



## ارزیابی ارتعاشاتی سکوی پایه ثابت تحت سطوح مختلف بارگذاری امواج حدی منطقه خلیج فارس

محمدعلی داستان<sup>\*</sup>، سعید مهاجرنسب<sup>۱</sup>، محمدرضا تابش‌پور<sup>۱</sup>، حمید مهدیقلی<sup>۱</sup>، محمدسعید سیف<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>ایران، تهران، خیابان آزادی، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مکانیک، ۱۱۱۵۵-۱۱۳۶۵

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [dastan@mech.sharif.edu](mailto:dastan@mech.sharif.edu)

### چکیده

در این مقاله، الگویی جهت ارزیابی ارتعاشاتی سکوی‌های پایه ثابت، با توجه به توزیع احتمالاتی بارگذاری امواج حدی منطقه خلیج فارس در شرایط دریایی مختلف ارائه است. در این راستا، توزیع ارتفاع مشخصه امواج در دوره بازگشت‌های مختلف برای منطقه خلیج فارس تعیین شده و دوره تناوب قله موج برای طیف امواج مربوطه تعیین گردیده است. همچنین برای بررسی احتمالاتی رکوردهای تاریخچه‌زمانی، متناظر با هر دوره بازگشت ۵۰۰ رکورد سه ساعته تولید شده است. سپس ارزیابی یک مدل ساده شده چند درجه آزادی از یک سکوی پایه ثابت واقعی مورد مطالعه قرار گرفته و نیروی امواج بر مبنای شکل غیر خطی معادله موریسون به سازه اعمال گردیده است. در انتها پاسخ‌های سازه استخراج شده و توزیع‌های مختلف بر روی آن‌ها برازش داده شده است. تحلیل‌های ارتعاشی انجام شده بر روی این سکو نشان می‌دهد که با توجه به نتایج آزمون نکویی برازش K-S برای بیشینه جابه‌جایی عرشه و بیشینه برش پایه، توزیع لگ-نرمال مناسب‌ترین نکویی برازش را در بین توزیع‌های مورد بررسی داشته است.

**کلمات کلیدی:** ارزیابی ارتعاشاتی، سکوی پایه ثابت، امواج ۳ ساعته، توزیع احتمالاتی.

### ۱. مقدمه

اصلی‌ترین هدف در ارزیابی تحت امواج حدی<sup>۱</sup> اطمینان از مقاومت سازه در مقابل طوفان در حالت‌های دریایی<sup>۲</sup> مختلف است. به بیان دیگر، پاسخ سازه برای نیازهایی مانند عملیات تولید، ایمنی و قابلیت سرویس‌دهی سازه مورد قبول باشد [۱]. همچنین تغییر در کاربری سکو، اصلاح شرایط محیطی آن و دوباره ارزیابی کردن تحت بارگذاری‌های محیطی بر اهمیت ارزیابی تاکید می‌کند [۲]. با

<sup>۱</sup> Extreme waves

<sup>۲</sup> Sea states

این وجود، به دلیل هندسه پیچیده، اندرکنش آب - سازه و خاک - شمع - سازه، ارزیابی سکوه‌های دریایی یک گام چالش‌برانگیز در مهندسی فراساحل محسوب می‌شود.

به دلیل ماهیت دینامیکی و تصادفی امواج دریا، تحلیل تاریخچه زمانی یک روش مطمئن برای ارزیابی دقیق عملکرد سازه به‌خصوص سکوه‌های آب‌های عمیق و سازه‌های منعطف است. در این روش، رفتار دینامیکی سکو براساس اعمال امواج تصادفی به اعضای مختلف آن به عنوان تابعی از زمان در نظر گرفته می‌شود. با وجود مزیت‌های مختلف روش تاریخچه زمانی، به دلیل پیچیدگی و زمان بر بودن آن، این روش کارایی محدودی در فرآیند ارزیابی دارد.

در طول دهه‌های گذشته، مطالعات زیادی در مورد ارزیابی سکوه‌های فراساحل در سطح طراحی یا ظرفیت نهایی انجام شده است [۳-۸]. با گسترش توان محاسباتی رایانه‌ها، تحقیقات علمی به سمت ارزیابی سازه‌های دریایی در سطوح مختلف و با استفاده از روش‌های تاریخچه زمانی سوق پیدا کرده است [۹، ۱۰]. با این وجود نکته‌ای که باید به آن توجه ویژه داشت، ماهیت تصادفی بودن امواج دریا می‌باشد و باید نتایج حاصل از تحلیل‌های تاریخچه زمانی بر این مبنا ارزیابی گردد. در این مطالعه توزیع آماری پاسخ سازه در شرایط دریایی مختلف منطقه خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفته، و با توجه به سازه مورد مطالعه مناسب‌ترین توزیع احتمالاتی بر مبنای آزمون نکوتی برازش K-S برای پاسخ‌های بیشینه جابه‌جایی عرشه و بیشینه برش پایه معرفی گردیده است.

## ۲. تحلیل امواج حدی منطقه خلیج فارس

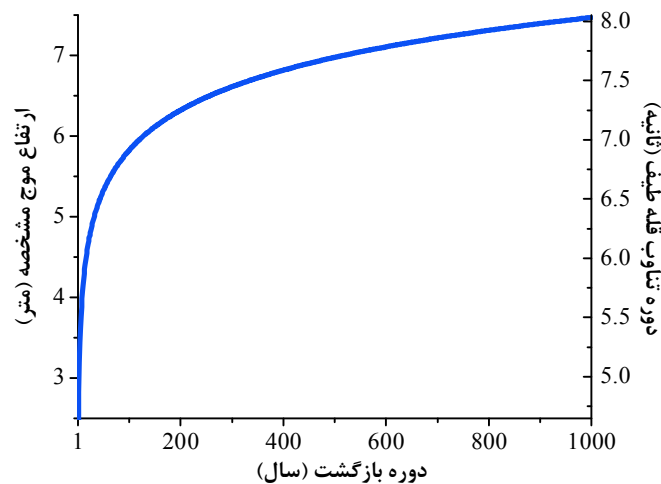
تولید رکورد‌های تاریخچه زمانی با توجه به دوره بازگشت امواج حدی، سبب کاربردی‌تر شدن تحلیل‌های تاریخچه زمانی در ارزیابی‌های مهندسی می‌گردد. ارتفاع موجی با دوره بازگشت  $n$  مشخص می‌کند که ارتفاع موج یکبار در هر  $n$  سال از آن مقدار فراتر می‌رود. تحلیل ارتفاع موج حدی می‌تواند ارتفاع موج متناظر با دوره بازگشت‌های مشخص را با استفاده از روش‌های آماری تعیین کند. بدین منظور، مجموعه‌ای داده به دست آمده از اندازه‌گیری‌های مستقیم یا اطلاعات اقیانوس‌شناسی مورد نیاز است. در گام بعدی، داده های موج حدی با استفاده از توزیع‌های آماری برازش داده می‌شوند. در خلیج فارس، توزیع گامبل مطابق رابطه زیر می‌تواند بهترین برازش را ایجاد کند [۱۲]:

$$H_{s-n} = A \left\{ -\ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{\lambda n} \right) \right] \right\} + B \quad (1)$$

که در آن  $H_{s-n}$  ارتفاع موج مشخصه متناظر با دوره تناوب  $n$  است.  $A$  و  $B$  پارامترهای توزیع هستند و  $\lambda$  شدت نمونه است. برای مکان مورد نظر در خلیج فارس، براساس داده‌های ثبت شده،  $A$ ،  $B$  و  $\lambda$  به ترتیب، برابر  $۰/۷۱$ ،  $۲/۵۲$  و  $۱/۰۴$  به دست آمده اند. همچنین، دوره تناوب قله موج برای هر ارتفاع موج متناظر با دوره بازگشت  $n$  ساله در رابطه زیر ارائه شده است:

$$T_{p-n} = a.H_{s-n}^b \quad (2)$$

که  $a$  و  $b$  ضرایب تجربی هستند و مقادیر  $۲/۹۴$  و  $۰/۵$  برای آن‌ها در نظر گرفته شده است [۱۳]. شکل (۱) توزیع گامبل ارتفاع موج مشخصه و دوره تناوب قله طیف برای دوره بازگشت‌های متناظر آن را نشان می‌دهد.

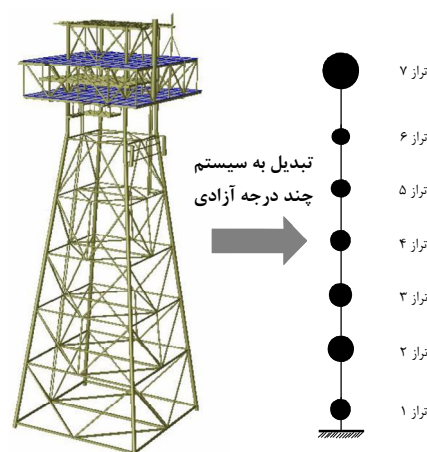


شکل ۱. توزیع گامبل برای ارتفاع موج مشخصه و دوره بازگشت قله طیف در دوره بازگشت‌های مربوطه.

### ۳. مطالعه موردی

#### ۳.۱ مدل‌سازی

برای درک و ارزیابی روش تحلیل موج دوام اصلاح شده، سکوی رسالت به عنوان مطالعه موردی که در شکل ۲ نشان داده شده، انتخاب شده است. این سازه، یک سکوی ۴ پایه که در عمق ۶۸/۲ متری خلیج فارس واقع شده است. این سکو به یک مدل ۷ درجه آزادی ساده شده است که دوره تناوب‌های سه مود اول آن به ترتیب ۲/۳۵۵، ۰/۵۰۲ و ۰/۲۴۳ ثانیه می‌باشد. جرم‌های متمرکز و سختی‌ها بر اساس مشخصات سازه واقعی و به طوری که دوره تناوب‌های طبیعی مشابه مدل دقیق باشد، مدل شده است. مقادیر مربوطه در جدول (۱) ارائه شده است. ماتریس میرایی سازه به عنوان میرایی رایلی در نظر گرفته شده و نسبت میرایی ۰/۲٪ برای مدهای اول و دوم آن فرض شده است.



شکل ۲. سکوی رسالت و مدل ساده شده چند درجه آزادی.

جدول ۱. مشخصات سکوی رسالت

تراز ۷	تراز ۶	تراز ۵	تراز ۴	تراز ۳	تراز ۲	تراز ۱	سکوی رسالت
۱۷۹۰	۶۳	۹۲	۱۰۵	۱۱۶	۱۲۹	۱۰۶	جرم [ton]
۳۸	۹۰	۱۰۶	۱۲۱	۱۴۶	۱۴۶	۱۷۹	سختی [MN/m]
۰	۲۲	۱۰۳	۱۱۳	۱۱۷	۱۳۴	۱۳۴	حجم اعضا [m <sup>3</sup> ]
۰	۳۵	۱۹۱	۲۰۹	۲۱۳	۲۳۸	۲۲۷	سطح تصویر شده [m <sup>2</sup> ]

برای این مدل، معادله حرکت سیستم با بارگذاری موج به صورت زیر است:

$$M_0 \ddot{X} + C\dot{X} + KX = F_I + F_D \quad (۳)$$

که  $M_0$ ،  $C$  و  $K$  ماتریس‌های جرم، میرایی و سختی هستند. همچنین  $X$ ،  $\dot{X}$  و  $\ddot{X}$  جابه‌جایی، سرعت و شتاب سازه هستند.  $F_I$  و  $F_D$  نیروهای اینرسی<sup>۳</sup> و پسا<sup>۴</sup> محاسبه شده از معادله موریسون بوده و روابط آن به صورت زیر می‌باشد:

$$F_I = \rho C_m V \dot{U}$$

$$F_D = \rho C_d A' (U - \dot{X}) |U - \dot{X}| \quad (۴)$$

که  $U$  و  $\dot{U}$  سرعت و شتاب ذرات موج است و  $\rho$  چگالی آب می‌باشد که برابر ۱۰۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب فرض شده است.  $C_m$  و  $C_d$  ضرایب اینرسی و پسا هستند که با توجه به آئین نامه API برابر ۱/۲ و ۱/۰۵ در نظر گرفته شده‌اند [۲].  $V$  و  $A'$  حجم و سطح تصویر شده اعضا هستند که مقادیر آن در جدول (۱) ارائه شده است.

ماتریس جرم متشکل از جرم سازه  $M$  و جرم افزوده  $M_a$  است که به صورت زیر عنوان می‌شود:

$$M_0 = M + M_a \quad (۵)$$

که

$$M_a = \rho (C_m - 1) V \ddot{X} \quad (۶)$$

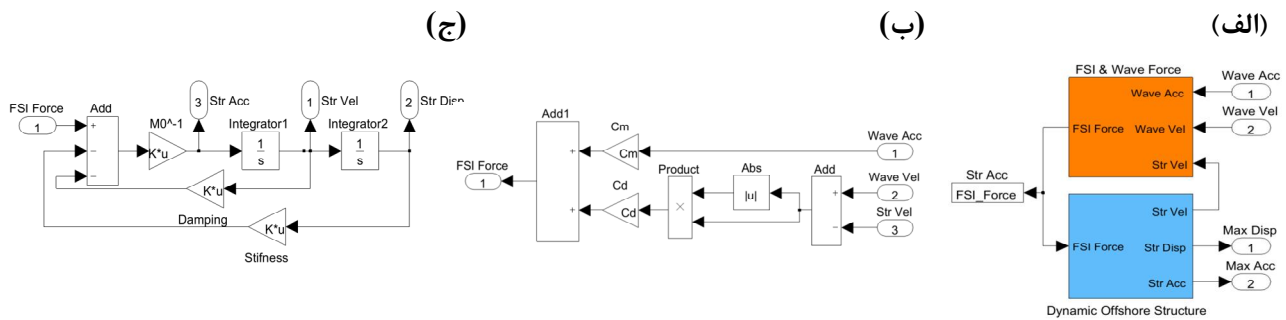
در این مطالعه، از بخش سیمولینک<sup>۵</sup> نرم افزار متلب<sup>۶</sup> برای حل معادله حرکت غیرخطی که در شکل (۳) نشان داده شده، استفاده شده است. در قسمت (الف) دو بلوک به نمایش در آمده است. بلوک "FSI & Wave Force" نیروی اینرسی را تعیین و قسمت غیرخطی در نیروی پسا را با استفاده از سرعت و شتاب نسبی حل می‌کند (شکل ۳(ب)). بلوک "Dynamic Offshore Structure" نیروهای موج و اندرکنش آب-سازه را به سکو اعمال کرده و معادله حرکت سیستم را حل می‌کند (شکل ۳(ج)). خروجی برنامه، سری زمانی جابه‌جایی‌ها و شتاب‌ها در تمامی ترازهای جرمی است. در این مطالعه، جزء غیرخطی مولفه پسا در معادله موریسون به طور کامل در نظر گرفته شده است که این جزء در تحلیل‌های احتمالاتی پاسخ نقش مهمی را ایفا می‌کند.

<sup>۳</sup> Inertia force

<sup>۴</sup> Drag force

<sup>۵</sup> SimuLink

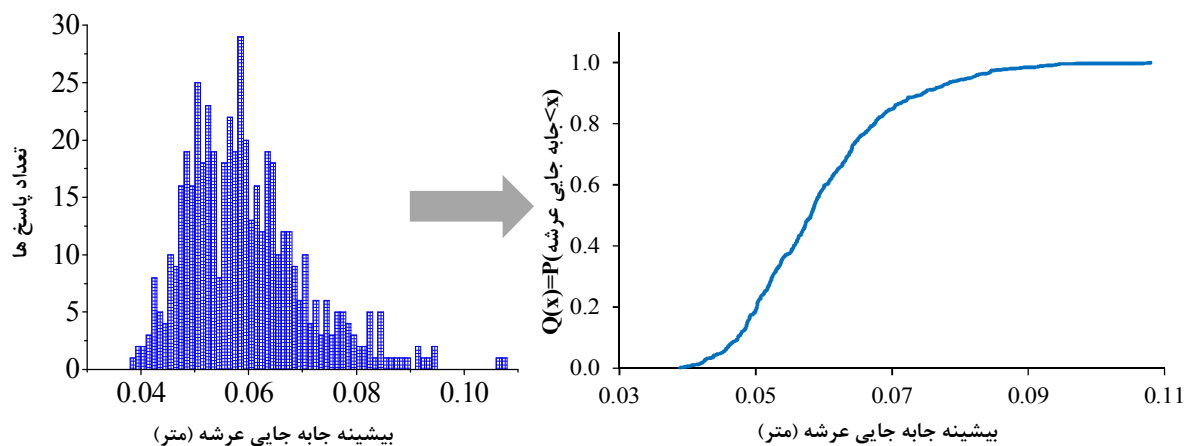
<sup>۶</sup> MATLAB



شکل ۳. بلوک‌های سیمولینک متلب.

### ۳,۲ نتایج و بررسی آن‌ها

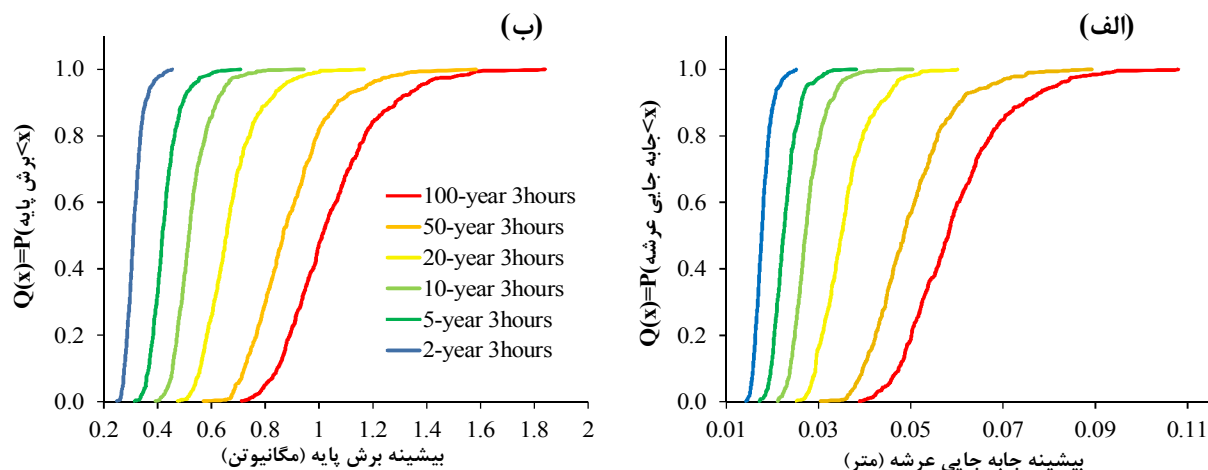
در این مطالعه، با استفاده از رکوردهای تاریخچه‌زمانی تولید شده، پاسخ سکو برای دوره بازگشت‌های مختلف بارگذاری موج، ارزیابی شده است. برای بررسی پدیده تصادفی بودن رکوردهای تولید شده؛ ۵۰۰ رکورد امواج تصادفی ۳ ساعته برای سکوی مورد مطالعه تولید شده است. (شکل ۴) مقادیر جابه‌جایی حدی عرشه و توزیع تجمعی آن را برای دوره بازگشت ۱۰۰ سال نشان می‌دهد. میانگین و احتمال فزونی<sup>۷</sup> ۰/۵۰٪ جابه‌جایی عرشه به ترتیب برابر ۰/۰۵۹ و ۰/۰۵۸ متر می‌باشد. علاوه بر این، توزیع دارای ضریب تغییرات<sup>۸</sup> ۱۱۸/۶۴٪ است. برای سایر دوره بازگشت‌ها، توزیع پاسخ حدی برای بیشینه جابه‌جایی عرشه و برش پایه نیز به دست آمده و در شکل (۵) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، با افزایش دوره بازگشت، مقادیر پاسخ‌ها دارای توزیع گسترده‌تری می‌باشند.



شکل ۴. جابه‌جایی‌های حدی عرشه و توزیع تجمعی آن برای رکوردهای امواج تصادفی ۳ ساعته در دوره بازگشت ۱۰۰ سال

<sup>۷</sup> Probability of Exceedance

<sup>۸</sup> Coefficient of variation



شکل ۵. توزیع تجمعی بیشینه جابه‌جایی عرشه و بیشینه برش پایه در دوره بازگشت‌های مختلف

در این مطالعه جهت برآزش داده‌ها و به دست آوردن توزیع مناسب برای آن‌ها، از ۵ توزیع گامبل<sup>۹</sup>، گاما<sup>۱۰</sup>، ویبول<sup>۱۱</sup>، نرمال<sup>۱۲</sup> و لگ-نرمال<sup>۱۳</sup> استفاده شده است. همچنین تعداد گروه‌ها از رابطه (۷) محاسبه شده است [۱۴].

$$k = 1 + \log_2 n \quad (۷)$$

که  $k$  تعداد گروه‌ها<sup>۱۴</sup> در هیستوگرام و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد که در این مقاله برابر ۵۰۰ است که بدین ترتیب تعداد گروه‌های هیستوگرام برابر ۱۰ می‌شود. در شکل (۶) (الف) چگالی احتمال بیشینه جابه‌جایی عرشه تحت بارگذاری موج با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای توابع توزیع مختلف رسم شده است و همچنین منحنی P-P این توابع نشان داده شده است. در این منحنی تابع توزیع تجمعی داده‌ها (در اینجا بیشینه جابه‌جایی عرشه) با مقادیر به دست آمده از توابع توزیع تجمعی تئوری مقایسه می‌شود و میزان تطابق این تئوری‌ها با داده‌های اصلی مورد سنجش قرار می‌گیرد [۱۵]. در جدول (۲) نتایج آزمون  $K-S$ <sup>۱۵</sup> آمده است. این آزمون جزء آزمون‌های ناپارامتری برای تفاوت مابین توزیع‌های تجمعی می‌باشد. این آزمون تفاوت مطلق بیشینه مقادیر توزیع تجمعی مشاهده شده‌ی یک نمونه تصادفی و یک توزیع نظری می‌باشد [۱۶]. همانطور که از این جدول استنباط می‌شود، تابع توزیع لگ-نرمال بهترین برآزش را میان سایر توابع داراست که البته لازم به ذکر است که این نمودارها تنها برای این سازه و با توجه به محل قرارگیری آن و شرایط موج استخراج می‌شود و در صورت تغییر هر یک از شرایط، نمودارهای متفاوتی به دست خواهد آمد [۱۷]. همچنین در شکل (۶) (ب) و جدول (۲) چگالی احتمال توابع توزیع، منحنی P-P و نتایج آزمون  $K-S$  برای معیار برش پایه نیز آورده شده است.

<sup>۹</sup> Gumbel

<sup>۱۰</sup> Gamma

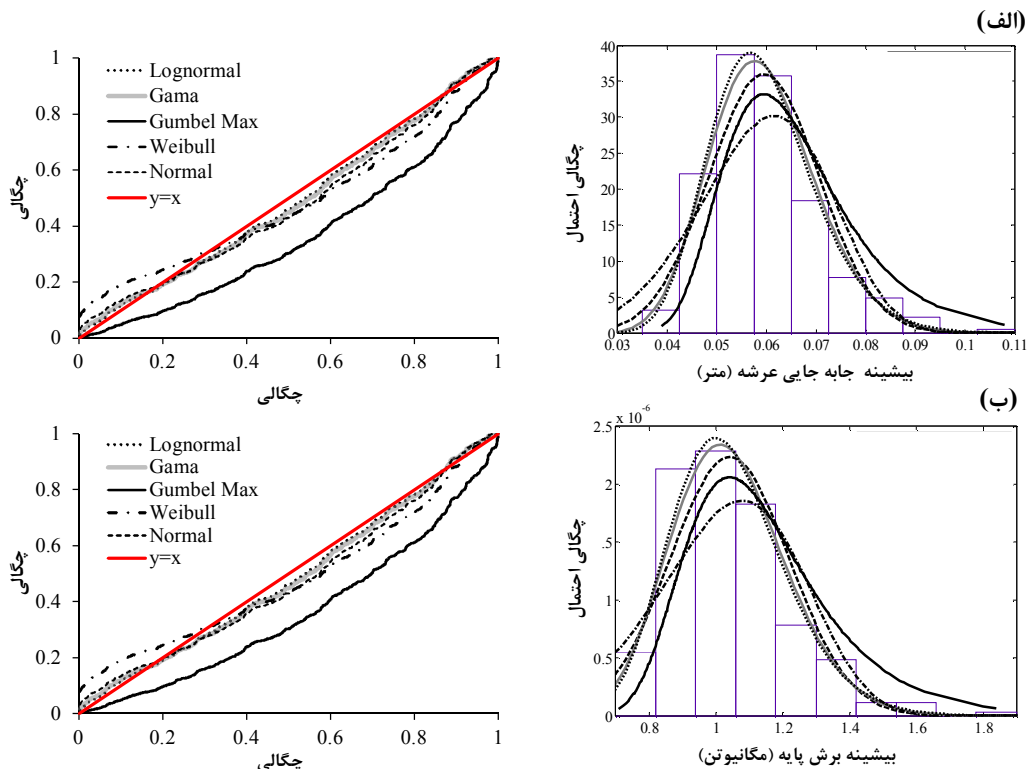
<sup>۱۱</sup> Weibull

<sup>۱۲</sup> Normal

<sup>۱۳</sup> Lognormal

<sup>۱۴</sup> Bins

<sup>۱۵</sup> Kolmogorov-Smirnov

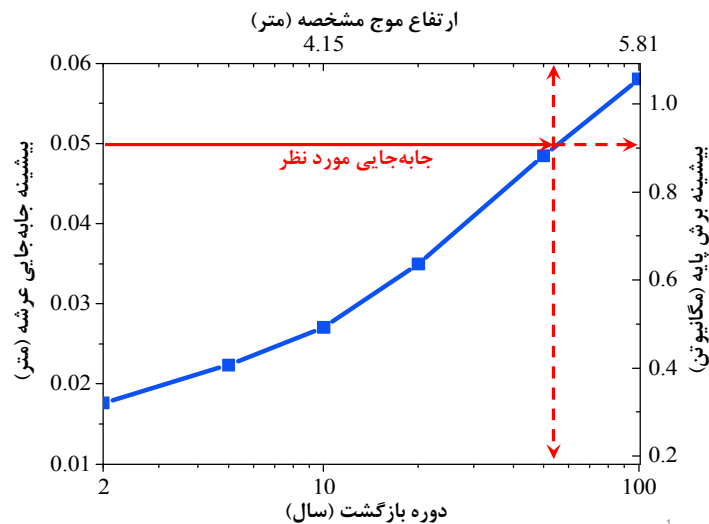


شکل ۶. برازش توزیع‌های مختلف بر روی داده‌های (الف) بیشینه جابه‌جایی عرشه و (ب) بیشینه برش پایه و نمودارهای P-P مربوط به آن

جدول ۲. نتایج آزمون K-S برای بیشینه جابه‌جایی عرشه و بیشینه برش پایه

ترتیب نکوئی	تابع توزیع احتمال	پارامترهای بیشینه جابه‌جایی	پارامترها بیشینه برش پایه
۱	Lognormal	$\mu = -۲/۸۴, \sigma = ۰/۱۸$	$\mu = -۱۳/۸۴, \sigma = ۰/۱۶$
۲	Gamma	$\alpha = ۳۱/۰۱, \beta = ۰/۰۰۲$	$\alpha = ۳۶/۶۰, \beta = ۲۸۴۸۲$
۳	Normal	$\mu = ۰/۰۶, \sigma = ۰/۰۱$	$\mu = ۱/۰۴ \times ۱۰^۶, \sigma = ۱/۷۸ \times ۱۰^۵$
۴	Weibull	$\alpha = ۰/۰۶, \beta = ۵/۱۶$	$\alpha = ۱/۱۲ \times ۱۰^۶, \beta = ۵۵۱/۶۳$
۵	Gumbel Max	$\mu = ۰/۰۶, \sigma = ۰/۰۱$	$\mu = ۱/۰۴ \times ۱۰^۶, \sigma = ۱/۷۸ \times ۱۰^۵$

شکل ۷) یک نمودار طراحی است که بر اساس تحلیل‌های تاریخچه‌زمانی برای این سازه استخراج شده است و برای طراحی کاربردی سازه‌های فراساحل استفاده می‌شود. متغیرهای پاسخ مهندسی مختلفی را می‌توان برای این نمودار استفاده کرد که در این مطالعه، بیشینه جابه‌جایی عرشه در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال، اگر مقدار این متغیر به ۰/۰۵ متر محدود باشد، دوره بازگشت مربوطه، ارتفاع موج مشخصه و بیشینه برش پایه تعیین شده به ترتیب برابر ۵۵ سال، ۵/۳۴ متر و ۰/۹۱۰ مگانیوتن خواهد بود. همچنین شایان ذکر است که این دوره بازگشت به دست آمده بر اساس بارگذاری حدی موج است بنابراین برای تعیین عمر کاربردی<sup>۱۶</sup> سازه، در نظر گرفتن سایر شرایط محیطی مانند زلزله و باد ضروری است.



شکل ۷. نمودار طراحی به دست آمده از تحلیل موج دوام اصلاح شده

#### ۴. نتیجه گیری

در این مقاله، گام به گام، روش انجام ارزیابی احتمالاتی برای شرایط دریایی مختلف امواج حدی منطقه خلیج فارس شرح داده شد. همچنین تولید رکوردهای تاریخچه‌زمانی در این روش بر مبنای مفهوم دوره بازگشت صورت گرفت که سبب کاربردی شدن نتایج ارزیابی برای مقاصد مهندسی گردید. همچنین جهت در نظر گرفتن ماهیت تصادفی امواج، پاسخ سازه برای ۵۰۰ شبیه‌سازی ۳ ساعته در نظر گرفته شد و توزیع‌های آماری مناسب برای آن استخراج گردید. علاوه بر این، یک منحنی طراحی بر اساس رکورد امواج ۳ ساعته به دست آمد که بیانگر کاربرد مناسب این روش در طراحی براساس عملکرد است. ذکر این نکته الزامی است که تمامی نتایج برای سازه خطی شده به دست آمد و تحقیقات بیشتری باید برای در نظرگیری اثرات مربوط به رفتار غیرخطی اعضا در کاربرد روش موج دوام اصلاح شده صورت گیرد.

#### مراجع

1. Y. Komachi, M. R. Tabeshpour, A. A. Golafshani, I. Mualla, Retrofit of Resselat jacket platform (Persian Gulf) using friction damper device, *Journal of Zhejiang University Science A (Applied Physics & Engineering)* 12(9), 680-691 (2011).
2. *API RP2A-WSD. 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 (2007).
3. H. Okada, Y. Murotsu, "A method for reliability assessment of aged jacket structures based on ultimate strength analysis", (1990).
4. G. Stewart, T. Moan, J. Amdahl, O. I. Eide, "Nonlinear re-assessment of jacket structures under extreme storm cyclic loading: Part I-Philosophy and acceptance criteria", *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 491-491 (1993).
5. R. Bea, M. Mortazavi, "ULSLEA: A limit equilibrium procedure to determine the ultimate limit state loading capacities of template-type platforms", *Journal of Energy Resource Technology*, 118(4), 267-275 (1996).
6. O. Hellan, T. Moan, S. Drange, "Use of nonlinear pushover analyses in ultimate limit state design and integrity assessment of jacket structures", *Proceedings of the 7th International Conference on the Behavior of Offshore Structures (BOSS)*, 323-345 (1994).
7. J. Amdahl, B. H. Skallerud, O. Elde, A. Johansen, "Recent developments in reassessment of jacket structures under extreme storm cyclic loading part II: Cyclic capacity of tubular members", *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 113-113 (1995).



8. W. Zhao, F. M. Burdekin, "Dynamic structural integrity assessment for offshore structures", *Journal of Energy Resource Technology* 126, 358-363 (2004).
9. A. A. Golafshani, V. Bagheri, H. Ebrahimian, T. Holmas, "Incremental wave analysis and its application to performance-based assessment of jacket platforms", *Journal of Constructional Steel Research* 67, 1649-1657 (2011).
10. D. Vamvatsikos, C. A. Cornell, "Incremental dynamic analysis", *Journal of Earthquake Engineering Structure Dynamics* 31, 491-514 (2002).
11. M. Zeinoddini, H. Matin Nikoo, H. Estekanchi, "Endurance Wave Analysis (EWA) and its application for assessment of offshore structures under extreme waves", *Journal of Applied Ocean Research* 37, 98-110 (2012).
12. ITTC Seakeeping Committee, Report of the seakeeping committee, *Proceedings of the 17th International Towing Tank Conference* 457-534 (1984).
13. *DNV-RP-C205, Environmental conditions and environmental loads*, Det Norske Veritas (2010).
14. *ISO, ISOSEN. 19901-1: 2005, Petroleum and natural gas industries-specific requirements for offshore structures-Part 1: Metocean design and operating conditions*, British Standards Institute (2005).
15. P. Taylor, P. Jonathan, L. Harland, "Time domain simulation of jack-up dynamics with the extremes of a Gaussian process", *Journal of Vibration & Acoustic* 119, 624-628 (1997).
16. M. J. Cassidy, R. E. Taylor, G. T. Houlsby, "Analysis of jack-up units using a Constrained NewWave methodology", *Journal of Applied Ocean Research* 23, 221-234 (2001).

۱۷. محمدسعید سیف، محمدرضا تابش پور، حمید مهدیقلی، سعید مهاجرنسب، محمدعلی داستان، "توسعه روش تحلیل موج دوام برای ارزیابی سکوی پایه ثابت تحت بارگذاری موج خلیج فارس با استفاده از تئوری موج نو"، چهاردهمین همایش صنایع دریایی، تهران، ایران، (۱۳۹۱).

- Y. Komachi, M. R. Tabeshpour, A. A. Golafshani, and I. Mualla, "Retrofit of Resselat jacket platform (Persian Gulf) using friction damper device," *Journal of Zhejiang University: Science A*, vol. 12, pp. 680-691, 2011. [1]
- "API-RP2A-2007," 2007. [2]
- S. Chandrasekaran and A. K. Jain, "Dynamic behaviour of square and triangular offshore tension leg platforms under regular wave loads," *Ocean Engineering*, vol. 29, pp. 279-313, 3// 2002. [3]
- K. Gurley and A. Kareem, "Gust loading factors for tension leg platforms," *Applied Ocean Research*, vol. 15, pp. 137-154, // 1993. [4]
- R. G. Bea and M. M. Mortazavi, "ULSLEA: A Limit Equilibrium Procedure to Determine the Ultimate Limit State Loading Capacities of Template-Type Platforms," *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, vol. 118, pp. 267-275, 1996. [5]
- N. Roitman, R. F. M. Andrade, and R. C. Batista, "Dynamic response analysis of a small-scale model tension leg platform," *Marine Structures*, vol. 5, pp. 491-513, // 1992. [6]
- J. M. Niedzwecki and J. R. Huston, "Wave interaction with tension leg platforms," *Ocean Engineering*, vol. 19, pp. 21-37, 1// 1992. [7]
- R. T. Hudspeth and J. W. Leonard, "Dynamic response of tension leg platforms with axisymmetric members," *Engineering Structures*, vol. 8, pp. 55-63, 1// 1986. [8]
- A. A. Golafshani, V. Bagheri, H. Ebrahimian, and T. Holmas, "Incremental wave analysis and its application to performance-based assessment of jacket platforms," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 67, pp. 1649-1657, 2011. [9]
- M. Zeinoddini, H. Matin Nikoo, and H. Estekanchi, "Endurance Wave Analysis (EWA) and its application for assessment of offshore structures under extreme waves," *Applied Ocean Research*, vol. 37, pp. 98-110, 2012. [10]
- D. Vamvatsikos and C. A. Cornell, "Incremental dynamic analysis," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 31, pp. 491-514, 2002. [11]
- G. Najafian, "Comparison of three different methods of moments for derivation of probability distribution parameters," *Applied Ocean Research*, vol. 32, pp. 298-307, 2010. [12]
- A. A. Golafshani, H. Ebrahimian, V. Bagheri, and T. Holmas, "Assessment of offshore platforms under extreme waves by probabilistic incremental wave analysis," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 67, pp. 759-769, 2011. [13]
- R. A. Khan, N. A. Siddiqui, S. Q. A. Naqvi, and S. Ahmad, "Reliability analysis of TLP tethers under impulsive loading," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 91, pp. 73-83, 1// 2006. [14]

- B. A. Younis and V. P. Przulj, "Prediction of hydrodynamic loading on a mini TLP with free surface effects," *Ocean Engineering*, vol. 33, pp. 181-204, 2// 2006. [15]
- N. A. Siddiqui and S. Ahmad, "Fatigue and fracture reliability of TLP tethers under random loading," *Marine Structures*, vol. 14, pp. 331-352, 5// 2001. [16]
- B. A. Younis, P. Teigen, and V. P. Przulj, "Estimating the hydrodynamic forces on a mini TLP with computational fluid dynamics and design-code techniques," *Ocean Engineering*, vol. 28, pp. 585-602, 6/1/ 2001. [17]