌توان حداکثر ارتفاع موج هدف را بصورت زیر بیان نمود [۲۰]:

$$H_{\max}^{\mathrm{tar}}(t)=(1.6\sim 2.0)H_{\mathrm{s}}(t) \qquad (۳)$$

طیف‌های استاندارد، مانند طیف پیرسون مسکویچ[۵] و جانسواپ[۶]، می‌توانند به عنوان طیف هدف انتخاب گردند. باید به این نکته توجه داشت که طیف هدف می‌بایست با زمان بصورت پیوسته تغییر کند چرا که ارتفاع موج مشخصه و پریود غالب در طول زمان افزایش می‌یابند. در این مطالعه، طیف جانسواپ بعنوان طیف هدف انتخاب شده است $(S_{\mathrm{J}}^{\mathrm{tar}})$ که با توجه به تغییر پارامترها نسبت به زمان، بصورت زیر بازنویسی می‌گردد:

$$S_{\mathrm{J}}^{\mathrm{tar}}(\omega,\mathrm{t})=\frac{5A_{\gamma}(t)H_{\mathrm{s}}^{2}(\mathrm{t})\,\omega_{\mathrm{p}}^{4}(t)}{16\omega^{5}}\exp\left(-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega}{\omega_{\mathrm{p}}(t)}\right)^{-4}\right)\gamma(t)^{\exp\left(-0.5\left(\frac{\omega-\omega_{\mathrm{p}}(t)}{\sigma(t).\omega_{\mathrm{p}}(t)}\right)^{-4}\right)} \qquad (۴)$$

که در اینجا، $\omega_p(t)=2\pi/T_p(t)$ فرکانس پیک طیف می‌باشد و دیگر پارامترها بصورت زیر تعریف می‌گردند:

$$\gamma(t)=\exp\left(5.75-1.15\frac{T_{\mathrm{p}}(\mathrm{t})}{\sqrt{H_{\mathrm{s}}(t)}}\right) \qquad (۵)$$

$$A_{\gamma}(t)=1-0.287\ln\left(\gamma(t)\right) \qquad (۶)$$

$$\begin{cases}\sigma(t)=0.07 \ \text{ for } \ \omega\le\omega_{\mathrm{p}}(t)\\ \sigma(t)=0.09 \ \text{ for } \ \omega>\omega_{\mathrm{p}}(t)\end{cases} \qquad (۷)$$

$$T_P(t)=a\left(H_s(t)\right)^{b} \qquad (۸)$$

که ضرایب a و b از مطالعات آماری تعیین می‌گردند و برای خلیج فارس بترتیب مقادیر ۴ و ۰/۵ پیشنهاد شده است [۲۱].

با توجه به تعاریف فوق، می‌توان تولید توابع موج را بعنوان یک مسئله کمینه‌سازی در حوزه زمان مورد مطالعه قرار داد. حل این مسئله بصورت رابطه زیر خلاصه می‌گردد:

$$\text{Minimize}\,F(\eta_{\mathrm{WF}})=\int_0^{t_{\max}}\int_0^{\omega_{\max}}\{[S^{\mathrm{WF}}(\omega,t)-S_{\mathrm{J}}^{\mathrm{tar}}(\omega,t)]^2+\alpha[H_{\max}^{\mathrm{WF}}(t)-H_{\max}^{\mathrm{tar}}(t)]^2\}\,d\omega\,dt \qquad (۹)$$

که در آن η_{WF} رکود مطلوب زمان دوام موج، S^{WF} طیف بدست آمده از تابع موج و α فاکتور وزنی بهینه سازی می‌باشد که در مطالعه حاضر برابر با ۱ در نظر گرفته شده است. در این فرآیند، طیف‌های استخراج شده از تابع موج در هر زمان دلخواه می‌بایست با طیف هدف مقایسه گردند. طیف‌های تابع موج، تابعی از زمان می‌باشند که بصورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$S^{\mathrm{WF}}(\omega,t)=\frac{1}{\pi}\int_0^{\infty}R_{\eta}(\tau,t)\cos(\omega\tau)d\tau \qquad (۱۰)$$

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]

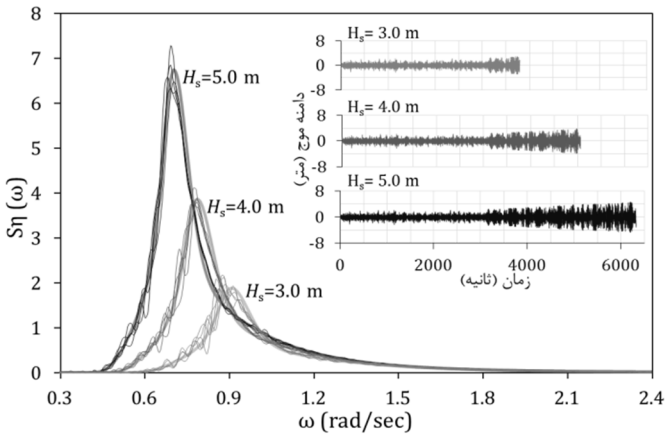
که، R_η تابع خودهمبستگی[۷] رکورد زمانی تابع موج می‌باشد. این تابع می‌تواند بصورت زیر تعریف گردد:

$$R_\eta(\tau,\mathrm{t}) = \mathrm{E}\left[\eta_{\mathrm{WF}}(\upsilon)\eta_{\mathrm{WF}}(\upsilon+\tau)\right] \quad ,\upsilon\in[0,\mathrm{t}]:\ t_{\mathrm{initial}} \le t \tag{۱۱}$$

در این مطالعه، با استفاده از روش بهینه‌سازی معرفی شده، پنج تابع موج برای بازه ارتفاع موج مشخصه ۲/۵ تا ۵/۱ متر با گام افزایشی ۰/۲ (متناظر با ۱۴ نقطه بهینه‌سازی[۸]) تولید گردیده است. با توجه به مقدار گام افزایشی، در شکل ۳ مشاهده می‌گردد که با وجود قرار نداشتن ارتفاع‌های ۳/۰، ۴/۰ و ۵/۰ متر در میان نقاط بهینه سازی، طیف تولید شده در این نقاط سازگاری قابل قبولی با طیف هدف متناظر دارند. در این فرآیند بهینه‌سازی، از ۶۰۰ نقطه فرکانسی در بازه ۰ تا ۶ رادیان بر ثانیه استفاده شده است. با توجه به روند افزایش خطی ارتفاع موج مشخصه، می‌توان طول رکورد تابع موج را بصورت زیر تعیین نمود:

$$t_{\max} = \frac{H_{\text{s-max}}}{H_{\text{s-initial}}} \times t_{\text{initial}} = 6450\ \text{s} \tag{۱۲}$$

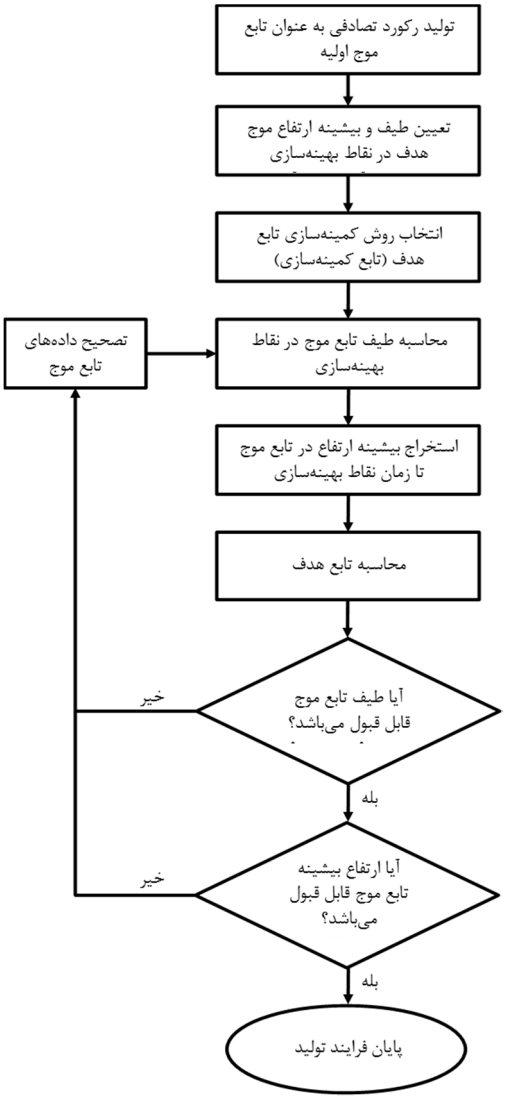
این در حالی است که طول بازه اولیه تابع موج (بازه روند ثابت) برابر با ۳۱۶۲ ثانیه ($۵۰۰T_{p\text{-}initial}$) در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- تطابق طیف تابع موج با طیف هدف در سه بازه زمانی

شکل ۳ بخوبی کیفیت فرآیند بهینه‌سازی را نمایش می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌گردد که طیف حاصل از تابع موج در نقاط بهینه‌سازی به مقدار قابل قبولی با طیف هدف تطبیق داده شده است، و در نقاط دیگر نیز میزان همخوانی مناسب می‌باشد. فرآیند بهینه‌سازی برای تولید توابع موج بسیار زمانبر می‌باشد، که البته با مطالعات بیشتر در این زمینه می‌توان زمان آن را به مقدار قابل توجهی کاهش داد. با این حال، تولید توابع تنها برای نخستین بار برای منطقه مورد مطالعه کافی می‌باشد و می‌توان با رکوردهای تولید شده سازه‌های مختلف در آن محدوده را مورد مطالعه قرار داد.

فرایند تولید توابع موج مطابق با فلوچارت شکل ۴ ارائه می‌گردد. در گام نخست، یک رکورد تصادفی تولید شده بعنوان تابع موج اولیه انتخاب می‌گردد. از اینرو، رکوردهای تصادفی مختلف، توابع موج مختلف را ارائه خواهند داد. برای حل مسئله، طیف توابع موج و نیز بیشینه ارتفاع موج در نقاط زمانی مختلفی که نقاط بهینه‌سازی نامیده می‌شود تعیین می‌گردند. مقادیر محاسبه شده در هر نقطه بهینه‌سازی با مقادیر هدف مقایسه و داده‌های تابع موج با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم شبه- نیوتون[۹] تصحیح می‌گردند. تکرار فرایند اصلاح داده‌های تابع موج مطابق با معیارها تا زمان دستیابی به مقدار خطای قابل قبول ادامه خواهد یافت.



شکل ۴- فرایند تولید توابع موج

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]

۳-۳- تشریح پاسخ زمان دوام موج

برای سهولت، پاسخ تحلیل زمان دوام موج می‌تواند برمبنای پاسخ حدی سازه تعریف گردد. برای این منظور، مقدار قدرمطلق بیشینه پارامتر دلخواه ثبت شده از سازه در طول تحلیل، بصورت زیر بیان می‌گردد:

$$\Psi(f(t)) \equiv \mathrm{Max}(\mathrm{Abs}(f(\tau) : \tau \in [0,t])) \qquad (۱۳)$$

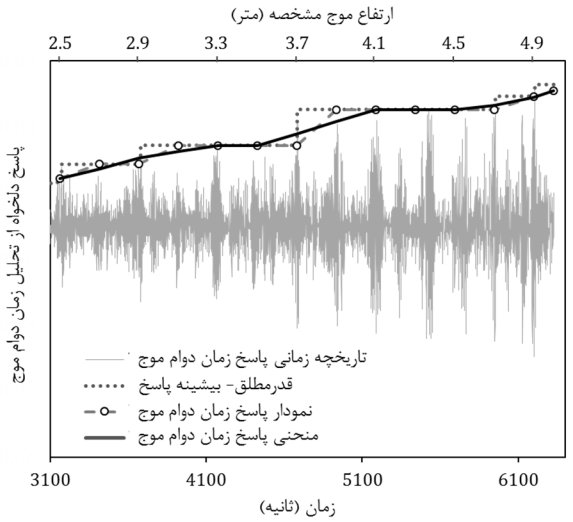
که در آن، Ψ اپراتور قدرمطلق- بیشینه می‌باشد که بصورت بالا تعریف می‌گردد و $f(\tau)$ تاریخچه زمانی پاسخ مورد نظر می‌باشد. در این راستا، نمودار پاسخ سازه[۱۰] با اتصال خطی نمودار قدرمطلق بیشینه پاسخ در نقاط بهینه سازی بدست می‌آید. همچنین، منحنی پاسخ سازه[۱۱] با استفاده از فرآیند حرکت میانگین[۱۲] داده‌ها، از نمودار پاسخ بدست می‌آید. منحنی پاسخ برای اصلاح شکل پله‌ای نمودار پاسخ و همچنین تخمین پاسخ در نقاط بهینه سازی نشده، محاسبه می‌گردد. علاوه بر این، منحنی پاسخ می‌تواند بخوبی رفتار سازه را تحت شرایط حدی مختلف دریا بصورت پیوسته نمایش دهد.

مطابق با تعریف منحنی پاسخ، مشاهده می‌گردد که پاسخ سازه در سطوح تحریک بالاتر تحت تاثیر پاسخ‌های سطوح تحریک قبل از خود قرار می‌گیرند. بعبارت دیگر، درصورتی که سطوح تحریک نزدیک به یکدیگر باشند، اثر تصادفی تحریک در گام قبل می‌تواند موثرتر از اثر افزایش تحریک در گام بعد ظاهر گردد. این بدیهی است که، با در نظر گرفتن نقاط بهینه‌سازی در نزدیکی یکدیگر، این اثر بیشتر مشاهده شود و در نتیجه منجر به پیش‌بینی‌های محافظه کارانه‌تری گردد. بعنوان نمونه، همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، هنگامی که ارتفاع موج مشخصه از ۴/۱ به ۴/۵ متر افزایش می‌یابد، نمودار قدرمطلق بیشینه، نمودار پاسخ و منحنی پاسخ ثابت می‌ماند که این ناشی از اثر تصادفی در سطح تحریک ۳/۷ متر می‌باشد.

۴- مطالعه موردی

۴-۱- مدلسازی

مدلسازی کامل یک سکوی واقعی، روشی دقیق برای اندازه گیری پاسخ با جزئیات آن است. اما با توجه به هندسه پیچیده و تحلیل های زمان بر سازه، بسیاری از محققین از مدل ساده شده چند درجه آزادی برای تحلیل‌های اولیه خود استفاده می‌نمایند [۲۲-۲۶]. این مدل تقریبی نمی تواند پاسخ اجـزاء سـازه را ارزیـابی نماید، امـا پاسخ کلی سـازه را با دقت خوبی تخمیـن می‌زند. علاوه بر این، در این روش، هزینه محاسباتی به طور قابل توجهی در مقایسه با مدل دقیق کاهش خواهد یافت.



شکل ۵- یک تاریخچه پاسخ پارامتر دلخواه و نمودار و منحنی پاسخ معادل

در این مقاله، سکوی رسالت بعنوان نمونه برای ارزیابی و مطالعه موردی روش زمان دوام موج انتخاب گردیده است (شکل ۶). این سازه یک سکوی چهار پایه با پریود مود اول ۲/۴۲ ثانیه می‌باشد که در ۸۰ کیلومتری جنوب جزیره لاوان در خلیج فارس نصب شده است و عمق عملیاتی آن ۶۸/۲ متر می‌باشد [۲۷]. به منظور کاهش بار محاسباتی، سکو بصورت سازه ۷ درجه آزادی با فرض رفتار خطی مواد مدلسازی شده است. مطابق با رفتار دینامیکی سکوی رسالت، جرم‌های متمرکز و سختی المان‌های سکو محاسبه و در جدول ۱ خلاصه شده است. ماتریس میرایی با استفاده از میرایی رایلی و با فرض نسبت میرایی ٪۲ برای مود اول و دوم سازه تعیین می‌گردد.

معادله حرکت سازه فراساحلی تحت تحریک امواج بصورت زیر بیان می‌گردد:

$$\mathbf{M}_0\ddot{\mathbf{X}}+\mathbf{C}\dot{\mathbf{X}}+\mathbf{K}\mathbf{X}=\mathbf{F}_I+\mathbf{F}_D \qquad (۱۴)$$

که در آن $\mathbf{M}_0$، $\mathbf{C}$ و $\mathbf{K}$ ماتریس‌های جرم، دمپینگ و سختی؛ و $\mathbf{X}$، $\dot{\mathbf{X}}$ و $\ddot{\mathbf{X}}$ بردارهای جابجایی، سرعت و شتاب سازه می‌باشند. با توجه به ماهیت نیروی تحریک، $\mathbf{F}_I$ و $\mathbf{F}_D$ بترتیب نیروهای اینرسی و درگ می‌باشند که با استفاده از رابطه موریسون بصورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$\mathbf{F}_I = \rho C_m \mathbf{V} \circ \dot{\mathbf{U}}$$
$$\mathbf{F}_D = \frac{1}{2}\rho C_d \mathbf{A} \circ (\mathbf{U}-\dot{\mathbf{X}}) \circ \left|\mathbf{U}-\dot{\mathbf{X}}\right| \qquad (۱۵)$$

در اینجا "$\circ$" عملگر ضرب درایه به درایه ماتریسی؛ و $\mathbf{U}$ و $\dot{\mathbf{U}}$ بترتیب سرعت و شتاب ذرات موج می‌باشد. چگالی آب (ρ) ۱۰۲۵

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]

کیلوگرم بر متر مکعب و ضریب اینرسی (C_m) وضریب درگ (C_D) مطابق با آیین‌نامه API-RP2A، بترتیب برابر ۱/۲ و۱/۰۵ فرض شده است [۵]. پارامترهای **V** و **A** نیز بترتیب، بردار حجم و بردار مساحت سطح مقطع اعضای سازه می‌باشد که در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ - مشخصات سکوی رسالت.

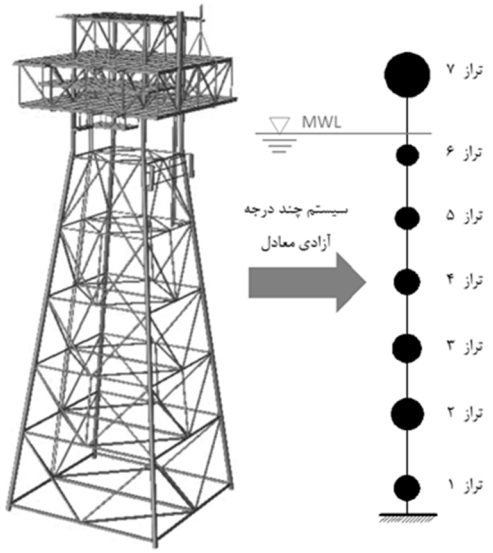
تراز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
جرم (ton)	۱۰۶	۱۲۹	۱۱۶	۱۰۵	۹۲	۶۳	۱۷۹۰
سختی (MN/m)	۱۷۹	۱۴۶	۱۴۶	۱۲۱	۱۰۶	۹۰	۳۸
حجم (m^3)	۱۳۴	۱۳۴	۱۱۷	۱۱۳	۱۰۳	۲۲	۰
مساحت سطح مقطع (m^2)	۲۲۷	۲۳۸	۲۱۳	۲۰۹	۱۹۱	۳۵	۰

ماتریس جرم کل $(\mathbf{M}_0)$ متشکل از مجموع ماتریس جرم سازه $(\mathbf{M})$ و جرم اضافه $(\mathbf{M}_a)$ می‌باشد که بصورت زیر بیان می‌گردد:

$$\mathbf{M}_0 = \mathbf{M} + \mathbf{M}_a \qquad (۱۶)$$

که

$$\mathbf{M}_a = \rho(C_m - 1)\mathbf{V} \circ \ddot{\mathbf{X}} \qquad (۱۷)$$

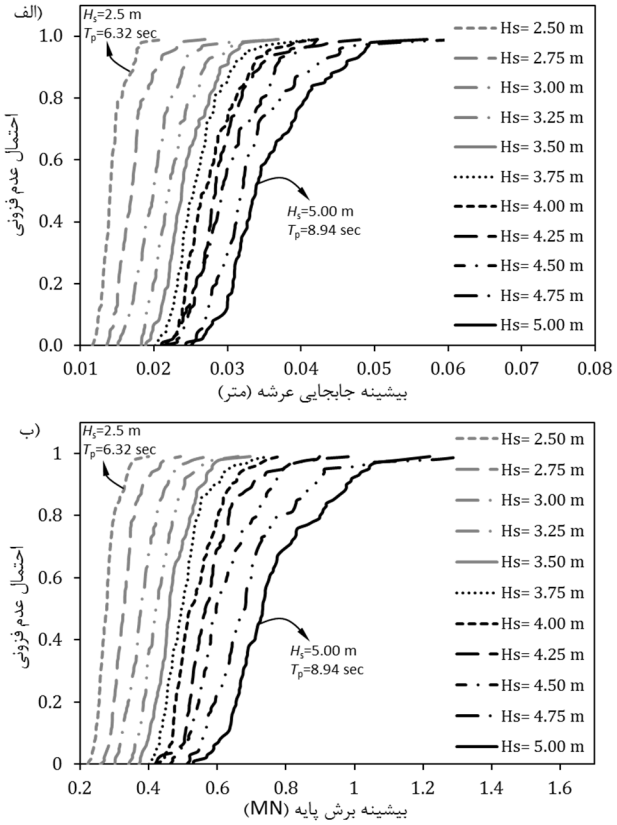


شکل ۶- سکوی رسالت و مدل ساده سازی شده معادل

در این مقاله، رابطه غیرخطی موریسون و معادلات حرکت سازه با استفاده از نرم‌افزار سیمولینک متلب در حوزه زمان مدلسازی می‌گردد. برای این منظور، با توجه به برهم‌کنش سازه- سیال[۱۳]، بطور همزمان از دو بلوک اندرکنش سازه- سیال و دینامیک سازه برای بیان رابطه (۱۴) استفاده می‌گردد. در این شبیه سازی، از شتاب ذرات موج و سرعت نسبی برای محاسبه بار موج استفاده می‌شود. پس از آن، معادله حرکت دینامیکی سازه محاسبه می‌گردد و در نهایت سری زمانی جابجایی و شتاب درجات آزادی سازه محاسبه و ثبت می‌گردد.

۴-۲- بحث در نتایج

هدف از این بخش مطالعه روش زمان دوام موج با استفاده از نتایج حاصل از پاسخ سکوی مورد مطالعه تحت بارگذاری‌های مختلف حدی امواج می‌باشد. ماهیت تصادفی امواج موجب می‌گردد که بررسی آماری نتایج در مطالعات صورت گرفته از اهمیت بالایی برخوردار باشد [۲۸, ۲۹]. برای این منظور، ۱۰۰ موج تصادفی سه ساعته و ۵ تابع موج برای مقایسه نتایج حاصل از تحلیل سه ساعته امواج با روش زمان دوام موج تولید شده است. سه ساعت، زمان استانداردی می‌باشد که می‌توان حالت دریایی ثبت شده را فرآیند تصادفی مانا فرض نمود [۱۷]. در شکل ۷، توزیع احتمال تجمعی[۱۴] ۱۰۰ تحلیل سه ساعته برای پاسخ‌های جابجایی بیشینه عرشه و بیشینه برش پایه برای ارتفاع امواج مشخصه مختلف، ترسیم شده است. همانطور که انتظار می‌رود، با افزایش ارتفاع موج مشخصه، دامنه پاسخ سازه بزرگتر می‌گردد [۴].



شکل ۷- توزیع احتمال تجمعی تحلیل‌های سه ساعته. الف) جابجایی بیشینه عرشه، ب) بیشینه برش پایه

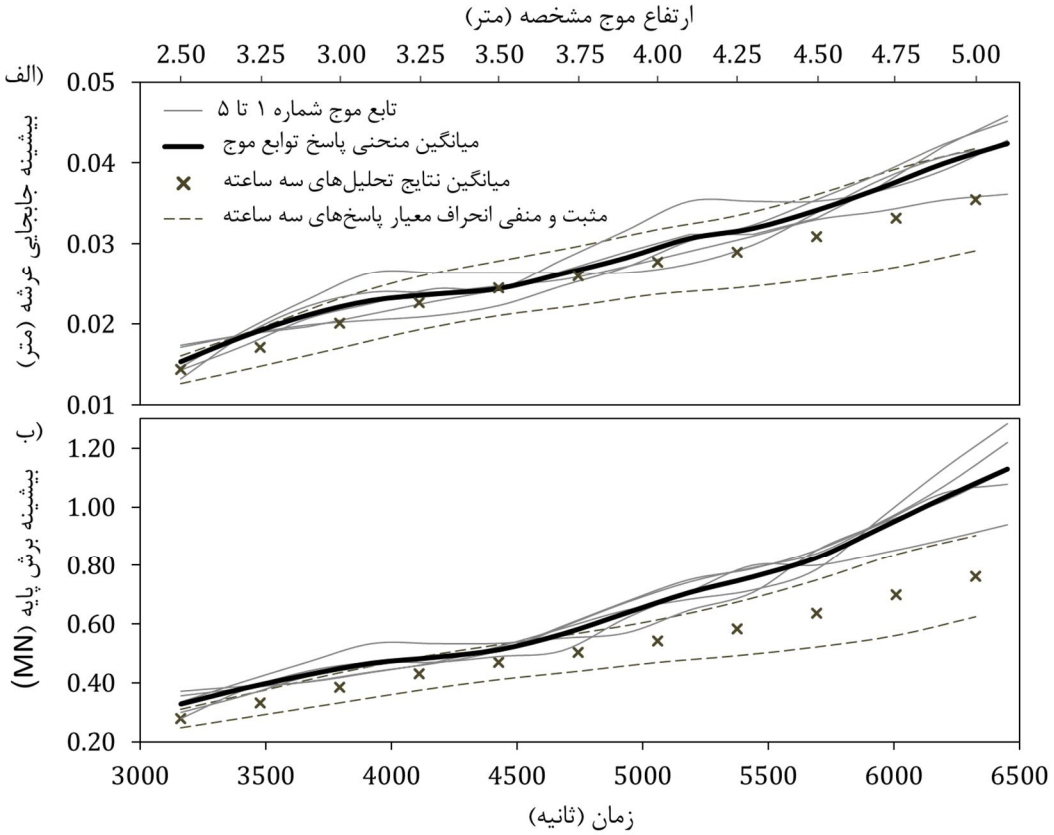
در این مطالعه، منحنی پاسخ با استفاده از جابجایی میانگین سه نقطه‌ای از نمودار پاسخ استخراج شده است. همانطور که قبلا بیان شد، در تحلیل‌های زمان دوام موج زمان نمایانگر شدت تحریک

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]

می‌باشد، بنابراین، منحنی پاسخ عموما دارای فرمی پیوسته بوده که عمدتا با زمان افزایش می‌یابد.

ارزشمندی روش زمان دوام موج را می‌توان با مقایسه پاسخ‌های آن با پاسخ‌های حاصل از تحلیل‌های سه ساعته تعیین نمود. در این راستا، برای مقایسه مطلوب‌تر پاسخ‌ها، علاوه بر مقدار میانگین، بازه منفی و مثبت انحراف معیار[15] تحلیل‌های سه ساعته نیز در شکل ۸ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، با گذشت زمان، ارتفاع موج مشخصه افزایش یافته و متعاقبا پراکندگی پاسخ‌ها نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه، بازه انحراف معیار با زمان بزرگتر می‌گردد. با توجه به شکل ۸، اگر چه منحنی پاسخ بدست آمده از توابع موج (WFa01-05)، بطور عمده بالاتر از میانگین تحلیل‌های سه ساعته قرار دارد، اما پاسخ‌های بدست آمده همچنان در محدوده پاسخ سازه تحت تحریک امواج سه ساعته قرار دارند و می‌توان از آن‌ها برای تخمین پاسخ سازه در مدلسازی اولیه بهرمند شد. همانطور که سطح تحریک افزایش می‌یابد، پاسخ سازه تحت تحریک تابع موج مقدار دست بالاتری را ارائه می‌دهد. این مسئله در مقدار برش پایه به مقدار بیشتری قابل مشاهده می‌باشد که ممکن است ناشی از نزدیکی سطوح تحریک انتخابی باشد.

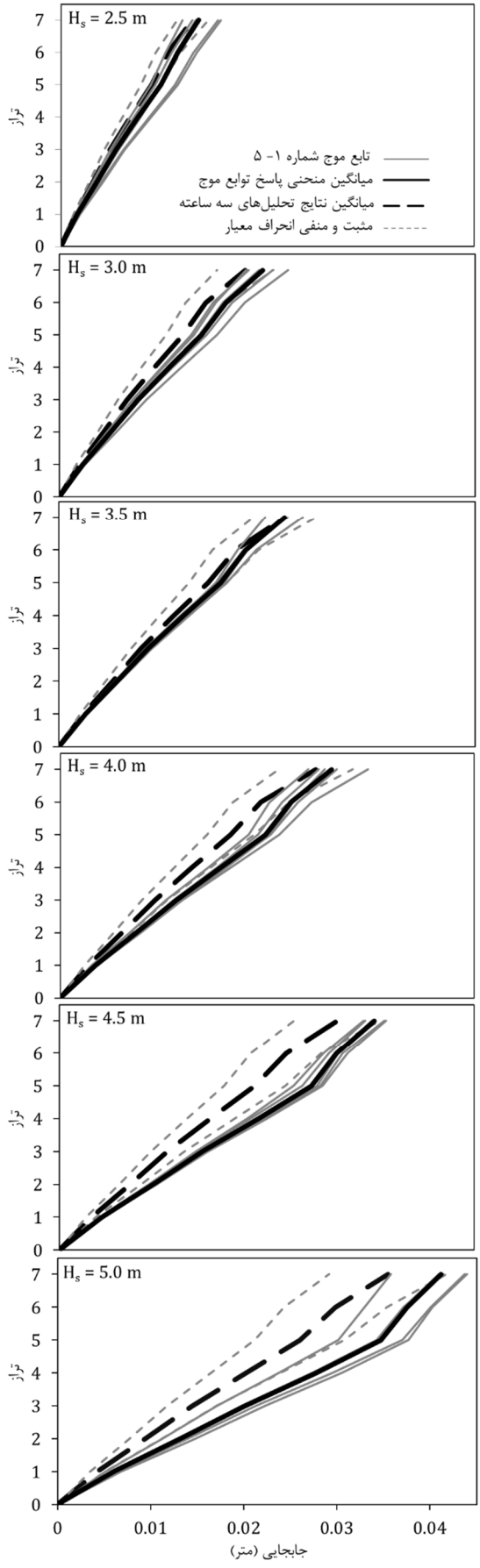
در شکل ۹، جابجایی ترازهای جرمی در روش زمان دوام موج با نتایج تحلیل‌های سه ساعته معمول در ارتفاع موج‌های مختلف مقایسه می‌شود. در ترازهای مختلف، با افزایش سطح تحریک، می‌توان پراکندگی پاسخ را مشاهده نمود. پاسخ زمان دوام موج عموما در بازه میانگین و مثبت انحراف معیار پاسخ تحت تحریک‌های سه ساعته قرار دارد، بخصوص در ارتفاع امواج کوچک چه در نقاط بهینه‌سازی شده و چه در نقاط بهینه نشده. نمودارهای همبستگی برای پاسخ بیشینه جابجایی عرشه و بیشینه برش پایه در شکل ۱۰ نمایش داده شده است که در آن محور افقی مقدار میانگین ماکزیمم پاسخ و محور قائم، حداکثر پاسخ سازه می‌باشد. این نمودارها برای مطالعه پراکندگی پاسخ در روش‌های مختلف تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطـور که مشاهده می‌گردد، نتایج تحلیل‌های تاریخچه زمانی سه ساعته بسیار پراکنده‌تر می‌باشد و نتایج حاصل از رکورد زمان دوام موج دارای همبستگی خوبی می‌باشد. بنابراین، بنظر می‌رسد که استفاده از تحلیل زمان دوام موج بجای تحلیل‌های سه ساعته، بخصوص در طراحی‌های اولیه که کارایی روش می‌تواند از دقت آن ارجعیت داشته باشد، بسیار کاربردی باشد.



شکل ۸- نتایج تحلیل‌های زمان دوام موج و سه ساعته. الف) جابجایی بیشینه عرشه، ب) بیشینه برش پایه

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]



شکل ۹- جابجایی ترازهای جرمی در ارتفاع موج‌های مشخصه مختلف

در انتها، از دیدگاه روش شناسی، روش زمان دوام موج بصورت شکل ۱۱ ارائه می‌گردد. همانطور که در این نمودار نمایش داده شده است، روش زمان دوام موج به دو بخش، فرآیند تولید و ارزیابی تقسیم‌بندی می‌گردد. در گام تولید، توابع موج مطابق با پارامترهای مورد نظر و با استفاده از فرآیند بهینه‌سازی تولید می‌گردد. این فرآیند ممکن است بسیار زمانبر باشد، اما نیاز به بازتولید برای هر مرتبه تحلیل ندارد. بعبارت دیگر، توابع موج تولید شده می‌توانند برای ارزیابی سکوهای مختلف که در شرایط دریایی یکسان قرار دارند مورد استفاده قرار گیرند. در مرحله ارزیابی، مدل دینامیـکی مناسبی از سازه تهیه شده و تحت رکوردهای تابع موج قرار می‌گیرد و در گام بعد، منحنی پاسخ با توجه به پارامترهای مهندسی مورد نیاز، از نتایج تحلیل استخراج می‌گردد و سازه برمبنای منحنی‌های پاسخ ارزیابی می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله، مطالعه اولیه برای ارائه روش نوین زمان دوام موج به منظور ارزیابی سازه‌های دریایی در شرایط حدی مختلف دریا در حوزه زمان می‌باشد. زمان دوام موج یک روش محاسباتی سریع می‌باشد که در آن از پروفیل مصنوعی سطح دریا با عنوان تابع موج، برای ارزیابی سازه‌های دریایی در شرایط مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطور که شرح داده شد، توابع موج با استفاده از فرآیند بهینه‌سازی عددی بطوری که طیف انرژی امواج و ارتفاع موج بیشینه با زمان افزایش می‌یابد، تولید می‌گردند. شایان ذکر است که توابع موج تولیدشده می‌توانند برای سازه‌های فراساحلی متنوعی که دارای شرایط دریایی مشابه هستند مورد استفاده قرار گیرند.

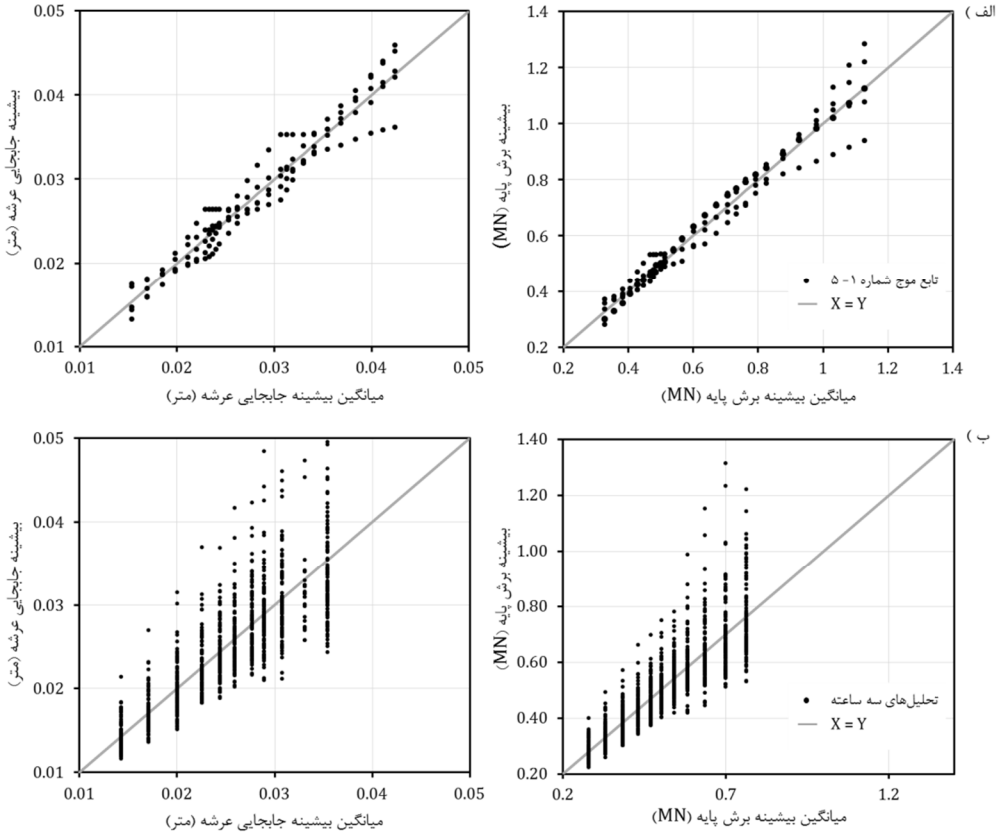
مطالعه مقایسه‌ای میان نتایج حاصل از روش زمان دوام موج با تحلیل‌های سه ساعته معمول نشان می‌دهد که روش پیشنهاد شده می‌تواند به یک ابزار با ارزش در ارزیابی سازه‌های فراساحلی تبدیل گردد. در این روش، علاوه بر کاهش قابل توجه زمان تحلیل، نتایج بدست آمده مطلوب بوده و در محدوده پاسخ‌های سه ساعته قرار گرفته است.

همچنین، قابل ذکر است که پاسخ‌های زمان دوام موج دست بالا بوده و می‌توانند بعنوان پاسخ تقریبی، پاسخ تحلیل‌های سه‌ساعته را پوشش دهند. این تکنیک را می‌توان به راحتی بعنوان یک روش طراحی کاربردی برای کاهش هزینه‌های محاسباتی، به ویژه در طراحی‌های اولیه توسعه داد. به عنوان نمونه، طول یک رکورد زمان دوام موج در حدود ۱/۸ ساعت است که توسط آن پاسخ‌های حاصل از ۱۱ رکورد سه ساعته تخمین زده شده است. نتایج نشان می‌دهد که پاسخ‌های حاصل از میانگین توابع موج کمتر از حدود ۲۰ درصد با نتایج حاصل از میانگین بعلاوه یک انحراف معیار تحلیل‌های سه ساعته اختلاف دارد. شایان ذکر است که، این مطالعه اولین گام

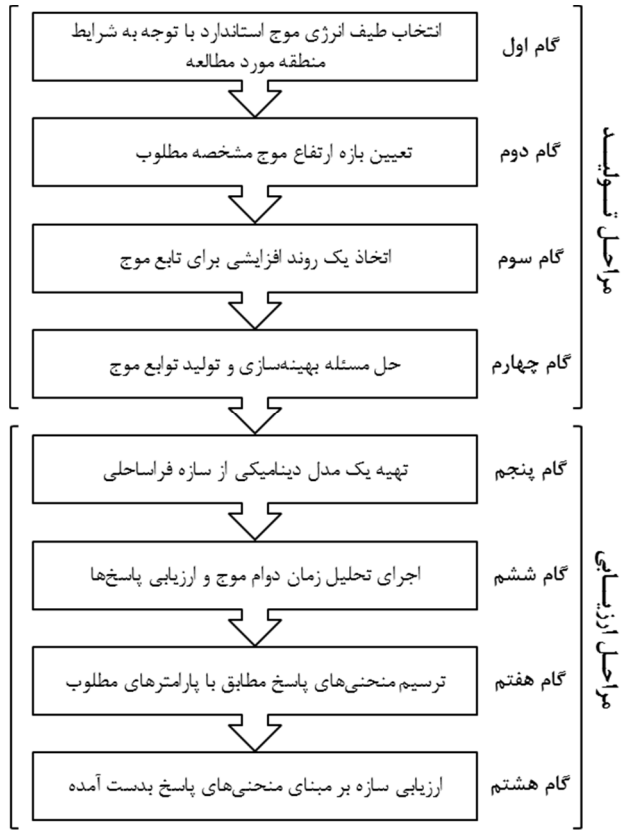
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]

برای معرفی مفهوم روش زمان دوام موج می‌باشد. بنابراین، تحقیقات بیشتری باید صورت پذیرد تا توابع موج مناسبتر تولید گردند. علاوه بر این، می‌بایست کارایی روش زمان دوام موج برای سایر سازه‌های فراساحلی و همچنین مواد غیرخطی مورد مطالعه قرار گیرد.



شکل ۱۰ - آزمایش فرضی سکوهای دریایی به روش زمان دوام موج



شکل ۱۱- ارزیابی سازه‌های دریایی به روش زمان دوام موج

کلید واژگان

1- Wave Endurance Time (WET)
2- Wave Function (WF)
3- Engineering Demand Parameters (EDP)
4- Constant trend
5- Pierson–Moskowitz
6- JONSWAP
7- Autocorrelation function
8- Optimization point
9- Quasi-Newton algorithm
10- WET Diagram
11- WET Curve
12- Moving average procedure
13- Fluid–Structure Interaction (FSI)
14- Cumulative probability distribution
15- Standard deviation

۶- مراجع

1- Fenton, J.D., (1985), *A fifth-order Stokes theory for steady waves*, Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, Vol. 111, No. 2, p. 216-234.
2- Chen, C.Y. and Will, S., (1988), *Random Wave Design Procedures*, Offshore Technology Conference, Houston,Texas.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]

3- Tromans, P.S., Anaturk, A.R. and Hagemeijer, P., (1991), *A new model for the kinematics of large ocean waves*, The Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference, Edinburgh, United Kingdom.
4- Cassidy, M.J., Taylor, R.E. and Houlsby, G.T., (2001), *Analysis of jack-up units using a Constrained NewWave methodology*, Applied Ocean Research, Vol. 23, No. 4, p. 221-234.
5- API RP2A-WSD, (2007), *American petroleum institute recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms working stress design*. 21st ed. Errata and Supplement. Washington, DC: American Petroleum Institute.
6- DNV, (1996), *Guideline for offshore structural reliablity analysis: application to jacket platforms,* Technical report, Det Norske Veritas.
7- Taylor, P., Jonathan, P. and Harland, L., (1997), *Time domain simulation of jack-up dynamics with the extremes of a Gaussian process*, Journal of vibration and acoustics, Vol.119, No. 4, p. 624-628.
8- Golafshani, A.A., Bagheri, V., Ebrahimian, H. and Holmas, T., (2011), *Incremental wave analysis and its application to performance-based assessment of jacket platforms*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 67, No. 10, p. 1649-1657.
9- Golafshani, A.A., Ebrahimian, H., Bagheri, V. and Holmas, T., (2011), *Assessment of offshore platforms under extreme waves by probabilistic incremental wave analysis*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 67, No. 5, p. 759–769.
10- Zeinoddini, M., Matin Nikoo, H. and Estekanchi, H., (2012), *Endurance Wave Analysis (EWA) and its application for assessment of offshore structures under extreme waves*, Applied Ocean Research, Vol. 37, p. 98-110.
11- Stewart, R.A.H., Kittelson, J. and Kay, I.P., (2000), *Statistical methods to improve the precision of the treadmill exercise test*, Journal of the American College of Cardiology, Vol. 36, No. 4, p. 1274-1279.
12- Strzelczyk, T.A, Cusick, D.A., Pfeifer, P.B., Bondmass, M.D. and Quigg, R.G., (2001), *Value of the Bruce protocol to determine peak exercise oxygen consumption in patients evaluated for cardiac transplantation*, American Heart Journal, Vol. 142, No. 3, p. 466-475.
13- Estekanchi, H.E., Vafai, A. and Sadeghazar, M., (2004), *Endurance time method for seismic analysis and design of structures*, Scientia Iranica, Vol. 11, No. 4, p. 361-370.
14- Riahi, H.T. and Estekanchi, H.E., (2010), *Seismic assessment of steel frames with the endurance time method*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 66, No. 6, p. 780-792.
15- Mirzaee, A. and Estekanchi, H.E., (2013), *Performance-Based Seismic Retrofitting of Steel Frames by Endurance Time Method*, Earthquake Spectra, doi: http://dx.doi.org/10.1193/081312EQS262M
16- ISO, ISOBSEN. 19901-1, (2005), *Petroleum and natural gas industries-specific requirements for offshore structures-Part 1: Metocean design and operating conditions*, British Standards Institute.
17- DNV-RP-C205, (2010), *Environmental conditions and environmental loads*, Det Norske Veritas.
18- ITTC Seakeeping Committee, (1984), *Report of the seakeeping committee, In: Proceedings of the 17th International Towing Tank Conference*, 457-534.
19- Seif, M.S., Tabeshpour, M.R., Mehdigholi, H., Mohajernassab, S. and Dastan, M.A., (2012), *Development of Endurance Wave Analysis for assessment of jacket platforms under the Persian Gulf wave loading using new-wave theory*, The 14th Marine Industries Conference, Tehran, Iran. (In Persian)
20- Goda, Y., (2010), *Random Seas and Design of Maritime Structures*, World Scientific.
21- Jahanmard, V.R., Dastan, M.A., Tabeshpour, M.R., Seif, , M.S. and Mehdigholi, H., (2013), *Generating time history records based on exterme value of the Persian Gulf condition spectrum in different return period*, The 5th Offshore Industries Conference, Tehran, Iran. (In Persian)
22- McCormick, M.E., (1989), *Analysis of offshore structural dynamics with nonproportional damping*, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 115, No. 6, p. 775-792.
23- Stockard, D.M., (1976), *Effects of pile-soil-water interaction on the dynamic response of a seismically excited dynamic response*, Offshore Technology Conference, Dallas, Texas.
24- Mastanzade, N.S. and Yazici, G., (2005), *Dynamic behavior and optimization of offshore gravity platforms*, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 127, p. 130-134.
25- Kim, D.H., (2009), *Neuro-control of fixed offshore structures under earthquake*, Engineering Structures, Vol. 31, No. 2, p. 517-522.
26- Golafshani, A.A. and Gholizad, A., (2009), *Friction damper for vibration control in offshore steel jacket platforms*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 65, No. 1, p. 180-187.
27- Golafshani, A.A., Tabeshpour, M.R. and Komachi, Y., (2009), *FEMA approaches in seismic assessment of jacket platforms (case study: Ressalat jacket of Persian Gulf)*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 65, p. 1979-1986.
28- Najafian, G., (2010), *Comparison of three different methods of moments for derivation of probability distribution parameters*, Applied Ocean Research, Vol. 32, No. 3, p. 298-307.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]

29- Zaki, N.M. and Najafian, G., (2011), *Long-Term distribution of the extreme values of offshore structural response by Finite-Memory Nonlinear System Modelling*, ASME.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-07]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.8.3]