

بررسی دقت سیستم یک درجه آزادی معادل برای تحلیل دینامیکی سکوهای ثابت دریایی مجهز به میراگر جرمی

مصطفی اخوات
کارشناس ارشد مهندسی عمران
دانشکده مهندسی عمران
دانشگاه علم و صنعت ایران
akhavatmostafa@yahoo.com

محمد رضا تابش پور*
استادیار قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی
دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی شریف
tabeshpour@sharif.edu

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۹

چکیده

چون تحلیل دینامیکی سکوهای جاکت تحت بارگذاری زلزله، به دلیل آثار هیدرودینامیکی و اندرکنش آب و سازه، بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر است، می‌توان از روش‌های ارائه‌شده در سازه‌های ساختمانی با انجام اصلاحاتی بهره برد. در این مقاله به بررسی روش مبتنی بر مود اول در سازه‌های ساختمانی برای تحلیل لرزه‌ای سکوهای جاکت برای دو حالت با و بدون میراگر پرداخته شده است. در این رهگذر، نخست روش ارائه‌شده در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای معرفی شده، سپس کاربرد آن در تحلیل لرزه‌ای سکوهای ثابت دریایی تحت رکوردهای گسل نزدیک و گسل دور در دو حالت سازه با میرایی ذاتی و بدون میرایی ذاتی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه، کاربرد این روش در ارزیابی دینامیکی سکو با میراگر جرمی متوازن‌شده نیز تحت رکوردهای گسل نزدیک و گسل دور در دو حالت سازه با میرایی ذاتی و بدون میرایی ذاتی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده بیانگر این است روش یک درجه آزاد معادل دارای خطای بسیار کمی در محاسبه پاسخ سازه بدون میرایی طبیعی و میراگر جرمی است. همچنین کاربرد این روش به‌طور قابل توجهی به محتوای فرکانسی رکوردهای مورد استفاده در آنالیز برای حالت‌های گوناگون بستگی دارد.

واژگان کلیدی: سکوهای ثابت دریایی، جاکت، تحلیل دینامیکی، سیستم یک درجه آزاد معادل، میراگر جرمی

۱. مقدمه

شرایط دریایی حوزه نفتی و عمق آب پیشنهاد و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به سکوی جک‌آپ، سکوی پایه کششی و سکوهای پایه ثابت

یکی از دلایل اهمیت دریا و اقیانوس وجود منابع بسیار انرژی همچون نفت و گاز است. تاکنون برای استخراج و بهره‌برداری از این منابع گزینه‌های متعددی متناسب با

شابلونی اشاره کرد. در این میان سکوهایی پایه ثابت شابلونی (جاکت) به دلیل مناسب بودن برای آبهای کم عمق و متوسط می تواند یکی از گزینه های مناسب برای حوزه های نفتی خلیج فارس باشد. آنالیز و طراحی این دسته از سکوها همواره وقت گیر و هزینه بر است. از این رو پژوهشگران بسیاری نیز همواره سعی در ارائه و معرفی روش هایی برای آنالیز لرزه ای و بارگذاری موج سکوی جاکت با و بدون میراگر جرمی متوازن شونده نموده اند.

یامادا و همکاران (۱۹۸۸) پاسخ لرزه ای سازه های فراساحلی در شرایط تصادفی دریا، با در نظر گرفتن میرایی هیدرو دینامیکی متأثر از تصادفی بودن شرایط دریا، را مطالعه کردند [۱]. جین (۱۹۹۶) نیز مدل تیر طره ای ساده ای برای تحلیل سکوهایی فولادی پایه ثابت تحت بارهای موج و زلزله ارائه کرد که در آن نیروهای میرایی هیدرو دینامیکی متناسب با مربع سرعت نسبی موج و سازه بودند [۲]. جین و همکاران (۱۹۹۷) پاسخ تصادفی سکوهایی پایه ثابت را تحت بارگذاری همزمان موج و زلزله و اعمال یکسان در هر دو راستا را مورد بررسی قرار دادند [۳]. اعتماد و همکاران (۲۰۰۴) نیز آنالیز تاریخیچه زمانی سکوی جاکت را تحت بارهای موج و زلزله و با فرض اعمال در راستاهای گوناگون بررسی کردند [۴]. به تازگی نیز مین سوپارک و همکاران (۲۰۰۱) یک مدل عددی سه بعدی برای آنالیز تاریخیچه زمانی بارهای لرزه ای با استفاده از آنالیز مودال و روش زیرسازه برای در نظر گرفتن اندرکنش شمع ها و خاک معرفی کرده اند [۵]. در کنترل فعال کوانو و ونکاترامانا (۱۹۹۲) به ارزیابی پاسخ لرزه ای سکوی مجهز شده به میراگر جرمی فعال متوازن شونده با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه پرداخته شده است [۶]. ماهادیک و جانگید (۲۰۰۳) نیز پاسخ ارتعاشات سکوی با میراگر جرمی متوازن شونده فعال را تحت بارگذاری موج را بررسی نمودند [۷].

همان گونه که در مطالعات فوق مشاهده می شود، اغلب روش ها مبتنی بر آنالیز مودال و روش های المان محدود

است که با در نظر گرفتن اثر مودهای بالاتر و المان بندی اجزای جاکت زمان طرح و آنالیز نیز به شدت افزایش می یابد. در این مقاله، روشی مبتنی بر مود اول برای تحلیل لرزه ای سکوهایی جاکت برای دو حالت با و بدون میراگر بررسی شده است. این روش بسیار ساده است و در اکثر آیین نامه های طراحی لرزه ای ساختمان ها نیز به عنوان یک روش ساده و کارآمد توصیه شده است و می توان از آن برای به دست آوردن یک طرح اولیه در تحلیل و طراحی سازه های ساختمانی بسیار پیچیده استفاده کرد. برای این امر، ابتدا روش ارائه شده در آیین نامه های طراحی لرزه ای معرفی و سپس کاربرد آن در تحلیل لرزه ای سکوهایی ثابت دریایی تحت رکوردهای گسل نزدیک و گسل دور در دو حالت سازه با میرایی ذاتی و بدون میرایی ذاتی بررسی شده است. در ادامه، کاربرد این روش در ارزیابی دینامیکی سکوی با میراگر جرمی متوازن شده نیز تحت رکوردهای گسل نزدیک و گسل دور با زمان تداوم های متفاوت در دو حالت سازه با میرایی ذاتی و بدون میرایی ذاتی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهند که روش وابستگی زیادی به محتوای فرکانسی رکوردهای مورد استفاده در آنالیز برای حالت های گوناگون دارد. همچنین کارایی این روش دارای خطای بسیار کمی در محاسبه پاسخ سازه بدون میرایی طبیعی و میراگر جرمی است.

۲. میراگر جرمی متوازن شونده

میراگر جرمی متوازن شونده در ساده ترین حالت ممکن شامل یک جرم، فنر و میراگر است و معمولاً در بالاترین تراز سازه و یا در محلی که بیشترین تغییر مکان در آن اتفاق می افتد، نصب می شود، تا پاسخ های سازه را تحت بارهای جانبی (چون باد) کاهش دهد. نحوه طراحی این سیستم به گونه ای است که فرکانس طبیعی ارتعاش آن با فرکانس ارتعاشی سازه تنظیم می شود تا پاسخ های سازه را در حالت رزونانس کاهش دهد. میراگر جرمی متوازن شونده تا حدودی برای بار باد و طیفی از امواج، به دلیل دارا بودن

$$f_{opt} = \frac{1}{1+\mu} \quad (2)$$

۳. معادلات حاکم بر سیستم یک درجه آزاد معادل

معادله حرکت یک سازه n درجه آزادی میرا تحت تحریک زمین به صورت معادله ۳ است:

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = -M\ddot{U}_g \quad (3)$$

به طوری که در این معادله M و C و K به ترتیب ماتریس‌های جرم، میرایی و سختی سازه با ابعاد $n \times n$ و U بردار تغییر مکان به بعد n و $\ddot{U}_g$ بردار شتاب تحریک زمین به صورت ۴ است:

$$\ddot{U}_g = a_g \begin{Bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

در این مقاله میرایی ذاتی با استفاده از میرایی رایلی و براساس رابطه ۵ می‌باشد.

$$C = \alpha K + \beta M \quad (5)$$

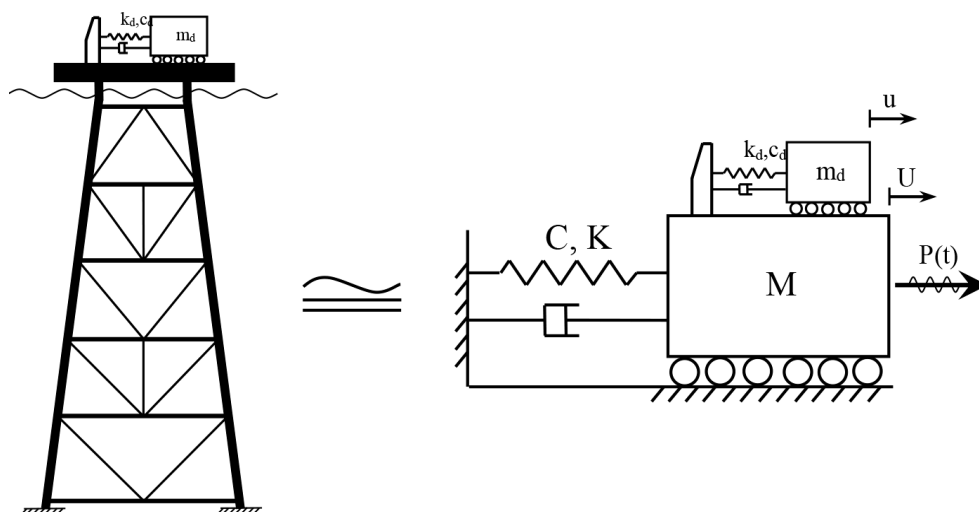
به طوری که در این رابطه با توجه به آنکه سهم ماتریس جرم در محاسبه ماتریس میرایی ناچیز است می‌توان از آن صرف نظر کرد و رابطه را به صورت رابطه ۶ بازنویسی نمود:

$$C \approx \alpha K \quad (6)$$

پهنای باند نسبتاً محدود، مناسب است. از این رو برای منطقه خلیج فارس نیز که تا حدودی دارای این ویژگی‌هاست، مناسب می‌باشد. بنابراین می‌توان از این سیستم برای به سازی و مقاوم سازی سکوها شابلونی ثابت در این منطقه بهره گرفت. با توجه به شکل ۱ معادله حرکت میراگر جرمی به صورت معادله ۱ است:

$$\begin{pmatrix} M & 0 \\ 0 & m_d \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{U} \\ \ddot{u} \end{Bmatrix} + \begin{pmatrix} C + c_d & -c_d \\ -c_d & c_d \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} U \\ u \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P(t) \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

این نوع از میراگرها با عملکردی مناسب می‌توانند مود اصلی ارتعاشات سازه را، که قابل تبدیل به یک سیستم یک درجه آزاد است، کنترل کنند. از این رو یک حل بسته برای به دست آوردن نسبت‌های میرایی و جرم بهینه به دست آمده است. این روش، که در مقالات قابل دسترسی است، براساس معادله حرکت یک سیستم یک درجه آزاد مجهز شده به میراگر جرمی متوازن شونده؛ یعنی معادله ۱، می‌باشد. این روش توسط دن هارتوخ برای به دست آوردن نسبت‌های میرایی و جرم بهینه ارائه شده است [۸] که برای کمینه کردن پاسخ ماندگار جرم اصلی است که در معرض بارهای هارمونیک قرار دارد. این رابطه به صورت معادله ۲ است:



شکل ۱. سکوی جاکت مجهز شده به میراگر جرمی و سیستم یک درجه آزاد معادل آن

با استفاده از تبدیل مختصات مودی داریم:

$$\tilde{m}_j = \Phi_j^T M \Phi_j \quad (۷)$$

$$\tilde{k}_j = \Phi_j^T K \Phi_j \quad (۸)$$

$$\tilde{c}_j = \Phi_j^T C \Phi_j \quad (۹)$$

به طوری در معادلات اخیر $\tilde{m}_j$ جرم تعمیم یافته مود j -ام،

$\tilde{k}_j$ سختی تعمیم یافته مود j -ام، $\tilde{c}_j$ میرایی تعمیم یافته

مود j -ام و نهایتاً Φ ماتریس اشکال مودی است. به این

ترتیب معادله حرکت برای مود j -ام به صورت ۱۰ محاسبه

می شود:

$$\tilde{m}_j \ddot{q}_j + \tilde{c}_j \dot{q}_j + \tilde{k}_j q_j = - \left[\sum_{i=1}^n \Phi_{ji} m_i \right] a_g \quad (۱۰)$$

$$u_i = \sum_{k=1}^n \Phi_{ki} q_k \quad (۱۱)$$

در معادله ۱۰، q_j پاسخ سیستم در مختصات تعمیم یافته در

مود j -ام است که با استفاده از رابطه ۱۱ می توان u_i ،

پاسخ جابه جایی سازه در درجه آزادی i -ام به تحریک

زمین را به دست آورد. در ارتعاش سیستم های چند درجه

آزاد بیشترین سهم جرم مؤثر مودی مربوط به مود اول

است، بنابراین مود حاکم بر ارتعاش سیستم مود اول خواهد

بود. در ارتعاش سکوهاى ثابت دریایی نیز آن قضیه صادق

می باشد و می توان پاسخ سازه را تا حدودی براساس مود

اول تخمین زد. از این رو می توان معادله ۱۱ را به صورت زیر

بازنویسی نمود:

$$u_i \approx \Phi_{ji} q_j \quad (۱۲)$$

$$q_j = \left[\frac{1}{\Phi_{ji}} \right] u_i \quad (۱۳)$$

$$\tilde{k}_{ie} = \left[\frac{1}{\Phi_{ij}^2} \right] \tilde{k}_i \quad (۱۴)$$

$$\tilde{c}_{ie} = \alpha \tilde{k}_{ie} \quad (۱۵)$$

اگر هدف محاسبه مقدار پاسخ سازه در تراز ششم در مدل

سازه برشی باشد، می توان با قراردادن $i=6$ و $j=1$ ،

مدل یک درجه آزاد سکو را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$m_{eq} = \tilde{m}_{1e} = \left[\frac{1}{\Phi_{1,6}^2} \right] \tilde{m}_1 \quad (۱۶)$$

$$k_{eq} = \tilde{k}_{1e} = \left[\frac{1}{\Phi_{1,6}^2} \right] \tilde{k}_1 \quad (۱۷)$$

$$c_{eq} = \tilde{c}_{1e} = \alpha \tilde{k}_{1e} \quad (۱۸)$$

$$u_6 = u_{eq} \quad (۱۹)$$

با افزودن میراگر با مشخصات m_d ، k_d و $c_d = 0$ به سیستم یک درجه معادل فوق معادله حرکت ۲۰ حاصل می شود:

$$M_{eq} \ddot{U}_{eq} + C_{eq} \dot{U}_{eq} + K_{eq} U_{eq} = -a_g M_{eq} R \quad (۲۰)$$

به طوری که در این معادله داریم:

$$M_{eq} = \begin{pmatrix} m_{eq} & 0 \\ 0 & m_d \end{pmatrix} \quad (۲۱)$$

$$C_{eq} = \begin{pmatrix} c_{eq} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (۲۲)$$

$$K_{eq} = \begin{pmatrix} k_{eq} + k_d & -k_d \\ -k_d & -k_d \end{pmatrix} \quad (۲۳)$$

$$U_{eq} = \begin{Bmatrix} u_{eq} \\ u_d \end{Bmatrix} \quad (۲۴)$$

$$R = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (۲۵)$$

۴. مطالعه موردی

۴-۱. سکوی رسالت

سکوهاى ثابت دریایی به طور معمول سازه های قابی با لوله ای فولادی هستند که به وسیله شمع به بستر دریا مهار می شوند. زیرسازه، که به جاکت شهرت دارد، تجهیزات تولید و ملحقات عرشه را نگه می دارد. استفاده از این نوع سکوها در اعماق کم و متوسط مانند آب های خلیج فارس بسیار مناسب و اقتصادی است. برای ارزیابی روش ارائه شده در این مقاله از یک نمونه سکوی ثابت موجود در خلیج فارس (سکوی رسالت) استفاده شده است.

۴-۲. مدل سازی

در این مقاله برای تحلیل دقیق سکو یک مدل دوبعدی از سازه سکوی جاکت نصب شده در حوزه نفتی رسالت و تحت تحریک زمین برای بررسی دقت روش ارائه شده با استفاده از روش المان محدود فراهم آورده شده است. این تحلیل ها

طبیعی سازه نیز براساس میرایی رایلی است. روش تحلیل دینامیکی عددی سکو با استفاده روش نیومارک می باشد که می توان از آن برای سیستم های خطی استفاده نمود.

۴-۵. شاخص خطا

شاخص خطا برای بررسی اختلاف مقادیر پاسخ به دست آمده از دو روش دقیق و یک درجه آزاد معادل در فرکانس های مختلف به صورت رابطه ۲۶ تعریف می شود:

$$EI = \frac{|D_{FEM} - D_{eq}|}{(D_{FEM})_{max}} \times 100 \quad (26)$$

به طوری در این رابطه EI ، اندیس خطای پاسخ است و به صورت یک کمیت بدون بعد و برحسب درصد بیان می شود. همچنین D_{FEM} و D_{eq} به ترتیب دامنه فوریه پاسخ تراز عرشه مدل المان محدود و دامنه فوریه پاسخ مدل یک درجه آزاد معادل، $(D_{FEM})_{max}$ دامنه فوریه بیشینه پاسخ تراز عرشه مدل المان محدود می باشند. در شکل های ۴ و ۵ منحنی های اندیس خطا برحسب فرکانس برای پاسخ جابه جایی به ترتیب برای دو مدل سازه با و بدون میرایی طبیعی و میراگر جرمی تحت شتاب نگاشت های نورتریج، طبس و آکابا ارائه شده است. مشاهده می شود که در شکل ۴، در تمامی رکوردها مقدار بیشینه شاخص خطا در فرکانس طبیعی سازه می باشد؛ زیرا در فرکانس مقدار بیشینه پاسخ نیز چه در روش یک درجه آزاد معادل چه در روش دقیق اتفاق می افتد. مشاهده می شود که در شکل ۴ در تمامی رکوردها مقدار بیشینه شاخص خطا در فرکانس طبیعی سازه می باشد؛ زیرا در فرکانس مقدار بیشینه پاسخ نیز چه در روش یک درجه آزاد معادل چه در روش دقیق اتفاق می افتد. با توجه به محتوای فرکانسی رکوردهای مورد استفاده مقادیر بیشینه متفاوت می باشد. در شکل ۵ منحنی دارای دو مقدار بیشینه است. این به دلیل خصوصیات میراگر جرمی است که با افزودن میراگر به سازه تبدیل فوریه پاسخ دارای دو مقدار بیشینه خواهد شد. با افزودن میراگر، فرکانس طبیعی سازه از $0/68$ هرتز به $0/6$ هرتز کاهش می یابد و مشاهده می شود که در فرکانس مقدار بیشینه

برای تمامی رکوردهای ارائه شده در جدول ۱ و برای چهار مدل: سازه با میرایی ذاتی و میراگر، سازه با میرایی ذاتی و بدون میراگر، سازه بدون میرایی ذاتی و با میراگر و نهایتاً سازه بدون میرایی ذاتی و میراگر انجام شده است.

المان های مدل شده همگی به صورت تیر ستون بوده و رفتار آنها در فرایند تحلیل به صورت خطی می باشد. برای تأمین سازه برشی سکو نیز از همین مدل استفاده شده است. جرم و سختی مربوط به هر تراز در جدول ۱ ذکر شده است. در مدل سازی سازه برشی با میرایی ذاتی از میرایی رایلی استفاده می شود. همچنین برای میراگر جرمی نیز با استفاده از روش دن هارتوخ و نیز مقدار جرم مود اول، مقدار جرم میراگر 80 تن و مقدار سختی آن 1600 تن بر متر در نظر گرفته شده است. برای محاسبه مقادیر m_{eq} ، k_{eq} و c_{eq} در رابطه ۲۰ از مدل سازه برشی و شکل مود اول سازه برشی بهره گرفته شده است.

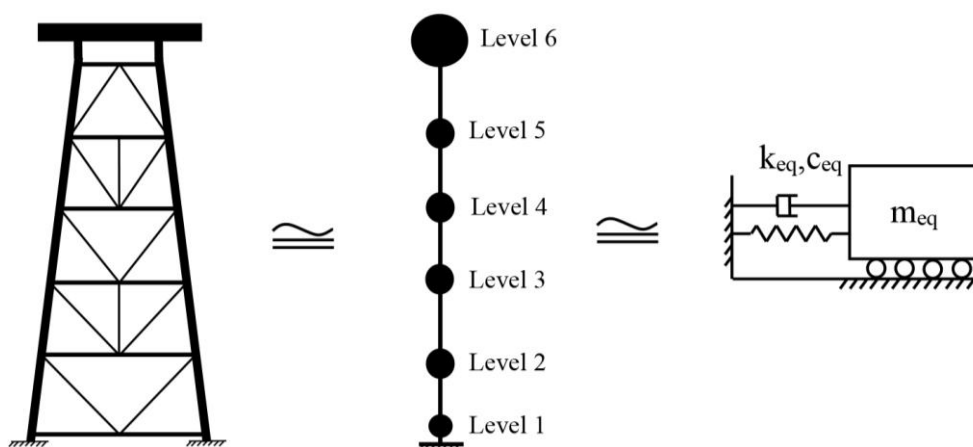
۴-۳. شتاب نگاشت های مورد استفاده

در این مقاله از ۸ رکورد قابل دسترس در مرجع [۹] استفاده شده است. تمامی رکوردها به $0.35g$ مقیاس شده اند. برای بررسی بهتر رکورد از هر دو نوع گسل نزدیک و گسل دور می باشند. مشخصات و فاصله محل وقوع آنها از محل ثبت رکورد نیز در جدول ۱ ذکر شده است.

۴-۴. تحلیل دینامیکی سکو

حال برای بررسی و مقایسه روش دقیق تحلیل تاریخچه زمانی مدل المان محدود و روش مبتنی بر مود اول، که براساس مدل سازه برشی ایجاد شده است، مدل المان محدود سکو و مدل یک درجه آزاد معادل برای چهار حالت: سازه با میرایی ذاتی و میراگر، سازه با میرایی ذاتی و بدون میراگر، سازه بدون میرایی ذاتی و با میراگر و نهایتاً سازه بدون میرایی ذاتی و میراگر تحت تحریکات زمین آورده شده در جدول ۲ تحلیل تاریخچه زمانی می شود. تمامی این تحلیل ها با فرض خطی بودن رفتار مصالح بوده و میرایی

اتفاق می‌افتد. با مقایسه دو شکل ۴ و ۵ نکته قابل تأمل آن نورتریج و در شکل ۵ مربوط به شتاب‌نگاشت طیس می- باشد. است که مقدار بشینه در شکل ۴ مربوط به شتاب‌نگاشت



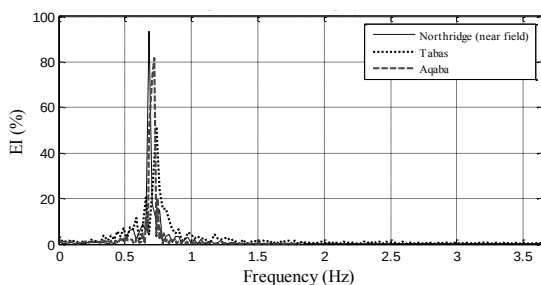
شکل ۳. مدل دو بعدی سکو و تبدیل آن سازه یک درجه آزاد معادل

جدول ۱. مقادیر سختی و جرم در هر تراز در سازه برشی

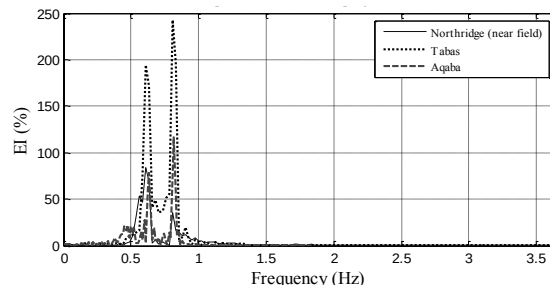
تراز	جرم (تن)	سختی (تن بر متر)
تراز ۱	۱۱۰	۴۳۵۴
تراز ۲	۱۸۲	۱۲۶۹
تراز ۳	۱۵۲	۱۱۸۳
تراز ۴	۱۴۶	۱۰۷۶
تراز ۵	۱۳۲	۹۷۰
تراز ۶	۸۶۵	۱۰۰۶

جدول ۲. رکوردهای مورد استفاده در تحلیل

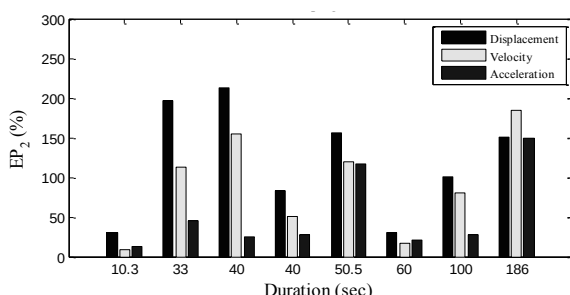
Num	Record	Date	Station	Duration (sec)	Distance (km)
1	Tabas	9/16/1978	9101 Tabas	33	
2	NORTHRIDGE	1/17/1994	SYLMAR-CONVERTER STA	40	6.2
3	CHICHI	9/20/1999	CHY006	100	14.93
4	Anza (Horse Cany)	2/25/1980	135 LA - Hollywood Stor PE Lot	10.3	41.4
5	Aqaba	11/22/1995	Eilat	60	93.8
6	NORTHRIDGE	1/17/1994	SAN BERNARDINO-E & HOSP	40	108.1
7	Kocaeli, Turkey	8/17/1999	Kutahya	33	144.6
8	Borrego Mtn	4/9/1968	5049 Borrego Air Ranch	186	217.4



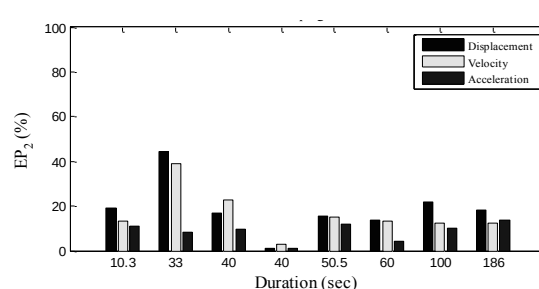
شکل ۵. منحنی اندیس خطا برحسب فرکانس برای پاسخ جابه‌جایی در مدل سازه با میرایی طبیعی و میراگر جرمی



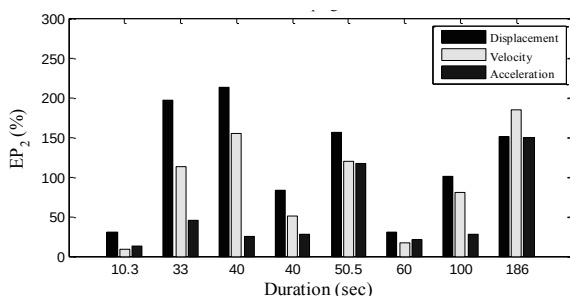
شکل ۶. منحنی اندیس خطا برحسب فرکانس برای پاسخ جابه‌جایی در مدل سازه بدون میرایی طبیعی و میراگر جرمی



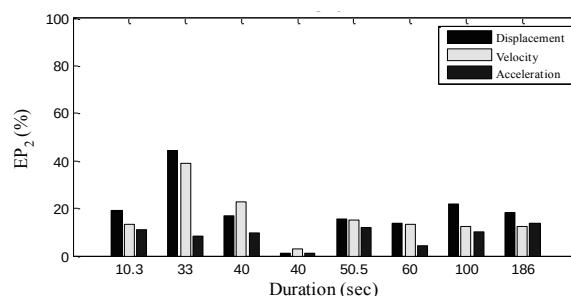
شکل ۷- پارامتر EP_1 برحسب زمان شتابنگاشت برای پاسخ شتاب



شکل ۸. پارامتر EP_1 برحسب زمان شتابنگاشت برای پاسخ جابه‌جایی



شکل ۹. پارامتر EP_2 برحسب زمان شتابنگاشت برای مدل سازه با میرایی و میراگر جرمی



شکل ۸- پارامتر EP_2 برحسب زمان شتابنگاشت برای مدل سازه بدون میرایی و میراگر جرمی

۴-۶. پارامتر خطا

پارامتر خطا برای بررسی و مقایسه مقادیر پاسخ بیشینه به‌دست آمده از دو روش ذکرشده، در روابط ۲۷ و ۲۸ ارائه شده است:

$$EP_1 = \frac{\max |D_{FEM} - D_{eq}|}{(D_{FEM})_{\max}} \times 100 \quad (27)$$

$$EP_2 = \frac{|(D_{FEM})_{\max} - (D_{eq})_{\max}|}{(D_{FEM})_{\max}} \times 100 \quad (28)$$

به‌طوری‌که در این روابط، EP_1 و EP_2 به‌ترتیب پارامتر خطای نوع یک و پارامتر خطای نوع دو پاسخ می‌باشند که

به‌صورت کمیت‌هایی بدون بعد و برحسب درصد بیان می‌شوند. همچنین $(D_{FEM})_{\max}$ و $(D_{eq})_{\max}$ نیز به‌ترتیب دامنه فوریه بیشینه پاسخ تراز عرشه مربوط به مدل المان محدود و مدل یک درجه آزاد معادل می‌باشند. نکته‌ای که در روابط ۲۷ و ۲۸ باید بدان توجه داشت این است که باید پارامتر خطای نوع یک، مربوط به بیشینه اختلاف بین دو دامنه فوریه در یک فرکانس متناظر می‌باشد، حال آنکه پارامتر خطای نوع دو مربوط به دامنه‌های فوریه بیشینه در فرکانس‌های متفاوت است.

۵. نتیجه‌گیری

با افزایش زمان تداوم زلزله مشاهده شد، که این امر در مورد پاسخ جابه‌جایی با شدت بیشتری همراه است. کارایی روش یک درجه آزاد معادل در مورد سازه بدون میرایی طبیعی و میراگر جرمی مشاهده شد و نیز این روش در محاسبه پاسخ شتاب نسبت پاسخ تغییر مکان خطای کمتری دارد. مودهای بالاتر در پاسخ سازه مجهز شده به میراگر جرمی مشارکت بیشتر دارند. وابستگی بسیار زیاد روش یک درجه آزاد معادل به محتوای فرکانسی شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در تحلیل دیده شد.

با توجه به مباحث مطرح‌شده و نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های انجام‌شده روی سکوی رسالت موارد زیر را می‌توان به اجمال بیان نمود.

افزایش مقدار شاخص خطا (EI) در فرکانس طبیعی سازه در دو حالت با و بدون میراگر جرمی در هنگام استفاده از روش یک درجه آزاد معادل در تمامی رکوردهای مورد استفاده مشاهده شد؛ البته در سایر فرکانس‌ها این مقدار به‌صورت چشم‌گیری کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. افزایش نسبی مقدار EP_1 (EI بیشینه)

۶. مأخذ

- [1] Yamada, Y., K. Kawano, H. Iemura, K. Venkataramana. "Wave and earthquake response of offshore structure with soil-structure interaction." *Proc JSCE, Structure Eng/Earthq Eng*, 1988, 5(2):361-70.
- [2] Jain, A.K. "Dynamics of Offshore Structures under Sea Waves and Earthquake Forces." *American Society of Mechanical Engineers, Offshore Technology*, 1996, Vol. 1, pp. 191-198.
- [3] Jin, D.Y., T. Matsui. "Stochastic Response Analysis of Jacket-Type Ocean Platforms under Simultaneously Acting Waves and Earthquakes." *American Society of Mechanical Engineers, Safety and Reliability*, 1997, Vol. 2, pp. 297-302
- [4] Etemad, A.K., A.R.M. Gharabaghi, M.R. Chenaghloou. "Nonlinear dynamic behavior of fixed jacket-type offshore platforms subjected to simultaneously acting wave and earthquake loads." *23rd International Conf. on Offshore Mech. and Arctic Eng.*, Vancouver: American Society of Mechanical Engineers, 2004, pp. 893-900
- [5] Park, M., W. Koo, K. Kawano. "Dynamic response analysis of an offshore platform due to seismic motions." *Engineering Structures*, 2011, 33 pp.1607-1616.
- [6] Kawano, K., K. Venkataramana. "Seismic response of offshore platform with TMD." *Proc. of 10th World Conference on Earthquake Engineering*, 1992, 4, pp. 241-2460.
- [7] Mahadik, A.S., R.S. Jangid. "Active control of offshore jacket platforms." *International Shipbuilding Progress*, 2003, 50, pp. 277-295.
- [8] Soong, T.T., G.F. Dargush. *Passive energy dissipation systems in structural engineering*, Wiley, London, 1997.
- [9] PEER Strong Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html> (accessed April 10, 2014).
- [10] Chopra, A.K. *Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1995.