بررسی ضوابط طراحی لرزه ای موجود پیرامون مخازن ذخیره سازی مایعات بر اساس تحلیل دینامیکی

*محمود حسینی، استادیار پژوهشکده سازه و مدیر گروه شریانهای حیاتی پژوهشگاه
علیرضا قضایی، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه

۱- چکیده

با توجه به وضعیت لرزه خیزی کشور، حفظ کارایی و عملکرد مطمئن و صحیح انواع مخازن مایعات در مقابله با زلزله های قوی محتمل الوقوع به منظور جلوگیری از خطرهای ثانویه و استفاده هایی مانند اطفاء حریق، آب شرب و بهداشت عمومی که پس از وقوع زلزله از این مخازن می شود حائز اهمیت فراوان می باشد. در این مقاله با توجه به اینکه نشریهٔ ۱۲۳ سازمان برنامه و بودجه با اینکه مدتی طولانی از انتشار آن می گذرد، هنوز بازنگری نشده و به طور کامل به رفتار لرزه ای مخازن نپرداخته است و از نظر ملحوظ نمودن نیروهای دینامیکی، کم دقت به نظر می رسد سعی گردیده با ارائه رهنمودهایی گامی در جهت دستیابی به یک آیین نامه مناسبتر برداشته شود. در این راستا، آیین نامه های کشورهای آمریکا در دو مبحث، ژاپن و نهایتاً هندوستان در کنار ضوابط پیشنهاد شده برای ایران مطالعه و مقایسه گردید و با بارگذاری سه مخزن منتخب و انجام تحلیلهای استاتیکی معادل، طیفی و تاریخچه زمانی تلاش شده است نقاط ضعف آیین نامه های موجود شناسایی گردد. تحلیلهای دینامیکی به صورت سه مؤلفه ای انجام پذیرفته تا اثر مؤلفه قائم زلزله نیز حتی الامکان ملحوظ شود. در پایان با مقایسه نتایج حاصل از تحلیلها و نکات حاصل از مطالعه آیین نامه های کشورهای مذکور ضوابطی به عنوان رهنمود برای بهبود آیین نامه کشور ارائه گردیده است.

کلیدواژه ها:

۲- مقدمه

مخازن ذخیره سازی مایعات با توجه به رشد روزافزون جمعیت شهرها از یک طرف و نیاز روزافزون به آنها از سوی دیگر در زمرهٔ مهمترین سازه های صنعتی و عمرانی می باشند. این سازه ها با شکلها و جنسهای مختلف به منظور ذخیرهٔ احجام بزرگ آب یا ذخیره مواد سوختی به صورت هم تراز با زمین و یا گاهی برای استتار یا مسائل مربوط به درجه حرارت به صورت زیرزمینی و یا به منظور تأمین و تعدیل فشار در شبکه های آبرسانی شهرها به صورت هوایی ساخته می شوند.

بارگذاری لرزه ای مخازن در کشورهای زلزله خیز یکی از مسائل اساسی است که در رأس آن، مبحث اندرکنش آب- سازه قرار دارد. به علت پیچیدگی مسأله اندرکنش آب- سازه معمولاً فرضیات ساده کننده ای در نظر گرفته می شوند. این فرضیات عبارتند از:

۱- از تراکم پذیری آب صرفنظر می شود؛

۲- ویسکوزیته آب ناچیز فرض می شود؛

۳- تغییرمکانها کوچک در نظر گرفته می شوند؛

٤- فرض می شود عدد رینولدز به اندازه کافی کوچک باشد که بتوان از آثار آشفتگی صرفنظر کرد.

این فرضیات باعث می شوند که بارگذاری لرزه ای مخازن با تقریبهای بعضاً بزرگی همراه باشد. به منظور روشن شدن بیشتر موضوع در قسمتهای بعد به بحث در این مورد پرداخته می شود.

۳- فرمولاسیون نیروهای هیدرودینامیک

پژوهشهای متعددی در زمینهٔ فرموله کردن فشار هیدرودینامیکی مایعات در مخازن صورت گرفته است. در تحقیقات اولیه فرض می شد که مخزن صلب است و تمام توجهات بر روی رفتار مایع داخل مخزن متمرکز بود. هوسنر *(Housner)* از اواسط دههٔ ۵۰ میلادی به مطالعهٔ نیروهای هیدرودینامیکی در مخازن استوانه ای و مستطیلی پرداخت تا

اینکه در سال ۱۹۶۳ روابطی نسبتاً جامع در این مورد ارائه نمود [۱]. بر اساس مطالعات وی، فشارهای وارده از طرف آب به بدنهٔ مخزن در شرایط زلزله را می‌توان به فشارهای ضربه ای و انتقالی تقسیم کرد. فشارهای ضربه ای مربوط به نیروهای اینرسی ناشی از حرکت کلی مخزن می‌باشند و نیروهای تولید شده مستقیماً با شتاب دیوارهای مخزن متناسب هستند. در واقع، فشار ضربه ای مربوط به بخشی از جرم مایع است که با جدار مخزن نوسان می کند و اصطلاحاً جرم سخت نامیده می شود. فشارهای انتقالی بر اثر نوسان یا تلاطم مایع تولید گشته و به طور متناوب به دو طرف مخزن وارد می‌شوند. فشارهای ضربه ای، با فرکانسی معادل با فرکانس ارتعاشی مخزن عمل می نمایند؛ در صورتی که فشارهای نوسانی با فرکانسی به مراتب کوچکتر از فرکانس مخزن عمل می‌نمایند. برای تحلیل این فشارها، دو روش مجزا وجود دارد که در ادامه به توضیح مختصر آنها پرداخته می‌شود.

۳-۱- فشار ضربه ای

مخزنی با دیوارهای قائم و کف افقی که در پلان متقارن است، با فرض اینکه شتاب ضربه ای $(\ddot{u}_o)$ در جهت x به دیواره های آن وارد شود و باعث ایجاد شتابهای $\ddot{u}$ و $\ddot{v}$ در جهات y و x در مایع گردد (برای مخازن با تقارن محوری مؤلفه شتاب $(\ddot{w})$ صفر است [۲]) در نظرگرفته می شود. این مسأله از لحاظ فیزیکی بدین معنی است که مایع در غشاهایی نازک و عمود به فاصلهٔ dz از یکدیگر محصور شده و مقید باشد که تنها در صفحه x-y حرکت نماید. نتایج حاصل از مدلسازی و تحلیل فشار ضربه ای بدین صورت است:

$$P = \int_o^y -\rho\, \ddot{v}\, dy = \int_o^y -\rho\,(h-y)\frac{d\ddot{u}}{dx}\, dy = \rho h^2 \left[\frac{y}{h}\,\frac{1}{2}\left(\frac{y}{h}\right)^2\right]\frac{d\ddot{u}}{dx} \qquad (۱)$$

$$\ddot{u} = C_1\, cosh\left(\sqrt{3}\,\frac{x}{h}\right) + C_2\, sinh\left(\sqrt{3}\,\frac{x}{h}\right) \qquad (۲)$$

رابطه های (۱) و (۲) فشار ضربه ای (P) را با اعمال شرایط مرزی مناسب برای هر هندسه‌ای معین می نمایند. توضیح بیشتر در مورد این روابط در مرجع [۳] آورده شده است.

۳-۲- فشار انتقالی

هنگامی که دیواره های یک مخزن تحت تأثیر شتاب قرار گیرد، مایع هم به نوسان در می‌آید و این حرکت تولید فشارهایی بر دیواره ها و کف می‌کند. برای تعیین مد اول ارتعاش مایع فرض می‌شود مایع توسط غشاهایی صلب و افقی که اجازه چرخش ندارند احاطه شده باشد. نتایج حاصل از مدلسازی و تحلیل فشار نوسانی به صورت رابطه‌های (۳، ٤ و ٥) است:

$$I_z = \int x^2 dx.dz = \int x^2 dA \qquad (۳)$$

$$K = \int_{-R}^{R} \frac{1}{b^2}\left(\int_{-R}^{x} x_b dx\right)^2 \left(1 + Z^2\left(\frac{b'}{b}\right)\right) \qquad (٤)$$

$$b' = \frac{db}{dx} \qquad (٥)$$

در رابطه های مذکور برای هر شکل خاص مخزن (مکعب مستطیل، دایره، بیضی) کافی است تنها انتگرال‌های K و I_Z، محاسبه و در روابط مربوطه جایگذاری شوند تا فشارها یا نیروها حاصل آیند. توضیح بیشتر در این زمینه در مرجع [۳] آورده شده است.

پس از هوسنر پژوهشگران دیگری نیز به بررسی اثر زلزله بر مخازن پرداخته اند. از جمله اشتاین *(Epstein)* در سال ۱۹۷٦ کارهای هوسنر را با ارائه منحنی های طراحی برای تخمین لنگرهای خمشی و واژگونی بهبود بخشید [٤]. تحقیقات در این زمینه در طی دهه های گذشته نیز همچنان ادامه داشته است که به عنوان نمونه‌ای از آخرین پژوهشها می‌توان به بررسی استفاده از میراگرها در مخازن زمینی بزرگ اشاره نمود [٥].

با وجود این تحقیقات گسترده و پرسابقه هنوز هم در مورد طراحی لرزه ای مخازن جای بحث وجود دارد و آیین نامه های موجود در کشورهای مختلف در این زمینه هنوز نیازمند تکامل می‌باشند. در کشور ما نیز تنها نشریهٔ ۱۲۳ سازمان برنامه و بودجه [٦] در این مورد قابل استفاده است که آن هم برداشت شده از آیین نامه های آمریکا می باشد.

در این مقاله با توجه به لزوم ارتقاء ضوابط موجود، بویژه برای کشور، به طراحی سه مخزن مختلف بر اساس آیین نامه های موجود اقدام شده، سپس به کمک تحلیلهای طیفی و دینامیکی سعی گردیده نقاط ضعف ضوابط موجود نشان داده شود و در نهایت پیشنهادهایی در راستای رفع آنها ارائه گردد.

٤- معرفی آیین نامه های مورد استفاده

تعداد کشورهایی که در آنها برای طراحی لرزه ای مخازن ضوابط فنی خاصی وجود دارد چندان زیاد نیست. از میان کشورهای دارای آیین نامه کشورهای آمریکا، ژاپن و هندوستان با توجه به قدمت مطالعات مهندسی زلزله در آنها مناسبتر تشخیص داده شدند که در کنار آیین نامهٔ کشور مورد بررسی قرار گیرند. بر این اساس، آیین نامه های لرزه ای منتخب شامل آیین نامه‌های آمریکا در دو مبحث

[۷] *US Army* و [۸] *API-650*، آیین نامه ژاپن [۹]، آیین نامه هندوستان [۹] و نهایتاً نشریه ۱۲۳ سازمان برنامه و بودجه [٦].

آیین نامه های ایران و آمریکا (هر دو مبحث) هر دو فشار نوسانی و ضربه ای را در نظر گرفته و روابط و نمودارهایی برای آنها ارائه- نموده اند. آیین نامه هندوستان تنها فشار ضربه ای را در محاسبات و بارگذاری منظور می دارد ضمن اینکه مقادیر ضریب زلزله و طیف بسیار پایین و کوچکی دارد. آیین نامه ژاپن بدون ذکر روش یا روابطی تنها به لحاظ داشتن اثرهای هیدرودینامیک به صورت ضمنی بسنده نموده است.

۵- مشخصات کلی سه مخزن مورد بررسی

در این مطالعه به طراحی سه مخزن بر اساس آیین نامه های منتخب اقدام گردید که مشخصات آنها در جدول (۱) آورده شده است.

مخزن یک: دال کف این مخزن ۳۵، سقف آن ۲۵، دیواره های آن در پایین ٦۰ و در بالا ۳۰ سانتیمتر ضخامت دارند. این مخزن بر اساس توصیه نامه *PCA* طراحی شده است و در داخل آن ۱٦ ستون وجود دارد.

مخزن دو: این مخزن دارای مهاربندی کششی است و طراحی آن بر اساس *API-650* صورت گرفته است.

مخزن سه: این مخزن بر روی چهار ستون ۵۰x۵۰ سانتیمتر مربع قرار گرفته که در سه تراز توسط تیرهایی با بعد ۵۰x۵۰ سانتیمتر مربع به هم مرتبطند. این مخزن بر اساس آیین نامه هندوستان طراحی شده است.

سه مخزن مورد مطالعه ابتدا به صورت استاتیکی معادل بارگذاری و تحلیل گردیدند و سپس هر دو روش طیفی و تاریخچه ای نیز بررسی شدند تا از مقایسه نتایج تحلیلی بتوان به نقاط ضعف روشهای آیین نامه ای پی برد.

٦- نتایج تحلیل استاتیکی معادل

نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی در جدولهای (۲ تا ٤) برای هر سه مخزن آورده شده است. با توجه به این جدولها موارد زیر را می توان عنوان نمود:

۱- مقادیر برشها و لنگرها در مورد آیین نامه های ایران و آمریکا در حدود یکدیگر هستند.

۲- مقادیر برش در آیین نامه هندوستان به این علت کوچک است که مقدار ضریب زلزله و کلاً طیف هندوستان نسبت به سایر آیین نامه ها کمتر و از جرم مواج صرفنظر نموده است. چنانچه مقادیر حاصل از آیین نامه هندوستان در نسبت بیشینه طیفهای طراحی ضرب شود مقادیر نیروهای برشی از مقادیر حاصل از سایر آیین نامه ها بیشتر خواهد شد. در ضمن در این حالت، مقدار لنگر واژگونی به علت عدم ارائه رابطه و تعریف ارتفاع ظاهری برای جرم مواج محاسبه نشده است.

۳- علت بزرگی نیروهای پایه در مخزن مکعب مستطیلی مطابق آیین نامه ژاپن این است که این آیین نامه تفاوتی بین ضریب زلزله جرم مواج و جرم سخت قائل نشده است و چون جرم مواج در این مخزن خیلی بزرگ است چنین خطایی دیده می شود؛ ولی در مورد مخازن استوانه ای که مقدار جرم مواج کوچک بوده این تفاوت کاهش یافته است.

٤- در صورت هم تراز کردن برشهای پایهٔ حاصل از آیین نامه های مختلف ملاحظه می شود که لنگرهای حاصل از آیین نامهٔ ژاپن نسبت به آیین نامه های ایران و آمریکا بسته به جهت تقریباً ۳۰ تا ٤۰ درصد بیشتر است. علت این موضوع اختلاف در توزیع فشار معادل هیدرودینامیکی در آیین نامه ها می باشد.

جدول (۱): مشخصات سه مخزن مورد مطالعه

ردیف	شکل مخزن	جنس	طول یا شعاع (m)	عرض (m)	ارتفاع پوسته (m)	ارتفاع آب (m)	ارتفاع نسبت زمین (m)	حجم (m^3)
۱	مکعب مستطیل	بتنی	۲۵/۱۰	۲۰/۱۰	۵/۸۵	۵/۲۵	روی زمین	۲۵۱۸
۲	استوانه	فولادی	۳/۰۰	- -	٤/٦۰	٤	۱۲/۰۰	۱۱۸
۳	استوانه	بتنی	٤/۰۰	- -	۳/۵۲	۳/۳۲	۱۷/۷۰	۱٦۸

جدول (۲): نیروهای برشی پایه، لنگرهای واژگونی و ضرایب زلزله در مخزن مکعب مستطیلی بتنی زمینی در روش استاتیکی معادل

آیین نامه مورد استفاده	V_x (ton)	V_y (ton)	M_x (ton.m)	M_y (ton.m)	ضریب زلزله جرم مواج در جهت x	ضریب زلزله جرم سخت در جهت x	ضریب زلزله جرم سخت در جهت y	ضریب زلزله جرم مواج در جهت y
ایران	٤۷۳	۵۱٦	۳۵۲۷	۳۳۸۰	۰/۰۳۲	۰/۲۸۰	۰/۲۸۰	۰/۰۳۵
آمریکا	٤۵۷	٤۹۲	۳٤۲۰	۳۲۰۹	۰/۰٤۵	۰/۲۲۵	۰/۲۲۵	۰/۰٤۹
هندوستان	۲٤۸	۲۵۸	- -	- -	- -	۰/۱۲۰	۰/۱۲۰	- -
ژاپن	٦٦۱	٦٦۳	٦۸۰۵	۵۵۱٤	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰	۰/۲۰۰

جدول (۳): برش پایه در مخزن استوانه ای هوایی بتنی در روش استاتیکی معادل

V_y (ton)	V_x (ton)	آیین نامه مورد استفاده
۸۰/۰	۸۰/۰	ایران
۷۱/٤	۷۱/٤	آمریکا
۲۰/٦	۲۰/٦	هندوستان

جدول (٤): برش پایه در مخزن استوانه هوایی فولادی در روش استاتیکی معادل

V_y (ton)	V_x (ton)	آیین نامه مورد استفاده
۲۹/۲	۲۹/۲	ایران
۳۰/٤	۳۰/٤	آمریکا
۱۳/۳	۱۳/۳	هندوستان

۷- نتایج تحلیل طیفی

برای تحلیل طیفی تعریف جرم در درجات آزادی سیستم ضروری است. از آنجا که تحلیل سه مؤلفه ای مدنظر بوده باید جرم در هر سه جهت تعریف گردد؛ اما، مشکل در اینجاست که وقتی زلزله در جهت x وارد می‌شود دو دسته جرم در جهات x و y برای یک گره وجود دارند و وقتی زلزله در جهت y وارد می‌شود دو دسته دیگر جرم متفاوت با مقادیر قبلی در جهات x و y برای همان گره وجود دارند. از آنجا که برای یک گره در فایل ورودی در یک جهت دو مقدار جرم نمی‌توان وارد نمود، به ناچار در هر جهت مقدار کل جرم مایع به گره ها تخصیص داده- شد که این تا حدی محتاطانه خواهد بود. در مورد مخازن هوایی کل جرم مایع داخل مخزن به گره ها تخصیص می‌یابد. در مخازن زمینی استوانه ای چون پریود جرم مواج نسبت به پریود جرم سخت بسیار بزرگ است و ضریب زلزله بسیار کوچکی را نتیجه می‌دهد، می‌توان از مدل کردن جرم مواّج در گره ها صرفنظر نمود. در مورد مخازن زمینی مکعب مستطیلی چون مقدار جرم مواج بسیار بزرگ می‌باشد با توزیعی وزنی، سهمی از جرم مواج را نیز به جرم سخت افزوده و سپس بر گره ها به صورت توزیع ذوزنقه ای یعنی درست مانند توزیع نیرو تخصیص داده شده است. جدولهای (۵ تا ۷) نتایج این نوع تحلیل را نشان می‌دهند که بر اساس آنها این موارد قابل ذکر است:

جدول (۵): نیروهای برش پایه، لنگرهای واژگونی و تغییرمکانهای مخزن مکعب مستطیلی زمینی بتنی با روش طیفی دو مولفه ای

طیف به کار رفته	V_x (ton)	V_y (ton)	M_x (ton.m)	M_y (ton.m)	Δx(cm)	Δy(cm)
طیف ایران	۳۹۱	٤٤۳	۱۵۰٤	۱۳۵٤	۰/۱۳۳	۰/۱۳۵
طیف آمریکا	٤۱۹	٤۷٤	۱٦۱۱	۱٤۵۱	۰/۱٤۳	۰/۱٤۵
طیف هندوستان	۱٦٤	۱۸۷	٦۳۵	۵۷۰	۰/۰۵٦	۰/۰۵۷

جدول (٦): نیروهای برش پایه، لنگرها و تغییرمکانهای مخزن استوانه ای هوایی فولادی با روش طیفی سه مولفه ای

طیف مورد استفاده	V_x (ton) و V_y (ton)	V_z (ton)	لنگر حول محورهای x و y (ton.m)	لنگر حول محور z (ton.m)	Δx(cm) و Δy(cm)	Δz(cm)
طیف ایران	۲۸/۱۰	۱٦/۵	۳۸۱/۲	۲٤/۵	٤/۷٤	۰/۵
طیف آمریکا	۲۹/۳	۱۸/٤	۳۹۷/٦	۲۵/۵	٤/٦۹	۰/۵٤
طیف هندوستان	۱۲/۹	۸/٦	۱۷٤/۷	۱۱/۲	۲/۱۹	۰/۲۵

جدول (۷): نیروهای برش پایه، لنگرها و تغییرمکانهای مخزن استوانه ای هوایی بتنی با روش طیفی سه مولفه ای

طیف مورد استفاده	V_x (ton) و V_y (ton)	V_z (ton)	لنگر حول محورهای x و y (ton.m)	لنگر حول محور z (ton.m)	Δx(cm) و Δy(cm)	Δz(cm)
طیف ایران	۷۷/۹	۳۸/۱	۱۳۷۵	نزدیک به صفر	۹/۳	۰/۲۹
طیف آمریکا	٦۸/٤	٤۲/٦	۱۲۰۳	نزدیک به صفر	۸/۱	۰/۲٦
طیف هندوستان	۱۹/۹	۱۲/۷	۳۵۱	نزدیک به صفر	۲/٤	۰/۰۸

۱- در مورد مخزن مکعب مستطیلی که تحلیل دو مؤلفه ای گردید نتایج کلاً نسبت به حالت استاتیکی معادل کمتر می باشد که علت آن تفاوت اثر جرمهای مواج در این دو حالت است.

۲- چنانچه مقادیر برش در این حالت هم تراز گردند تفاوت چندانی بین مقادیر لنگرهای واژگونی دیده نمی شود.

۳- در صورت هم تراز کردن برشها، تغییرمکانهای حاصله نیز دارای مقادیر نزدیک به هم خواهند شد.

٤- در مورد مخازن هوایی نیز که به صورت سه مؤلفه ای تحلیل شده اند در صورت هم تراز کردن برشها نتایج مشابه به دست- می آیند.

۸- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی

تحلیلهای تاریخچه‌ای با استفاده از شتابنگاشتهای زلزله های پارک فیلد، ال سنترو و تفت انجام شده اند که نتایج آنها در جدولهای (۸ تا ۱۰) آورده شده اند.

با توجه به این جدولها ملاحظه می گردد که تقریب خوبی بین نتایج حاصل از سه زلزله در مورد مخزن زمینی وجود دارد؛ ولی، در مورد مخازن هوایی مقدار بیشینه های پاسخهای دینامیکی کاملاً متفاوت می باشند. از مقایسه نتایج تحلیل تاریخچه ای با تحلیل طیفی می توان پی برد که استفاده از طیفهای ایران و هندوستان برای مخازن زمینی در جهت اطمینان نمی باشد. همچنین هیچ یک از سه طیف در مورد مخازن هوایی فولادی پاسخ را در جهت اطمینان برآورد- نمی نمایند، حال آنکه در مورد طیفهای ایران و آمریکا در مورد مخزن هوایی بتنی پاسخهای بیشتر از تحلیل تاریخچه ای را به دست می دهند.

۹- نتیجه گیری

۱- استاندارد ژاپن به علت عدم تعیین روش معینی برای محاسبه آثار دینامیکی و عدم ارائهٔ ضریب زلزله خاصی در محاسبات مربوط به قسمت مواج مایع برای استفاده نیاز به مطالعهٔ بیشتر دارد.

جدول (۸): مقادیر بیشینه نیروهای برش پایه و لنگرهای مخزن زمینی بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی دو مولفه ای

زلزله به کار رفته	V_x (ton)	V_y (ton)	M_x (ton.m)	M_y (ton.m)
ال سنترو	٤٦٢	۳۱٦	۱۰۳۰	۱٤٦۰
پارک فیلد	٤٦٢	۳۳٤	۱۰٤۷	۱٤۷۰
تفت	٤٥۰	۳٥۰	۱۱۰	۱٤۲۰

جدول (۹): مقادیر بیشینه نیروهای برش پایه و لنگرهای مخزن هوایی فولادی بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی سه مولفه ای

زلزله به کار رفته	V_x (ton)	V_y (ton)	V_z (ton)	M_x (ton.m)	M_y (ton.m)	M_z (ton.m)
ال سنترو	٤۸/٦	۳۰/۹	۲٥/۳	٤۱۹	٦٦۲	۳۰/۳
پارک فیلد	۹/٦	۱۱/۷	۱۸/٥	۱٥۸	۱۳۱	۷/٤
تفت	٤٥/۰	٤٤/۰	۲٥/۰	٦۰۸	٦۰۸	۱۷/٤

جدول (۱۰): مقادیر بیشینه نیروهای برش پایه و لنگرهای مخزن هوایی بتنی بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی سه مولفه ای

زلزله به کار رفته	V_x (ton)	V_y (ton)	V_z (ton)	M_x (ton.m)	M_y (ton.m)	M_z (ton.m)
ال سنترو	٥٥/٤	۷۲/۳	۳۷/۷	۱۳/٦	۹۹٥	نزدیک به صفر
پارک فیلد	۳۷/۲	۳٥/۸	۱۹/۹	٥۷۰	٦٦٥	نزدیک به صفر
تفت	٦۸/٦	٥۸/٤	۲٥/۸	۹۷٤	۱۱۸۲	نزدیک به صفر

۲- استفاده از استاندارد هندوستان چون از جرم مواج صرفنظر- می‌نماید و این برای وقتی که جرم مواج دارای مقدار بزرگی است صحیح نمی‌باشد توصیه نمی‌شود.

۳- آیین نامهٔ آمریکا در هر دو روش استاتیکی معادل و طیفی برای مخازن زمینی و نیز مخازن هوایی بتنی نسبتاً مناسب است؛ ولی، برای مخازن هوایی فولادی نیاز به بهسازی دارد.

٤- آیین نامه ایران فقط برای مخازن زمینی تا حدودی مناسب می‌باشد و استفاده از آن برای مخازن هوایی توصیه نمی‌گردد.

۵- روش توزیع جرم مایع بین گره ها در مدل *SAP90* برای تحلیل دینامیکی سه مؤلفه ای مخازن استوانه ای جوابهای نسبتاً دقیقی ارائه می‌دهد.

٦- روش توزیع مایع بین گره ها در مدل *SAP90* برای تحلیل دینامیکی چند مؤلفه ای مخازن مکعب مستطیل جوابهای دقیقی ارائه نمی‌نماید و توصیه می‌شود از برنامه های قویتری استفاده گردد.

۱۰- مراجع

1-Housner, G. W., "The Dynamic Behavior of Water Tanks BSSA", Vol. 53, No. 2, pp. 381-387, Feb. 1963.

2-Jacobsen, L.S., "Impulsive Hydrodynamics of Fluid Inside a Cylindrical Tanks and of Fluid Surronding a Cylindrical Pier", BSSA, 1949.

۳- قضایی، علیرضا. "بررسی و مقایسهٔ آیین نامه های طراحی لرزه ای موجود پیرامون مخازن ذخیرهٔ مایعات با کمک تحلیل دینامیکی سه مؤلفه ای"، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد در گرایش سازه های هیدرولیکی به راهنمایی دکتر محمود حسینی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، ۱۳۷۹.

4-Epstein, H. I,. "Seismic Design of Liquid Stovage Tanks, Journal of Stractural Engineering Division, ASCE, Vol. 102,1976.

5-Nicolic-Brazev, S. & Sherstobitoff, J. "An Innovative Application of Damping Devices in Seismic Upgrade of a Water Reservoir", Proc. 12WCEE, Paper No. 2188, New Zealand, 2000.

٦- "ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی"، نشریه شماره ۱۲۳ سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷٤.

7-US Department of the Army, Seismic Design for Buildings, 1982.

8-API-650, Welded Steel Tanks for Oil Storage, American Petrolium Institute, 1993.

9-World List International Association for Earthquake Engineering, 1996.

*hosseini@dena.iiees.ac.ir ◄