

## ارزیابی رفتار لرزه‌ای سکوه‌های پایه ثابت با استفاده از روش زمان دوام

محمد سعید سیف<sup>۱</sup>، حمید مهدیقلی<sup>۲</sup>، همایون استکانچی<sup>۳</sup>، محمد علی داستان<sup>۴\*</sup>

۱- استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

۲- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

۳- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۴- دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

### چکیده

بررسی رفتار لرزه‌ای سکوهای دریایی، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های طراحی آن‌ها در مناطق لرزه‌خیز می‌باشد. با این وجود روش‌های تحلیلی‌ای که در این زمینه از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشند، به دلیل پیچیدگی و زمان‌بر بودن، در عمل چندان مورد توجه مهندسين قرار نگرفته‌اند. روش زمان دوام، روش مناسبی جهت حل این مشکل می‌باشد. در این روش می‌توان با قبول محدوده مناسبی از خطا، زمان تحلیل را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد، بطوری که با انجام یک تحلیل زمان دوام رفتار سازه را در سطوح مختلف لرزه‌ای ارزیابی کرد. در این مقاله ابتدا به معرفی روش‌های مختلف تحلیل در آیین‌نامه‌ها و روش زمان دوام پرداخته شده و در ادامه رفتار لرزه‌ای سه سکو با استفاده از تحلیل طیفی آیین‌نامه ۲۸۰۰ و توابع شتاب زمان دوام مورد مقایسه قرار گرفته است. بدین منظور از تابع شتابی که در روش زمان دوام بر مبنای طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ تولید گشته، استفاده شده و میزان اختلاف در نتایج در مقایسه با تحلیل طیفی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ارائه گردیده است که از تطابق مناسبی برخوردار می‌باشند.

**کلمات کلیدی:** سکوی پایه ثابت، روش زمان دوام، رفتار لرزه‌ای، تحلیل طیفی

### TECHNICAL NOTE

## Evaluation of Seismic Behavior of Fixed Offshore Platforms with Endurance Time Method

M.S. Seif<sup>1</sup>, H. Mehdigholi<sup>2</sup>, H.E. Estekanchi<sup>3</sup>, M.A. Dastan<sup>4</sup>

1- Professor, Mech. Eng. Dep., Sharif University of Tech.

2- Assistant Professor, Mech. Eng. Dep., Sharif University of Tech.

3- Professor, Civil Eng. Dep., Sharif University of Tech.

4- Ph.D. Candidate, Mech. Eng. Dep., Sharif University of Tech.

### Abstract

Evaluation of seismic behavior of offshore platforms is one of the important design steps in seismic regions. Nevertheless, because of complication and time cost of these methods, engineers usually do not study them deeply. Endurance Time (ET) method is a good solution for this problem. In this method, with acceptance of a reasonable region of errors, the time of analysis can be reduced considerably. Besides with one ET analysis, the behavior of structure can be evaluated in different seismic levels. In this paper, the ET and other usual methods in standards are introduced and then the seismic behavior of three platforms is compared with ET and response spectrum method. In this comparison, the acceleration function which is generated

\* نویسنده مسئول مقاله dastan@mech.sharif.edu

base on Iranian cod (2800 standard), is used and the differences are considered in relation to spectral analysis of 2800 standard. The results show appropriate conformity between two methods.

**Keywords:** Fixed Offshore Platform, Endurance Time Method, Seismic Behavior, Spectral Analysis

## ۱ - مقدمه

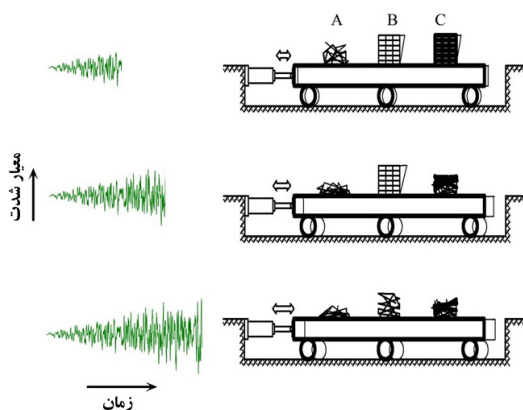
امروزه با گسترش اکتشاف و استخراج نفت در مناطق فراساحل، تعداد بسیار زیادی سکو دریایی در نقاط مختلف جهان ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است [۱]. کشور ایران یکی از نفت خیزترین کشورهای جهان می باشد که مقدار قابل توجهی از ذخایر نفتی آن در مناطق دور از ساحل قرار دارد. با توجه به عمق کم آب، سکوی پایه ثابت مناسبترین گزینه برای انجام عملیات نفتی در این منطقه می باشد که بررسی دقیق رفتار آن ها - با توجه به اهمیت این سازه ها و هزینه بالای آن ها - امری اجتناب ناپذیر است. در میان بارهای اعمالی بر سکو در منطقه خلیج فارس، دو بار موج و زلزله نقش کلیدی در طراحی سکو دارند. روش های مختلفی در آیین نامه ها برای طراحی سکو تحت بارهای فوق ارائه شده است. آیین نامه ای پی آی<sup>۱</sup> روش های تحلیل را بصورت روش های خطی و غیر خطی دسته بندی می کند [۲]. روش های خطی نمی توانند رفتار پلاستیک سازه را بررسی نمایند. با توجه به اینکه سازه در زلزله های سطح شکل پذیری وارد رفتار غیرخطی می گردد، در نظر گرفتن این رفتار برای مناطقی که خطر لرزه خیزی بالایی دارند امری ضروری است. بهترین روش در نظر گرفتن رفتار سازه بصورت دینامیکی غیرخطی در حوزه زمان است. از طرف دیگر بار زلزله پدیده ای تصادفی است و نمی توان تنها با اعمال یک رکورد تاریخچه زمانی، رفتار سازه را بطور کامل ارزیابی نمود. آیین نامه ها اعمال حداقل ۳ تا ۷ رکورد را ضروری می دانند [۳]. مشکلی که در این روش تحلیل وجود دارد هزینه بسیار بالای محاسباتی آن می باشد.

از طرف دیگر روش زمان دوام روشی نوین در تحلیل زلزله می باشد که توانایی بالقوه ای در کاهش محاسبات مربوط به آنالیز دینامیکی دارد [۴]. در این روش با اعمال یک شتابنگاشت افزایشنده به سازه و رسم

پاسخ سازه بر حسب زمان، به ارزیابی عملکرد سازه در زمانهای مختلف که هر یک معرف یک شدت زلزله می باشند، پرداخته می شود [۵].

## ۲ - روش زمان دوام

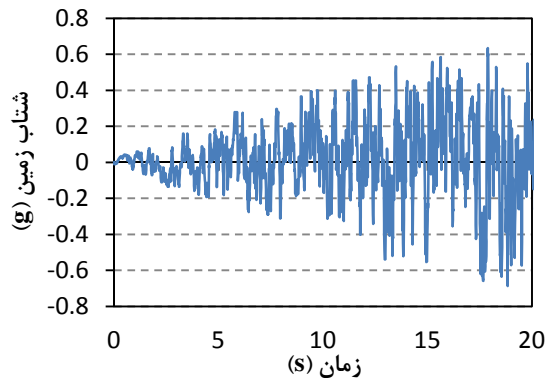
مفهوم زمان دوام را می توان به خوبی با یک آزمایش فرضی توضیح داد. به عنوان مثال عملکرد سازه ای سه سازه مختلف با خصوصیات نامشخص در برابر زلزله می خواهد مورد تحقیق قرار بگیرد. برای بررسی عملکرد این سازه ها، این سه سازه بر روی میز لرزان قرار می گیرند. آزمایش با تهییج میز لرزان تحت ارتعاش اتفاقی که به تدریج شدت آن در طول زمان افزایش پیدا می کند (تابع شتاب<sup>۲</sup>) شروع می شود (شکل ۱). با افزایش تدریجی شدت تهییج دامنه نوسان سازه ها نیز به تدریج زیاد می شود. به علت تقاضای افزایشنده تابع شتاب، سازه ها از تغییر شکل های الاستیک به حالت تسلیم و مرحله رفتار غیرخطی می رسند و در نهایت به ناپایداری دینامیکی کلی می رسند [۶]. در طول آزمایش می توان مقادیر شاخصهای خرابی را به طور مستقیم بر حسب زمان رسم کرد.



شکل ۱ - معرفی شماتیک آنالیز زمان دوام در تشخیص مقاومت لرزه ای سیستم های مختلف [۷]

همانطور که مشاهده می شود به طور کلی دامنه

هدف به تغییرات در طیف جابجایی حساس شود در حالیکه مقادیر پایین  $\alpha$  سبب ایجاد حساسیت تابع هدف نسبت به تغییرات طیف شتاب می‌گردد [۹]. با در نظر گرفتن  $\alpha = 1$  تابع شتاب زمان دوام ETA20b01 بر مبنای آیین‌نامه زلزله ایران (آیین‌نامه ۲۸۰۰) برای خاک نوع دو تولید شده است که در شکل ۲ نشان داده می‌شود.



شکل ۲ - تابع شتاب زمان دوام ETA20b01

### ۳ - تحلیل دینامیکی و نتایج عددی

در این مطالعه سه سکوی واقعی NRB، FRZ و Dalane مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. عرشه سکوه‌های FRZ و NRB با روش شناوری نصب شده که استفاده از این روش مستلزم حذف مهاربندهای جکت در تراز سطح دریا می‌باشد و منجر به نرمی قابل توجهی در تراز فوقانی سکو می‌گردد [۱۰].

مدل تحلیلی این سکوها به صورت سیستم‌های چند درجه آزادی با جرم‌های متمرکز ساده شده است. اثر خاک در محاسبه سختی فنرها در نظر گرفته شده است. تعداد کافی از مودهای ارتعاشی و به همان تعداد درجات آزادی در نظر گرفته شده بطوریکه مجموع جرم موثر مودهای در نظر گرفته شده سهم قابل توجهی از جرم سازه را شامل شود. جرم‌های متمرکز و ضرایب سختی برای مدل ساده شده، بر مبنای مطالعات گلفاشانی و همکاران انتخاب شده است [۱۰]. برای نمونه، شکل کلی از نمای سکوی FRZ همراه با مودهای ارتعاشی و سیستم سه درجه آزادی معادل آن در شکل ۳ نشان داده شده است. مشخصات بدست آمده برای این سه سکو، شامل دوره تناوب مود اول و

شاخصهای خرابی در قاب A از بقیه بیشتر و در قاب B از بقیه کمتر است. در نتیجه می‌توان گفت که عملکرد سازه B نسبت به دو سازه دیگر در شدتهای مختلف مطلوب‌تر است [۸].

### ۲-۱- خواص توابع شتاب

یکی از پارامترهایی که باید در بهینه‌سازی توابع شتاب مورد بررسی قرار گیرد روند افزایشی این توابع است. با تحقیقاتی که انجام شده است مشخص گردیده که یکی از حالت‌های مناسب، روند افزایشی به صورت خطی است [۸]. این خطی بودن بدین صورت است که طیف پاسخ زمان دوام در زمان ۱۰ ثانیه مطابق با آیین‌نامه زلزله ایران و دو برابر طیف پاسخ در زمان ۵ ثانیه می‌باشد. همچنین طیف پاسخ زمان دوام در زمان ۲۰ ثانیه دو برابر طیف پاسخ در زمان ۱۰ ثانیه است. این خصوصیت سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در زمان تحلیل می‌گردد. بر این اساس طیف شتاب  $S_{aT}$  و طیف جابجایی  $S_{uT}$  به صورت رابطه (۱) تعریف می‌گردد:

$$S_{aT}(T, t) = \frac{t}{10} S_{aC}(T) \quad (1)$$

$$S_{uT}(T, t) = \frac{t}{10} S_{aC}(T) \times \frac{T^2}{4\pi^2}$$

که  $T$  بیانگر دوره تناوب و  $t$  نشان دهنده زمانی است که تا آن زمان طیف پاسخ از تابع شتاب بدست می‌آید. یافتن راه حل تحلیلی که بتواند رابطه (۱) را ارضا کند، بسیار سخت به نظر می‌رسد. از این رو با استفاده از بهینه‌سازی عددی، به حل مساله که به شکل رابطه (۲) تبدیل شده است، پرداخته می‌شود.

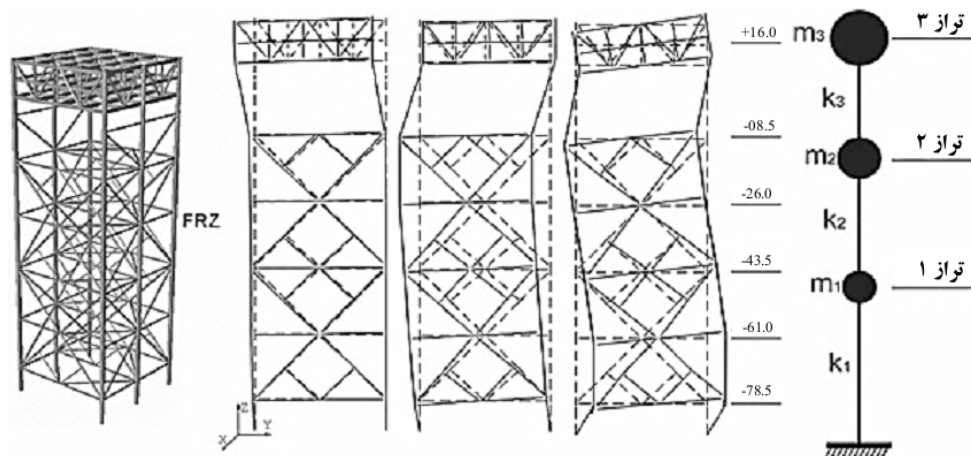
$$\text{Minimize } F(a_g) =$$

$$\int_0^{T_{\max}} \int_0^{t_{\max}} \{ [S_a(T, t) - S_{aT}(T, t)]^2 + \alpha [S_u(T, t) - S_{uT}(T, t)]^2 \} dt \quad (2)$$

که  $a_g$  تابع شتاب زمان دوام و  $\alpha$  متغییر وزنی نسبی است که میزان جریمه را با مقایسه انحراف طیف جابجایی نسبت به انحراف طیف شتاب از مقدار هدف تعیین می‌کند. مقادیر بالای  $\alpha$  سبب می‌شود که تابع

۵ نشان داده شده است. در ادامه با استفاده از تحلیل طیفی به مقایسه روش آیین نامه و زمان دوام پرداخته می‌شود. اگر دقت مطلوبی بین نتایج حاصل از این دو روش مشاهده گردد، می‌توان از تحلیل تاریخچه زمانی خطی روش زمان دوام، جهت بررسی رفتار لرزه‌ای این سازه‌ها استفاده نمود. بدین صورت پاسخ سازه در هر زمان تحلیل تاریخچه زمانی روش زمان دوام، بیانگر سطحی از طیف آیین نامه ۲۸۰۰ می‌باشد.

سختی‌ها و جرم‌های ترازهای مختلف، در جدول ۱ ارائه شده است. جهت مدل‌سازی این سیستم سه درجه آزادی از نرم‌افزار انسیس<sup>۲</sup> استفاده شده است. در ابتدا طیف حاصل از رکورد زمان دوام ETA20b01، در زمان‌های مختلف تحصیل گردیده و جهت هموار کردن نمودار این طیف‌ها از روش میانگین‌گیری ۲۱ نقطه‌ای استفاده شده است که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد. مقایسه طیف‌های حاصل از آیین نامه ۲۸۰۰ و ET نیز در شکل

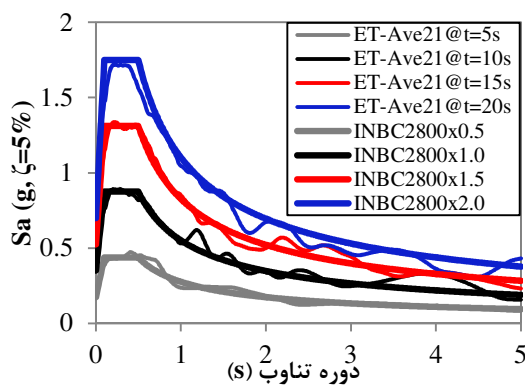


شکل ۳ - نمونه سکوی شابلونی مطالعه شده، مودهای ارتعاشی آن و سیستم‌های سه درجه آزادی معادل [۱۰]

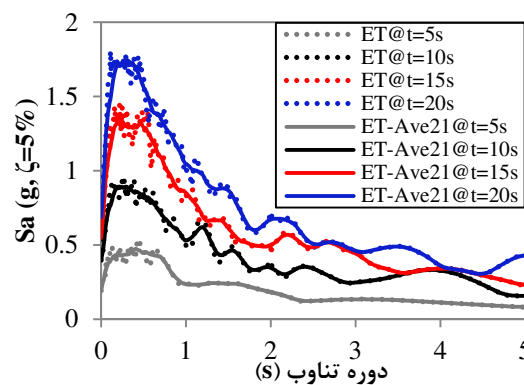
جدول ۱ - مشخصات دینامیکی نمونه سکوهایی مورد مطالعه [۱۰]

Platform	Period (s)	$k_1$ (MN/m)	$k_2$ (MN/m)	$k_3$ (MN/m)	$m_1$ (Ton)	$m_2$ (Ton)	$m_3$ (Ton)
NRB	۴/۸	۴۰۰	۴۳۰	۷۵*	۹۰۰۰	۱۱۰۰۰	۳۱۰۰۰
FRZ	۲/۷	۳۳۵	۳۶۵	۳۲	۱۴۵۰	۲۰۵۰	۶۱۰۰
Dalane	۱/۵	۵۸	۵۰	۵۳	۱۰۰۰	۱۲۰۰	۳۱۰۰

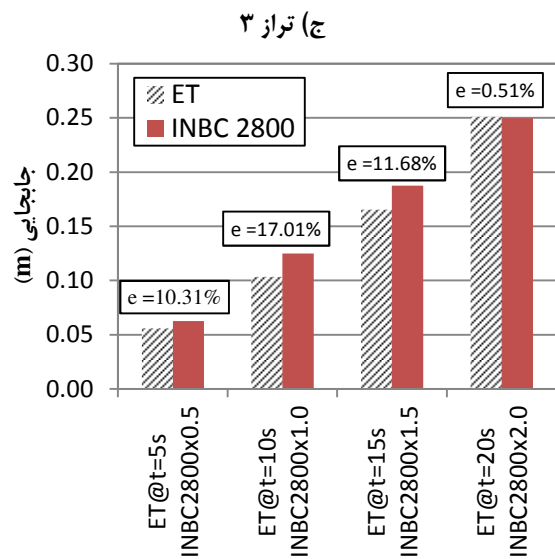
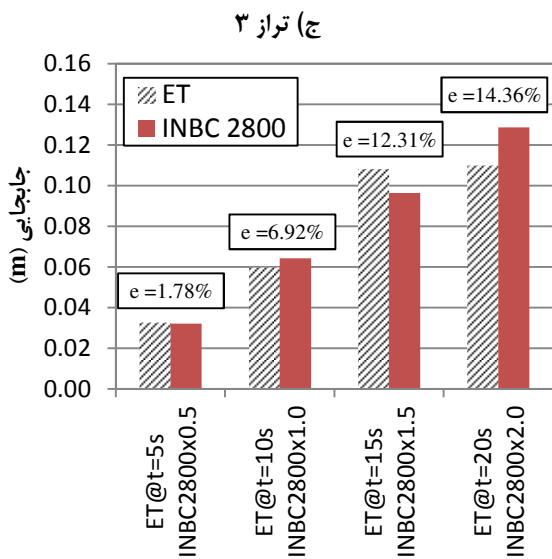
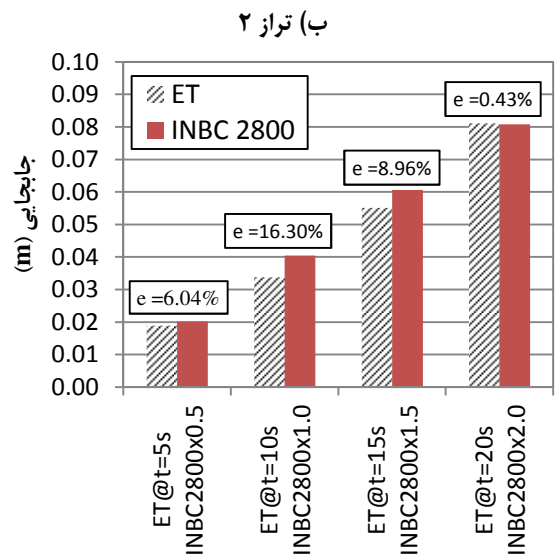
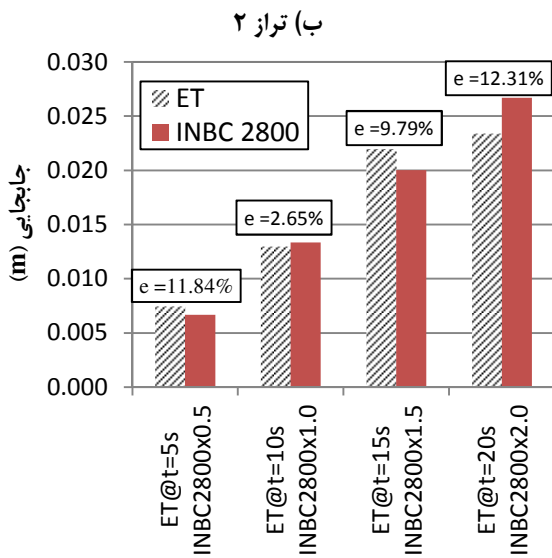
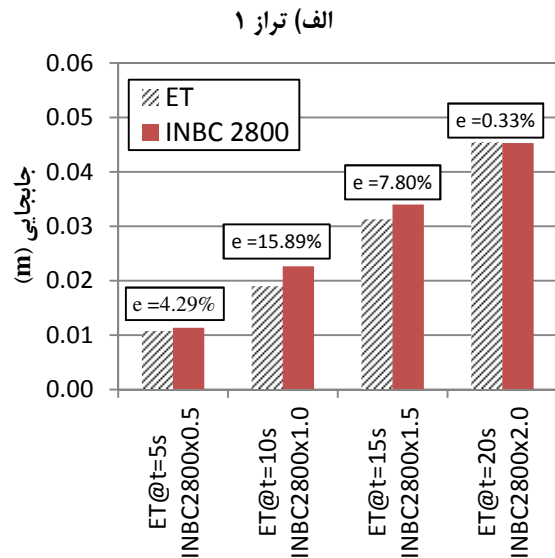
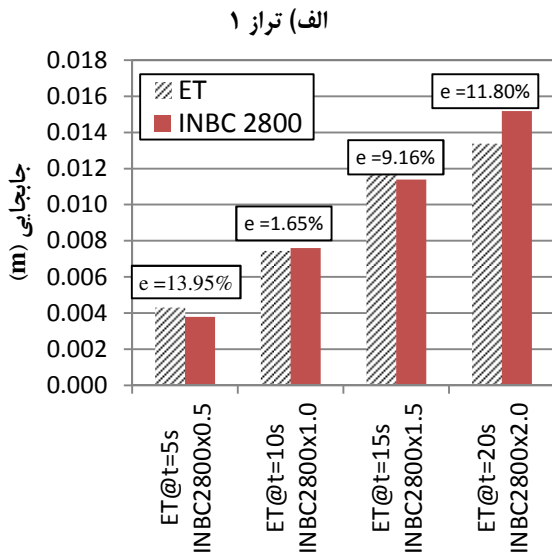
\* این عدد برای ایجاد دوره تناوب ۴/۸ ثانیه در مود اول تغییر داده شده است.



شکل ۵ - طیف حاصل از آیین نامه ۲۸۰۰ در سطوح مختلف و ET در زمان‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ثانیه



شکل ۴ - طیف حاصل از رکورد زمان دوام در زمان‌های مختلف و هموارسازی آن‌ها



شکل ۷ - تحلیل طیفی بر مبنای روش زمان دوام و آیین نامه ۲۸۰۰ برای سکوی FRZ در ترازهای مختلف

شکل ۶ - تحلیل طیفی بر مبنای روش زمان دوام و آیین نامه ۲۸۰۰ برای سکوی NRB در ترازهای مختلف

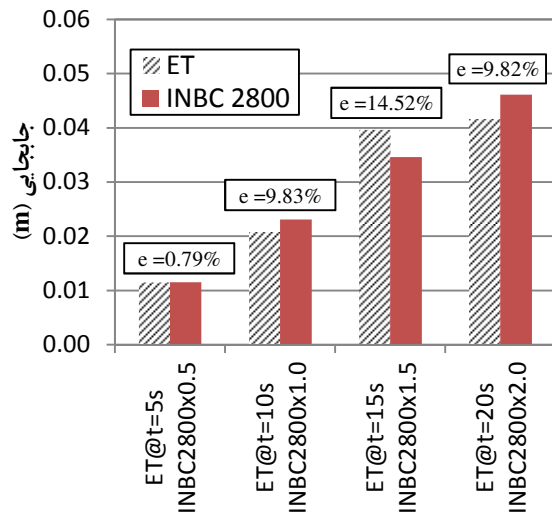
جهت مقایسه نتایج از جابجایی درجات آزادی که به روش CQC و با میرایی ۵٪ و با اعمال تحریک حاصل از طیف به صورت یک جهت بدست آمده، استفاده شده است. نتایج این تحلیل برای سکوه‌های مختلف در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ نمایش داده شده است. زمان‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ثانیه سطوح مختلف لرزه‌ای را نشان می‌دهند. برای رکورد زمان دوام مورد مطالعه، طیف حاصل از رکورد تا زمان ۵ ثانیه برابر نصف طیف لرزه‌ای ۲۸۰۰، تا زمان ۱۰ ثانیه برابر طیف لرزه‌ای ۲۸۰۰، تا زمان ۱۵ ثانیه ۱٫۵ برابر طیف لرزه‌ای ۲۸۰۰ و تا زمان ۲۰ ثانیه ۲ برابر طیف لرزه‌ای ۲۸۰۰ است. این موضوع خصوصیتی است که رکوردهای زمان دوام بر مبنای آن ایجاد شده اند. درصد اختلاف نسبت به آیین نامه ۲۸۰۰ نیز در بالای این نمودارها نشان داده شده است. همچنین میانگین و انحراف معیار اختلاف‌ها در تحلیل‌های فوق در جدول ۲ ارائه می‌گردد.

جدول ۲- بررسی نحوه پراکندگی اختلاف‌ها

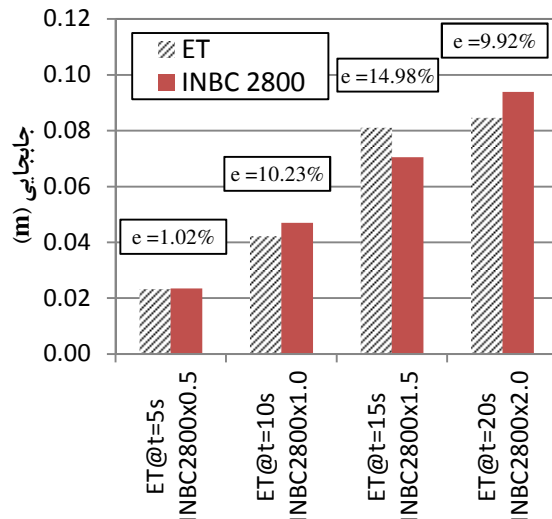
سکو	میانگین اختلاف‌ها	انحراف معیار اختلاف‌ها
NRB	۸/۳۰	۶/۷۰
FRZ	۹/۰۴	۵/۱۶
Dalane	۸/۹۶	۵/۸۰

همانطور که مشاهده می‌گردد، نتایج حاصل از روش زمان دوام همخوانی مناسبی با نتایج آیین نامه‌ای داشته و میزان اختلاف آن‌ها از ۱۷٪ تجاوز نمی‌کند. علت این موضوع را می‌توان به همخوانی در طیف‌های تحریک مربوط دانست. در رابطه با نحوه پراکندگی اختلاف‌ها می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که بیشترین مقدار اختلاف و انحراف معیار آن در سکوی NRB وجود دارد، زیرا همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، بطور کلی در دوره تناوب‌های بالا تفاوت بین طیف‌های تحریک افزایش می‌یابد. ذکر این نکته ضروری است که منشا اختلاف‌های فوق در تفاوت بین طیف‌های تولید شده از توابع شتاب زمان دوام و طیف آیین‌نامه بوده و مربوط به روش زمان دوام نمی‌باشد و با تولید توابع شتابی که طیف آن‌ها انطباق بیشتری با طیف آیین‌نامه داشته باشد، این اختلاف‌ها نیز کاهش می‌یابند.

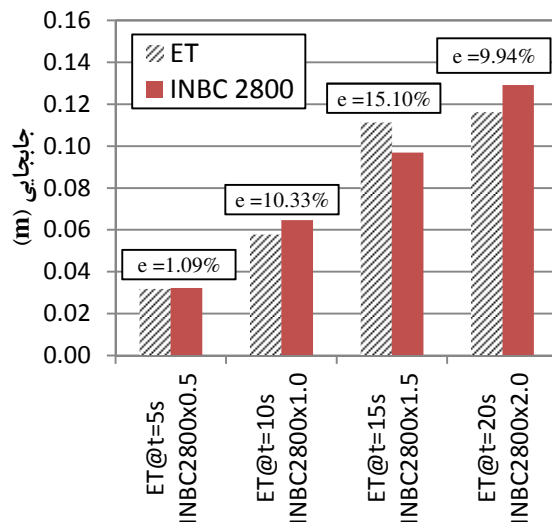
الف) تراز ۱



ب) تراز ۲



ج) تراز ۳



شکل ۸- تحلیل طیفی بر مبنای روش زمان دوام و آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای سکوی Dalane در ترازهای مختلف

structures, Journal of Scientia Iranica, Vol.11, No.4, p.361-370.

5-Estekanchi, H.E., Arjomandi, K. and Vafai, A., (2008), Estimating structural damage of steel moment frames by Endurance Time method, Journal of Constructional Steel Research, vol.64, no.2, p.145-155.

6-Bazmooneh A, (2009), Application of endurance time method in seismic evaluation of existing steel buildings, civil engineering, SUT, Tehran, Iran, Thesis presented to Sharif University of Technology as a partial requirement of MS degree. (In Persian)

7-Estekanchi, H.E., Riahi, H.T. and Vafai, A., (2008), Endurance time method: exercise test as applied to structures, CJCE, pp.40-50.

8-Riahi, H.T. and Estekanchi, H.E., (2008), Application of endurance time method in seismic assessment of steel frames, Journal of Engineering Structures, vol.33, no.9, p. 2535-2546.

9-Estekanchi, H.E., Valamanesh, V. and Vafai, A., (2007), Application of endurance time method in linear seismic analysis, Journal of Engineering Structures, vol.29, no.10, p. 2551-2562.

10-Golafshani, A. and Gholizad, A., (2009), Friction damper for vibration control in offshore steel jacket platforms, Journal of Constructional Steel Research, vol.65, no.1, p.180-187.

#### ۴ - نتیجه گیری

در این مقاله به معرفی روش زمان دوام و روش‌های مختلف آیین نامه جهت تحلیل سکوه‌های پایه ثابت پرداخته شد. با مقایسه طیف‌های حاصل از توابع شتاب زمان دوام و آیین نامه ۲۸۰۰ دقت مناسبی بین آن‌ها تایید گردید. در ادامه سه سکوی FRZ، NRB و Dalane که دارای دوره تناوب‌های متفاوتی بودند مورد مطالعه قرار گرفتند. تحلیل طیفی بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ و روش زمان دوام در سطوح مختلف لرزه‌ای بر روی این سه سکو انجام شد. با مقایسه جابجایی‌ها در ترازها و سطوح لرزه‌ای مختلف که با استفاده از روش CQC و با میرایی ۵٪ تعیین شده بودند، مشخص گردید که تفاوت بین نتایج حاصل از تحلیل طیفی توابع شتاب زمان دوام و آیین نامه ۲۸۰۰ در سکوه‌ای فوق، به کمتر از ۱۷٪ محدود می‌گردد. این تفاوت به علت اختلاف در طیف‌های حاصل از توابع شتاب زمان دوام و آیین‌نامه می‌باشد که می‌توان با ایجاد توابع شتابی که طیف آن‌ها تطابق بیشتری با طیف آیین‌نامه داشته باشد، آن را کاهش داد.

#### کلید واژگان

1-API  
2-Acceleration function  
3-ANSYS

#### ۵ - مراجع

1-Ma, R., Zhang, H. and Zhao, D., (2010), Study on the anti-vibration devices for a model jacket platform, Journal of Marine Structures, vol.23, no.4, p.434-443.

2-American Petroleum Institute (API), (2005), Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms—working stress design, Washington, API recommended practice 2A-WSD (RP 2A-WSD).

3-Chang, B., Abraham, M. and Peng, B.F., (2005), Comparison of ISO and API seismic design guidelines using 3 existing offshore platforms, Offshore Technology Conference (OTC), Houston, TX, U.S.A..

4-Estekanchi, H.E., Vafai, A. and Sadeghazar, M., (2004), Endurance time method for seismic analysis and design of