



مرکز بررسی‌ها و مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



## آنالیز قابلیت اعتماد سازه‌های سکوه‌ای فراساحلی

دکتر محمد رضا معرف زاده عضو هیئت علمی دانشگاه امام حسین (ع) -  
دانشکده فنی و مهندسی - گروه عمران

### چکیده مقاله:

در مبحثی که ذیلاً می‌آید آنالیز قابلیت اعتماد سازه‌های سکوه‌ای فراساحلی شرح داده خواهد شد. این سازه‌ها علاوه بر بارهای متنوع و مختلفی که بر آنان تحمیل می‌شود تحت بارگذاری دینامیکی غیرگوسی موج و باد نیز می‌باشند. بمنظور انجام آنالیز روشی که بر اساس مفهوم برون‌گذری (out - crossing) بنا نهاده شده است و همراه شبیه‌سازی جهتی (directional simulation) در فضای بارگذاری استفاده خواهد شد پیشنهاد می‌گردد. جهت بهره‌برداری از این روش از نتایج معلوم و دقیقی که در خصوص فرآیندهای تصادفی گوسی وجود دارد از طریق تکرار در جهت تقریب نرخ برون‌گذری فرآیندهای غیرگوسی بارهای باد و موج استفاده شده و در انتها احتمال تخریب سازه در یک بازه زمانی خاص یافت خواهد شد.

برای ارزیابی دقت نتایجی که با روش یاد شده بدست می‌آیند فرآیندهای تصادفی بارهای باد و موج (در دامنه زمانی) بروش شبیه‌سازی مونت-کارلو تولید شده و با اعمال آنان بر سازه احتمال خرابی سازه برآورد می‌گردد.

متأسفانه همانطور که انتظار نیز می‌رفت عملیات شبیه‌سازی فرآیندهای دخیل در آنالیز سازه از دیدگاه مقدار زمان و حجم عملیات محاسباتی لازم گران بوده و استفاده از آن دارای محدودیت‌هایی است.

طی مثالی که خواهد آمد ملاحظه خواهد شد که دقت روش پیشنهادی محاسبه احتمال خرابی سازه توسط مفهوم برون‌گذری با استفاده از تقریب یاد شده کاملاً قابل رقابت با نتایج بدست آمده توسط شبیه‌سازی مونت-کارلو است. ضمناً حجم عملیات محاسبات لازم در روش پیشنهادی بسیار کمتر از روش شبیه‌سازی یاد شده می‌باشد.

## ۱: مقدمه

آنالیز قابلیت اعتماد سازه‌های سکوه‌ای فراساحلی تحت حالات بارهای کرانه‌ای، غالباً به همراه فرضیات ساده‌کننده قابل توجهی است. این فرضیات ساده‌کننده معمولاً شامل استفاده از تئوری خطی موج برای نمایش حالات موج طوفانی و نیز استفاده از تکنیک خطی کردن معادله موریسون جهت یافتن نیروهای ناشی از موج روی سازه هستند. دو عملکرد ساده‌کننده فوق‌الاشاره سبب گوسی بودن فرآیندهای سرعت و شتاب موج و نتیجتاً نیروی ناشی از موج خواهند شد. فرضیات بعمل آمده متأسفانه در بعضی حالات نتایج غیر محافظه‌کارانه‌ای را بدست میدهند. جهت احتراز از نتایج احتمالی اینگونه، اصلاحاتی توسط محققین پیشنهاد شده است [۱، ۱۵]. این روشهای اصلاح شده باعث ایجاد سازگاری و همگونی بیشتری میان فرآیند بارها(یا فرآیند پاسخ سازه) با فرآیند متناظر واقعی خواهند گشت. الا ایحال فرآیند پاسخ (غیر گوسی) سازه همچنان نیاز به تقریب بعنوان یک فرآیند گوسی جهت تسهیل یافتن نرخ بالاگذری (upcrossing rate) خواهد داشت. پر واضح است تکنیکی که با آن این تقریب انجام می‌گیرد تخمین کمیت نرخ بالاگذری را تحت تأثیر خود خواهد داشت. در مقاله حاضر مسئله بالا توسط تکنیک خطی سازی نمونه‌گیری ویژه (sample specific linearization technique) در قالب شبیه سازی جهتی (directional simulation) در فضای بارگذاری به منظور انجام آنالیز قابلیت اعتماد مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

در آنالیز پیشنهادی تئوری خطی موج بکار گرفته خواهد شد. بر اساس این تئوری، اگر فرآیند سطح دریا یا  $\eta(t)$  دارای طیفی به شکل نوار باریک بوده و نیز گوسی باشد، سرعت و شتاب موج نیز گوسی خواهند بود. مشکل اساسی اینجاست که پس از عملیات انتقال با استفاده از معادله موریسون، فرآیند حاصل فرآیندی گوسی نخواهد بود. در این مقاله مسئله تبدیل فرآیندهای غیرگوسی بارهای موج با فرآیندهای معادل گوسی مناسب مورد توجه قرار خواهد گرفت بطوریکه کمیت‌های احتمال اولیه خرابی و نیز نرخ متوسط برون‌گذری (mean outcrossing rate) با استفاده از فرآیندهای گوسی یافت شده قابل حصول باشند.

روشی نظیر آنچه برای فرآیند موج در بالا استفاده گشت می‌تواند جهت قسمت متلاطم فرآیند سرعت باد (که غالباً گوسی فرض می‌گردد) استفاده شود.

آنالیز مشروحه بالا برای تک تک حالات دریا (sea states) (که عبارت از پریدهای کوتاه مدتی می‌باشند که در طول آنان مشخصات دریا نظیر ارتفاع موج عمده، پرید متوسط بالاگذری از صفر موج و نیز سرعت متوسط باد ثابت هستند) انجام می‌گردد. آنالیز فوق آنالیز کوتاه مدت خوانده خواهد شد. آنالیز دراز مدت قابلیت اعتماد با احتساب تمامی حالات دریا در طول عمر مفید سازه در محاسبات انجام خواهد گردید.

## ۲: مدل سازی محیط دریا

در مدل‌سازی محیط دریا تنها بارهای موج و باد لحاظ خواهند شد. جهت توصیف فرآیند ارتفاع سطح دریا از طیف موج  $S_{\eta\eta}(\omega)$  که عمدتاً تابعی از ارتفاع موج عمده  $H_s$  و پرید متوسط بالاگذری از صفر  $T_z$  میباشد استفاده می‌گردد. سرعت باد نیز با طیف آن  $S_{ww}(\omega)$  توصیف می‌شود که با قسمت متلاطم سرعت باد و نیز مقدار متوسط آن  $\bar{V}_v$  تعریف خواهد شد. در بحثی که می‌آید  $H_s$ ،  $T_z$  و  $\bar{V}_v$  در طول هر حالت دریا ثابت فرض می‌گردند و مؤلفه‌های بردار حالت دریا و یا  $S = S(H_s, T_z, \bar{V}_v)$  در نظر گرفته خواهند شد.

نیروی موج در طول واحد عضو سازه‌ای لوله‌ای می‌تواند از فرمول مورسون تخمین زده شود:

$$q_w(t) = q_{wd}(t) + q_{wi}(t) \\ = c_w v_w(t) |v_w(t)| + k_w a(t) \quad (1)$$

در رابطه بالا  $q_{wd}(t)$  و  $q_{wi}(t)$  به ترتیب نیروهای دراگ و اینرسی،  $V_w(t)$  و  $a(t)$  به ترتیب فرآیندهای سرعت و شتاب موج می‌باشند. نیز  $c_w = c_d \rho_w D/2$  و  $k_w = c_m \rho_w \pi D^2/4$  می‌باشد که در این روابط  $c_m$  و  $c_d$  ثابت‌های دراگ و اینرسی،  $\rho_w$  چگالی جرمی آب دریا و  $D$  قطر عضو لوله‌ای تحت مطالعه تعریف می‌گردند.

مبتنی بر تئوری خطی موج  $V_w(t)$  و  $a(t)$  در معادله (۱) بطور خطی به فرآیند ارتفاع سطح دریا  $\eta(t)$  مرتبط میشوند طیفهای این دو فرآیند به این ترتیب می‌توانند بر حسب طیف  $\eta(t)$  نوشته شوند [۲]:

$$S_{vv}(\omega) = T_1(\omega, z) \cdot S_{\eta\eta}(\omega)$$

$$S_{aa}(\omega) = T_2(\omega, z) \cdot S_{\eta\eta}(\omega) \quad (2)$$

در این روابط:

$$T_1(\omega, z) = \omega^2 \frac{\cosh^2(kz)}{\sinh^2(kd)}$$

$$T_2(\omega, z) = \omega^4 \frac{\cosh^2(kz)}{\sinh^2(kd)}$$

(۳)

در رابطه‌های (۳)،  $d$  عمق آب،  $z$  فاصله کف دریا تا نقطه تحت مطالعه سازه و  $k$  شماره موج می‌باشد که از رابطه:

$$\omega^2 = gk \tanh(kd) \quad (4)$$

بدست می‌آید. همانطور که قبلاً ذکر شد وجود عامل غیر خطی در بخش دراگ معادله مورسون سبب غیر گوسی شدن نیروی  $q_{wd}(t)$  و بالتبع نیروی کل  $q_w(t)$  خواهد شد.

نیروی باد در واحد سطح نیز به شکل غیر خطی به سرعت باد  $V_v(t)$  از طریق معادله زیر مرتبط می‌شود [۵]:

$$q_v(t) = c \cdot v_v^2(t) \quad (5)$$

که در آن  $c = 1/2 c_v \rho_v$  بوده و در این معادله  $c_v$  و  $\rho_v$  به ترتیب یک ثابت و چگالی جرمی هوا تعریف می‌گردند.  $V_v(t)$  جهت تسهیل محاسبات معمولاً به دو قسمت تجزیه می‌گردد: مقدار متوسط ناوابسته بزمان سرعت باد  $\bar{V}_v$  و قسمت متلاطم  $w(t)$  (بعبارت دیگر  $V_v(t) = \bar{V}_v + w(t)$ )

### ۳: آنالیز قابلیت اعتماد

از آنجائیکه سازه تحت تأثیر اثر ترکیبی بارهای متفاوتی است مسئله ترکیب بارگذارها بایستی در محاسبات

ملحوظ گردد. اصولاً مناسب‌ترین روش برای برخورد با این امر، لحاظ مسئله ترکیب بارگذار بهادر فرمولاسیون قابلیت اعتماد بوسیله برخورد با بارها بعنوان فرآیندهای استوکستیک (نه صرفاً متغیرهای تصادفی) می‌باشد. متأسفانه این عملکرد باعث گرانی بسیار محاسبات از دیدگاه حجم عملیات کامپیوتری است. روش عملی‌ای که غالباً برگزیده می‌گردد تعریف پریده‌های زمانی کوتاه مدت (که بعضاً طوفان نامیده می‌شوند) و انجام محاسبات آنالیز قابلیت اعتماد مشروط در طول این پریده‌ها می‌باشد. مدل‌های مختلفی برای انجام اینگونه آنالیز در تحقیقات گذشته پیشنهاد گشته است. مدل‌هایی که بر اساس طوفان ارائه می‌گردند، طوفان را تنها به مشخصات موج ربط می‌دهند. در بعضی از این مدل‌ها خرابی سازه تنها در حالت دریایی محتمل فرض می‌گردد که موج با فرض ارتفاع موج عمده بیشینه در آن حالت دریایی از سازه عبور نماید [۱۰]. در بعضی مدل‌های دیگر تمامی حالت‌های دریایی که دارای ارتفاع موجی بزرگتر از یک ارتفاع عمده موج از پیش تعریف شده می‌باشند در آنالیز قابلیت اعتماد بکار می‌آیند [۸]. پرواضح است که این مدل‌ها، مدل‌های محافظه کارانه‌تری هستند زیرا حالات دریایی بیشتری که ممکن است خرابی سازه در طول آن اتفاق افتد در محاسبات در نظر گرفته می‌شوند. هنگامیکه بارهای دیگری غیر از بار موج نظیر بار جریان آب و یا باد و یا... از اهمیت بالایی برخوردار باشند مدل‌هایی که قبلاً از آن یاد شد مناسب نیستند [۱]. در این حالت بنظر مناسب می‌رسد که تمامی حالات دریا در محاسبات بکار آیند و قابلیت اعتماد سازه با استفاده از تمامی تاریخچه بارگذاری تخمین زده شود.

در مقاله حاضر فرض بر آنست که هر حالت دریایی پتانسیل ایجاد وضعیت کرانه‌ای (بحرانی) از ترکیب بارگذاری‌ها را دارا می‌باشد. یک روش وابسته بزمان به منظور تخمین قابلیت اعتماد سازه‌ای که تحت بارهای مختلفی قرار دارد بکار گرفته میشود. این تخمین تماماً برای یک حالت دریایی معلوم انجام خواهد گرفت. قابلیت‌های اعتماد حالات دریا سپس برای تخمین قابلیت اعتماد سازه در طول عمر مفید آن استفاده می‌گردند. اصولاً وابستگی میان حالات دریا بایستی در نظر گرفته شوند هر چند در مقاله حاضر از اینگونه وابستگیها صرف نظر خواهد شد. قبلاً نشان داده شده است که این فرض تا آنجائیکه محاسبه پاسخ کرانه‌ای سازه مورد نظر باشد فرض معقولی است [۱۱، ۱]. همچنین فرض می‌گردد که تمامی حالات دریا دارای مدت زمانی یکسان هستند و تعداد این حالات دریا در طول بازه زمانی  $[0, T]$  (طول عمر مفید مفروض سازه)  $N$  میباشد. با این فرضیات احتمال خرابی سازه در طول عمر مفید مفروض خود می‌تواند از رابطه زیر تخمین زده شود:

$$P_{fT} = 1 - [1 - P_{fd}]^N = 1 - \exp[-N P_{fd}] \quad (6)$$

در رابطه بالا  $P_{fT}$  احتمال خرابی در عمر مفید سازه (احتمال خرابی دراز مدت سازه) و  $P_{fd}$  احتمال خرابی در طول یک حالت دریایی (احتمال خرابی کوتاه مدت سازه) می‌باشند. اگر  $T$  و  $\mu_d$  به ترتیب عمر مفید سازه و طول مدت یک حالت دریا باشند تعداد  $N$  حالت دریا در فاصله زمانی  $[0, T]$  از رابطه  $N = T/\mu_d$  بدست می‌آید.

۴: احتمال خرابی کوتاه مدت یا  $P_{fd}$

۴-۱: شبیه سازی جهتی (directional simulation)

در روشی که در مقاله حاضر برگزیده شده است ابتدا احتمال خرابی مشروط و یا  $P_{fd}(s)$  با  $S=s$  (بردار

حالت دریا) معلوم محاسبه می‌گردد و سپس جهت یافتن احتمال خرابی غیر مشروط، انتگرال‌گیری روی تمامی

$$p_{fd} = \int_s p_{fd}(s) f_S(s) ds \quad (7)$$

مقادیر مؤلفه‌های بردار حالت دریا یا S انجام خواهد گرفت:

در رابطه بالا  $f_S(s)$  تابع چگالی مشترک احتمال مؤلفه‌های حالت دریا بوده و فرض می‌گردد معلوم می‌باشد. مقدار  $p_{fd}(s)$  می‌تواند با استفاده از تکنیک شبیه سازی جهتی تخمین زده شود [۶ و ۲]. همچنین این تکنیک می‌تواند به پیروی از رویه‌ای که در مرجع [۱۲] در پیش گرفته شده است در فضای بارگذاری انجام گیرد. برای این عمل فرض نمائید سیستم سازه با  $m$  متغیر تصادفی مستقل از زمان و  $n$  فرآیند بارگذاری پیوسته ایستا و وابسته به زمان توصیف گردد. این دو مجموعه از پارامترهای سیستم سازه مؤلفه‌های دو بردار  $R$  و  $Q$  به ترتیب در نظر گرفته میشوند. بعلاوه فرض نمائید خرابی سازه زمانی اتفاق می‌افتد که یک و یا چند حالت حدی  $G_i(r, q) = 0$  که  $i=1, \dots, k$  تعداد حالات حدی است) در طول مدت یک زمان مفروض (مثلاً در طول مدت یک حالت دریائی) نقض گردند.

حال با این فرضیات، برای برپائی فضائی که در آن شبیه سازی جهتی انجام شود  $Q$  در سیستم مختصات قطبی به شکل زیر نمایش داده می‌شود:

$$Q = E A + c \quad (8)$$

در این رابطه  $E$  فاصله مرکز  $c$  تا منحنی حالت حدی و  $A$  بردار جهتی تصادفی واحدی است که دارای تابع چگالی احتمالی  $f_A(a)$  می‌باشد (شکل ۱). همانگونه که در مرجع [۱۲] بحث شده است نقطه  $c$  می‌تواند کاملاً اختیاری انتخاب گردد هر چند نقطه میانگین  $\mu_Q$  به عنوان نقطه‌ای مناسب معمولاً پیشنهاد می‌گردد. با استفاده از رابطه (۸) حال می‌توان نوشت:

$$p_{fd}(s) = \int_{\text{unit sphere}} \left[ \int_E p_{fd}(s, e|a) f_{E|A}(e|a) de \right] f_A(a) da \quad (9)$$

در این رابطه احتمال مشروط خرابی با معلوم بودن  $S=s$  و  $A=a$  بوده و  $f_{E|A}(e|a)$  تابع چگالی احتمال  $E$  مشروط به معلوم بودن  $A=a$  می‌باشد.

احتمال مشروط خرابی  $p_{fd}(s, e|a)$  می‌تواند با استفاده از حد بالای کاملاً شناخته شده‌ای که برای مقدار نرخ  $v_D^+$  (که نرخ برون‌گذری از منطقه ایمن  $D$  است) وجود دارد بدست آید. بر این اساس اگر برون‌گذریها وقایع پواسونی مستقل فرض گردند،  $p_{fd}(s, e|a)$  می‌تواند از رابطه زیر تخمین زده شود:

$$p_{fd}(s, e|a) \leq p_{fd0}(s, e|a) + [1 - p_{fd0}(s, e|a)] \{1 - \exp[-v_D^+(s, e|a) \mu_d]\} \quad (10)$$

در این رابطه  $p_{fd0}(s, e|a)$  و  $v_D^+(s, e|a)$  به ترتیب احتمال خرابی اولیه و نرخ برون‌گذری متوسط مربوط به حالت دریائی در نظر گرفته شده  $S=s$  می‌باشد مشروط بر آن که  $E=e$  و  $A=a$  باشند. مقادیر غیر مشروط این مقادیر بر حسب  $E$  و  $A$  می‌تواند از روابط زیر معلوم شوند:

$$P_{f_{D0}}^+(s) = \int_{\text{unit sphere}} \left[ \int_0^{\infty} F_{E|A}(ela) \frac{f_Q(s, ea + c)}{f_A(a)} e^{n-1} de \right] f_A(a) da \quad (11)$$

$$v_{D^+}^+(s) = \int_{\text{unit sphere}} \left[ \int_0^{\infty} E[n(a) \dot{Q}(t)]^+ \frac{f_Q(s, ea + c)}{f_A(a)} \frac{e^{n-1}}{a^T n(a)} f_{E|A}(ela) de \right] f_A(a) da \quad (12)$$

در این عبارات،  $F_{E|A}(\cdot)$  تابع توزیع انباشته (یا cdf) کمیت  $E$  مشروط بر  $A=a$  می باشد،  $f_Q(\cdot)$  تابع چگالی احتمال مشترک مؤلفه های  $Q$  است،  $E[\cdot]^+$  اپراتور امید ریاضی (expectation) است با مقادیر  $E[\cdot]^+ = 0$  اگر  $E[\cdot]$  منفی باشد،  $n(a)$  بردار واحدی است که جهت آن بطرف بیرون بوده و بر منحنی حالت حدی در نقطه تقاطعی که توسط شعاع  $A=a$  و سطح حالت حدی تعریف می گردد عمود است و بالاخره  $\dot{Q}(t)$  مشتق زمانی  $Q(t)$  می باشد.

هر چند شبیه سازی ساده مونت کارلو برای محاسبه این انتگرالها می تواند استفاده گردد، تکنیک نمونه گیری مهم (importance sampling technique) شرایط بهتری را جهت نمونه گیری فراهم می نماید. معذالک استفاده از این تکنیک ایجاب می نماید که معادلات (11) و (12) به شکل زیر نوشته شوند:

$$P_{f_{D0}}^+(s) = E_B \left\{ \frac{f_A(b)}{h_B(b)} \left[ \int_0^{\infty} F_{E|A}(elb) \frac{f_Q(s, eb + c)}{f_A(b)} e^{n-1} de \right] \right\} \quad (13)$$

$$v_{D^+}^+(s) = E_B \left\{ \frac{f_A(b)}{h_B(b)} \left[ \int_0^{\infty} E[n(b) \dot{Q}(t)]^+ \frac{f_Q(s, eb + c)}{f_A(b)} \frac{e^{n-1}}{b^T n(b)} f_{E|A}(elb) de \right] \right\} \quad (14)$$

در این روابط  $E_B[\cdot]$  اپراتور امید ریاضی بر روی بازه مقادیر بردار تصادفی نمونه گیری مهم یعنی  $B$  بوده و  $h_B(b)$  تابع چگالی نمونه گیری مهم میباشد که از آن نمونه های جهتی استخراج می گردند. انتگرال گیری روی مقادیر  $E$  نیز می تواند با شبیه سازی و یا بصورت عددی انجام گیرد.

#### ۴-۲: خطی کردن عبارت نیرو

حل عبارات (11) و (12) در حالت وجود فرآیندهای غیر گوسی بسیار مشکل می باشد. روشی که در این مقاله پیشنهاد می گردد مبتنی بر خطی کردن رابطه تابعی معلوم میان مدل های فرآیندهای غیر گوسی برای نیرو و فرآیندهای گوسی برای سرعت و شتاب موج و نیز سرعت باد است. این روابط تابعی بصورت تیپ بشکل زیر میباشد:

$$q_i(t) = g[V_i(t)] \quad (15)$$

اگر رابطه یکنائی میان  $V$  ها و  $q$  ها فرض گردد می توان خواص احتمالاتی فرآیندهای گوسی  $V_i(t)$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) رامستقیماً بجای خواص احتمالاتی حاصل  $q_i(t)$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) استفاده نمود. این عمل در حالتی که تنها یک فرآیند بار و تنها یک مد خرابی (یک حالت حدی) وجود داشته باشد بسیار ساده است. علت این امر آنست که در این حالت مسئله ترکیب بارگذاری مطرح نیست. همچنین در این حالت

انتگرال‌گیری با استفاده از شبیه سازی جهتی ضرورتی نمی‌یابد. در بحثی که می‌آید ابتدا این حالت ساده بمنظور توضیح روش خطی کردن پیشنهادی مورد توجه قرار خواهد گرفت، بعد از آن حالاتی که چند مد خرابی و چند فرآیند بارگذاری دخیل می‌باشند بحث خواهند شد.

۴-۲-۱: حالت یک فرآیند بار و یک مد خرابی

در این مبحث فرآیند بارگذاری و یا  $q_v(t)$  فرآیند بار باد در نظر گرفته خواهد شد. نیز مد خرابی با  $G[R, q_v(t)] = 0$  نمایش داده خواهد شد که در آن بردار خواص سازه بوده و دارای  $m$  مؤلفه می‌باشد. آنالیز قابلیت اعتماد در این حالت چیزی غیر از تخمین نرخ متوسط بالاگذاری (mean upcrossing rate) فرآیند از  $q_v(t)$  از تراز  $q_v = q_v^*$  نمی‌باشد. این فرض که  $q_v(t)$  و  $V_v(t)$  رابطه یکتائی دارند می‌تواند با فرض معقول صرف نظر از سرعت‌های منفی باد اقلانگردد. بدین ترتیب نرخ متوسط بالاگذاری  $v_{q_v^*}^+$  فرآیند  $q_v(t)$  از تراز  $q_v^*$  برابر خواهد شد با  $v_{v_v^*}^+ = v_{v_v^*}^+[g^{-1}(q_v^*)]$  این نرخ می‌تواند با استفاده از رابطه کاملاً شناخته شده

$$v_{v_v^*}^+(v_v^*) = (\sigma_{v_v} / \sqrt{2\pi}) f_{v_v}(v_v^*)$$

برای فرآیندهای گوسی تخمین زده شود. در این رابطه  $\sigma_{v_v}$  انحراف استاندارد مشتق زمانی سرعت باد و  $f_{v_v}(\cdot)$  تابع چگالی احتمالی نرمال  $V_v$  می‌باشد.

با بحث مشابهی می‌توان نشان داد که  $P_{fd0} = 1 - F_{q_v}(q_v^*)$  به این معنا که محتوای احتمالاتی آنسوی  $q_v^*$  در زیر توزیع  $q_v(t)$  برابر محتوای احتمالاتی آنسوی نقطه  $v_v^*$  در زیر توزیع  $V_v$  (یا  $1 - F_{v_v}(v_v^*)$ ) می‌باشد. این دو محتوای احتمالاتی در شکل ۲ با هاشور نشان داده شده‌اند.

می‌توان نشان داد که نتایج بالا می‌توانند با خطی کردن عبارت غیر خطی (۱۵) در نقطه  $q_v^*$  حاصل گردند. نقطه  $q_v^*$  با استفاده از عبارت حالت حدی  $G[R, q_v^*] = 0$  با معلوم بودن  $R$  بدست می‌آید. عبارت خطی حاصل به شکل زیر نمایش داده می‌شود:

$$P_v(t) = f[V_v(t)] \quad (16)$$

که در آن  $P_v(t)$  بار متناظر روی سطح خطی شده است، (شکل ۲). با استفاده از این معادله تابع چگالی احتمال گوسی  $f_{p_v}(\cdot)$  می‌تواند حاصل شده که دارای خواص  $f_{p_v}(q_v^*) = f_{q_v}(q_v^*)$  و  $F_{p_v}(q_v^*) = F_{q_v}(q_v^*)$  می‌باشد.

نتایج بالا همچنین با اعمال مفهوم «تقریب دم نرمال» که در روشهای قابلیت اعتماد مرتبه اول در سطح عمده‌ای استفاده می‌شود بدست آیند. این مفهوم در اینجا بحث نخواهد کرد.

تصادفی بودن بردار  $R$  در بحث جاری می‌تواند با انتگرال‌گیری  $m$  گانه روی مقادیر مؤلفه‌های  $m$  گانه  $R$  در نظر گرفته شود. این عمل نیاز به دانستن تابع چگالی احتمالی مشترک  $f_R(r)$  دارد. در عمل این انتگرال‌گیری‌ها می‌توانند یا با شبیه سازی و یا بصورت عددی انجام شود. در هر دو حالت با داشتن خروجی‌های  $R_i^* (i=1, 2, \dots, m)$ ،  $q_v^*$  و به دنبال آن  $v_v^*$  و  $p_v^*$  از طریق تابع حالت حدی  $G[R^*, q_v^*] = 0$  بدست می‌آیند. در انتها ذکر این نکته لازم است که مشاهده می‌گردد که به ازای  $q_v^*$  های مختلف عملیات خطی کردن متفاوتی خواهیم داشت.



۲-۲-۴: حالت فرآیندهای بارگذاری چندگانه و مدهای خرابی چندگانه

در این حالت سیستم تحت مطالعه ترکیبی است از  $n$  فرآیند بارگذاری گوسی و غیرگوسی و  $k$  مد خرابی در  $G_j[R_j, Q] = 0$  (جایی که  $j = 1, 2, \dots, k$ ) رابطه اخیر الذکر  $R_j$  مانند قبل بردار  $m$  بعدی بارگذاری است که خواص سازه‌ای را ادر  $j$  امین مد خرابی نشان می‌دهد و نیز  $Q$  بردار  $n$  بعدی بارگذاری است. در اینجا ضمناً فرض می‌گردد که یک مؤلفه تیپ بارگذاری تابعی خطی از بارگذاری گسترده باد و یا موج که بر سازه عمل می‌کنند می‌باشد این رابطه خطی را می‌توان با  $Q = Gq$  نشان داد که در آن  $G$  ماتریسی  $n \times n$  می‌باشد که دارای عناصر ثابت است و  $q$  بردار بارگذاری گسترده  $n$  بعدی است (شکل ۳ ملاحظه گردد).  
رابطه غیر خطی (۱۵) می‌تواند در نقطه‌ای مانند  $V = V^*$  با استفاده از دنباله تیلور بسط داده شود. اگر تنها عبارات مرتبه اول از عبارت بسط یافته در نظر گرفته شوند خواهیم داشت:

$$P_i = [q_i]_{v_i = v_i^*} + \left[ \frac{dq_i}{dv_i} \right]_{v_i = v_i^*} (v_i - v_i^*) ; i = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

در این رابطه  $q_j$  ها نیروهای باد و یا موج  $V_j$  ها سرعت باد و یا موج در نقطه  $i$  می‌باشند. همچنین مقادیر  $v_i^*$  از  $V_j$  که متناظر  $q_j^*$  از طریق معادله (۱۵) است می‌باشد. نیز نیروی خطی شده باد و یا موج را نشان می‌دهد. با جایگزینی  $q_j$  از رابطه (۱) (تنها عبارت دراگ آن) در رابطه (۵) خواهیم داشت:

$$P_{w_{di}} = \left( c_w v_{w_i}^* |v_{w_i}^*| \right) + 2c_w |v_{w_i}^*| (v_{w_i} - v_{w_i}^*) \quad (18)$$

$$P_{v_i} = \left[ c (v_{v_i}^*)^2 \right] + 2c v_{v_i}^* (v_{v_i} - v_{v_i}^*) \quad (19)$$

در این روابط  $P_{w_{di}}$  و  $v_{w_i}$  نیروی دراگ و سرعت موج و  $P_{v_i}$  و  $v_{v_i}$  نیرو و سرعت باد در نقطه  $i$  می‌باشند.

معادلات (۱۸) و (۱۹) جهت تعریف فضای معادل  $n$  بعدی گوسی  $P$  استفاده میشوند. قابلیت اعتماد سازه حال در این فضا بجای فضای اولیه  $Q$  انجام خواهد شد این عمل با استفاده از شبیه سازی جهتی در این فضا انجام خواهد گردید. فرض نمائید  $j$  امین جهت  $A_j = a_j$  شبیه سازی شده است. شعاع متناظر این جهت با تابع حدی بحرانی در نقطه  $Q_j = Q_j^*$  برخورد خواهد داشت. این نقطه در حقیقت مقاومت سازه در این جهت می‌باشد. با داشتن  $Q_j^*$  می‌توان  $q_j^*$  را با استفاده از رابطه  $q_j^* = G^{-1} Q_j^*$  یافت و بدنبال آن  $v_j^*$  می‌تواند از قسمت دراگ معادله (۵) و نیز معادله (۶) بدست آید.

با معلوم بودن  $v_j^*$  خواص احتمالاتی فرآیندهای بارگذاری گوسی  $P_{w_{di}}$  و  $P_{v_i}$  در دست خواهند بود و نتیجتاً خواص احتمالاتی مؤلفه‌های فضای  $P$  تماماً معلوم خواهند بود. این معلومات این امکان را ایجاد می‌کند که نرخ متوسط برون‌گذری  $v_{D0}^*$  و نیز احتمال خرابی اولیه  $P_{f_{d0}}$  با استفاده از تکنیکهای

شناخته شده برای فرآیندهای گوسی تخمین زده شوند. تذکر این نکته لازم است که در فضای بارگذاری مورد بحث در بالا عملیات خطی سازی تنها برای بارهای غیر گوسی لازم بوده و بارهای گوسی (نظیر باراینرسی موج) تنها در انتها به فضای  $P$  اضافه خواهند شد.

### ۵: ارزیابی قابلیت اعتماد کوتاه مدت با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو

بنظر می رسد که هیچگونه نتایجی که نتایج مقاله حاضر بتواند با آنان قیاس شود در تحقیقات مشابه وجود نداشته باشد. بنابراین جهت ارزیابی کیفیت نتایج حاصله راهی بجز استفاده از شبیه سازی خالص مونت کارلو دیده نشد. در شبیه سازی مونت کارلو بمنظور کسب یک تخمین برای احتمال خرابی، هر فرآیند بارگذاری بایستی در پرید حالت دریایی مد. شبیه سازی شود. آنچه که در اینجا انجام می شود شبیه سازی فرآیندهای گوسی سرعت و شتاب موج و استفاده از روابط (۱) و (۵) برای تولید فرآیندهای بارگذاری موج و باد می باشد. حال نمونه هائی از فرآیندهای بارگذاری در نقاط مختلف زمانی در دسترس میباشد که در هر یک از این نقاط می توان آنالیز سازه انجام گرفته و پاسخ سازه بدست آید. اگر پارامترهای مقاومتی سازه تعیینی نباشند (تصادفی باشند)، شبیه سازیهای اضافه ای جهت تولید نمونه های مربوط به این پارامترهای بایستی انجام گیرد. حال با داشتن این معلومات می توان کنترلی تماماً تعیینی انجام داده و احتمال نقض یکی از حالات حدی در طول پرید حالت دریا در هر یک از نقاط زمانی را بررسی نمود. احتمال خرابی سازه می تواند با استفاده از تعدادی زیاد از این نمونه های فرآیندهای بارگذاری تخمین زده شود.

جهت شبیه سازی یک فرآیند گوسی دو روش عمده می توان بکار برد. این روش ها عبارتند از روش دامنه طیفی تعیینی و روش دامنه طیفی غیر تعیینی [۱۶، ۱۴، ۱۳]. جزئیات این روش خارج از حیطه بحث این مقاله میباشد.

### ۶: مثال

یک سازه خرپائی دو بعدی که در شکل ۳ ترسیم شده است را در نظر بگیرید که تحت تأثیر بارهای موج و باد می باشد. بار موج با استفاده از معادله مورسون در نقاط ۱ و ۲ بدست می آید. با این تقریب که توزیع بار موج میان نقاط ۱ و ۲ و نیز میان ۲ و ۱ خطی می باشد (شکل ۳) دو بار متمرکز معادل ناشی از موج یعنی  $Q_1$  و  $Q_2$  در نقاط گرهی ۱ و ۳ سازه محاسبه می گردند. همچنین بار  $Q_3$  که ناشی از بار باد روی عرشه می باشد در نقطه ۳ بصورت متمرکز در نظر گرفته می شود. در جدول ۱ نیز مجموعه خواصی که در مثال استفاده می شود آمده است.

با این فرض که طول موج خیلی بیشتر از عرض سازه در جهت انتشار موج می باشد فاز موج در تمامی نقاط سازه که در تراز واحدی قرار دارند یکسان گرفته می شود. بدین ترتیب نیروهای موج در نقاط ۱ و ۲ با نیروهای موجود در نقاط ۳ و ۵ به ترتیب مساوی خواهند بود. جهت سادگی محاسبات دو عضو عمودی و عضو مایل همگی دارای قطری یکسان باندازه  $D$  گرفته خواهند شد. با این فرض در محاسبات عضوی معادل که دارای قطری باندازه  $3D$  است در نظر گرفته می شود.

در این مثال بارهای باد و موج مستقل از یکدیگر فرض می گردند. بنابراین  $f_g(s)$  در معادله (۷) می تواند به

شکل زیر نوشته شوند.

$$f_S(s) = f_{\bar{V}_V}(\bar{V}_V) f_{H_S, T_Z}(h_s, t_z) \quad (20)$$

در این معادله  $S = S(H_S, T_Z, \bar{V}_V)$  در نظر گرفته شده است. همچنین در معادله بالا تابع چگالی احتمالی مشترک  $f_{H_S, T_Z}(h_s, t_z)$  می تواند به شکل شرطی  $f_{H_S}(h_s) \cdot f_{T_Z|H_S}(t_z|h_s)$  مطرح باشد. توزیع های پیشنهادی هاور - نیهوس [۹] یعنی ترکیبی از توزیع های لوگ نرمال و ویبال برای  $f_{H_S}(h_s)$  و لوگ نرمال برای  $f_{T_Z|H_S}(t_z|h_s)$  در اینجا مورد استفاده قرار گرفته اند.

$$f_{H_S}(h_s) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi} k h_s} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(h_s) - \lambda}{k}\right]^2\right\} & ; 0 \leq h_s \leq \eta \\ \frac{\beta}{\rho \beta} h_s^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{h_s}{\rho}\right)^\beta\right] & ; h_s > \eta \end{cases} \quad (21)$$

$$f_{T_Z|H_S}(t_z|h_s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \gamma t_z} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(t_z) - \mu}{\gamma}\right]^2\right\} \quad (22)$$

کمیت های پارامترهای بکار آمده در روابط بالا عبارتند از:

$$(\eta, \lambda, k, \rho, \beta) = (3.27, 0.836, 0.6132, 2.822, 1.547)$$

$$\gamma^2 = 0.005 + 0.085 \exp(-0.13 h_s^{1.34})$$

$$\mu = 1.59 + 0.42 \ln(h_s + 2)$$

سه گروه مختلف حل در این مثال ملحوظ گشته اند. در گروه اول احتمال خرابی سازه در طول یک حالت دریابا تخمین  $P_{fd}(s)$  و  $v_D^+(s)$  و استفاده از نامساوی (۱۰) به همراه روش پیشنهادی در مقاله حاضر محاسبه شده است. در گروه دوم احتمال خرابی سازه برای یک حالت دریائی مفروض  $S = s$  با استفاده از شبیه سازی خالص ارزیابی گشته است. برای این عمل ماتریس چگالی طیفی سرعت های موج در دو نقطه او ۲ بایستی معلوم باشند. برای ساختن این ماتریس از تابع چگالی طیفی تقاطعی  $S_{v_m v_n}(\omega)$  برای سرعت موج در دو نقطه  $n, m$  [۴] به همراه طیف موج  $S_{\eta\eta}(\omega)$  (که طیف پیشنهادی پیرسون - مسکوویتز برای آن در نظر گرفته شده) استفاده می شود.

$$S_{ww}(\omega) = \frac{1}{2} \omega^2 B^3 \sigma_w^2 \exp[-B\omega] \quad \text{برای سرعت باد، طیف} \quad (23)$$

با فرض ثابت  $B$  برابر ۵ استفاده می شود. در این رابطه انحراف استاندارد قسمت متلاطم سرعت باد میباشد که تابعی از  $\bar{V}_V$  (سرعت متوسط باد) به شکل  $\sigma_w = 0.1 \bar{V}_V$  در نظر گرفته می شود. در گروه سوم حلی که در اینجا می آید روش سنتی خطی سازی معادلات نیروهای باد و موج جهت تخمین  $P_{fd}(s)$  آمده است. بر اساس این روش خطی سازی خواهیم داشت:

$$P_{w_d}(t) = \sqrt{\frac{8}{\pi}} c_w \sigma_w v_w(t) \quad (24)$$

$$P_v(t) = c[\bar{V}_v^2 + 2\bar{V}_v w(t)] \quad (25)$$

در این معادلات  $\sigma_{vw}$  انحراف استاندارد سرعت موج می باشد و بقیه پارامترها تعریفی مانند سابق را خواهند داشت. بر اساس این روش با معلوم بودن پارامترهای حالت دریا یعنی  $\bar{V}_v$  و  $T_z$  و  $H_s$  مقادیر  $P_v$  و  $P_{wd}$  دارای توزیع های گوسی خواهند بود.

نتایج بدست آمده از هر سه روش فوق الاشاره برای مجموعه های مختلف مقادیر پارامترهای حالت دریا در جدول ۲ تا ۴ آمده اند. در جدول ۲،  $P_{fd}(s)$  به صورت تابعی از  $H_s$  آورده شده است. مشاهده می شود که برای سازه تحت مطالعه،  $P_{fd}(s)$  با افزایش  $H_s$  بسرعت افزایش مییابد. در جدولهای ۳ و ۴،  $P_{fd}(s)$  بعنوان توابعی از  $\bar{V}_v$  و  $T_z$  به ترتیب آورده شده است.

لازم به ذکر می باشد که اطلاعات ورودی برای گروه های حل بالا بطور عمدی بشکلی انتخاب شده اند تا  $P_{fd}(s)$  های بالا را نتیجه دهند این عملکرد جهت صرف جویی در محاسبات مربوط به شبیه سازی خالص در پیش گرفته شده است.

برای محاسبه احتمال خرابی کوتاه مدت نامشروط یعنی  $P_{fd}$ ، انتگرال گیری (۷) بایستی روی تمامی مقادیر پارامترهای حالت دریا انجام گیرد. برای این عمل  $f_g(s)$  که در روابط (۲۰) تا (۲۲) معرفی شده و نیز  $f_{\bar{V}_v}(s)$  گوسی با میانگین ۲۰ و انحراف استاندارد ۳ متر بر ثانیه مورد استفاده قرار گرفتند این انتگرال گیری تنها برای روش خطی سازی پیشنهادی بصورت عددی انجام گرفت و نتیجه بدست آمد (با فرض  $\mu_d = 10000$  seconds). این مقدار بعلت فرضیات متعددی که روی مقاومت سازه بوده است بسیار بزرگ است. با گرفتن  $\mu_d = 10800$  ثانیه (یا سه ساعت) و نیز فرض سطوح مقطع واقعی تر  $0/02$  متر مربع برای اعضاء ۱، ۳، ۵، ۷، ۹ و سطح مقطع  $0/02$  متر مربع برای اعضاء ۲، ۴، ۶، ۸، مقدار  $P_{fd}$  برابر  $0/5317 \times 10^{-6}$  نتیجه گرفته شد.

پس از یافتن  $P_{fd}$  احتمال خرابی دراز مدت  $P_{fdT}$  می تواند با استفاده از رابطه (۶) برای طول زمان مفروض  $T$  محاسبه گردد. انجام این عمل برای مقادیر اصلاح شده بالا مقدار  $P_{fdT}$  برابر  $0/1552 \times 10^{-2}$  را با فرض  $T=1$  سال نتیجه میدهد.

## ۷: مشاهدات

همانطور که انتظار نیز میرفت احتمال های خرابی کوتاه مدت در حالتیکه از روش سنتی خطی سازی معادلات نیروهای موج و باد استفاده میشود بسیار کم تخمین زده میشوند. از طرف دیگر ملاحظه می گردد که مقادیر بدست آمده این احتمالات با استفاده از روش خطی سازی پیشنهادی تطابق خوبی را با نتایج بدست آمده از اعمال روش شبیه سازی خالص در بیشتر حالات نشان میدهند. ذکر این نکته نیز از اهمیت برخوردار است که در اعمال تکنیک شبیه سازی جهت در حالتیکه همبستگی بالائی میان بارهای دخیل وجود دارد و یا آنکه نااطمینانیهای بسیار متفاوتی میان فرآیندهای بارگذاری وجود دارد دقت بیشتری بایستی نمود. علت این امر اینست که در هر دو حالت شکل تابع چگالی احتمال مشترک حاصل بسیار کشیده خواهد شد. این وضعیت باعث می گردد که بسیاری از نمونه های جهت شرکت کمی در ارزیابی مقادیر  $P_{fd}(s)$  و  $v_D^+(s)$  داشته باشند. استفاده از "تکنیک نمونه گیری مهم" می تواند این نقیصه را به نحو نسبتاً خوبی مرتفع سازد.

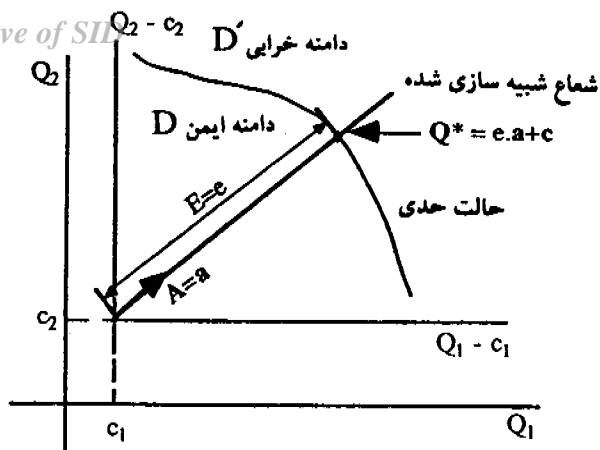
## ۸: نتیجه گیری

در این نوشتار آنالیز قابلیت اعتماد سازه‌های سکوه‌ای فراساحلی‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که تحت اثر بارهای غیرگوسی باد و موج می‌باشند. این عمل با استفاده از تکنیک شبیه سازی جهتی به همراه روش جدید خطی سازی به منظور برخورد با حالات بارهای غیرگوسی انجام یافت. برخلاف روش‌های سنتی خطی سازی که احتمال خرابی سازه را بسیار پائین تخمین می‌زنند نشان داده شد که روش خطی سازی پیشنهادی منتهی به جوابهائی میشود که تطابق بسیار خوبی با جوابهائی ناشی از شبیه سازی خالص دارند.

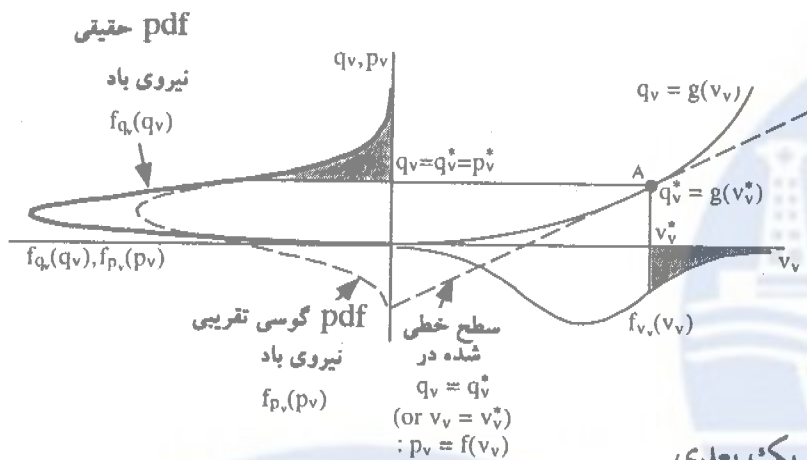
## ۹: مراجع

1. Bjerager, P., Loseth, R., Winterstein, S. R. and Cornell, A.C., (1988), "Reliability Method for Marine Structures Under Multiple Environmental Load Processes", 5th international Conference on Behaviour of Offshore Structures, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway, pp. 1-15.
2. Bjerager, P., (1988), "Probability Integration by Directional Simulation ", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 114, No. 8, pp. 1285-1302.
3. Borgman, L.E.,(1967), "Spectral Analysis of Ocean Wave Forces on Piling" Journal of Waterways and Harbours Division, ASCE, Vol. 93, No, WW2, pp. 129-156
4. Brown, L.J. and Borgman, L.E.,(1966) "Tables of The Statistical Distribution of Ocean Wave Force and Methods for the Estimation of  $C_D$  and  $C_M$ " Wave Research Report, HEL 9\_7, Hydraulic Engineering Laboratory, the University of California, Berkeley, California, Appendix C.
5. Davenport, A.G.,(1967), " Gust Loading Factors", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol, 93, No, ST3, pp, 11-33.
6. Ditlevsen, O., Hasofer, A.M. , Bjerager, p. and Olesen, R., (1988), "Directional Simulation in Gaussian Processes", Probabilistic Engineering Mechanics, 3(4), pp. 207-217
7. Grigoriu, M., (1984), "Extremes of Wave Forces" Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol, 110, No, 12, pp. 1731-1742

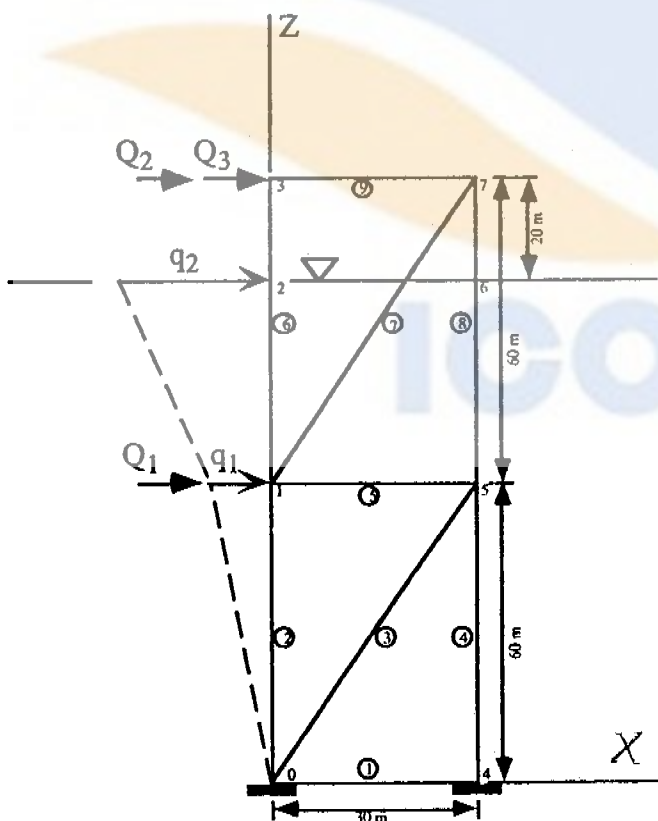
8. Guenard, Y.F., (1984)," Application of System Reliability Analysis to Offshore Structures" The John A. Blume Earthquake Centre, Report No.71
9. Haver, S.and Nyhus,K.A., (1986),"A Wave Climate Description for Long Term Response Calculations", Proceedings of the Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, pp. 27-34.
10. Haver, S., (1989), "On the Effect of a Joint Environmental Description and Uncertain Parameters on the Extremes of a Drag Dominated Structure", Department of Civil Engineering, Stanford University , Report No. RMS-5.
11. Marley M.J. and Moan, T., (1992), "Time Variant Formulation for Fatigue Reliability", 1992, OMAE, Vol,2, Safety and Reliability, ASME,1992 , pp. 161-168.
12. Melchers, R.E.,(1992), "Load Space Formulation for Time Dependent Structural Reliability", Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 118, NO. 5, PP. 853-870.
13. Shinozuka, M. and Jan, C.M.,(1972) "Digital Simulation of Random Processes and Its Applications", Journal of Sound and Vibration, Vol. 25, No.1, pp.11-128.
14. Shinozuka, M. and Deodatis, G.,(1991),"Simulation of Stochastic Processes by Spectral Representation", Applied Mechanics Review, Vol. 44, No.4.
15. Winterstein, S.R.,(1988), "Non-Linear Vibration Models for Extremes and Fatigue", Journal of Engineering Mechanics, ASCE,Vol. 114, No. 10, pp. 1772-1790.
16. Witting, L.E.and Sinha, A.K.,(1975), "Simulation of Multi-correlated Processes Using the FFT Algorithm" Journal of Acoustic Society of America, Vol. 58, No.3, pp. 630-634.



شکل (۱): شبیه سازی جهتی در فضای بارگذاری



شکل (۲): روش خطی کردن در حالت یک بعدی



شکل (۳): سیستم سازه و بارگذاری

واحد	مقدار	خاصیت
m	0.5	قطر لوله (D)
m <sup>2</sup>	$0.6 \times 10^{-5}$	سطح مقطع اعضاء 1,2,6,8,9
m <sup>2</sup>	$0.6 \times 10^{-2}$	اعضاء 3,4,5,7
kg/m <sup>2</sup>	$2.4 \times 10^7$	حد جاری شدن تمامی اعضاء
	0.75	ضرب دراگ (c <sub>d</sub> )
	صرف نظر می شود	ضرب اینرسی (c <sub>m</sub> )
kg/m <sup>3</sup>	1050	دانسیته آب
m <sup>2</sup>	100	سطح جانبی در معرض باد عرشه
	0.7	ضرب سرعت باد (c <sub>v</sub> )
kg/m <sup>3</sup>	1.2	دانسیته هوا

جدول (۱): خواص استفاده شده در مثال

$$\mu_d = 10000 \text{ sec}$$

	خطی کردن پیشنهادی		شبه سازی خالص		خطی کردن توسط معادلات (۲۴) و (۲۵)
	H <sub>s</sub>	$\mu_{pfd}(s)$ [حدها]	ns**	$\mu_{pfd}(s)$ [حدها]	$\mu_{pfd}(s)$ [حدها]
V <sub>v</sub> =25 T <sub>z</sub> =20	7.0	.007244 [.006661 .007627]	80000	.007222 [.006570 .007873]	.1211E-21 [.1211E-21 .1211E-21]
	7.5	.02960 [.02811 .03110]	30000	.03002 [.02719 .03285]	.6384E-15 [.6384E-15 .6384E-15]
	8.0	.09145 [.08715 .09591]	8000	.09145 [.08281 .10008]	.1411E-12 [.1260E-12 .1561E-12]
	8.5	.2202 [.2102 .2301]	7000	.2275 [.2057 .2492]	.1851E-10 [.1662E-10 .2040E-10]
	9.0	.4332 [.4167 .4492]	5000	.4347 [.4083 .4610]	.1231E-8 [.1247E-8 .1510E-8]
	9.5	.6837 [.6651 .7014]	5000	.6873 [.6654 .7092]	.5931E-7 [.5410E-7 .6454E-7]
	10.0	.8772 [.8638 .8823]	5000	.8880 [.8722 .9039]	.1534E-5 [.1410E-5 .1658E-5]

جدول (۲): احتمال خرابی حالت دریا بصورت تابعی از H<sub>s</sub>



	خطی کردن پیشنهادی		شبیه سازی خالص		خطی کردن توسط معادلات (۲۴) و (۲۵)
	$H_s$	$\mu_{pfd}(s)$ [حدها]*	ns**	$\mu_{pfd}(s)$ [حدها]*	$\mu_{pfd}(s)$ [حدها]*
$T_z=20$	10.0	.003339 [.003107 .003571]	57000	.004175 [.003458 .004891]	0.0 [0.0 0.0]
	15.5	.007218 [.006739 .007697]	80000	.007765 [.003458 .008504]	0.0 [0.0 0.0]
	20.0	.02111 [.01988 .02234]	35000	.02301 [.02089 .02512]	.1260E-28 [.1260E-28 .1260E-28]
	25.0	.09154 [.08715 .09591]	8000	.09145 [.08281 .10008]	.1411E-12 [.1260E-12 .1561E-12]
	30.0	.05067 [.4922 .5209]	5000	.5027 [.4809 .5244]	.3747E-4 [.3476E-4 .4019E-4]

جدول (۳): احتمال خرابی حالت دریا بصورت تابعی از  $V_v$

	خطی کردن پیشنهادی		شبیه سازی خالص		خطی کردن توسط معادلات (۲۴) و (۲۵)
	$H_s$	$\mu_{pfd}(s)$ [حدها]*	ns**	$\mu_{pfd}(s)$ [حدها]*	$\mu_{pfd}(s)$ [حدها]*
$V_v=25$	14.0	.6288 [.6106 .6462]	5000	.6205 [.9550 .6465]	.3927E-8 [.3556E-8 .4297E-8]
	16.0	.3128 [.2999 .3254]	5000	.2947 [.2620 .3274]	.4502E-10 [.4046E-10 .4959E-10]
	18.0	.1583 [.1484 .1681]	8000	.1651 [.1405 .1897]	.1673E-11 [.1498E-11 .1849E-11]
$H_s=8$	25.0	.09154 [.08715 .09591]	8000	.09145 [.08281 .10008]	.1411E-12 [.1260E-12 .1561E-12]

جدول (۴): احتمال خرابی حالت دریا بصورت تابعی از  $T_z$

تذکر: تعداد نمونه‌های جهت برابر ۱۰۰۰۰۰ می‌باشد

\* فاصله حدهای بالا و پائین باندازه ۱/۲۸۵ از مقدار متوسط می‌باشد.

\*\* ns تعداد نمونه‌ها در شبیه سازی خالص می‌باشد.

## بررسی مدل‌های رفتاری مهاربندی‌ها در سکوهایی ثابت فلزی دریایی تحت اثر زلزله‌های شدید

بهروز عسگریان - علی اکبر آقا کوچک

بخش مهندسی عمران - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

### چکیده:

در این مقاله به بحث و بررسی مدل‌های رفتاری اعضای مهاربندی‌ها در سکوهایی ثابت فلزی دریایی تحت اثر زلزله‌های شدید پرداخته می‌شود. در بیان رفتار اعضای مهاربندی سکوهایی دریایی تحت اثر زلزله‌های شدید روش‌های اجزاء محدود، مدل‌های تئوری فیزیکی و مدل‌های پدیده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش اجزاء محدود، عضوهای مهاربندی به تعداد المان با طول مشخص تقسیم می‌گردد و آنالیز تغییر مکان بزرگ (LARGE DISPLACEMENT ANALYSIS) برای کل سیستم انجام می‌گیرد.

روش دیگر قابل استفاده جهت مدل کردن عضو مهاربندی، مدل‌های تئوری فیزیکی می‌باشد. در این مدل‌ها با استفاده از منحنی‌های اندرکش نیروی محوری و ممانهای خمشی برای عضو مهاربندی و فرض رابطه ممان انحنا بصورت الاستوپلاستیک کامل در مفاصل پلاستیک، پاسخ سیستم تحت بارگذاری مورد نظر بدست می‌آید.

مبنای روش استفاده از مدل‌های پدیده‌ای در تعریف منحنی نیروی محوری تغییر مکان محوری المان خرابی می‌باشد که المان مزبور جایگزین عضو مهاربندی می‌گردد. این روش‌ها دارای خصوصیتی می‌باشند که مورد بحث قرار می‌گیرد. در انتخاب مدل مناسب به منظور تحلیل غیرخطی سازه در مقابل بارهای دینامیکی با شدت بالا مانند زلزله‌های شدید، می‌بایست از مدلی استفاده نمود که تا حد امکان پاسخ بدست آمده به رفتار واقعی سیستم نزدیک باشد.

## ۱- مقدمه:

سکوهاى دریایی برای مقاصد مختلف نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سکوها دارای فرمها و کاربردهای مختلفی نظیر بهره‌برداری، اکتشاف و نیز محل اسکان پرسنل می‌باشند. یکی از انواع مختلف سکوها، سکوهاى ثابت فلزی می‌باشد که در خلیج فارس نیز در حوزه‌های نفتی ایران و کشورهای عربی تعداد زیادی از این نوع سکو وجود دارد. اصولاً در طراحی و کنترل سکوهاى دریایی تحت اثر زلزله، دو سطح زلزله می‌بایست در نظر گرفته شود:

## سطح مقاومت:

در این سطح، سازه در مقابل زلزله با دوره بازگشت کم (مطابق با مبانی طراحی) بصورت الاستیک و خطی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. و کفایت کلیه اعضا و اتصالات در مقابل زلزله مورد نظر بررسی می‌گردد.

## سطح شکل پذیری:

در این سطح، سکو در مقابل زلزله با شدت بیشتر و دوره بازگشت طولانی تر طراحی می‌گردد. و پایداری کلی سکو در این سطح زلزله از طریق آنالیز غیرخطی و در نظر گرفتن اتلاف انرژی حاصل از رفتار هیستریزس می‌بایست تضمین گردد.

رفتار غیر خطی سکوهاى دریایی در مقابل نیروهای جانبی با مقادیر بالا مانند زلزله‌های شدید (زلزله‌های سطح شکل پذیری) به رفتار مهاربندی‌ها و رفتار دیگر اعضا سکو بستگی دارد. براساس تحقیقات انجام گرفته، مدل‌های مختلف هیستریزس با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مهاربندی‌ها ارائه شده است. این مدل‌ها براساس ملاحظات تئوریک، نتایج آزمایشگاهی یا تلفیقی از هر دو می‌باشد.

## ۲- مدل‌های رفتاری المان مهاربندی

اولین و ابتدایی‌ترین المان قابل استفاده جهت آنالیز غیرخطی سازه‌های مهاربندی (المان مقدماتی)، مدل اصلاح شده یک بعدی الاستیک (ELASTIC TRUSS ELEMENT) می‌باشد که رفتار این المان می‌تواند حالت‌های متفاوت زیر را داشته باشد:

- رفتار صرفاً کششی بدون در نظر گرفتن مقاومت فشاری عضو مهاربندی
- رفتار یکسان در کشش و فشار (تسلیم در کشش و فشار بصورت یکسان)
- رفتار تسلیم در کشش و کماتش در فشار

حالت اول برای مدل کردن رفتار مهاربندی‌های بالاغری (kl/t) متجاوز از ۲۰۰ مناسب می‌باشد. در دو حالت دیگر مقاومت فشاری عضو در محاسبه مدنظر قرار می‌گیرد. ولیکن در هیچیک از این حالات کاهش سختی و

مشخصه‌های مقاومت مهاربندی تحت کمانش غیرارتجاعی و بارهای متناوب در نظر گرفته نمی‌شود. در شکل (۱) منحنی‌های رفتاری این المان نشان داده شده است. برای بیان واقعی‌تر رفتار کمانش غیر ارتجاعی مهاربندی‌ها سه روش مورد استفاده قرار می‌گیرد که عبارتند از:

FINITE ELEMENT METHODS	(FEM)	- مدل‌های اجزاء محدود
PHYSICAL THEORY MODELS	(PTM)	- مدل‌های تئوری فیزیکی
PHENOMENOLOGICAL MODELS	(PM)	- مدل‌های پدیده‌ای

## (۱-۲) روش اجزاء محدود

در این روش عضو مهاربندی به تعدادی المان با طول مشخص تقسیم می‌گردد در این روش هندسه، سطح مقطع و مشخصات مکانیکی مصالح هر المان مشخص شده و یک آنالیز تغییر مکان بزرگ (LARGE DISPLACEMENT) برای کل سیستم انجام می‌گیرد.

در شکل (۲) یک نمونه از المان‌بندی عضو مهاربندی به روش اجزاء محدود نشان داده شده است. این روش به وسیله محققین مختلف گسترش یافته است. FUJIMOTO و همکارانش [1] سطح مقطع المانهای طولی را دارای رفتار الاستوپلاستیک در نظر گرفته‌اند.

MARSHAL و SHERMAN [2] و [3] عضو مهاربندی را با تعدادی المان تیر و فنرهای غیرخطی مدل کردند.

SHARIFI و LARSEN [4] جزئیات تکنیک‌های اجزاء محدود برای بیان رفتار کمانش الاستیک (VISCO - ELASTIC BUCKLING) و رفتار پس کمانش ستونها را گسترش داده‌اند.

POWELL [5] المان با سطح مقطع بحرانی که رفتار غیر خطی سیستمهای لوله‌ای را بیان میکند ارائه داده است. RIAHI [6] یک المان سه بعدی تیر ستون با مفصل انتهایی پلاستیک و سختی هندسی ارائه داده است. می‌تواند جهت مدل کردن رفتار کمانش مهاربندی‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

این روش دارای خصوصیات زیر می‌باشد:  
- این روش دارای کاربرد عمومی برای مسائل مختلف می‌باشد. و برای حل مسائل فقط نیاز به هندسه مقطع عضو و مشخصات مصالح می‌باشد.

- این روش با توجه به المان‌بندی اعضاء مهاربندی دارای حجم بالای محاسبات می‌باشد و نیاز به فضای زیاد کامپیوتر در مورد سازه‌های با درجات آزادی بالا می‌باشد و در مورد سازه‌های بزرگ مقرون به صرفه نمی‌باشد.  
- در این روش بیان دقیق رفتار مصالح حائز اهمیت می‌باشد. این مسئله بویژه در سکوها‌ی دریایی اهمیت دارد چراکه اعضاء سکو در داخل آب قرار داشته و می‌بایست اثرات فشار هیدرواستاتیکی و تنشهای ناشی از آن بر روی اعضاء به نحو مناسب در نظر گرفته شود.

**(۲-۲) مدل‌های تنوری فیزیکی**

این روشها جهت مدل کردن مهاربندی‌ها نسبت به روش اجزاء محدود برای بیان رفتار غیرخطی تناوبی و رفتار پس کمانشی (POST BUCKLING) ساده‌تر و کاربردی‌تر می‌باشد.

یکی از روشهای مدل کردن اعضا مهاربندی برای اعضا لاغر بوسیله HIGGINBOTHAM [7] گسترش یافته است. برای اعضا بالاغری بالا ( $kl/r > 120$ ) مدل تحلیلی ارائه شده با دقت خوبی بیانگر رفتار اولین سیکل نتایج آزمایشگاهی می‌باشد. در سیکلهای بعدی مدل موردنظر کاهش در مقدار بار پس از کمانش را در نظر نگرفته و مدل نیروی بیشتری را پیش‌بینی می‌کند. مدل ارائه شده توسط HIGGINBOTHAM از یک عضو خرپائی (TRUSS ELEMENT) با دو انتهای مفصلی و یک مفصل پلاستیک در وسط (شکل ۳) تشکیل شده است. این روش توسط NILFOROSHAN و SINGH [4] نیز گسترش یافته است.

در این روش، فرمولهای تحلیلی براساس فرض منحنی‌های اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی و فرض رابطه ممان انحناء بصورت الاستوپلاستیک کامل در مفاصل پلاستیک تدوین شده است. در طی آنالیز سازه، وقتی ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی در مفصل پیش‌بینی شده، روی منحنی اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی قرار گیرد، به مفصل اجازه دوران پلاستیک داده خواهد شد.

این روش دارای خصوصیات زیر می‌باشد:

- مزیت این روش در این است که فقط می‌بایست مشخصات سطح مقطع و طول موثر معرفی شود.
- محدودیت این روش در این است که اگر چه مدل ارائه شده برای لاغری‌های متوسط و لاغری‌های بالا پیشنهاد شده است ولیکن نتایج آن فقط در لاغری‌های بالا ( $kl/r > 120$ ) دارای دقت قابل قبول می‌باشد.
- محدودیت دیگر این روش در سکوها در ریایی عدم وجود مفصل واقعی در دو انتهای عضو می‌باشد و در دو انتهای عضو مقداری انعطاف پذیری در اتصال را داریم که در نظر گرفته نمی‌شود. علاوه بر این لزوماً مفصل پلاستیک در وسط عضو نخواهد بود و ممکن است مشخصات سطح مقطع عضو مهاربند در طول تغییر کنند.
- محدودیت دیگر عدم در نظر گرفتن فشار هیدرواستاتیک در عضو است که در صورت در نظر گرفتن آن، منحنی‌های رفتاری عضو تغییر خواهد کرد.

**(۳-۲) مدل‌های پدیده‌ای**

این مدلها، دارای کاربرد بیشتر در آنالیز کامپیوتری سازه‌های مهاربندی شده می‌باشند. این مدلها، بوسیله محققین ذیل گسترش یافته است.

HIGGINBOTHAM , NILFOROSHAN, SINGH, MARSHAL, ROEDER, JAIN, MAISON

مبنای این مدلها در تعریف منحنی "نیروی محوری - تغییر مکان محوری" المان خرپائی است که مدل کننده

مبنای این مدلها در تعریف منحنی "نیروی محوری - تغییر مکان محوری" المان خرابی است که مدل کننده رفتار عضو مهاربندی می باشد و براساس نتایج تحلیلی بدست آمده است. مدل‌های مختلف المان با رفتار پس کمانشی (POST BUCKING) در شکل‌های ۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹ ارائه شده است.

HIGGINBOTHAM با استفاده از نتایج تحلیلی منحنی شکل ۴ را ارائه نموده است. NILFOROSHAN یک منحنی ۹ خطی (شکل ۵) جهت حلقه هیستریزس المان مهاربندی ارائه نموده است که مقاومت و سختی در هر قسمت مشخص شده است.

SINGH یک مدل ۵ خطی برای اعضاء بالاغری بالا ( $kl/r > 120$ ) ارائه داده است. (شکل ۶) ROEDER با استفاده از حلقه‌های هیستریزس بدست آمده از آزمایش منحنی (شکل ۷) را ارائه داده است. JAIN یک مدل ۶ خطی برای اعضاء بالاغری بالا ارائه داده است. (شکل ۸) MARSHAL یک مدل ۷ خطی براساس شکست مهاربندی در کمانش موضعی ارائه داده است. (شکل ۹) MAISON نیز یک مدل ۹ خطی با قابلیت کاهش بار کمانشی ارائه داده است که رشد حلقه هیستریزس در طول مهاربندی در طی کمانش را نیز در نظر می‌گیرد. (شکل ۱۰) حلقه‌های هیستریزس معمولاً نسبت به نیروی محوری تسلیم و تغییر مکان متناظر با نقطه تسلیم نرمال می‌گردد.

این روش دارای خصوصیات زیر می‌باشد:

- عملی بودن برای استفاده در سازه‌های بزرگ.
- آنالیز تغییر مکان بزرگ مورد نیاز نمی‌باشد.
- نیاز به المان بندی و افزایش درجه آزادی نمی‌باشد.
- حجم حافظه مورد نیاز نسبتاً کم می‌باشد.
- محدودیت این روش در اینست که نیاز به حلقه هیستریزس عضو مهاربندی می‌باشد و برای اعضاء بالاغری متفاوت، حلقه هیستریزس متفاوت خواهد بود.
- محدودیت دیگر در نظر نگرفتن تأثیر فشار هیدرواستاتیک می‌باشد.
- همگرایی مسئله ممکن است اتفاق نیفتد چراکه در عبور از حلقه هیستریزس از یک خط به خط دیگر سختی به طور چشمگیر تغییر می‌کند. همچنین پاسخ سیستم به مسیر بار بستگی دارد.

### ۳- کاربرد مدل‌های مختلف مهاربندی در آنالیز دینامیکی سکوه‌های دریایی تحت اثر زلزله

رفتار و پاسخ هر سیستم سازه‌ای در مقابل زلزله‌های با شدت بالا به رفتار غیر خطی اعضاء سازه بستگی دارد. پاسخ غیرخطی سازه به عواملی مانند مشخصه‌های دینامیکی سازه (پریود و میرایی) و همچنین به مشخصه‌های مصالح، مقاومت تسلیم و ظرفیت شکل پذیری و جزئیات اعضاء سازه بستگی دارد.

در قسمت (۲)، مدل‌های مختلف مهاربندی مورد بحث قرار گرفت در طی آنالیز غیرخطی یک سکوی دریایی تحت اثر زلزله، می‌بایست یک مدل مناسب برای بیان رفتار اعضای مهاربندی انتخاب نمود. در اینجا به چند نمونه از آنالیزهای دینامیکی غیرخطی انجام شده سکوه‌های دریایی تحت اثر زلزله اشاره می‌شود.

POPOV و همکارانش [9] دو نمونه از سکوی دریایی واقعی در جنوب کالیفرنیا را با مقیاس 1/6 مورد آزمایش قرار دادند. در شکل (۱۱) مشخصات سازه مورد نظر نشان داده شده است. در یکی از این سکوها نسبت قطر به ضخامت اعضا ۳۳ و در دیگری نسبت قطر به ضخامت اعضا ۴۸ در نظر گرفته شده است. هر دو قاب تحت تغییر مکان جانبی سیکلی که به نوعی اثرات زلزله را شبیه‌سازی می‌کند، قرار گرفته است. در شکل (۱۲) تاریخچه بارگذاری نشان داده شده است.

POPOV و همکارانش [9 و 8] رفتار این نمونه‌ها را با مدل کردن اعضای مهاربندی با روش پدیده‌ای با استفاده از مدل المان MAISON بررسی کرده‌اند. مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی در شکل (۱۳) نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد روش مورد استفاده با دقت نسبتاً خوبی بیانگر پاسخ سیستم می‌باشد.

F.BARZEGAR و KAYVANI [10] از مدل اجزاء محدود برای بیان رفتاری اعضای مهاربندی و دیگر اعضای سکو استفاده کردند. در شکل (۱۴) مدل استفاده شده نشان داده شده است. در این مقاله نیز سکوی آزمایش شده بوسیله POPOV و همکارانش مورد آنالیز دینامیکی قرار گرفته است. در شکل (۱۵) مقایسه نتایج آزمایش و استفاده از مدل پدیده‌ای (مدل MAISON) و استفاده از روش اجزاء محدود نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد مدل ارائه شده دارای دقت مناسب می‌باشد.

CLOUGH و همکارانش در سال 1981 یک مدل 5/48 از یک سکوی واقعی در منطقه جنوب کالیفرنیا را بر روی میز لرزان مورد آزمایش قرار دادند. شکل (۱۶) سازه مورد نظر در سه سطح زلزله سطح مقاومت، سطح شکل پذیری و حداکثر زلزله قابل وقوع مورد آزمایش قرار گرفت.

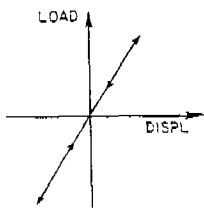
در مدل تحلیلی برای این سکو از مدل MARSHAL برای اعضای مهاربندی و از مدل INELASTIC BEAM-COLUMN ELEMENT برای بقیه اعضا استفاده گردید در شکل (۱۷) مدل تحلیلی نشان داده شده است. در جدول (۱) نتایج بدست آمده از آنالیزها نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در محدوده خطی، جوابها با دقت خوبی با نتایج آزمایش تطابق داشته و در محدوده غیرخطی مدل‌های انتخاب شده در آنالیزها دارای دقت کمتری می‌باشد.

در این مقاله به بررسی مدل‌های رفتاری اعضای مهاربندی در سکوهای دریایی پرداخته شد و نمونه‌هایی از آنالیزهای انجام شده در قسمت قبل مورد بررسی قرار گرفت. این مدل‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند که به منظور تحلیل غیرخطی سیستم و بدست آوردن پاسخ مناسب در تحلیلها، از یکی از روشهای فوق می‌بایست استفاده نمود. مدل انتخاب شده بایستی به گونه‌ای باشد که از لحاظ رفتاری پاسخ بدست آمده به پاسخ واقعی سیستم تا حد امکان نزدیک باشد. در نظر گرفتن اثر فشار هیدرواستاتیک بر روی رفتار اعضا و در نظر گرفتن اثرات انعطاف پذیری اتصالات در پاسخ کلی سازه دارای اهمیت می‌باشد که می‌بایست به نحو مناسب در تحلیلها در نظر گرفته شود.

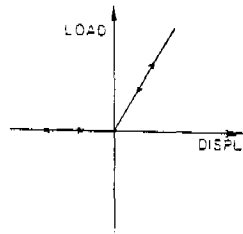
## منابع و مراجع

- 1) Fujimoto, M., Aoyagi, K. and Wada, A., "Structural Characteristic Of Eccentric K-Braced Frames", Transactions AIJ, No. 195 May 1972.
- 2) Marshal, P.W. "Post-Yield Capacity of Tubular Members", Annual Meeting of Column Research Council, Houston 1974.
- 3) Sherman, D.R. and Erzurumlu, H., "Ultimate Capacity of Tubular Beam-Columns", ASCE National Structural Conference, Madison 1976.
- 4) Zayas, V.A., Shing, P.B., Mahin, S.A. and Popov, E. "Inelastic Structural Modeling of Braced Offshore Platforms For Seismic Loading", UCB/EERC-81/04, JAN. 1981.
- 5) Powel, G.H., Row, D.G., Hollings, J.P. "Improved Modeling Of Tubular Braced Element Under Sever Cyclic Loading", ASME Journal, Vol. 106 Jun. 1984.
- 6) Riahi, A., Powell, G.H., and Mondkar, D.P., "3-D Beam-Column Element For ANSR-II Program", UCB/EERC-79/31, Dec. 1979.
- 7) Higginbotham, A.B. "The Inelastic Cyclic Behavior of Axially -Loaded Steel Members", University of Michigan, Ann Arbor, Jan 1973.
- 8) Maison, B., Popov, E. "Cyclic Response Prediction For Braced Steel Members", ASCE Journal of Structural Dev., July 1980.
- 9) Zayas, V.A., Mahin, S.A., Popov, E.P. and Shing, P.S.B. "Inelastic Structural Analysis of Braced Platforms for Seismic Loading", Offshore Technology Conference, OTC 3979, May 1981.
- 10) Kayvani, K., Barzegar, F. "Hysteretic Modelling of Tubular Members and Offshore Platforms", Journal of Engineering Structures, Vol.18 No.2 1996.
- 11) Ghnat, Y. and Clough, R.W., "Shaking Table Tests of a Tubular Steel Frame Model", UCB/EERC-82/02, Jan. 1982.

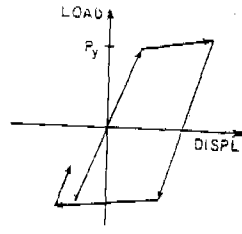




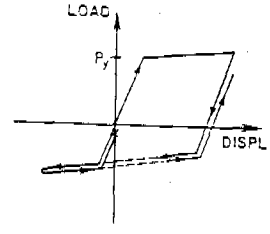
رفتار یکسان در کشش و فشار



رفتار کششی بدون مقاومت فشاری

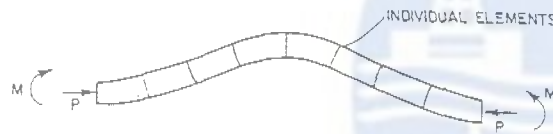


تسلیم در کشش و فشار



تسلیم در کشش و کماتش در فشار

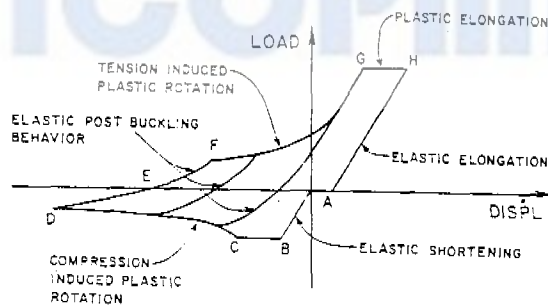
شکل (۱) مدل اصلاح شده یک بعدی



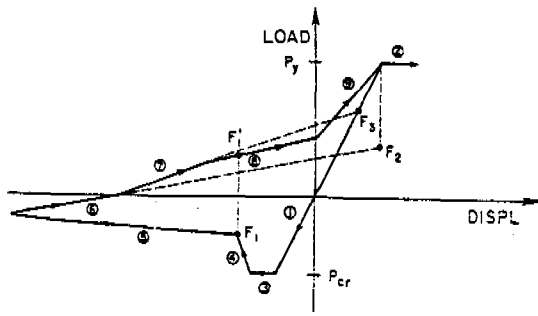
شکل (۲) مدل اجزاء محدود



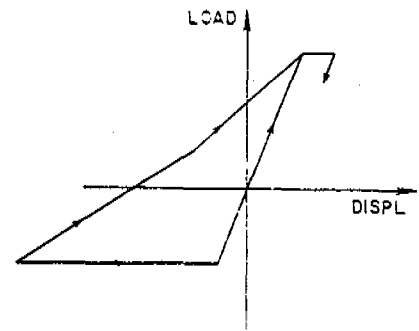
شکل (۳) مدل تئوری فیزیکی



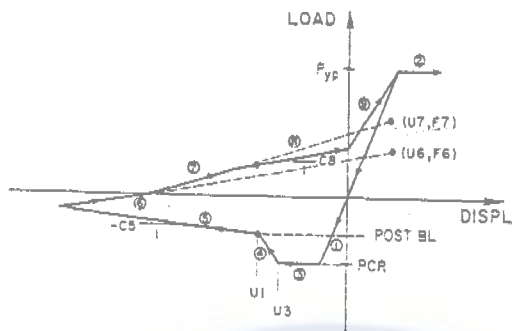
شکل (۴) مدل HIGGINBOTHAM



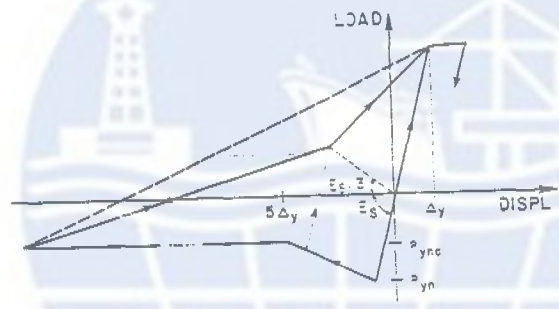
شکل (۵) NILFOROUSHAN



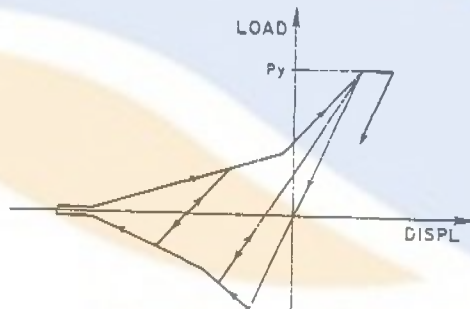
شکل (۶) مدل SINGH



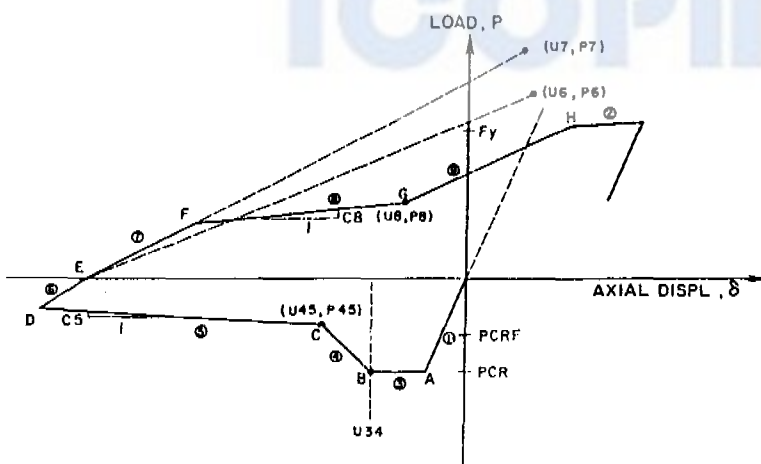
شکل (۷) مدل ROEDER



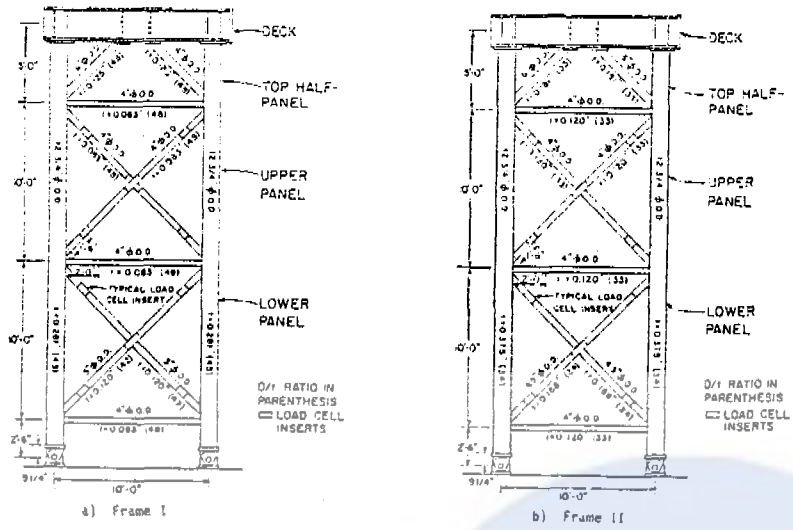
شکل (۸) مدل JAIN



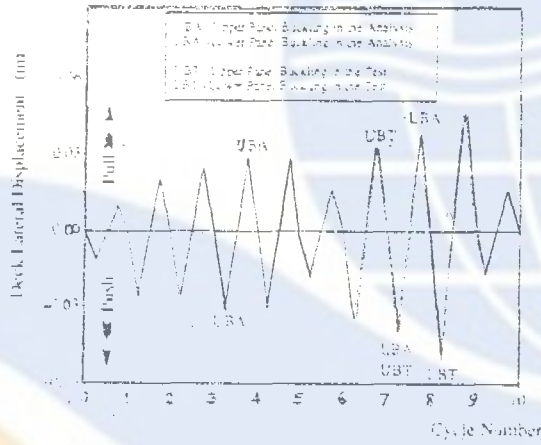
شکل (۹) مدل MARSHAL



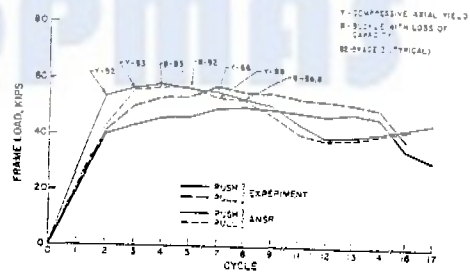
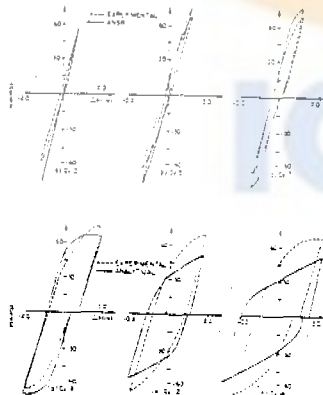
شکل (۱۰) مدل MAISON



شکل (۱۱) مشخصات سازه مورد آزمایش



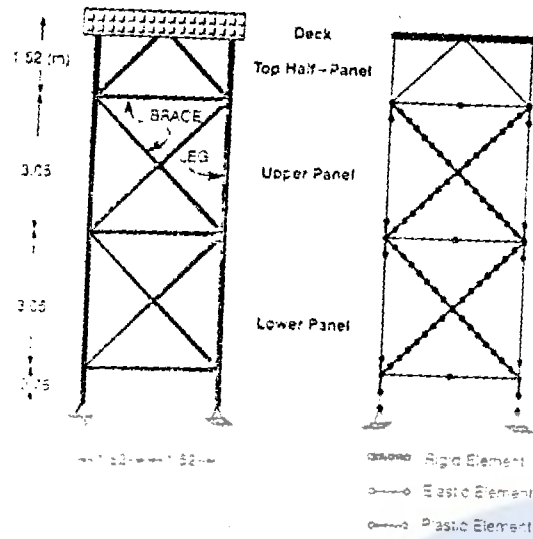
شکل (۱۲) تاریخچه بارگذاری اعمال شده



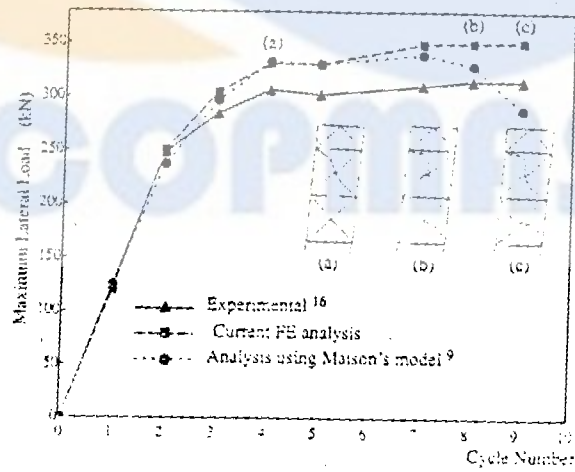
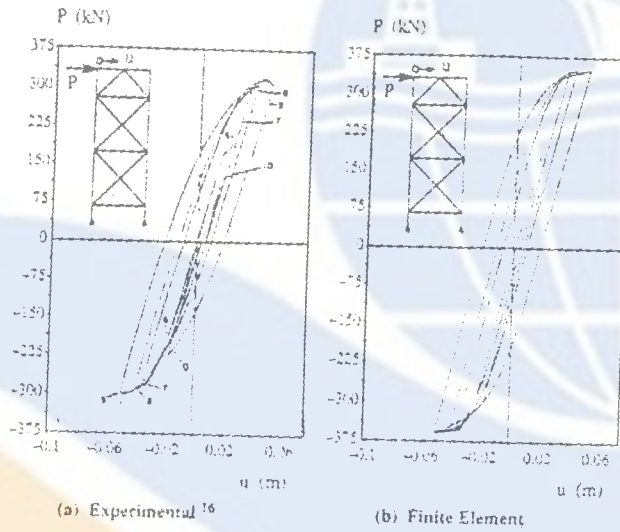
نیروی متناظر با تغییر مکان حداکثر

حلقه‌های هیستریزس اعضاء مهاربندی

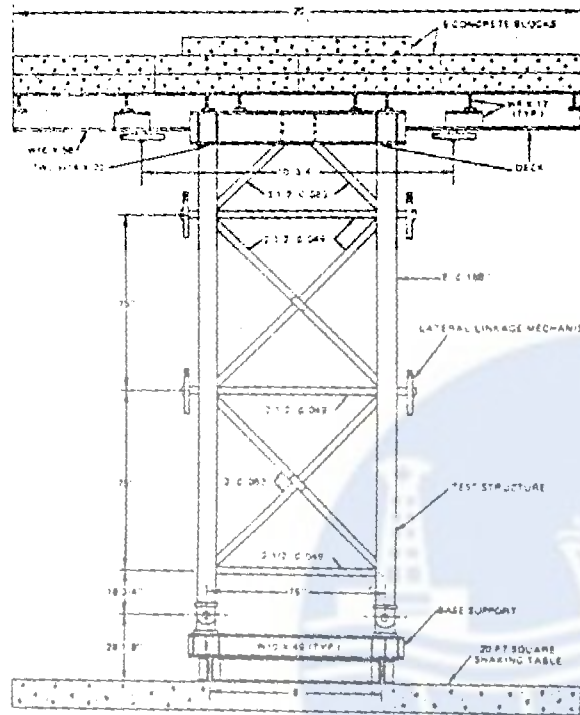
شکل (۱۳) مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی



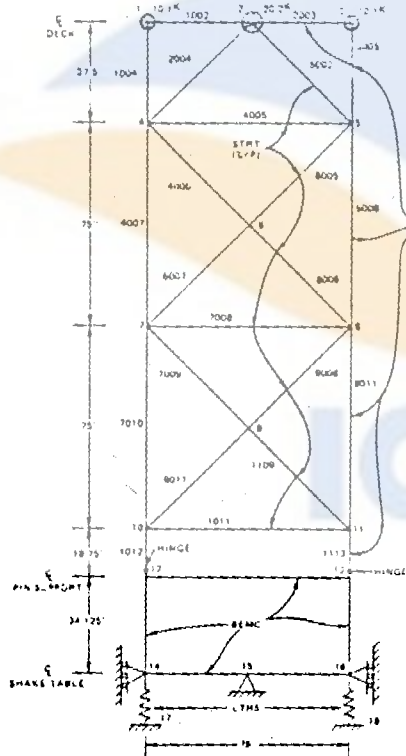
شکل (۱۴) مدل پیشنهادی اجزاء محدود



شکل (۱۵) مقایسه نتایج



شکل (۱۶) سکوی آزمایش شده بوسیله میز لرزان



شکل (۱۷) مدل تحلیلی

Test number (1)	Earthquake (2)	Intensity (3)	Amplitude factor (4)	Time factor (5)	Peak ground acceleration, in g's (6)	Peak ground displacement, in inches (7)
1	El Centro	SLE	0.85	0.42	0.28	0.25
2	Taft	SLE	1.60	0.48	0.28	0.45
3	Taft	DLE	3.20	0.48	0.58	0.85
4	Taft	MCE	6.80	0.48	1.23	1.69
5	El Centro	SLE	0.85	0.42	0.29	0.24
6	El Centro	SLE	0.85	0.42	0.29	0.24

Test number (1)	Peak deck displacement, in inches (2)	Permanent offset, in inches (3)	Peak base shear, in kips (4)	Member 6007		Member 6008	
				Peak axial force, in kips (5)	Residual axial force, in kips (6)	Peak axial force, in kips (7)	Residual axial force, in kips (8)
1	Experimental: 1.83 Analytical: 0.61	0	12.2	8.62	0	-6.75	7
2	Experimental: 0.60 Analytical: -0.58	0	13.4	7.96	0	-7.62	7
3	Experimental: 1.18 Analytical: 1.09	0	16.1	7.39	0	-7.95	7
4	Experimental: 2.42 Analytical: -3.06	-0.01	17.5	10.07	1.0	11.27	3.82
5	Experimental: 0.52 Analytical: -0.95	-0.42	23.5	5.86	0	-9.17	7
		0	2.3	2.27	3	2.24	7
		-0.41	4.4	2.05	3.33	4.22	1.77

جدول (۱) مقایسه نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی

## Reliability Analysis of Offshore Platform Structures

M. R. Moarefzadeh, Ph.D., Faculty Member of the Civil Engineering Department - Imam Hussein University

### Abstract

In this paper, the reliability analysis of the offshore platform structures is described. The structures are under the pressure of various imposed loads and also under the non-Gaussian dynamic wind and waves charges. In order to perform the analysis, a method based upon the notion of out-crossing is used with the directional simulation in the loading area is proposed. Precise and definite results of accidental Gaussian processes were used by repetition to estimate the out-crossing rate of non-Gaussian processes of wave and wind charges, and finally the structures destruction possibility within a particular period will be found. In order to evaluate the results gained by the mentioned strategy, the accidental processes of wind and wave charges are produced by using the Monte Carlo simulation method and by implementing this method on the structures the possibility of the structures destruction will be resolved. Unfortunately, as expected, the simulation operation of the processes involved in the structures analysis is very costly in the point of view of time and mass amount and there are some limits to its implementation. In the following sample, it will be indicated that the accuracy of the proposed strategy of calculating the possibility of the structures destruction by the notion of out-crossing and using the mentioned approximation are completely compatible with the results of the Monte Carlo simulation. Also, the calculation operation volume needed in the proposed method is much less than the mentioned simulation method.

**Keywords:** Monte Carlo simulation; reliability analysis; offshore platforms