



بررسی اثر ضریب شکل پذیری انحنای و مقاومت افزون مقاطع بر روی رفتار و ظرفیت لرزه‌ای مخزن هوایی بتنی با پایه لوله‌ای

فرامرز خوشنودیان^۱، روح‌الله جلالی^۲

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

roohallah_jalali@yahoo.com

خلاصه

در این مقاله اثر مدل‌های رفتاری مفصل پلاستیک بر روی رفتار لرزه‌ای یک نمونه مخزن هوایی بتنی با پایه لوله‌ای بررسی شده است. متناسب با هر مدل رفتاری، ضریب رفتار سازه با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی با PGA فزاینده محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که ضریب رفتار سازه به شدت تحت تاثیر مدل رفتاری مفصل پلاستیک می‌باشد. در پایان برای آیین‌نامه‌های مخازن و ۲۸۰۰، ضریب رفتار مناسب پیشنهاد شده و یک شرط اساسی نیز برای استفاده از ضریب رفتار ۳ پیشنهادی این آیین‌نامه‌ها ارائه شده است.

کلمات کلیدی: مخزن هوایی، مفصل پلاستیک، شکل‌پذیری، مقاومت‌افزون، ضریب رفتار

مقدمه

مخازن هوایی جزو آن دسته از سازه‌های با اهمیت بالایی است که عملکرد آن بعد از زلزله به دلیل تامین آب مورد نیاز برای آشامیدن و مهار آتش‌بایستی ادامه داشته باشد. در بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها، استفاده از روش‌های غیرخطی تحلیل سازه، نسبت به سایر روش‌ها، واقع‌بینانه‌تر می‌باشد. یکی از مهمترین پارامتر در تحلیل‌های غیرخطی، مدلسازی منحنی بار-تغییر مکان مصالح می‌باشد. در سازه‌های قابی شکل استفاده از مدل مفصل پلاستیک متمرکز بسیار رایج می‌باشد که در آن، رفتار مفصل توسط منحنی دو خطی و یا چند خطی مدلسازی می‌شود.

برای پایه لوله‌ای مخزن هوایی، دیتیل‌های گوناگونی از نظر نوع آرماتورگذاری وجود دارد. این دیتیل‌ها عبارتست از ۱- آرماتورگذاری یک لایه (در لایه بیرونی) ۲- آرماتورگذاری دو لایه بدون سنجاقک (cross tie) ۳- آرماتورگذاری دو لایه با سنجاقک ۴- آرماتورگذاری دو لایه با تنگ‌های بسته. برای مقاطع با مقاومت‌های برابر، منحنی رفتاری لنگر-انحنای هر کدام از این دیتیل‌ها با دیگری فرق خواهد داشت. وجود میلگردهای عرضی حلقوی با فاصله کم، سنجاقک‌های شعاعی، تنگ‌های بسته در داخل دیواره مقطع، سبب افزایش ظرفیت انحنای و دوران نهایی مقطع و عضو خواهد شد، یعنی مقطعی با آرماتورگذاری دو لایه به همراه تنگ‌های بسته، دارای شکل‌پذیری و مقاومت افزون بزرگتری نسبت به مقطع با همان شرایط ولی بدون تنگ‌های بسته داخل دیواره می‌باشد. پس منحنی رفتاری دو خطی این مقاطع، با یکدیگر، از نقطه نظر تراز شکل‌پذیری و مقاومت افزون فرق خواهد داشت و به دنبال آن ضریب رفتار متناسب با هر مدل مفصل نیز با هم تفاوت خواهد داشت. این در حالی است که در آیین‌نامه‌های ۲۸۰۰، مخازن و بتن به این نکته اشاره‌ای نشده است و برای ضریب رفتار مخزن هوایی با پایه لوله‌ای با هر نوع دیتیلی برای مقطع پایه، عدد ۳ پیشنهاد شده است. در این پژوهش نیز اثر شکل‌پذیری و مقاومت افزون مقطع با آرماتورگذاری‌های مختلف که بازتاب‌دهنده دیتیل‌های عنوان شده می‌باشد، بر روی رفتار لرزه‌ای کلی سازه مخزن بررسی و در نهایت ضریب رفتار متناسب با هر مدل مفصل محاسبه خواهد شد.

در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مانند FEMA و ATC جداولی برای مدلسازی مشخصات مفصل‌های متمرکز ارائه شده است که در این جدول‌ها فقط مقدار دوران‌های غیرخطی مفصل قابل دستیابی است، اما در مورد شیب خط دوم از منحنی دو خطی بار-تغییر مکان، که بازتاب دهنده مقاومت افزون مقطع در یک شکل‌پذیری ثابت می‌باشد، مقدار مشخصی ارائه نشده است و فقط شیبی بین صفر تا ده درصد شیب اولیه توصیه شده است. برای مخازن هوایی بتنی با پایه لوله‌ای پارامترهایی چون نسبت ضخامت به قطر لوله، درصد آرماتورهای طولی، مقدار و فاصله آرماتورهای عرضی، وجود خاموت‌های شعاعی و نیروی محوری موجود و غیره عواملی تاثیر گذار روی شیب خط دوم می‌باشند.

^۱ استادیار گروه سازه

^۲ کارشناسی ارشد سازه



در این مقاله، یک مخزن هوایی بتنی با پایه لوله‌ای که بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ طراحی شده، با در نظر گرفتن ۶ مدل رفتاری برای مفصل پلاستیک تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی با PGA فزاینده برای ۷ شتابنگاشت حرکت قوی قرار گرفته و منحنی ظرفیت دینامیکی و ضریب رفتار سازه در هر حالت و برای هر مدل مفصل بدست می‌آید و سپس با میانگین‌گیری از ضریب رفتارهای بدست آمده، ضریب رفتار نهایی سازه محاسبه می‌شود. از طرفی اثر شکل‌پذیری و مقاومت افزون مقطع بر روی دامنه پلاستیک شدن پایه مخزن نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. تحلیل با اثر اندرکنش و بدون اثر اندرکنش آب و سازه انجام می‌گردد. در نهایت مقدار اختلاف ایجاد شده در هر حالت نسبت به حالتی که مفصل الاستو-پلاستیک کامل در نظر گرفته می‌شود نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

تشریح مدل

سازه مورد مطالعه یک مخزن هوایی بتنی با پایه لوله‌ای به ظرفیت ۱۵۰ متر مکعب واقع در استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. ارتفاع پایه تا زیر قسمت مخروطی مخزن ۱۸/۶۸ متر، قطر خارجی پایه ۲/۷ متر و ضخامت آن ۰/۳۵ متر، قطر مخزن فوقانی ۸/۴۴ متر، ارتفاع آن ۳/۶ متر و ضخامت آن ۰/۲۲ متر، قطر لوله داخلی دسترسی مخزن ۱/۴۴ متر و ضخامت آن ۰/۲۲ متر، ضخامت دال کف و پوسته مخروطی تا زیر مخزن ۰/۲۵ متر، ضخامت سقف ۰/۱۸ متر، ارتفاع دست انداز بام ۰/۵ متر و ضخامت آن ۰/۱ متر می‌باشد.

به جای مدلسازی پوسته مخزن با المان‌های shell، از المان‌های صلب frame با جرم‌های متمرکز معادل استفاده نموده‌ایم [2]. از طرفی المان‌های shell در طول تحلیل دارای رفتاری الاستیک خواهند بود و غیرخطی شدن فقط در پایه اتفاق می‌افتد. موقعیت جرم‌های متمرکز معادل طوری انتخاب می‌شود که ممان اینرسی دورانی کل سیستم معادل برابر با ممان اینرسی دورانی سیستم اصلی گردد. پایه نیز به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم شده و جرم وارد بر هر گره برابر ۱/۱۰ جرم کل پایه می‌باشد.

مدلسازی اندرکنش آب و سازه

برای مدلسازی اندرکنش آب و سازه از روش ارایه شده توسط هازنر استفاده شده است. در این روش جرم آب به دو بخش سخت و موج دسته‌بندی می‌گردد. جرم سخت به واسطه لینک صلب و جرم موج به وسیله فنر انتقالی به دیواره مخزن وصل می‌شوند [2]. در این روش دیواره مخزن بایستی صلب باشد که برای مخازن بتنی این فرض درست می‌باشد. در اینجا از روابط (1) برای مدلسازی اندرکنش آب و سازه که همان روابط اصلاح شده هازنر توسط نیومارک می‌باشد استفاده شده است [3].

$$M_0 = \frac{\tanh 1.7 \frac{R}{h} M}{1.7 \frac{R}{h}}$$

$$M_1 = \frac{0.71 \tanh 1.8 \frac{h}{R} M}{1.8 \frac{h}{R}}$$

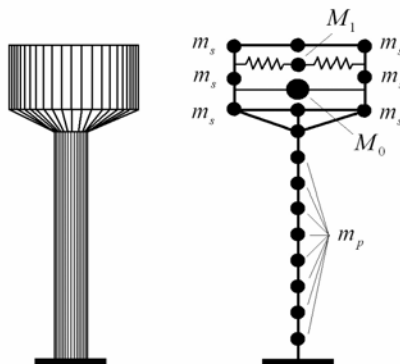
$$h_0 = 0.38h \left[1 + \alpha \left(\frac{M}{M_0} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

$$h_1 = h \left[1 - 0.21 \left(\frac{M}{M_1} \right) \left(\frac{R}{h} \right)^2 + 0.55 \beta \frac{R}{h} \sqrt{0.15 \left(\frac{RM}{hM_1} \right)^2 - 1} \right]$$

$$k = \frac{4.75 g M_1^2 h}{MR^2}$$

در روابط بالا، R شعاع مخزن استوانه‌ای، h ارتفاع سطح آب داخل مخزن، M جرم کل آب داخل مخزن، M₀ جرم سخت، M₁ جرم موج، h₀ ارتفاع جرم سخت تا کف مخزن، h₁ ارتفاع جرم موج تا کف مخزن، g شتاب ثقل و k نیز سختی فنر معادل برای نوسان آب می‌باشد. مقدار $\alpha = 1.33$ و $\beta = 2$ در نظر گرفته می‌شود.

در شکل (۱) مدل نهایی مجموعه‌ی سازه و آب نشان داده شده است.

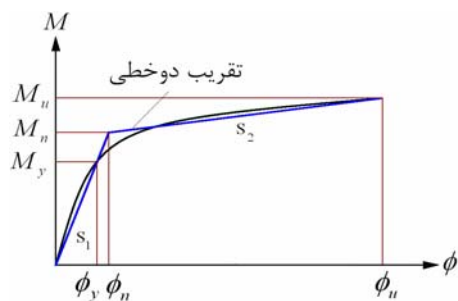


انتخاب مدل‌های رفتاری برای مفصل متمرکز

برای اینکه معیاری برای انتخاب پارامترهای مفصل پلاستیک داشته باشیم، ابتدا بر اساس تحلیل لنگر-انحنا، پارامترهای مفصل برای مقطع موجود که با دو لایه آرماتور می‌باشد بدست آمده و سپس پارامترهای مفاصل دیتیل‌های دیگر به طور معقول در نظر گرفته می‌شود.

تحلیل لنگر- انحنا

با انجام تحلیل لنگر-انحنا برای یک مقطع، منحنی لنگر-انحنای آن مقطع برای یک نیروی محوری مشخص بدست می‌آید و سپس با ایده‌آل کردن آن می‌توان مقادیر انحنای نهایی و تسلیم مقطع و به دنبال آن شکل‌پذیری انحنای آن مقطع را بدست آورد. منحنی لنگر انحنای مقطع با تقریب دوخطی ایده‌آل‌سازی شده و پارامترهای رفتاری مقطع بر روی این منحنی دوخطی تعریف می‌گردد. منحنی لنگر-انحنای هر مقطع دارای فرم کلی مانند شکل (۲) می‌باشد. با دو خطی کردن منحنی می‌توان پارامترهای رفتاری مقطع را به صورت زیر فرمول‌بندی نمود [4]:



شکل ۲- منحنی لنگر-انحنا و تقریب دو خطی ایده‌آل شده‌ی آن

شکل پذیری انحنای مقطع برابر نسبت انحنای نهایی به انحنای تسلیم مقطع می‌باشد و از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_n} \quad (2)$$

مقاومت افزون برابر نسبت لنگر نهایی به لنگر اسمی مقطع بوده و از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$\Omega = \frac{M_u}{M_n} \quad (3)$$

شیب خط دوم به اول از رابطه (۴) بدست می‌آید.

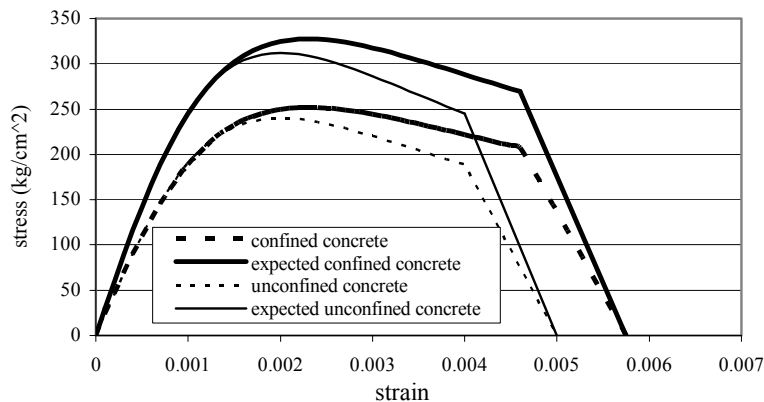
$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{(M_u - M_n)}{\phi_n} \cdot \frac{1}{M_n} = \frac{\Omega - 1}{\mu_{\phi} - 1} \quad (4)$$



بر اساس آیین‌نامه FEMA 356 حداکثر نسبت شیب برابر ده درصد می‌باشد یعنی: $0 \leq S_2 \leq 0.1S_1$ یا به عبارتی: $0 \leq \frac{S_2}{S_1} = \frac{\Omega - 1}{\mu_\phi - 1} \leq 0.1$.
 تحلیل لنگر-انحنای بر اساس مقاومت‌های مورد انتظار مصالح انجام می‌شود و بر اساس مرجع [4] مقاومت مورد انتظار بتن $1/3$ برابر مقاومت مشخصه بتن و مقاومت مورد انتظار فولاد نیز $1/1$ برابر مقاومت اسمی فولاد در نظر گرفته می‌شود.

مدل رفتاری بتن

برای بتن، دو منحنی رفتاری، یکی برای بتن محصور شده هسته و دیگری برای بتن محصور نشده یا بتن پوسته تعریف می‌کنیم. بر خلاف هسته مقاطع توپر دایره‌ای که به واسطه نیروی فشاری محوری تحت تنش سه محوره قرار گیرند، هسته مقطع لوله‌ای تحت تنش دو محوره قرار می‌گیرد [5]. از مدل رفتاری Mander به خاطر عمومیت آن برای محصور شدگی دو محوره استفاده شده است [6]. با استفاده از مرجع [6] منحنی تنش-کرنش بتن هسته و پوسته بر اساس رابطه Mander و برای مقاومت‌های اسمی و مورد انتظار مطابق شکل (۳) بدست آمده است.

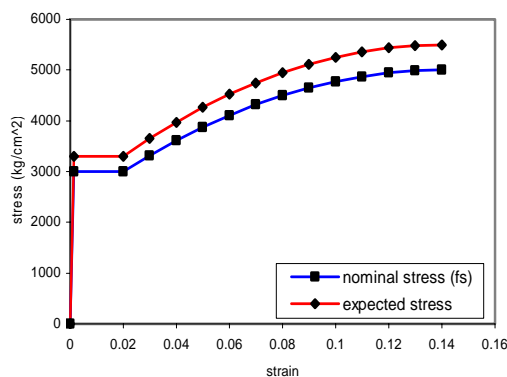


شکل ۳- مدل بتن محصور شده و محصور نشده Mander

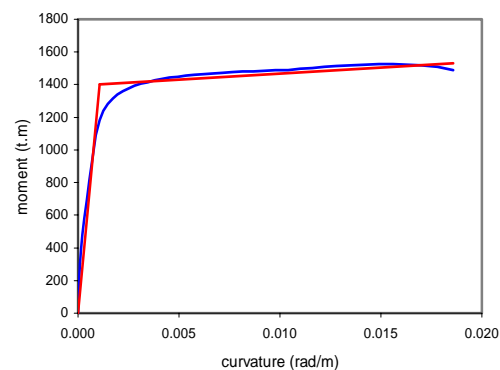
مدل رفتاری فولاد

از رابطه سخت شوندگی Park برای مدلسازی رفتار میلگردهای طولی استفاده شده است [7]. با توجه به نوع فولاد مورد استفاده در سازه (نوع A_{II})، رابطه Park در قسمت منحنی شکل خود با استفاده از مرجع [8] مطابق رابطه (5) اصلاح شده است.

$$f_s = f_{ye} \left[1.67 - 0.67 \left(\frac{0.14 - \epsilon_s}{0.12} \right)^2 \right] \quad (5)$$



منحنی رفتاری فولاد



منحنی لنگر-انحنای

شکل ۵- الف: مدل رفتاری فولاد ب: نمونه‌ای از منحنی لنگر-انحنای



انتخاب مدل‌های دیگر برای مفصل پلاستیک

Moller و Rubinstein توانستند با انجام ۴۰۰ تحلیل لنگر-انحنا برای مقاطع لوله‌ای با پارامترهای مختلفی از جمله نسبت ضخامت به قطر، درصد آرماتورهای طولی، نسبت نیروی محوری و ...، نمودارهایی برای محاسبه ظرفیت شکل‌پذیری مقاطع لوله‌ای با تنگ‌های بسته ارائه کنند [10]. با استفاده از گراف‌های ارائه شده توسط آنها، برای شکل‌پذیری انحنا عدد ۲۳ بدست آمد.

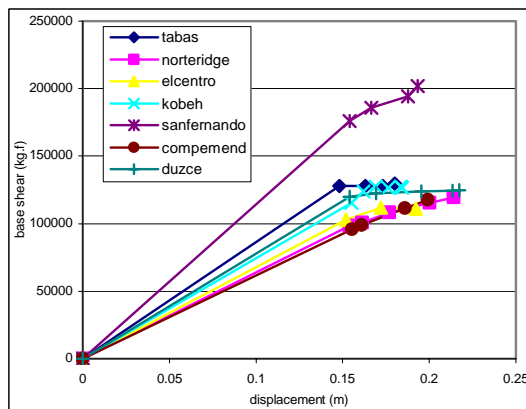
برای بررسی اثر شکل‌پذیری انحنا، از سه مدل با شکل‌پذیری انحنای ۹، ۱۶ و ۲۳ و برای بررسی اثر مقاومت افزون از سه مدل با مقاومت افزون‌های صفر، ۱/۴ و ۱/۸ استفاده شده است. شکل‌پذیری انحنای ۹ متناظر با تحلیل لنگر-انحنای مقطع با دولایه آرماتور و شکل‌پذیری ۲۳ متناظر با مدل Moller که شامل تنگ‌های بسته است، می‌باشد. شکل‌پذیری ۱۶ نیز به عنوان حد بینابینی انتخاب شده است. مقاومت افزون‌ها نیز بر اساس دامنه شیب بین ۰ تا ۱۰ درصد انتخاب شده‌اند. مقاومت افزون صفر همان حالت الاستو-پلاستیک کامل، مقاومت افزون ۱/۴ متناظر با نسبت شیب ۵ درصد و مقاومت افزون ۱/۸ متناظر با نسبت شیب ۱۰ درصد می‌باشد.

بررسی گسیختگی برشی و کنترل طول وصله پوششی در نقاط تشکیل مفصل پلاستیک

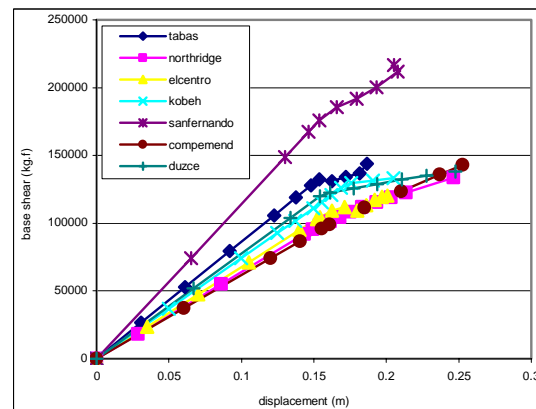
در مرجع [9] روابطی برای محاسبه مقاومت برشی مقاطع لوله‌ای بتنی با یک لایه آرماتور واقع در وجه پیرامونی ارائه شده است. این روابط اثر کاهش مقاومت برشی مقطع به واسطه افزایش شکل‌پذیری انحنای مقطع را در نظر می‌گیرند. با استفاده از این روابط، مقاومت برشی مقطع موجود کنترل شده و نتیجه‌ی بدست آمده نشان‌دهنده‌ی عدم گسیختگی برشی قبل از گسیختگی خمشی می‌باشد. ممکن است طول وصله پوششی میلگردهای طولی در ناحیه مفصل پلاستیک مناسب نباشد، در این صورت قبل از اینکه میلگردهای طولی به تنش تسلیم خود برسند دچار لغزش شده و در تراز تنش پایین‌تری از بتن جدا شوند. بر اساس مبحث نهم از مقررات ملی، کنترل طول وصله و ششی انجام شده و نشان‌دهنده‌ی مناسب بودن آن می‌باشد. در این پروژه هیچ کدام از این گسیختگی‌ها قبل از گسیختگی خمشی اتفاق نمی‌افتد و در نتیجه مود خرابی سازه خمشی می‌باشد.

تحلیل سازه و محاسبه ضریب رفتار

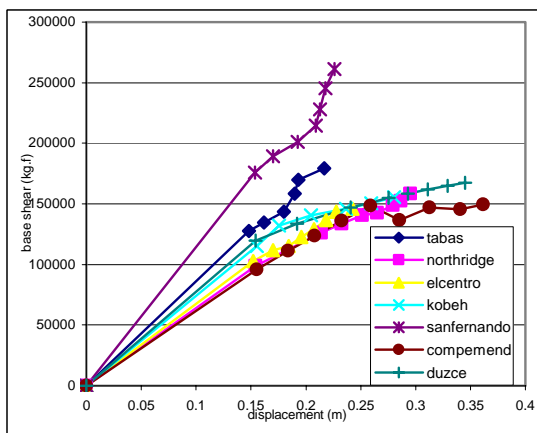
از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی با PGA فزاینده برای محاسبه ضریب رفتار استفاده شده است. در این تحلیل سازه برای یک شتابنگاشت مشخص، اما با PGAهای متغیر، که برای هر تحلیل با ضریب مقیاس مشخصی بزرگنمایی شده است، تحلیل می‌گردد. مقدار برش‌ها و تغییرمکان حداکثر متناظر با هر PGA، برآورد شده و با وصل کردن این نقاط به یکدیگر، منحنی ظرفیت دینامیکی سازه بدست می‌آید [11]. برای تحلیل از نگاشت‌های زلزله‌های طیس، نورتریج، کوبه، سن فرناندو، کامپمند، دوزجه استفاده شده است. خاک منطقه از نوع II بوده و شتابنگاشت‌ها، متناظر با آن انتخاب شده‌اند. برای انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی، از برنامه SAP 2000-V 8.3.1 استفاده شده است. در مرحله اول سازه در حالت‌های پر، دو سوم پر، یک سوم پر و با اندرکنش آب و سازه و سپس بدون اثر اندرکنش آب و سازه و خالی تحلیل شد. نتایج بدست آمده نشان دهنده‌ی بحرانی‌تر بودن حالت پر با اندرکنش، نسبت به سایر حالت‌ها می‌باشد. به همین دلیل در حالت‌های دیگر مفصل پلاستیک فقط حالت پر با اندرکنش آب و سازه بررسی شده است. در نتیجه ضریب رفتار در حالت پر با اثر اندرکنش آب و سازه برای مدل‌های مختلفی از مفصل پلاستیک محاسبه خواهد شد. نمودارهای ظرفیت دینامیکی در حالت‌های مختلف و با اثر اندرکنش آب و سازه در شکل‌های (۷) تا (۱۲) نشان داده شده است. در قسمت پایین هر نمودار مقادیر شکل‌پذیری انحنا (μ)، مقاومت افزون (Ω) و نسبت شیب (S_2/S_1) نوشته شده است.



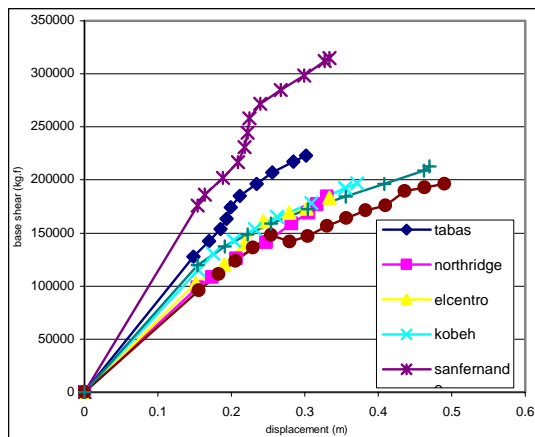
شکل ۷ - $\mu = 9$ و $\Omega = 1$ و $\frac{S_2}{S_1} = 0$



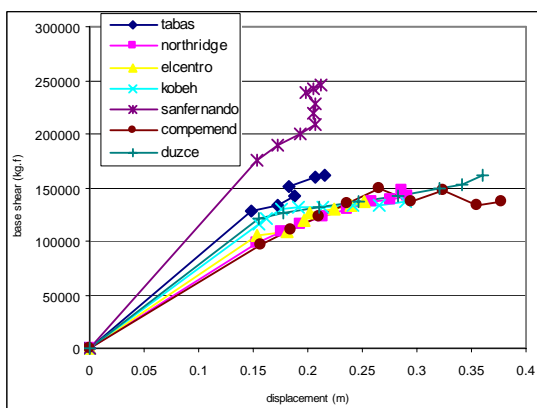
شکل ۸ - $\mu = 9$ و $\Omega = 1.138$ و $\frac{S_2}{S_1} = 0.017$



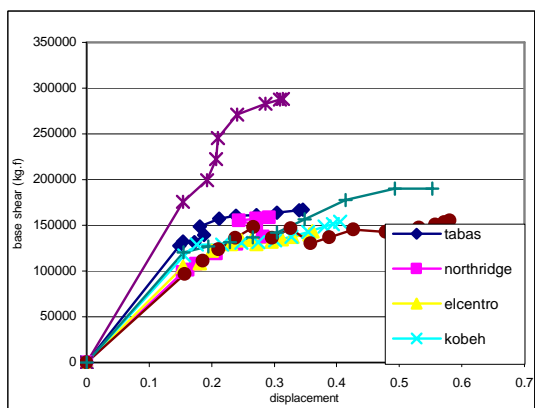
شکل ۹- $\mu = 9$ & $\Omega = 1.4$ & $\frac{S_2}{S_1} = 0.05$



شکل ۱۰- $\mu = 9$ & $\Omega = 1.8$ & $\frac{S_2}{S_1} = 0.1$



شکل ۱۱- $\mu = 16$ & $\Omega = 1.218$ & $\frac{S_2}{S_1} = 0.0145$



شکل ۱۲- $\mu = 23$ & $\Omega = 1.264$ & $\frac{S_2}{S_1} = 0.012$

محاسبه ضریب رفتار

در مرجع [12] برای محاسبه ضریب رفتار از روش تحلیل دینامیکی غیرخطی، رابطه (6) پیشنهاد شده است.

$$R = R_{\mu} \cdot \Omega = R = \frac{\lambda_u V_y}{\lambda_y V_d} \quad (6)$$

در رابطه بالا، λ_y و λ_u به ترتیب PGA های متناظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک و گسیختگی سازه، و V_y و V_u به ترتیب برش پایه در حالت تشکیل اولین مفصل پلاستیک و گسیختگی سازه می باشد و V_d برش پایه طراحی سازه بوده و چون سازه مورد نظر بر اساس ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ بارگذاری و طراحی شده است، مقدار V_d برابر $78/4$ تن-نیرو (784 کیلو نیوتن) می باشد. از طرفی R_{μ} ضریب شکل پذیری و Ω مقاومت افزون کلی سازه می باشد. با توجه به رابطه (5) ملاحظه می شود که مقدار ضریب رفتار به نوع شتاب نگاشت وابسته می باشد، در نتیجه ضریب رفتار متناسب با هر شتاب نگاشت محاسبه شده و سپس با میانگین گیری از ضریب رفتارهای محاسبه شده، برای رکوردهای مختلف، ضریب رفتار کل برای هر وضعیت مفصل پلاستیک بدست خواهد آمد.

خلاصه نتایج بدست آمده در جدول (۱) گردآوری شده است. در این جدول برای اختصار مقادیر برش پایه ها و PGA های متناظر با حد اولین تسلیم و حد گسیختگی نشان داده نشده است و فقط جواب نهایی یعنی ضریب رفتار نشان داده شده است. در ستون اول از جدول (۱) مشخصه مفاصل پلاستیک نشان داده شده است. در ستون دوم علامت اختصاری برای ستون اول نمایش داده شده است و در ستون سوم نیز ضریب رفتارهای بدست آمده از تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی گردآوری شده است.



جدول ۱ - ضریب رفتار برای مدل‌های مختلف مفصل پلاستیک

مشخصه مفصل پلاستیک	علامت اختصاری ضریب رفتار	ضریب رفتار (R)
$\mu=9$ و $\Omega=1 \rightarrow S2/S1=0$	R0	۱/۸۷
$\mu=9$ و $\Omega=1.138 \rightarrow S2/S1=0.017$	R9	۲/۰۷
$\mu=9$ و $\Omega=1/4 \rightarrow S2/S1=0.05$	R۱/۴	۲/۶۳
$\mu=9$ و $\Omega=1/8 \rightarrow S2/S1=0.1$	R۱/۸	۳/۳۳
$\mu=16$ و $\Omega=1/218 \rightarrow S2/S1=0.0145$	R۱۶	۲/۵۴
$\mu=23$ و $\Omega=1/264 \rightarrow S2/S1=0.012$	R۲۳	۳/۰۸

بر اساس نتایج عددی بدست آمده از جدول ۱، رابطه تحلیلی (7) برای محاسبه ضریب رفتار یک مشخصه مفصل بر اساس مشخصه مفصل دیگر پیشنهاد شده است:

$$\frac{R_2}{R_1} = \sqrt{\frac{\mu_2 + \mu_1}{2\mu_1} \frac{\Omega_2}{\Omega_1}} \quad (7)$$

در این رابطه بایستی مقدار R_2 بزرگتر از R_1 باشد. بر اساس رابطه تقریبی بالا ضریب رفتار کلیه حالت‌ها را بر اساس ضریب رفتار حالت الاستو-پلاستیک بدست آورده و مقدار خطای رابطه پیشنهادی با مقدار عددی مقایسه می‌شود. نتایج در جدول زیر ارائه شده است:

جدول ۲ - مقایسه خطا بین روش عددی و رابطه پیشنهادی

خطا (درصد)	روش عددی	روش تحلیلی	نسبت ضریب رفتار
۲/۸	۱/۱۰۷	۱/۱۳۸	R9/R0
-۰/۴	۱/۴۰۶	۱/۴	R1/4/R0
۱	۱/۲۸۱	۱/۸	R1/8/R0
۵/۷	۱/۳۵۸	۱/۴۳۵	R16/R0
۲/۳	۱/۶۴۷	۱/۶۸۵	R23/R0

با توجه به جدول ۲ حداکثر خطا برابر ۵/۷ درصد می‌باشد که نشان از دقت مناسب رابطه پیشنهادی دارد.

نتیجه گیری

ضریب رفتار مخازن هوایی با پایه لوله‌ای، نسبت به مشخصه رفتاری مفصل پلاستیک خود حساسیت زیادی نشان داده به طوری که برای حالت الاستو-پلاستیک عدد ۱/۷۸ و برای مدل Moller عدد ۳/۰۸ و برای حد بالای نسبت شیب آیین‌نامه FEMA 356، عدد ۳/۳۳ بدست آمده است. در بیشتر آیین‌نامه‌های طراحی از قبیل ACI 371 توصیه شده که در مناطقی که احتمال پلاستیک شدن مقطع پایه وجود دارد از تنگ‌های بسته یا سنجا فک (Cross tie) در دیواره استفاده شود و این در حالی است که در آیین‌نامه مخازن به این نکته اشاره نشده است و برای هر دیتیلی عدد ۳ به عنوان ضریب رفتار پیشنهاد شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، عدد ۳ برای پایه‌هایی است که در آن از میلگردهای شعاعی یا تنگ‌های بسته استفاده شده است، در غیر این صورت بایستی از ضریب رفتار کمتری در طراحی استفاده نماییم. برای مدل موجود اجرا شده که با دو لایه آرماتور و بدون تنگ‌های بسته می‌باشد، مقدار ضریب رفتار برابر ۲/۰۷ بدست آمده است، در حالی که این مخزن هوایی بر اساس ضریب رفتار ۳ طراحی شده بود که نشان دهنده عدم کفایت مقطع می‌باشد و علت این امر عدم رعایت دیتیل‌های ویژه برای شکل‌پذیری می‌باشد. در حالت کلی با افزایش شکل‌پذیری و مقاومت افزون مقطع، ضریب رفتار و ظرفیت لرزه‌ای سازه افزایش می‌یابد. با وجود اینکه که در این میان اثر مقاومت افزون اهمیت بیشتری دارد ولی دستیابی به مقادیر بالای مقاومت افزون، نسبت به شکل‌پذیری بالا، مشکل‌تر می‌باشد.

برای مفصل با مقاومت افزون ۱/۸ برای بیشتر شتابناگشت‌ها، حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد طول پایه وارد ناحیه غیر خطی شده است، در حالی که برای مفصل الاستو-پلاستیک این مقدار حدود ۵ تا ۱۰ درصد بوده است. همچنین برای مفصل با شکل‌پذیری ۲۳، حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد از طول پایه غیرخطی شده است. بنابراین توصیه می‌شود در حالتی که از دیتیل‌های ویژه برای ناحیه مفصل پلاستیک استفاده می‌شود، این دیتیل‌ها ۴۰ درصد از طول پایه را تحت پوشش قرار دهند.



برای اینکه مقطع شکل‌پذیری و مقاومت افزون بالاتری را داشته باشد بایستی در مقطع از درصد آرماتورهای طولی کمتر، دیتیل‌های ویژه مطابق مرجع [10] استفاده نماییم. به وسیله رابطه پیشنهادی بالا می‌توان ضریب رفتار برای یک مفصل مشخص را از ضریب رفتار مفصلی با مشخصه دیگر بدست آورد. با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهاداتی به شرح زیر برای آیین‌نامه‌های طراحی مخازن (نشریه شماره ۱۲۳) ارائه شده است:

- ۱- در تحلیل مخازن هوایی آب، اثر اندرکنش آب و سازه بایستی در نظر گرفته شود.
- ۲- در نقاطی از پایه که احتمال ایجاد شدن مفصل پلاستیک زیاد است از دیتیل‌های با شکل‌پذیری بالا استفاده شود. با بالاتر رفتن شکل‌پذیری و مقاومت افزون، طول ناحیه غیرخطی شده‌ی پایه افزایش می‌یابد که در این میان اثر مقاومت افزون بیشتر از شکل‌پذیری می‌باشد.
- ۳- طراحی‌ها سعی شود از مقطع با نسبت ضخامت به قطر بالاتر و درصد آرماتور پایین‌تر استفاده نمود.
- ۴- در بررسی رفتار لرزه‌ای مخازن هوایی با پایه لوله‌ای که فاقد دیتیل ویژه می‌باشند، حداکثر مقدار ضریب رفتار ۲ در نظر گرفته شود.

مراجع

1. Dutta, S., Mandal, A., and Dutta, S.C. (2003) Soil-structure interaction in dynamic behaviour of elevated tanks with alternate frame staging configurations. *Journal of Sound and Vibration*, 277, 825-853.
2. Housner, G.W. (1957) Dynamic pressure on accelerated fluid containers. *Division of engineering*, California institute of technology, Pasadena, California.
3. Newmark, N. M., Rosenblueth, E. (1971) *Fundamentals of Earthquake Engineering*, Prentice- Hall.
4. Priestley, M. J. N., Seible, F., and Calvi, G. M. (1996) *Seismic design and retrofit of bridges*, John-Wiley, New York.
- 5- Zahn, F. A., Park, R., and Priestley, M. J. N. (1990) Flexural strength and ductility of circular hollow reinforced concrete columns without confinement on inside face. *ACI Structural J.*, 87(6), 156-166.
6. Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R. (1988a) Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 114(8), 1804-1826.
7. Watson, S., Zahn, F. A., and Park, R. (1994) Confining reinforcement for concrete columns. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 120, No. 6, 1798-1824.
- 8- طلاحونی، شاپور؛ طراحی ساختمان‌های بتن مسلح، فصل اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۸۲، صفحات ۶۲-۶۳.
9. Ranzo, G. and Priestley, M. J. N. (2001) Seismic performance of circular hollow columns subjected to high shear, Rep. No.SSRP-2001/01, Department of Structural Engineering, University of California, San Diego, La Jolla.
- 10-Moller, O., Rubinstein, M. (1992) Reliability-Based Design Of R/C Water Tank Structures Under Seismic Action, *J. Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, vol.21, 665-678.
11. Jinjiang, S., ono, T., Yangang, Z. and Wei,W. (2003) *Lateral Load Pattern In Pushover Analysis*, J. Earthquake Engineering And Engineering Vibration, vol.2, NO.1, 99-107.
12. De Matteis, G., Landolfo, R., Dubina, D., Stratan, A. (2000) *Influence of the structural typology on the seismic performance of steel frame buildings*. In Moment Resistant Connections of Steel Frames in Seismic Area, Mazzolani F. M. (ed), E&FN spon: New York, 513-538.