

ارزیابی قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه جاکت یک سکوی فراساحل

بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

محمود حسینی^۱ و سمیه کریمیان^۲

چکیده: با توجه به آسیبهای ناشی از زلزله‌های گذشته در سکوهای فراساحل که از سازه‌های بسیار حیاتی در صنایع نفت و گاز هستند، دستیابی به طراحی لرزه‌ای اینگونه سازه‌ها با قابلیت اعتماد بالا از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه یک سکوی نفتی از نوع جاکت با ارتفاع ۳۰۴ فوت و با عرشه‌ای با ابعاد ۹۶۴ فوت و وزن ۲۹۰ میلیون پوند به کمک تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی (- Nonlinear Time History Analysis NLTHA) که روش تحلیل لرزه‌ای با قابلیت اعتماد بسیار بالا است، مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا با انجام تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی به تشخیص اعضای بحرانی تر جاکت بر اساس محدوده‌ی تغییر شکل خمیری آنها پرداخته، سپس با استفاده از شتابنگاشت‌های سه مؤلفه‌ای ۱۰۰ زلزله که دربرگیرنده‌ی محدوده فرکانسی گسترده‌ای هستند و با همپایه نمودن ۳ تراز PGA به شتاب‌های 0.3 g, 0.65 g, به اجرای NLTHA پرداخته شده است. با استفاده از نتایج NLTHA احتمال صدمه اعضای بحرانی مورد مطالعه قرار گرفته و بدین ترتیب قابلیت اعتماد سکوی جاکت ارزیابی شده است. با توجه به اینکه اعضای سازه‌ای متفاوت جاکت اثرات متفاوتی بر روی پایداری سکو دارد، برای هر عضو بحرانی سازه ضریب اهمیتی خاص بر اساس نوع، موقعیت قرارگیری و جهت قرارگیری آن عضو در نظر گرفته شده و با ترکیب قابلیت اعتماد اعضای بحرانی با ضرایب اهمیت ویژه‌شان قابلیت اعتماد کل سازه ارزیابی شده است.

کلید واژه: سازه جاکت، تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و تاریخچه زمانی، اعضای بحرانی، ضریب اهمیت اعضای سازه‌ای

۱- مقدمه

تاکنون مطالعات مختلفی بر روی قابلیت اعتماد سکوهای فراساحل انجام شده که بعضی از آنها به بررسی تحلیل لرزه‌ای پرداخته است. در اینجا به طور خلاصه به مرور اهم آنها می‌پردازیم. Nadim و Gudmetad (۱۹۹۴) از اولین محققانی هستند که به مطالعه‌ی قابلیت اعتماد مهندسی سکوهای فراساحل تحت زلزله‌های شدید پرداختند [۱].

Venkataramana و همکاران در سال ۱۹۹۸ دو مدل را بررسی کردند: (۱) سازه فراساحلی جاکت، (۲) سکوی پایه کششی که طیف Kanai-Tajimi را به عنوان مدل شتاب زمین در روش ارتعاشی تصادفی حوزه فرکانس به کار بردند [۲]. آنها به این نتیجه رسیدند که پاسخ سکوهای پایه‌کششی به پارامتر فرکانس وابسته است. Zhuang و همکارانش در سال ۱۹۹۹ نیز به مطالعه‌ی قابلیت اعتماد لرزه‌ای سکوهای فراساحلی با استفاده از روش تحلیل شکست استاتیکی غیرخطی پرداختند.

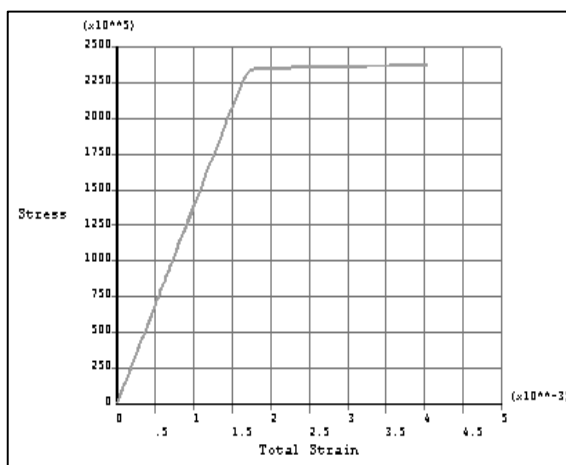
Jin [۳] و همکارانش در سال ۲۰۰۲ نیز بر روی قابلیت اعتماد سکوهای فراساحلی جاکت تحت بار لرزه‌ای با استفاده از روش تصادفی پرداختند [۴]. آنها گزارش کردند که پاسخ

سازه‌های فراساحل به ویژه سکوهای نفتی و گازی جزء سازه‌های حیاتی در سراسر دنیا هستند که بسیاری از آنها در مناطق لرزه‌ای واقع شده‌اند. اثرات آسیبهای ناشی از زلزله‌های گذشته نشان دهنده اهمیت طراحی لرزه‌ای اینگونه سازه‌ها با قابلیت اعتماد بالا می‌باشد. طراحی و ساخت سکوهای نفتی در کشور ما ایران نیز که در منطقه‌ی خاور میانه واقع بوده و یک کشور نفت‌خیز می‌باشد حائز اهمیت بوده و از آنجائی که ایران جزء مناطق زلزله خیز جهان است بارهای حدی شدید، از جمله نیروهای لرزه‌ای، نیز باید در طراحی و ساخت این سکوها مد نظر قرار گیرد. بررسی و تجزیه و تحلیل سکوهای نفتی تحت بارهای حدی شدید مانند زلزله با در نظر گرفتن اصول ارزیابی قابلیت اعتماد موضوعی نسبتاً نو است و در این زمینه باید پژوهش‌های بیشتری به عمل آید. قابلیت اعتماد به صورت احتمال عملکرد با کفایت یک سامانه، تحت شرایط کاری از پیش تعیین شده و برای مدت زمان معین تعریف می‌شود. به عبارت دیگر نوعی احتمال است که بین عملکرد سامانه و آنچه در عمل از آن انتظار می‌رود ارتباط برقرار می‌کند.

۱. دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب (hosseini@iiees.ac.ir)

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد عمران، گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب (s_karimiyan@yahoo.com)

برای لحاظ نمودن اثر موج در مدلسازی کامپیوتری چگالی فولاد به میزان نسبت چگالی آب به چگالی فولاد افزایش داده شده است [۸]. به عبارت دیگر جرم افزوده‌ای به میزان نسبت چگالی آب به فولاد برای سکوی مذکور در نظر گرفته شده است. منحنی تنش - کرنش لحاظ شده برای مصالح Jacket نیز مطابق شکل ۲ منحنی تنش کرنش ایده آل فرض گردیده است [۶].



شکل ۲- منحنی تنش کرنش ایده آل برای مصالح جاکت

فرضیات اساسی مورد استفاده در تحلیل و طراحی جاکت عبارتند از:

- از اندرکنش خاک و شمع صرف نظر شده است.
- جهت مدلسازی شمع از طول معادلی برابر 6d (شش برابر قطر شمع) مطابق با مرجع طراحی سازه‌های دریایی [۷] استفاده شده. از روش آزمایشگاهی این مقدار برابر با 5.8d برآورد [۸] بدین ترتیب اثر اندرکنش خاک و سازه ملحوظ گردیده است.

۳- معرفی نرم افزار مورد استفاده و مدل سازی

به منظور بررسی اثر بار دینامیکی شدید مانند زلزله به روش تاریخیچه زمانی و وارد شدن به حالت حدی سکوی نتیجه ۱۰ نرم افزار Ansys استفاده شده است. المان‌هایی که برای مدلسازی استفاده شده است عبارتند از:

SHELL181 , MASS21 , PIPE20 , BEAM4

که در ادامه به معرفی آنها پرداخته شده است.

۱-۳ معرفی المان SHELL 181

مشخصات المان SHELL 181 (مطابق شکل ۳) بدین شرح است.

سکوها با در نظر گرفتن اندرکنش سازه - شمع - خاک کمتر از حالت شالوده‌ی صلب می‌باشد و نیز اظهار داشتند که قابلیت اعتماد دینامیکی سکوهای فراساحل زیاد و احتمال شکست آنها خیلی کم است. Finagenor و Glagorsky در سال 2005 مطالعه‌ای بر روی بررسی سازه‌های هیدرولیکی دریایی فراساحل تحت اثرات لرزه‌ای به وسیله هر دو روش تصادفی و قطعی انجام دادند که اندرکنش سازه - خاک در آن دقیقاً در نظر گرفته شده بود [۵]. آنها طی بررسی قابلیت اعتماد لرزه‌ای چندین سکوهای فراساحل به این نتیجه رسیدند که زلزله‌های شدید باعث بروز رفتار غیرخطی سازه سکوی می‌گردد و در نهایت به این باور رسیدند که قابل اعتمادترین تحلیل برای طراحی لرزه‌ای، تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی (NLTHA) می‌باشد. بر این اساس نویسندگان این مقاله نیز اخیراً " مطالعه و بررسی بر روی قابلیت اعتماد لرزه‌ای یک سازه‌ی فراساحل را به این روش انجام داده‌اند [۶]. که نتایج آن در این مقاله ارایه می‌گردد.

۲- معرفی سکوی مورد مطالعه

سکوی مورد مطالعه از نوع سکوی جاکت مطابق شکل ۱ با مشخصات زیر می‌باشد [۶].

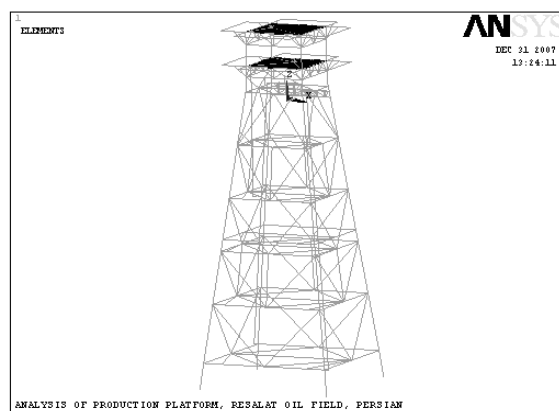
بار مرده عرشه به‌جز وزن خود عرش (948.43 ton) 2090937.95 lb

وزن کل سکو (117376 ton) 0.25877e⁹ lb

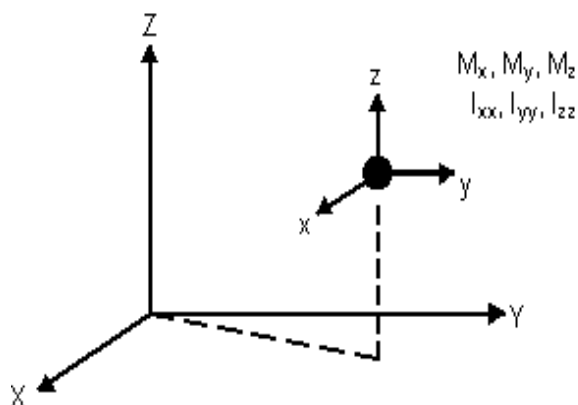
مصالح سازنده فولاد با (3600 kg/cm²) 2.37e⁸ lb/ft² Fy

ضریب ارتجاعی (2.1 * e⁶ kg/cm²) E = 1.38e¹¹ lb/ft²

چگالی (۷۸۵۰ kg/m³) (۴۹۰.۰۷ lb/ft³)



شکل ۱- سکوی فراساحلی از نوع جاکت (Jacket)



شکل ۴ - المان Mass21

در نرم افزار ANSYS تنها المانی که می‌تواند اثر مستغرق بودن را لحاظ کند المان PIPE59 است. با توجه به اینکه در این مقاله، حالت غیر خطی (پلاستیک) مورد بررسی قرار می‌گیرد، از المان پلاستیک PIPE20 استفاده شده است.

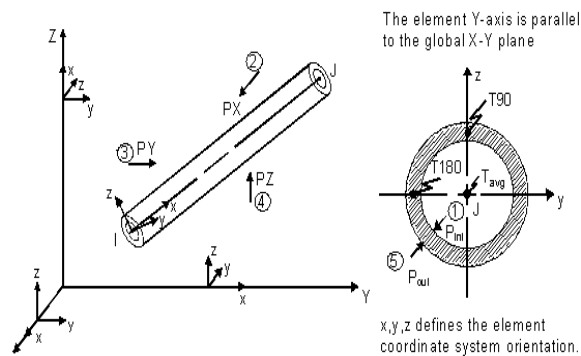
۳-۳- معرفی المان PIPE 20

مشخصات المان PIPE 20 (مطابق شکل ۵) بدین شرح است.

- یک المان تک محوری (Uniaxial) با قابلیت تحمل کشش و فشار و خمش و پیچش است.
- دارای ۶ درجه آزادی در هرکدام از دو گره خود است.
- خواص پلاستیسیته و Stress Stiffening و Large Deformation را لحاظ می‌کند.

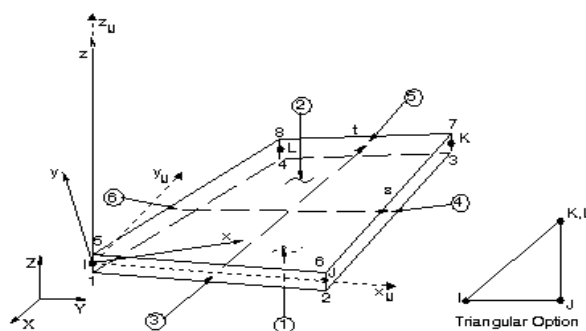
محور X این المان در راستای گره i به گره j است و محور Y موازی صفحه XY

کارترین کلی است و محور Z نیز از قانون دست راست بدست می‌آید.



شکل ۵ - المان PIPE 20

- برای تحلیل سازه‌های پوسته‌ای نازک و نسبتاً نازک مناسب است.
- دارای ۴ گره و هرگره دارای ۶ درجه آزادی می‌باشد.
- مناسب برای تحلیل‌های خطی و تحلیل‌های غیرخطی دوران بزرگ (Large Rotation) و یا کرنش بزرگ (Large Strain) است.
- قابلیت لحاظ کردن پلاستیسیته و Stress Stiffening و Large Deflection را دارد.
- محور X این المان در امتداد خط واصل گره‌های i و j المان است و محور Z عمود بر صفحه المان قرار دارد. امتداد محور Y نیز از قانون دست راست بدست می‌آید.



شکل ۳- المان SHELL 181

۲-۳- معرفی المان Mass21

مشخصات المان Mass21 (مطابق شکل ۴) بدین شرح است.

- یک المان نقطه‌ای با ۶ درجه آزادی است. (سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی)
- می‌توان جرم‌ها و اینرسی‌های دورانی متفاوت تعریف کرد.

دستگاه مختصات این المان را در ابتدا می‌توان موازی دستگاه مختصات کلی یا دستگاه مختصات گره تعریف کرد. در طی تغییر شکل‌های بزرگ (Large Deformation) دستگاه مختصات المان بر مبنای دوران دستگاه مختصات گره‌ی، دوران می‌یابد. اینرسی دورانی را می‌توان از این المان حذف کرد و همچنین می‌توان المان را به صورت دو بعدی تبدیل نمود. در این مقاله از این المان برای مدل‌سازی عرشه (در نمونه‌هایی که عرشه بطور کامل مدل نمی‌شود) استفاده می‌گردد.

۴- تحلیل های انجام شده و نتایج حاصله

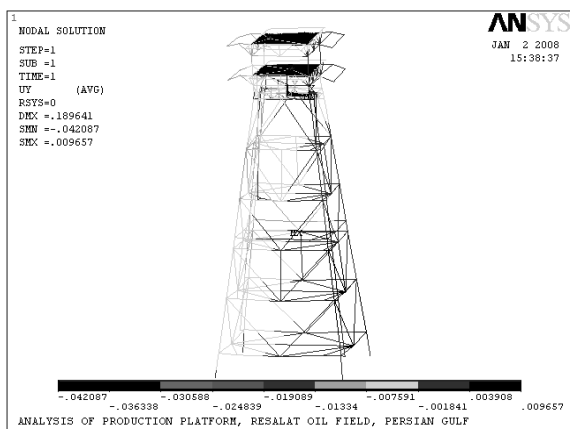
تحلیل های انجام شده شامل تحلیل ثقلی خطی، تحلیل مودال، تحلیل استاتیکی غیرخطی و تحلیل تاریخچه زمانی می باشد [۶].

۴-۱- تحلیل ثقلی خطی

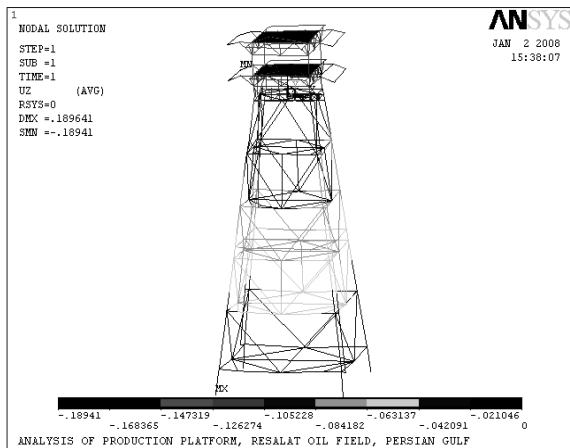
در تحلیل ثقلی خطی هدف شناسایی و بررسی رفتار سازه ای سکوی جاکت است. چگالی پایه های سکوی فراساحلی برابر است با:

$$\left(1 + \frac{\rho_{\text{تفل}}}{\rho_{\text{فولاد}}}\right) \times \rho = \left(1 + \frac{1030}{7850}\right) \times 7850 = 8850 \text{ kg/m}^3 = 552.5 \text{ lb/ft}^3$$

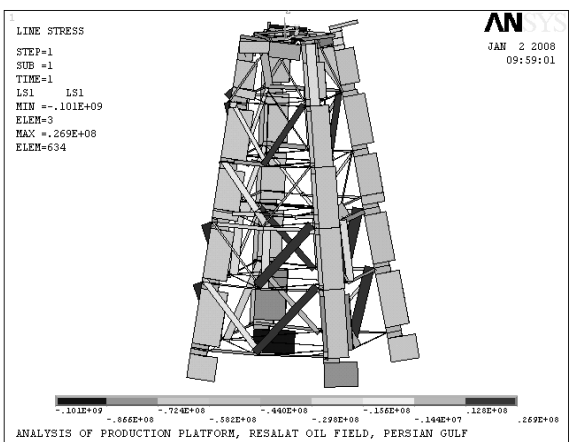
با توجه به شرایط بارگذاری و مشخصات مصالح و تحلیل ثقلی خطی مشاهده شد که تحت شرایط فوق هیچ کدام از اعضای سکوی فراساحلی جاکت تحت بارگذاری ثقلی وارد محدوده غیر خطی نشدند. به عنوان نمونه تغییر مکان قائم و افقی سکوی فراساحلی جاکت تحت بارگذاری ثقلی در شکل های ۶، ۷ و ۸ و دیگرام تنش اعضای سکوی جاکت در زوایای ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه در i nod در شکل های ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است [۶].



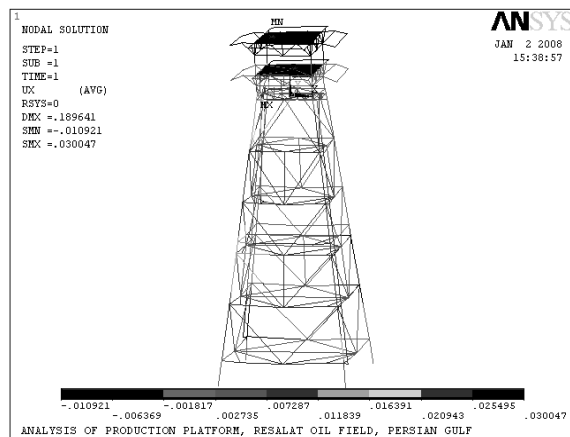
شکل ۷ - تغییر مکان در راستای Y جاکت تحت بارگذاری ثقلی



شکل ۸ - تغییر مکان در راستای Z جاکت تحت بارگذاری ثقلی



شکل ۹ - دیگرام تنش اعضای جاکت در زاویه صفر درجه در i nod



شکل ۶ - تغییر مکان در راستای X جاکت تحت بارگذاری ثقلی

ارزیابی قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه جاکت یک سکوی فراساحل بر اساس تحلیل تاریخیچه زمانی... / ۷

با توجه به اشکال فوق واضح است که اعضای سکو تحت بار ثقلی در زوایایی مختلف الاستیک بوده و وارد محدوده غیر خطی نمی‌شود.

۴-۲- تحلیل مودال (Modal)

برای تعیین مشخصات دینامیکی سازه از تحلیل مودال استفاده می‌شود. به کمک این تحلیل فرکانسهای سازه مشخص و اشکال مودی استخراج می‌شود. با داشتن فرکانسهای طبیعی پاسخ طیفی قابل تعیین است.

در مرحله طراحی سازه‌ها که تحت تاثیر نوسانات به واسطه بارها و محرکهای ارتعاشی می‌باشند انجام تحلیل مودال ضروری است زیرا باید سازه طوری طراحی شود که تا حد امکان از محدوده‌ی فرکانس تشدید آن دور باشد، زیرا نوسانات در محدود فرکانس طبیعی سازه، موجب افزایش دامنه نوسانی شده و در نتیجه خطر آسیب دیدگی سازه را زیاد می‌کند.

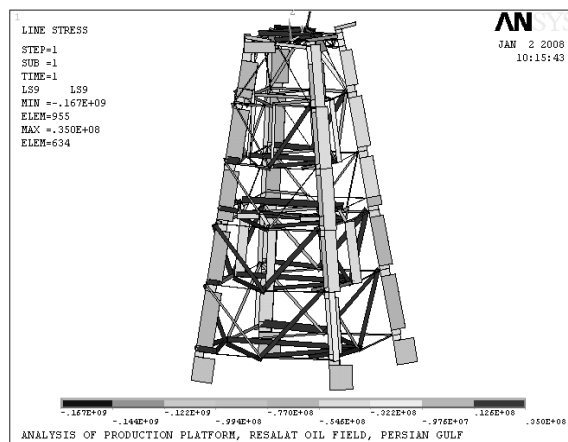
قبل از انجام تحلیل تاریخیچه زمانی جهت لحاظ نمودن میرایی نیاز به فرکانس مودهای ارتعاشی است که از طریق تحلیل مودال فرکانسهای سازه تا مود ۱۱ به شرح جدول ۱ بدست آمد [۶].

جدول ۱- فرکانسهای سازه سکو تا مود ۱۱

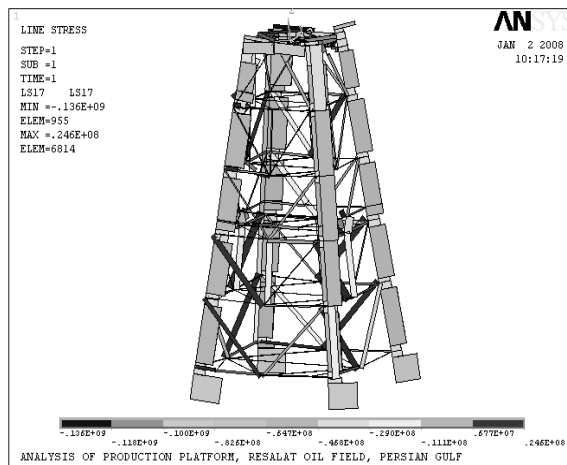
فرکانس (Hz)	پریود (Sec)
۱ - ۰.۴۱۲۶	۱ - ۲.۴۱۳۹
۲ - ۰.۴۲۷۶۷	۲ - ۲.۳۳۸۲
۳ - ۰.۷۴۹۴۵	۳ - ۱.۳۳۴۳
۴ - ۱.۳۱۳۷	۴ - ۰.۷۶۱۲
۵ - ۱.۳۱۵۱	۵ - ۰.۷۶۰۳۹
۶ - ۱.۴۲۸۶	۶ - ۰.۶۹۹۹
۷ - ۱.۴۳۵۲	۷ - ۰.۶۹۶۷۶
۸ - ۱.۴۹۱۶	۸ - ۰.۶۷۰۴
۹ - ۱.۵۱۱۹	۹ - ۰.۶۶۱۴
۱۰ - ۱.۶۵۳۵	۱۰ - ۰.۶۰۴۷
۱۱ - ۱.۶۵۵۲	۱۱ - ۰.۶۰۴۱

در تحلیل مودال از روش حل Block Lanczos استفاده شده است. اشکال

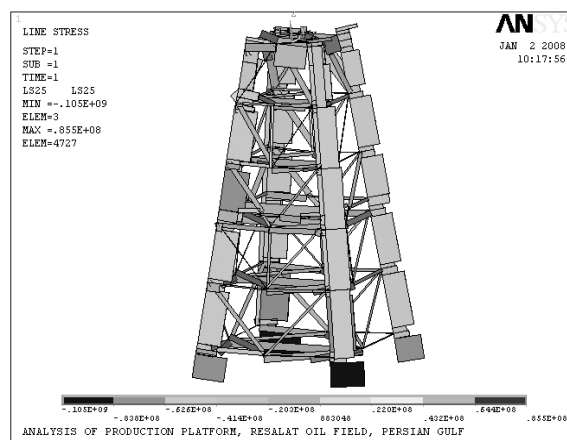
مودی سه مود اول در شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است [۶].



شکل ۱۰- دیاگرام تنش اعضای جاکت در زاویه ۹۰ درجه در nod i

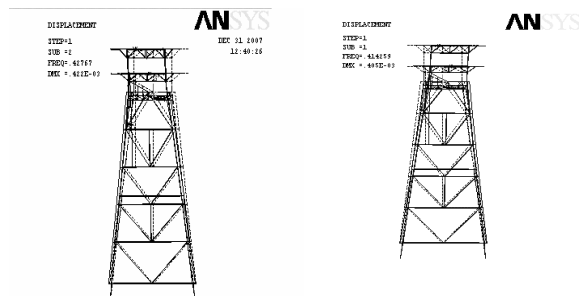
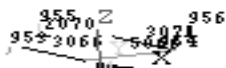


شکل ۱۱- دیاگرام تنش اعضای سکوی جاکت در زاویه ۱۸۰ درجه در nod i

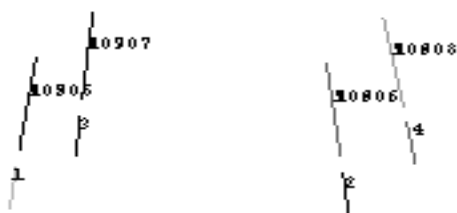


شکل ۱۲- دیاگرام تنش اعضای جاکت در زاویه ۲۷۰ درجه در nod i

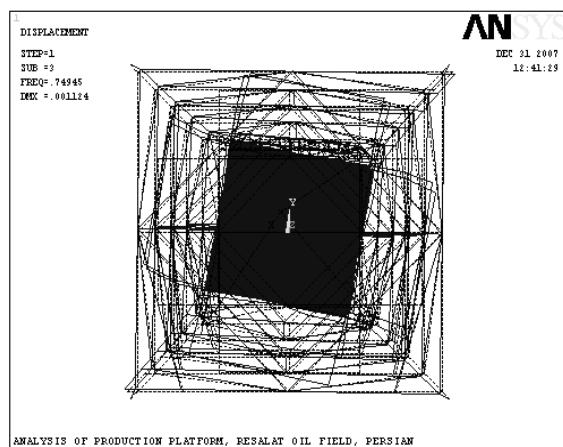
جابجایی رفتار نزولی پیدا کند ادامه یافت سپس اعضایی که وارد محدوده پلاستیک شدند مشخص گردید. بار دیگر اعمال فوق برای راستای $-X$ ، Y و $-Y$ تکرار شده و پس از تحلیل Pushover المانهای پلاستیک شده مشخص شدند. المانهای بحرانی در شکل های ۱۶ تا ۲۰ به همراه جهت اعمال بار نشان داده شده اند [۶].



شکل ۱۳- مود اول (جانبی) شکل ۱۴- مود دوم (جانبی)



شکل ۱۶- المانهای بحرانی مشترک در هر ۴ جهت X و $-X$ و Y و $-Y$

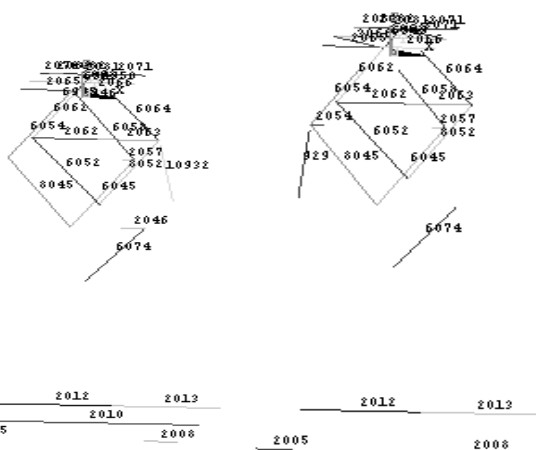


شکل ۱۵- مود سوم (پیچشی)

با توجه به فرکانس مود اول و سوم و 0.41426 hz ، 0.74945 hz و $\xi_1 = 2\%$ و $\xi_2 = 5\%$ و فرض نمودن 2% میرایی هیدرودینامیکی و فرمول خطی رایلی $\alpha = 0.001559$ و $\beta = 0.184$ بدست آمد.

۳-۴- تحلیل استاتیکی غیر خطی (Pushover)

برای بررسی رفتار سکوی جاکت در تحلیل تاریخچه زمانی، به دلیل زیاد بودن تعداد اعضای سکوی فراساحلی جاکت و همچنین بالا بودن حجم فایل های نرم افزار Ansys، برای بالا بردن سرعت کار منطقی تر است که المانهایی که نسبت به افزایش بار حساس تر بوده و زودتر وارد محدوده غیرخطی می شوند مشخص شده و نتایج تحلیل تاریخچه زمانی، دراعضا و المانهای بحرانی تر استخراج شود. برای این امر از تحلیل استاتیکی غیر خطی (Pushover) استفاده گردید. به این ترتیب که ابتدا یک بار جانبی در راستای X به سکو وارد کرده و این بار را افزایش داده و منحنی جابجایی بالای سکو به برش پایه ترسیم گردید. این افزایش بار و رسم نمودار تا جایی که نمودار برش پایه به



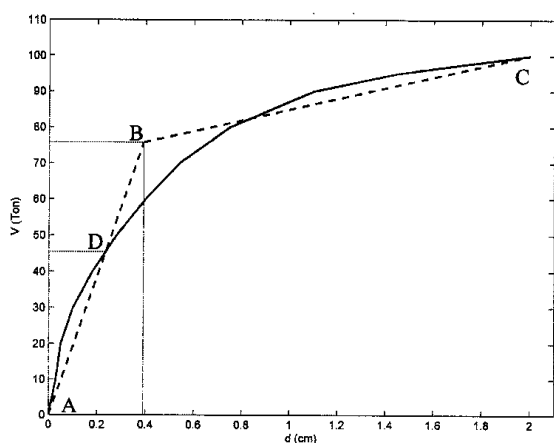
شکل ۱۷- بار در راستای $-X$ شکل ۱۸- بار در راستای X

ارزیابی قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه جاکت یک سکوی فراساحل بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی... / ۹

هنگامیکه از تحلیل استاتیکی غیرخطی (Pushover) برای کنترل سازه موجود استفاده می‌شود لازم است سختی موثر سازه ، تغییر مکان بالاترین نقطه سازه و نیروی برش پایه متناظر با جاری شدن محاسبه شوند. روش به کار رفته در این پایان نامه بر اساس بند ۳-۳-۱-۴ دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای سازه های موجود است.

۴-۴- فرضیات انجام محاسبات

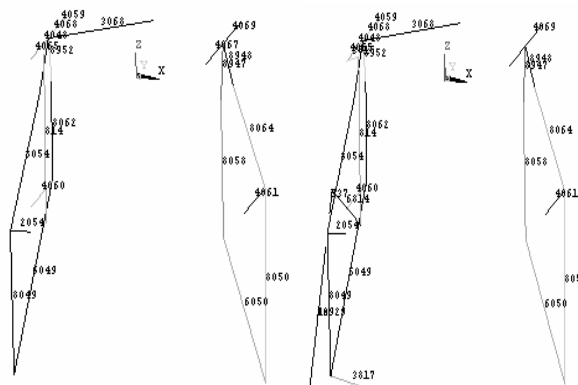
برای تعیین پارامترهای مورد نظر ابتدا با تحلیل استاتیکی غیر خطی سازه سکو پوش داده شده و نمودار برش پایه به تغییر مکان (V-d) ترسیم می‌شود سپس برای تعیین سختی موثر (ke)، نیروی جانبی (Vy) و تغییرمکان متناظر با جاری شدن سازه باید نقطه B مطابق با شکل 22 به نحوی انتخاب شود که شرایط ذیل برقرار باشد.



شکل ۲۲- نمودار برش پایه - تغییر مکان جانبی سازه و نمودار مطابق با دستورالعمل

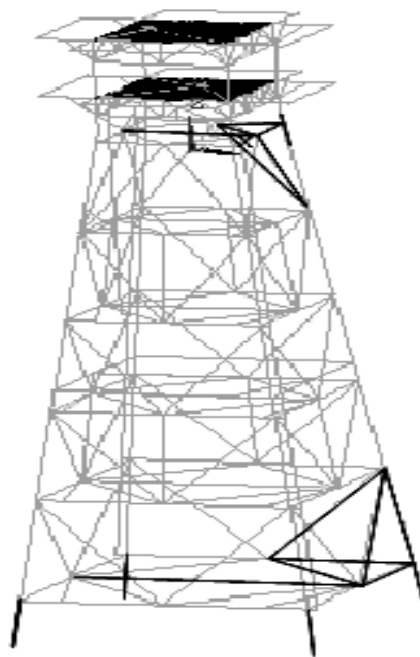
الف - سطح زیر دو نمودار یکسان باشد.

ب - ارتفاع محل تلاقی خط AB و نمودار V-d (نقطه D) برابر با 0.6 ارتفاع نقطه B باشد در این صورت ارتفاع نقطه B و عرض آن به ترتیب نیروی برش پایه و جابجایی متناظر با جاری شدن سازه تعریف می‌شوند و شیب خط AB به عنوان سختی موثر (Ke) ارائه می‌شود.



شکل ۱۹ - بار در راستای Y - شکل ۲۰ - بار در راستای Y

با توجه به حجم بالای خروجی نرم افزار Ansys و زمانبر بودن تحلیل تاریخچه زمانی، اعضای که به طور مشترک تحت این حالت بارگذاری در ۴ جهت وارد محدوده غیر خطی شدند در دو ناحیه بالا و پایین سکو طبق شکل ۲۱ به گونه‌ای انتخاب شدند که از هر نوع اعضای سکوی جاکت دو نمونه جهت بررسی و مقایسه‌ی نتایج در تحلیل تاریخچه زمانی موجود باشند [۶].



شکل ۲۱ - المان‌های بحرانی سکوی جاکت

جدول ۳- مشخصات شتابنگاشت Chi-chi, Taiwan 9

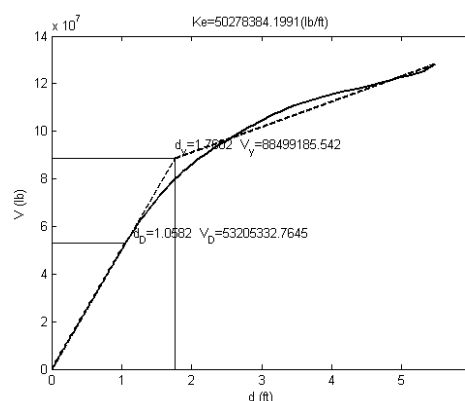
record name	Energy of X .Comp	Energy of Y .Comp	Energy of Z .Comp	Duration (sec)	Dom .Freq X (Hz)	Dom .Freq Y (Hz)	Dom .Freq Z (Hz)
Chi-chi Taiwan 9	۱۰۸۰	۱۵۳۰	۹۳۴	۲۵	۰.۹۰۹	۰.۹۰۹	۲.۱۷۴

همپایه نمودن به شتاب 1.00g به این منظور بود که تقریباً شدیدترین حالتی که ممکن است برای سازه جاکت رخ بدهد نیز بررسی شود. خروجی المانها در دو نقطه ابتدا و انتها اعضا (nodj و nodi) و در ۴ زاویه صفر، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ تنظیم شدند. (ابتدا و انتهای اعضای سکو بسته به جهت محور محلی اعضا با nodi و nodj مشخص می شوند). از بین خروجی های ۱۰۰ شتاب نگاشت تحلیل شده در مورد ۲۹ شتابنگاشت هر دو حالت پلاستیک و گسیختگی رخ داد که در جدول ۳ آورده شده است.

در جدول ۴ تعداد موقعیت های پلاستیک شده با Np و تعداد موقعیت های گسیخته شده با Nr نشان داده شده است. بر اساس تعداد موقعیت های گسیخته شده و پلاستیک شده از بین ۲۹ شتاب نگاشت مورد بررسی ۱۵ موردی که بیشترین اعضای پلاستیک شده و گسیخته شده را دارا بود به عنوان ۱۵ شتاب نگاشت بحرانی تر انتخاب شدند تا بدین ترتیب حالت واقعی ترسکو هم مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. اسامی ۱۵ شتاب نگاشت زلزله های منتخب به شرح زیر است :

بجستان، بندرعباس، بشرویه، Chi-chi, Taiwan، Chi-chi, Taiwan، Erzincan، Taiwan، Imperial valley، خاش، Imperial valley، Turkey، Northridge، راین، سده، سده ۲ و Turkey.

بنابر توضیحات فوق با اعمال نیروی جانبی به عرشه سکو در راستای X، X- و Y، Y- و ترسیم نمودار برش پایه - تغییر مکان نقطه مذکور، سختی موثر (Ke) و نیروی برش پایه (Vy) و جابجایی متناظر با جاری شدن سازه (Dy) مطابق با جدول ۱ و به عنوان نمونه نمودار برش پایه - تغییر مکان سکوی جاکت در راستای X مطابق با شکل ۲۳ می باشد [۶].



شکل ۲۳ - نمودار برش پایه - تغییر مکان سکوی جاکت

جدول ۲ - مقادیر (Ke)، (Vy) و (Dy) در راستای X، X- و Y، Y-

	Pushover x	Pushover -x	Pushover y	Pushover -y
(Vy (lb	۸۸۴۹۹۱۸۵	۹۲۱۵۸۱۱۷	۸۴۵۷۹۲۸۰	۸۶۲۶۱۱۸۳
(Dy (ft	۱.۷۶۰	۱.۸۴۰	۱.۷۱۵	۱.۷۵۳
(Ke(lb/ft	۵۰۲۷۸۳۸۴	۵۰۰۷۶۷۳۸	۴۹۳۱۶۱۶۰	۴۹۲۱۳۰۵۲

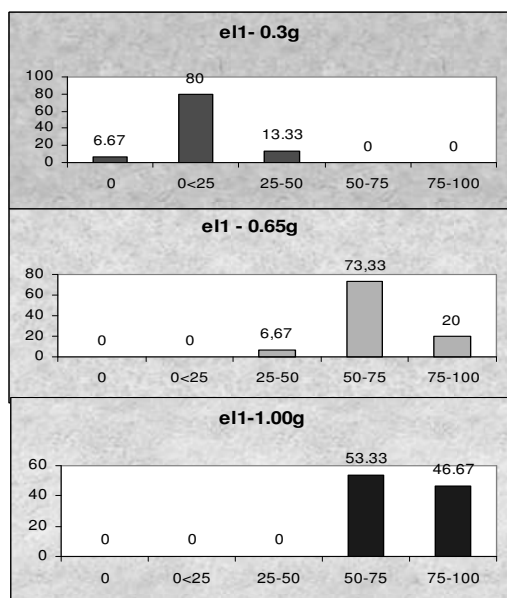
۴-۵- تحلیل تاریخچه زمانی

در این تحقیق 100 شتاب نگاشت مربوط به زلزله های داخلی (مانند رودبار، بم و...) و یا خارج از ایران با مقادیر PGA بین 0.3g تا 0.7g که به صورت سه مولفه ای ثبت شده اند، انتخاب شده و به شتاب 0.3g، 0.65g و 1.00g همپایه گردیدند، که به عنوان نمونه مشخصات شتاب نگاشت Chi-chi, Taiwan 9 در جدول ۳ آورده شده است [۶].

- درصد گسیختگی اعضای جاکت تحت شتابنگاشت‌های همپایه شده به 0.3g, 0.65g و 1.00g در 130 تحلیل تاریخیچه زمانی.
- توزیع درصدی پلاستیک شدن اعضای سکوی جاکت در شتاب نگاشت‌های همپایه شده به 0.3g, 0.65g و 1.00g از صفر تا 8 موقعیت در 130 تحلیل تاریخیچه زمانی.
- توزیع درصدی گسیخته شدن اعضای سکوی جاکت در شتاب نگاشت‌های همپایه شده به 0.3g, 0.65g و 1.00g از صفر تا 8 موقعیت در 130 تحلیل تاریخیچه زمانی [۶].

۱-۵- درصد پلاستیک شدن اعضای جاکت

مقایسه نتایج مربوط به درصد پلاستیک شدن المانهای منتخب در قسمت بالا و پایین سکوی نفتی جاکت تحت شتابنگاشت‌های همپایه شده به شتاب 0.3g, 0.65g و 1.00g مرحله اول نتایج می‌باشد. با بررسی نتایج می‌توان علاوه بر درصد پلاستیک شدن اعضا و ترتیب پلاستیک شدن، رفتار دینامیکی سازه را مشاهده و بررسی نموده و رفتار دینامیکی سازه را در شتابهای دیگر پیش بینی نمود. همانگونه که در شکل (۲۴) آمده است، عدد صفر نشان دهنده درصد حالات الاستیک ماندن اعضا و به ترتیب $25 > 0$ ، 25-50، 45-50 و 100-45 ارائه دهنده درصد پلاستیک شدن اعضا از 25 تا 50 درصد، 50 تا 75 درصد و 75 تا 100 درصد میباشد. درصد پلاستیک شدن مربوط به هر عضو در هر شتابنگاشت میانگین درصدهای پلاستیک شدن اعضا در nodi و nodj عضو مورد بررسی است [۶].



شکل ۲۴- درصد پلاستیک شدن اعضای جاکت تحت شتابنگاشت‌های همپایه شده به 0.3g, 0.65g و 1.00g در 130 تحلیل تاریخیچه زمانی

جدول 4- شتاب نگاشت‌هایی که در اثر اعمال آنها اعضای سازه دچار حالت پلاستیک و یا گسیخته شدند.

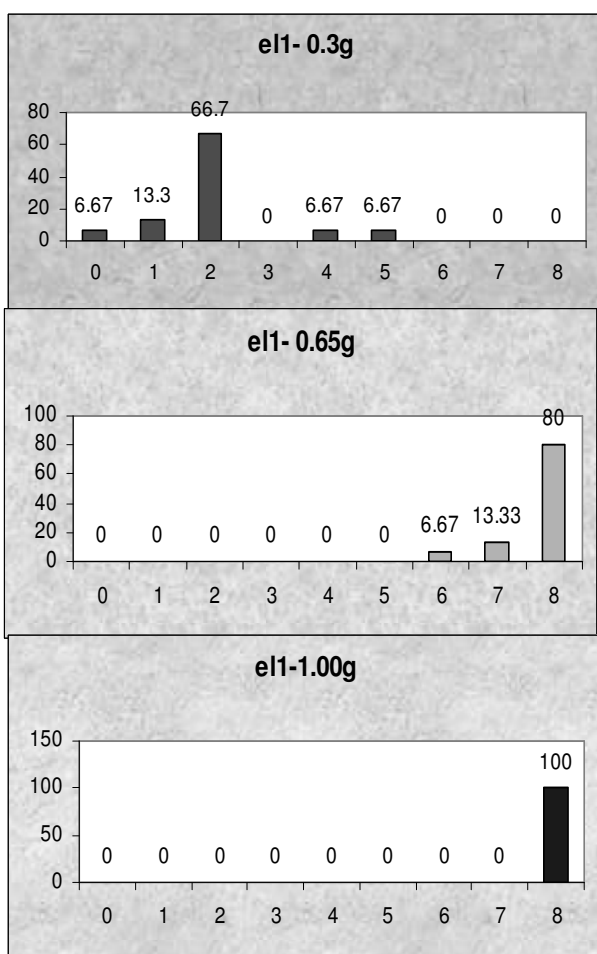
No	Record name	Np	Nr
۱	Chi-chi,Taiwan 9	۹۲	۵۴
۲	Bajestan	۷۷	۴۰
۳	Chi-chi,Taiwan 4	۷۲	۴۲
۴	Boshrueh	۷۰	۳۸
۵	Turkey	۶۸	۲۹
۶	Erzincan, Turkey	۶۸	۲۸
۷	Northridge 2	۶۴	۳۸
۸	Sedeh 2	۶۳	۳۴
۹	Imperial valley 2	۶۰	۳۲
۱۰	Bandarabas	۶۰	۲۶
۱۱	Imperial valley	۶۰	۲۶
۱۲	Chi-chi,Taiwan 2	۶۰	۲۶
۱۳	Khash	۵۷	۳۰
۱۴	Rayen	۵۷	۲۷
۱۵	Sedeh2	۵۷	۲۵
۱۶	Birjand	۵۹	۱۴
۱۷	Duzce, Turkey	۵۵	۲۱
۱۸	Imperial valley 1	۵۴	۱۴
۱۹	Northridge 3	۵۲	۲۳
۲۰	Ferdos	۵۲	۲۱
۲۱	Gheshm	۵۱	۱۴
۲۲	Chi-chi,Taiwan 10	۴۹	۱۹
۲۳	Tehran	۴۹	۱۲
۲۴	Tehran 23	۴۷	۲۱
۲۵	Abaregh	۴۵	۷
۲۶	Deyhook	۴۳	۱۶
۲۷	Chi-chi,Taiwan 3	۳۸	۲
۲۸	Rudbar	۳۷	۸
۲۹	Bandar khamir	۳۴	۲

۵- بحث در نتایج تحلیل تاریخیچه زمانی

نتایج حاصل از تحلیل تاریخیچه زمانی عبارتست از:

- درصد پلاستیک شدن اعضای جاکت تحت شتابنگاشت‌های همپایه شده به 0.3g, 0.65g و 1.00g در 130 تحلیل تاریخیچه زمانی

۸ موقعیت در عضو مورد بررسی است. شکل ۲۶ نشان دهنده تعداد موقعیتهای پلاستیک شدن از ۰ تا ۸ موقعیت می باشد. عدد صفر نشان دهنده صفر موقعیت پلاستیک شدن عضو مورد بررسی در ۱۳۰ شتابنگاشت یا به عبارت دیگر تعداد حالات الاستیک ماندن عضو در ۱۳۰ رکورد می باشد. اعداد ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ به ترتیب نشان دهنده ۱ موقعیت، ۲ موقعیت، ۳ موقعیت، ... و ۸ موقعیت پلاستیک شدن عضو در ۱۰۰ رکورد مورد بررسی است [۶].



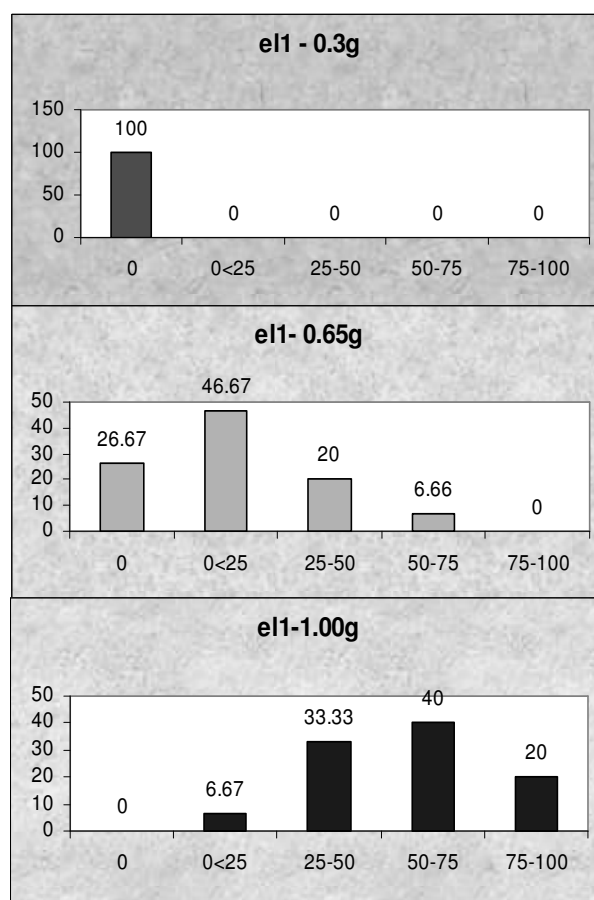
شکل ۲۶- توزیع درصدی پلاستیک شدن اعضای جاکت در شتابنگاشتهای همپایه شده به ۰.۳g، ۰.۶۵g و ۱.۰۰g از ۰ تا ۸ موقعیت در ۱۳۰ تحلیل تاریخچه زمانی

۴-۵- توزیع درصدی گسیخته شدن اعضای جاکت

شکلهای ۲۷ و ۲۸ نشان دهنده تعداد موقعیتهای گسیخته شدن اعضای

۲-۵- درصد گسیختگی اعضای جاکت

مقایسه نتایج مربوط به درصد گسیخته شدن المانهای منتخب در قسمت بالا و پایین سکوی جاکت تحت شتابنگاشتهای همپایه شده به شتاب ۰.۳g دومین مرحله از نتایج است که از این نتایج علاوه بر درصد گسیختگی اعضا، ترتیب گسیخته شدن اعضا و بررسی دینامیکی رفتار سازه جاکت ارزیابی می شود. شکل ۲۵ درصد گسیختگی اعضا را ارائه می کند [۶].

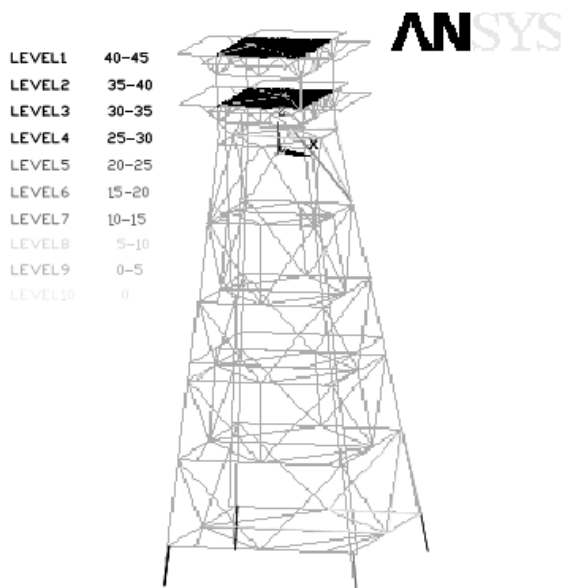


شکل ۲۵- درصد گسیختگی اعضای جاکت تحت شتابنگاشتهای همپایه شده به ۰.۳g، ۰.۶۵g و ۱.۰۰g در ۱۳۰ تحلیل تاریخچه زمانی

۳-۵- توزیع درصدی پلاستیک شدن اعضای جاکت

نقاط ابتدا و انتهای اعضای سکوی جاکت (nodi و nodj) در ۴ زاویه ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه بررسی شده است. نتایج حاصله مربوط به ۴ وضعیت در nodi و ۴ وضعیت در nodj و به طور کلی

شتاب می‌توان به پیش‌بینی ترکیب وزنی اهمیت اعضای مهمتر و حساستر سکو در 20 المان منتخب در مرحله تحلیل استاتیکی غیرخطی پرداخت. با در نظر گرفتن احتمال گسیختگی اعضا در سه شتابنگاشت همپایه شده به شتاب و اختصاص دادن ضرایب 0.25، 0.5 و 1 به ترتیب به اعضای افقی، بادیهای قائم و اعضای قائم (پایه ها و شمع ها) و طبقه بندی تراز اهمیت از 1 تا 10، ترکیب وزنی اهمیت اعضای سکوی فراساحلی جاکت مطابق با شکل ۲۹ می‌باشد. هرچه رنگ اعضای بحرانی تر سکو کم رنگ تر شود ترکیب وزنی اهمیت آن عضو کمتر و قابلیت اعتماد آن عضو بیشتر است یا به عبارت دیگر با افزایش level اهمیت ترکیب وزنی اهمیت عضو بیشتر و قابلیت اعتماد عضو کمتر می‌شود [۶].

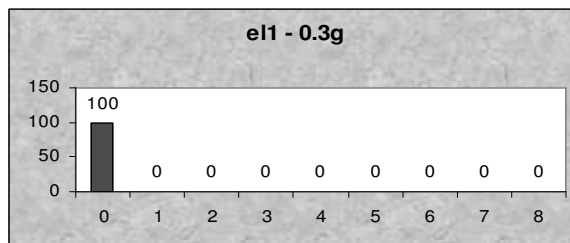


شکل ۲۹ - ترکیب وزنی اهمیت اعضای سکوی فراساحلی جاکت

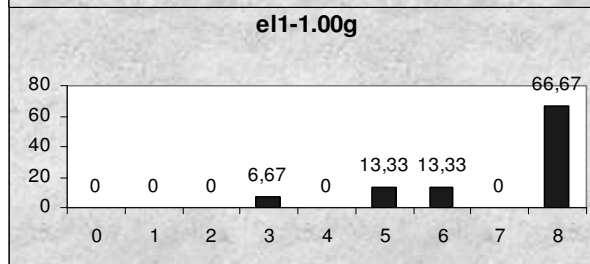
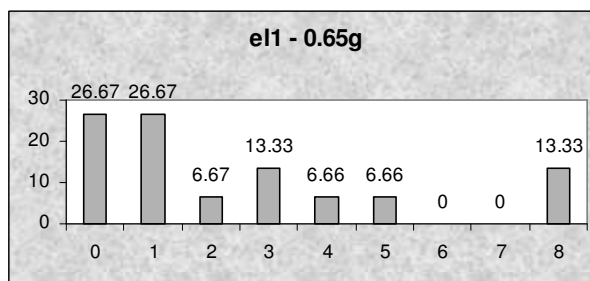
۲-۶- سطح خسارت محتمل هر عضو سکوی جاکت بر این مبنا که عضو به طور کامل پلاستیک شود

در این بخش از نتایج بخش قبلی استفاده شده است. با این فرض که عضوی که در هر 8 موقعیت پلاستیک شود، پلاستیک کامل است می‌توان سطح خسارت محتمل هر المان را محاسبه کرد. شکل‌های ۳۰، ۳۱ و ۳۲ در سه شتاب، سطح خسارت محتمل هر عضو را در 3 تراز اهمیت با رنگ‌های مختلف نشان می‌دهد. این شکل‌ها، نشان می‌دهند که

سکوی جاکت در ۸ موقعیت گفته شده در قبل می‌باشد.



شکل ۲۷ - توزیع درصدی گسیخته شدن اعضای جاکت در شتابنگاشتهای همپایه شده به 0.3g از 0 تا 8 موقعیت در 130 تحلیل تاریخچه زمانی



شکل ۲۸ - توزیع درصدی گسیخته شدن اعضای جاکت در شتابنگاشتهای همپایه شده به 0.65g و 1.00g از 0 تا 8 موقعیت در 130 تحلیل تاریخچه زمانی

۶- برآورد قابلیت اعتماد سازه‌ی جاکت

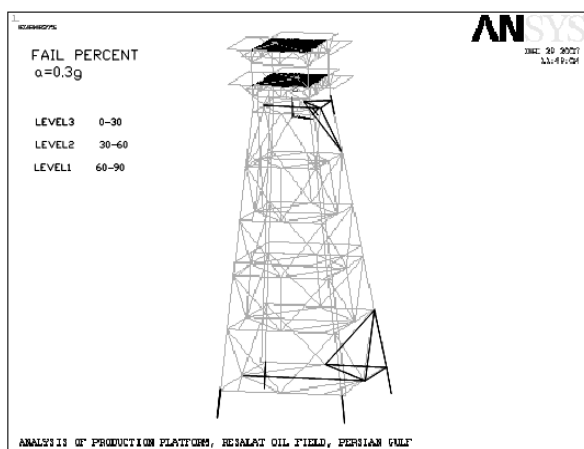
برای برآورد قابلیت اعتماد با توجه به اینکه شرایط هر عضو در آسیب پذیری کلی مجموعه و سازه تاثیر دارد برای هر عضو بسته به نوع و موقعیت و زاویه قرارگیری، ضریب اهمیت قائل شده و به این ترتیب به اعضا وزن داده شد. سپس قابلیت اعتماد بر اساس آن وزن‌ها تعریف شد [۶].

۶-۱- ضرایب اهمیت اعضای سکو

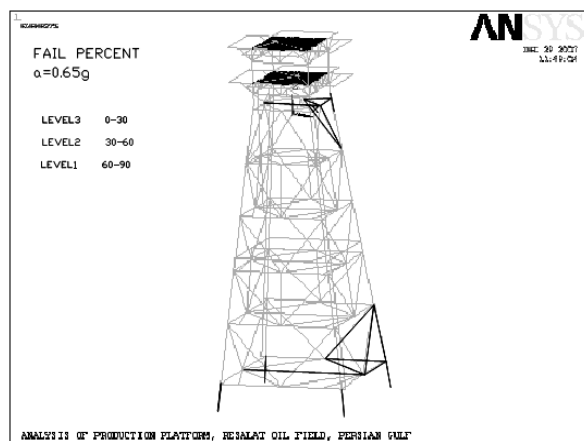
همانطور که در مباحث قبلی گفته شد پس از اینکه اعضای بحرانی سکو در مرحله تحلیل استاتیکی غیر خطی (Pushover) مشخص شد و پس از انجام تحلیل تاریخچه زمانی (Time history) در سه شتابنگاشت همپایه شده به

۶-۳- سطح خسارت محتمل هر عضو سکوی جاکت بر این مینا که عضو به طور کامل گسیخته شود

با این فرض که عضوی که در هر ۸ موقعیت گسیخته شود به طور کامل گسیخته شده است (گسیختگی کامل) سطح خسارت متحمل گسیختگی در سه شتاب $0.3g$ ، $0.65g$ و $1.00g$ در سه تراز از اهمیت با رنگهای مختلف در شکلهای ۳۳، ۳۴ و ۳۵ ارائه شده است.

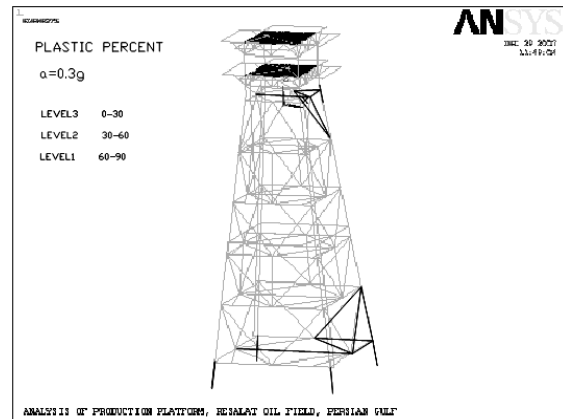


شکل ۳۳ - سطح خسارت محتمل هر عضو جاکت در شتاب $0.3g$ بر این مینا که عضو به طور کامل گسیخته شود

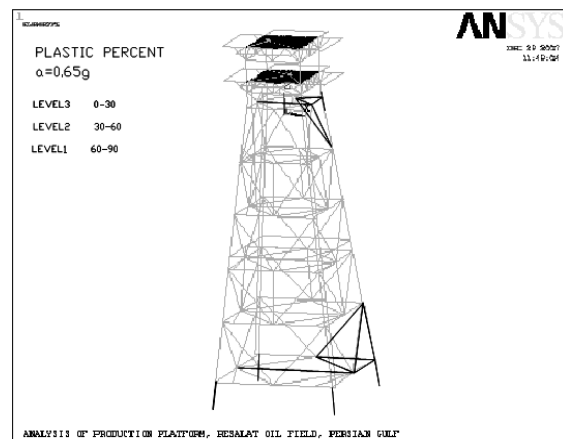


شکل ۳۴ - سطح خسارت محتمل هر عضو جاکت در شتاب $0.65g$ بر این مینا که عضو به طور کامل گسیخته شود

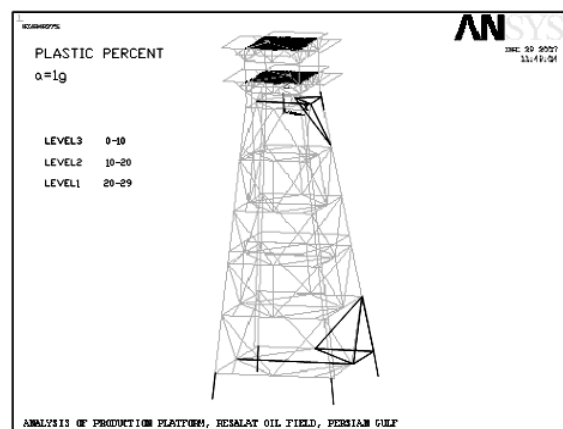
برای زلزله‌های دیگر عملکرد اعضا چگونه است و احتمال اینکه یک عضو پلاستیک کامل شود چقدر است [۶].



شکل ۳۰ - سطح خسارت محتمل هر عضو جاکت در شتاب $0.3g$ بر این مینا که عضو به طور کامل پلاستیک شود



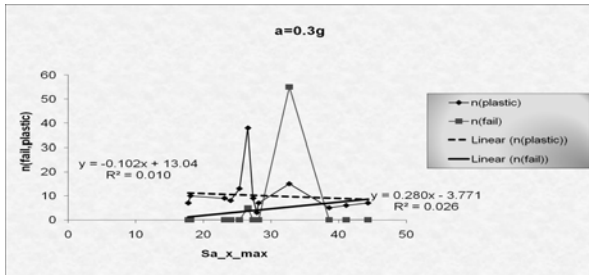
شکل ۳۱ - سطح خسارت محتمل هر عضو جاکت در شتاب بر این مینا که عضو به طور کامل پلاستیک شود



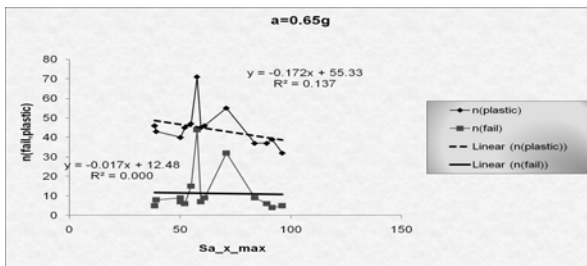
شکل ۳۲ - سطح خسارت محتمل هر عضو جاکت در شتاب $0.1g$ بر این مینا که عضو به طور کامل پلاستیک شود

ارزیابی قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه جاکت یک سکوی فراساحل بر اساس تحلیل تاریخیچه زمانی... / ۱۵

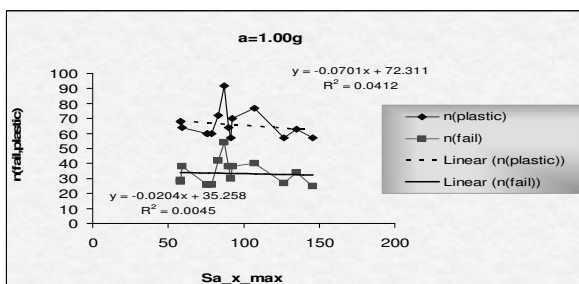
می‌باشد و تعداد موقعیتهای پلاستیک شدن اعضا و بار دیگر تعداد موقعیتهای گسیخته شدن اعضا ارتباط برقرار شده است. بدین ترتیب که ۱۵ رکورد بحرانی بر اساس ماکزیمم مقدار پاسخ طیفی شتاب از مقدار مینی موم به ماکزیمم در سه شتاب 0.3g, 0.65g و 1.00g مرتب شده و نمودار پلاستیک شدن و گسیختگی آن در شکلهای ۳۷، ۳۸، ۳۹ رسم شده است [۶].



شکل ۳۷- رفتار شتابنگاشت‌ها با در نظر گرفتن نتایج شکست و گسیختگی در شتاب 0.3g

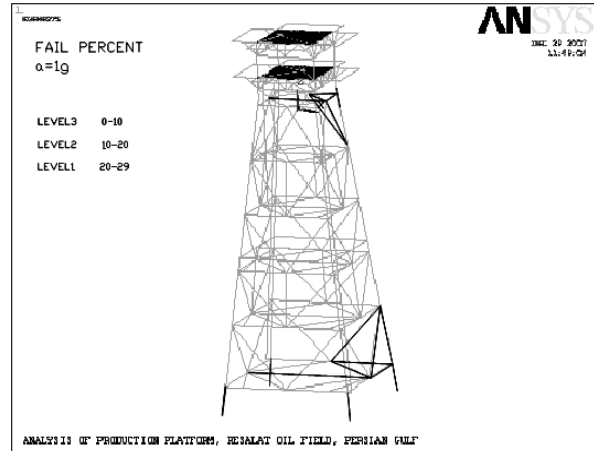


شکل ۳۸- رفتار شتابنگاشت‌ها با در نظر گرفتن نتایج شکست و گسیختگی در شتاب 0.65g



شکل ۳۹- رفتار شتابنگاشت‌ها با در نظر گرفتن نتایج شکست و گسیختگی در شتاب 1.00g

با توجه به شکلهای مشاهده می‌شود که با افزایش PGA بر اساس بیشترین مقدار پاسخ طیفی شتاب الگوی رفتاری تغییر نکرده و پلاستیک شدن و گسیختگی در سه شتاب 0.3g, 0.65g و 1.00g



شکل ۳۵- سطح خسارت محتمل هر عضو جاکت در شتاب

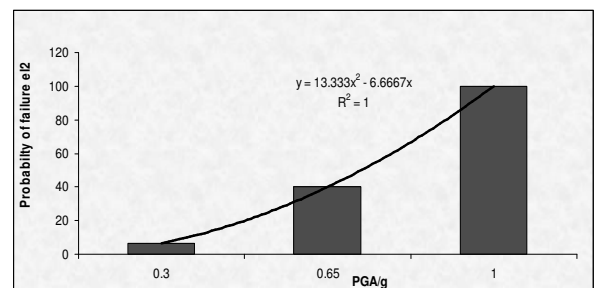
1.00g بر این مبنا که عضو به طور کامل گسیخته شود

به این ترتیب می‌توان احتمال گسیختگی کامل اعضا را در زلزله‌های دیگری پیش بینی کرد [۶].

۶-۴- احتمال شکست هر عضو (Probability of failure)

با توجه به معیارهای جاری شدن کرنش گسیختگی فولاد برای $F_y=3600\text{kg/cm}^2$ مقدار 0.0034 است. برای کرنشهای ماکزیمم بزرگتر از کرنش گسیختگی در سه شتاب 0.3g, 0.65g و 1.00g برای ۱۵ شتابنگاشت بحرانی در هر عضو به محاسبه‌ی احتمال شکست شد و نتیجه برای المان شماره ۲ در شکل ۳۶ نشان داده شده است.

همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش شتاب احتمال شکست بیشتر می‌شود [۶].



شکل ۳۶- احتمال شکست المان ۲ (Probability of failure)

۶-۵- بررسی رفتار شتاب نگاشت‌ها با در نظر گرفتن نتایج

شکست و گسیختگی در سه شتاب 0.3g, 0.65g و 1.00g

در این بخش بین پاسخ طیفی شتاب که مشخصه‌ای از شتابنگاشت‌ها

مشابه همدیگر و مستقل از PGA است [۶].

۶-۷- مهمترین دلیل شکست

با توجه به مبحث گفته شده مشخص شد که مهمترین و حساسترین شتاب نگاشتها 9 Chi-chi, Taiwan، بجزستان، Chi-chi, Taiwan 4، بشرویه و Northridge 2 می باشند. اینکه چه ویژگی و مشخصه‌ای در این ۵ شتاب نگاشت موجود است که سبب بیشترین احتمال شکست درسکوی جاکت شده است در این مرحله مشخص شد. بدین ترتیب که ۱۵ شتاب نگاشت بحرانی مشخص شده در مباحث قبلی را بر اساس

- انرژي رکورد (EZ, EY, EX)
- مجموع انرژي رکوردها (EZ + EY + EX)
- ماکزیمم مقدار پاسخ طیفی شتاب در سه مولفه Z, Y, X (Saz, Say, Sax)
- مجموع انرژي رکوردها (EZ + EY + EX)
- ماکزیمم مقدار پاسخ طیفی شتابها (Saz + Say + Sax)
- ماکزیمم مقدار پاسخ طیفی شتابها (Saz + Say + Sax)
- مقادیر پاسخ طیفی شتابها در فرکانسهای سکو
- فرکانس های سکو به فرکانس غالب پاسخ طیفی شتاب در سه مولفه Z, Y, X
- شاخص انرژي از مقادیر ماکزیمم به مینی موم مرتب کرده و مشاهده شد که 5 رکورد بحرانی نامبرده که بیشترین آسیب را درسکو سبب شدند به لحاظ مقادیر مذکور در فوق (7 مورد) درحالت ماکزیمم و مینی موم قرار ندارند و اینکه شاخص ویژه در این 5 رکورد که سبب آسیب دیدگی سکو شده است چه می باشد در 7 مورد مذکور موجود نبود. پس از بررسی بیشتر و مشاهده طیف پاسخ شتاب این 5 رکورد و فرکانسهای سکوی جاکت مشخص شد که دلیل آسیب پذیری بیشتر سکوی جاکت تحت این 5 شتاب نگاشت عامل تشدید یا رزونانس (منطبق شدن نقاط پیک طیف پاسخ شتاب بر فرکانسهای سکوی جاکت) می باشد. پیرودهای 11 مود ارتعاشی اول سکو به ترتیب عبارت است از: 0.7612 s، 1.3343s، 2.3382 s، 2.4139s، 0.6704 s، 0.69676 s، 0.6999 s، 0.76039 s، 0.6041 s، 0.6047 s، 0.6614 s

۶-۶- بحرانی ترین شتاب نگاشت

در این مرحله از محاسبات از بین ۱۰۰ شتاب نگاشت تحلیل شده در سه شتاب 0.3g، 0.65g و 1.00g، مهم ترین و حساسترین شتابنگاشت‌ها مشخص شدند. بدین نحو که تعداد موقعیت‌های پلاستیک شدن کامل و گسیخته شدن کامل اعضا (۲۰ عضو) بر مبنای مشخصات شتاب نگاشت‌ها نظیر

- انرژي رکوردها در سه مولفه Z, Y, X (EZ, EY, EX)
- مجموع انرژي رکوردها (EZ + EY + EX)
- ماکزیمم مقدار پاسخ طیفی شتاب در سه مولفه Z, Y, X (Saz, Say, Sax)
- مجموع مقدار پاسخ طیفی شتابها (Saz + Say + Sax)
- مقادیر پاسخ طیفی شتابها در فرکانسهای سکو
- نسبت فرکانس غالب پاسخ طیفی شتاب در سه مولفه Z, Y, X
- Z به فرکانس مود اول سکو
- شاخص انرژي (که حاصل ضرب تنش پلاستیک در متوسط کرنش پلاستیک هر عضو در سطح مقطع اعضا می باشد)
- از مقدار ماکزیمم به مینی موم پلاستیک شدن و گسیخته شدن مرتب شده و شتابنگاشت‌هایی که بیشترین میزان موقعیت‌های پلاستیک شدن و گسیخته شدن را شامل میشوند مشخص شده که طبق جدول ۵ به ترتیب عبارتند از: 9 Chi-chi, Taiwan، بجزستان، Chi-chi, Taiwan 4، بشرویه و Northridge.

جدول ۵- شاخص انرژي و درصد گسیخته شدن المان ۲

g۰.۳	EX+EY+EZ	تعداد موقعیت‌های پلاستیک شدن EI۲
Chi-chi, Taiwan 9	E+02۳.۳۰	۸
Bajestan	E+02۸.۲۰	۲
Boshrueh	E+02۴.۵۳	۲
Chi-chi, Taiwan 4	E+02۳.۷۸	۲
Northridge 2	E+02۱.۹۱	۲
Chi-chi, Taiwan 2	E+02۳.۱۸	۱
Imperial valley 2	E+02۱.۱۰	۱
Rayen	E+02۳.۶۱	۱
Sedeh2-2000	E+02۲.۱۶	۱
Bandarabas	E+01۶.۹۱	۰
Erzincan, Turkey	E+02۱.۲۰	۰
Imperial valley	E+02۱.۰۶	۰
Khash	E+02۳.۲۹	۰
Sedeh2	E+02۳.۵۴	۰
Turkey	E+02۱.۲۲	۰

۶-۸- معرفی پارامترهای مرتبط با قابلیت اعتماد طراحی لرزه‌ای جاکت

تئوری قابلیت اعتماد به بررسی رفتار سکو پرداخته و با در نظر گرفتن فاکتورهای مختلف موثر تخریب (پلاستیک شدن و گسیختگی) جهت لحاظ نمودن تمهیداتی در طراحی به افزایش اعتماد به سازه کمک می‌کند.

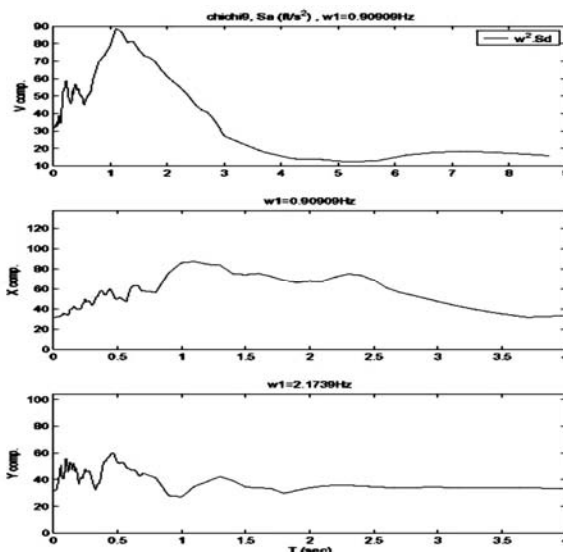
فاکتورهایی که در این مقاله جهت ارزیابی ایمنی سکوی فراساحلی جاکت به آن توجه شده است عبارتند از:

- انرژی رکوردها (E_Z, E_Y, E_X)
- مجموع انرژی رکوردها $(E_Z + E_Y + E_X)$
- ماکزیمم مقدار پاسخ طیفی شتاب در سه مولفه $(S_{a_z}, S_{a_y}, S_{a_x})$
- مجموع ماکزیمم مقدار پاسخ طیفی شتابها $(S_{a_z} + S_{a_y} + S_{a_x})$
- مقادیر پاسخ طیفی شتابها در فرکانسهای سکو
- فرکانسهای سکو به فرکانس غالب پاسخ طیفی شتاب در سه مولفه Z, Y, X
- شاخص انرژی و فرکانس ماکزیمم پاسخ طیفی شتاب در سه مولفه Z, Y, X که نتایج هر کدام از آیت‌هایی فوق در بخش‌های مختلف به صورت احتمال خرابی سامانه (اعضای سکو) به اشکال و انواع مختلف آورده شده است.

- اعضای مهمتر در سکو
 - پدیده تشدید
- از آنجایی که تئوری قابلیت اعتماد Reliability قابلیت اعتماد به سازه را به صورت $Reliability = 1 - Probability$ تعریف می‌کند، با داشتن احتمال خرابی می‌توان قابلیت اعتماد به سازه را برای هر کدام از بخش‌های مختلف بخش پنجم محاسبه کرد.

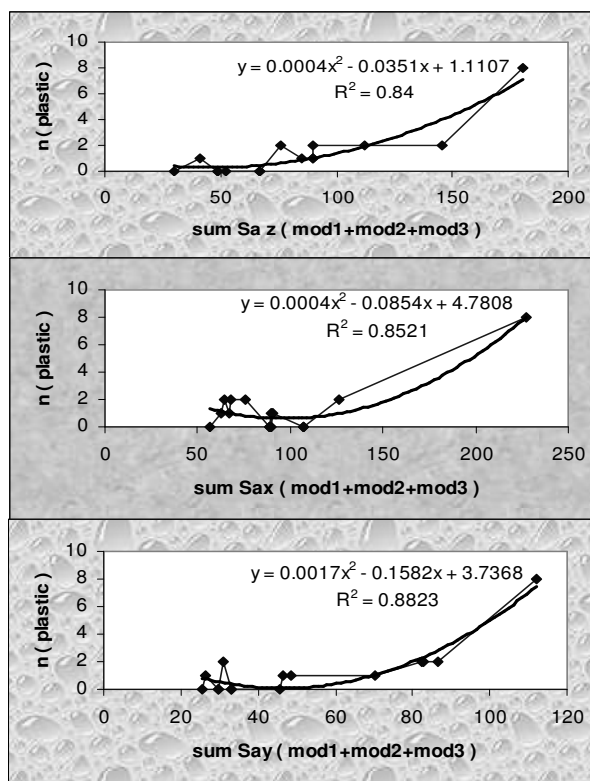
۷- نتیجه گیری

از بین ۱۰۰ زلزله‌ی به‌کار گرفته‌شده در این مطالعه که در برگیرنده‌ی محدوده‌ی وسیعی از مدت دوام و مشخصات طیفی‌ها می‌باشند، حتی با در نظر گرفتن PGA برابر 1 کمتر از 30 درصد موارد می‌تواند به سازه‌ی جاکت آسیب برساند. این بدین معنی است که در یک دید کلی قابلیت اعتماد لرزه‌ای سازه‌ی جاکت نسبتاً زیاد است، با این حال سطح آسیب برای اعضای متفاوت یکسان نیست. این بدان معناست که تراز قابلیت اعتماد لرزه‌ای برای اعضای مختلف سازه‌ی متفاوت می‌باشد. فاکتورهای مهم اعضا مانند مکان اعضا، جهت و وضعیت بارگذاری نیز اثر زیادی بر روی بررسی قابلیت اعتماد دارند. نتایج NLTHA نیز نشان می‌دهد که مشخصات زلزله‌ها به تنهایی



شکل ۴۰ - طیف پاسخ شتاب 9 Chi-chi, Taiwan

در شکل ۴۱ رابطه بین مجموع پاسخ طیفی شتاب سه مود اول و تعداد پلاستیک شدن آورده شده است.



شکل ۴۱ - رابطه بین مجموع پاسخ طیفی شتاب سه مود اول و تعداد پلاستیک شدن

دکتری به راهنمایی دکتر علی اکبر آفاکوچک، ارایه شده به واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۱۳۷۴.

تعیین‌کننده نیست و ویژگی‌های مختلف زلزله که شامل محتوای فرکانسی، انرژی و مشخصات طیفی هستند باید در بررسی‌ها در نظر گرفته‌شوند که تحقیقات بیشتری باید در این زمینه صورت گیرد.

۸- مراجع

1. F. Nadim, O. T. Gudmestad, Reliability of an engineering system under a strong earthquake with application to offshore platforms, *Structural Safety*, Vol. 14, No. 3, pp. 203-217 (1994).
2. K. Venkataramana, K. Kawano, T. Taniguchi, Earthquake response and reliability analysis of offshore structure, *Structural Safety and Reliability* (A. A. Balkema Uitgevers B. V. - Netherlands), Vol. 3, pp. 2029-2036 (1998).
3. Y. Zhuang, W. Jin, H. Li, Z. Song, X. Li, and D. Zou, A seismic reliability analysis approach on offshore jacket platforms, *Acta Oceanologica Sinica/Haiyang Xuebao*, Vol. 21, No. 5, pp. 129-136 (1999).
4. W. Jin, Z. Zheng, H. Li, Analysis of dynamic reliability of offshore jacket platforms subjected to seismic action, *Zhejiang Daxue Xuebao (Gongxue Ban)/Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, Vol. 36, No. 3, pp. 233-238 (May-June 2002).
5. O. M. Finagenov, V. B. Glagovsky, Assessment of Reliability of Offshore Marine Hydraulic Structures under Seismic Impacts, Proceedings of ISOPE-2005: Fifteenth International Offshore and Offshore and Polar Engineering Conference, Vol. 1-4, 2005.

۶- کریمیان، سمیه، مطالعه سکوی فراساحلی جاکت تحت اثر بارهای دینامیکی شدید با در نظر گرفتن اصول قابلیت اعتماد، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر محمود حسینی، ارائه شده به دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب، ۱۳۸۵.

۷- دکتر کبیر صادقی، کتاب، مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، ۱۳۸۰.

۸- غفوری‌پور، امین، شناسایی سیستم سکوه‌های دریایی، پایان نامه