

بررسی تجربی میراگر مایعی (TLD) جهت کاربرد در سازه ها

دکتر محمد رضا امامی آزادی^۱، مهندس محمود سعدین^۲

۱- تلفن: ۰۴۱۱۳۳۴۰۳۱۱ dr.emami@azaruniv.edu

۲- تلفن: ۰۹۱۴۴۱۱۲۴۵۳ msadein@yahoo.com

Email: msadein@yahoo.com

خلاصه

امروزه استفاده از روشهای مدرن جذب انرژی نیروهای زلزله و باد و... علاوه بر طرح سازه های مقاوم ، به خصوص در بخش مقاوم سازی سازه های احداث شده نیز، مورد توجه محققین قرار گرفته است، به طوری که با افزودن بعضی سیستم ها در قطعات مختلف سازه (یا احداث شده و یا در حال ساخت) می توان میزانی از انرژی ورودی به سازه را کاسته و در نتیجه پاسخ سازه و خرابی های ایجاد شده را تا حد زیادی تقلیل داد. برای این منظور میتوان از تکنولوژی های جدید در زمینه میراگرها استفاده نمود.

میراگر مایعی تنظیم شده یا TLD یکی از روشهای کنترل غیر فعال در سازه است که از اواسط دهه ۱۹۸۰ میلادی برای کنترل ارتعاشات سازه های مهندسی عمران به کار رفته است. سیستم TLD از یک یا چند مخزن حاوی مایعی که عمدتاً آب می باشد تشکیل می شود که این طرف ها در قسمت بالای سازه نصب شده و از تلاطم آب در این طرفها برای کاهش نوسانات سازه استفاده می شود.

در این مقاله به نحوه ساخت میز لرزه ای حاوی سیستم TLD پرداخته و نتایج آزمایش تجربی تحت فرکانسهای القایی مختلف را مورد بررسی قرار می دهیم که نتایج این بررسی نشان می دهد که وقتی نسبت فرکانس (نسبت فرکانس القایی به فرکانس طبیعی مخزن) به عدد ۱ نزدیک است سیستم TLD می تواند بهترین کارایی را در مستهلک کردن انرژی و افزودن بر میرایی سازه داشته باشد. و همچنین نتایج در این سری از آزمایشات تجربی تطابق بسیار خوبی با رفتار مدل خطی تئوری هاوژنر دارد.

کلمات کلیدی: میراگر مایعی، میز لرزه ، تست سیستم سازه ای، تئوری خطی هاوژنر

مقدمه

ساختمانهای سازه بلند اکثراً در معرض بارهای دینامیکی بزرگی ناشی از عوامل محیطی مختلف می باشند که شامل بارهای ناشی از زمین لرزه و بادهای شدید... است، لذا امروزه یکی از مهمترین مشکلات پیش روی مهندسی سازه ، یافتن راههایی برای کاهش حرکت جانبی سازه و ارتعاشات ایجاد شده در ساختمانهای سازه بلند در جهت افزایش ضریب ایمنی سازه و راحتی و آسایش ساکنین می باشد.

امروزه تعداد زیادی از ساختمان های بلند با گونه های مختلفی از ابزارهای کنترل جابجائی ساخته شده اند که بسیاری از این ابزارهای کنترل جابجائی از نوع منفعل می باشد. از زمره سیستم هایی که امروزه در کنترل ارتعاشات سازه های غیر فعال کار برد دارند میراگرهای ویسکو الاستیک (VEDs) می باشند و همچنین اخیراً میراگرهای قابل تنظیم وزنی (TMDs) و میراگرهای قابل تنظیم مایعی (TMDs) می باشد که در بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشور ژاپن مورد استفاده قرار گرفته است که به طور نمونه می توان به برج Yokohoma Marine اشاره کرد. در مورد انواع میراگرها می توان به میراگرهای اصطکاکی که شامل یک بادی فولادی و قطعات اصطکاکی در اتصالات آن می باشد اشاره کرد. همچنین میراگرهای فلزی که معمولاً از جنس فولادی ساخته می شوند و طراحی آنها طوری است که بر اثر ارتعاشات سازه تحت زلزله این میراگرها دچار تغییر شکل شده و انرژی را تلف می نمایند.

^۱ استادیار گروه مهندسی عمران-دانشگاه تربیت معلم آذربایجان
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی -دانشگاه تبریز

تئوری میراگر مایعی

به علت اینکه خصوصیات مربوط به حرکت موجی آب (Water sloshing) غیر خطی می باشد، تئوری پتانسیل نمی تواند روش مناسبی برای محاسبه آن باشد. ولی برای مخازن عمیق آب که در معرض تحریکات کوچک قرار گرفته اند، سرعت موجی آب می تواند به طور تقریبی توسط تئوری پتانسیل محاسبه شود.

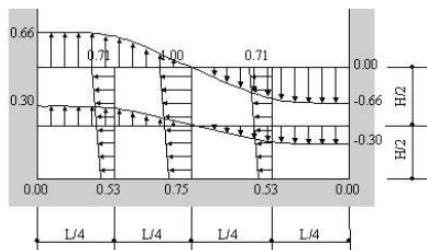
در انجام آزمایشات مربوطه، مخزن TLD یک جسم صلب فرض می شود. در یک مخزن به طول L و عمق آب به اندازه H که در شکل ۱ نشان داده شده است، محورهای X و Z به ترتیب به عنوان محورهای افقی و عمودی انتخاب شده اند. آب موجود در مخزن ایده آل فرض شده است، یعنی تراکم ناپذیر، بدون ویسکوزیته و غیر چرخشی. ⁷⁷ مساوی با جابجائی عمودی در سطح آب مخزن می باشد که همگی مجهولات از روابط زیر قابل محاسبه می باشند.

$$\eta = \frac{1}{g} \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right)_{z=H} = \frac{2C_1 \omega}{g} \cos \frac{\pi x}{L} \sin \omega t \quad (1)$$

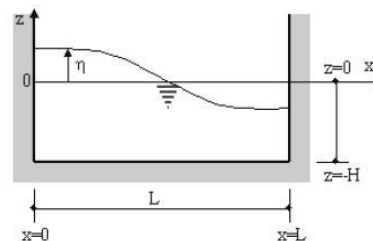
$$\dot{x} = \frac{\partial \phi}{\partial x} = -\frac{2C_1 \pi}{L} \frac{\cosh[\pi(z+H)/L]}{\cosh(\pi H/L)} \sin \frac{\pi x}{L} \cos \omega t \quad (2)$$

$$\dot{z} = \frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{2C_1 \pi}{L} \frac{\sinh[\pi(z+H)/L]}{\cosh(\pi H/L)} \cos \frac{\pi x}{L} \cos \omega t \quad (3)$$

در روابط اخیر g شتاب ثقل زمین، ϕ تابع انرژی پتانسیل، t زمان بر حسب ثانیه، C ثابت معادله و ω سرعت زاویه ای (رادیان بر ثانیه) می باشد و همچنین توزیع سرعت در جهات افقی و عمودی طبق معادلات (۲) و (۳) در شکل شماره ۲ داده شده است.



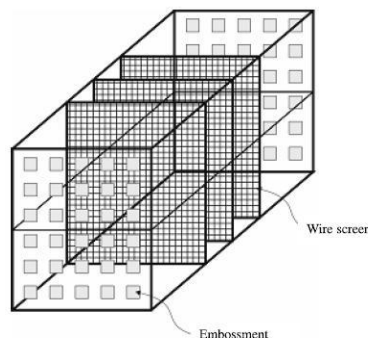
شکل (۲): توزیع سرعت در مخزن



شکل (۱): نمائی از مخزن برای توضیحات مختلف

سرعت افقی در مرکز مخزن دارای بیشترین مقدار بوده و با نزدیکتر شدن به دیوارهای آن از مقدار آن کاسته می شود، سرعت قائم نیز در زیر مخزن دارای مقدار صفر و در دیوارهای آن دارای بیشترین مقدار می باشد. برای افزودن بر میرائی می توان از برجستگی هایی در جداره های کناری مخزن جایی که سرعت قائم بیشترین مقدار را دارد استفاده کرد، که البته ما در این سری از آزمایشات سرعت افقی در مخزن آب را عامل اصلی میرائی سیستم TLD در نظر گرفته و برای افزایش میرائی حرکت موجی آب از صفحات ضربه گیر در مرکز مخزن جاییکه سرعت افقی دارای بیشترین مقدار می باشد و به صورت عمودی نصب می شوند استفاده می کنیم.

در شکل شماره ۳ شماتیکی از مخزن حاوی صفحات ضربه گیر و برجستگی های کناری را مشاهده می فرمائید.



شکل (۳): نمای شماتیکی از مخزن آب که نشان دهنده موقعیت صفحات سیمی و برجستگی ها

رابطه بین ضریب میرائی معادل ξ_{eq} و نسبت دامنه تحریک (D/L) توسط رابطه شماره ۴ در جدول شماره ۱ برای حالت های بدون پره، با یک پره و با دو پره نشان داده شده است. ضریب میرائی معادل بستگی مستقیم به تعداد صفحات ضربه گیر دارد ولی هیچ رابطه ای با ضریب شکل ندارد. با افزایش تعداد صفحات ضربه گیر، ضریب میرائی معادل مربوطه افزایش می یابد، پس ضریب میرائی صفحات ضربه گیر بر اساس تعداد صفحات و محل قرار گیری آنها متفاوت خواهد بود.

$$\xi_{eq} = \alpha \sqrt{\left(\frac{D}{L}\right)^\beta} \quad (4)$$

جدول شماره ۱- میرائی معادل برای حالت های مختلف صفحات ضربه گیر

	α	β	میرائی معادل
بدون پره	۱/۲	۲/۳	۰.۱۵۶
با یک پره	۲/۳	۲/۳	۰.۲۰۸
با دو پره	۳/۳	۲/۳	۰.۳۱۲

در محاسبه η یا همان ماکزیمم بالا آمدگی قائم آب در نزدیکی جداره ها که از روش مدل خطی تئوری هاوژنر استفاده گردید از فرمولهای زیر به ترتیب استفاده شده است.

در ابتدا آزمایش ارتعاش تحمیلی با میدان نوسان القائی ثابت بر روی سیستم TLD با استفاده از میز نوسانگر یک سوپه، به منظور تعیین ضریب بزرگنمایی دینامیکی (D.A.F) انجام پذیرفت که جزئیات مربوط به نیروهای القائی و فرکانس ها در جداول آورده شده است. که برای این کار نیاز به محاسبه فرکانس طبیعی خود مخزن TLD داریم که رابطه مستقیم با نسبت H/L دارد و از رابطه ۵ محاسبه می شود.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi g}{L} \tanh\left(\frac{\pi H}{L}\right)} \quad (5)$$

محاسبه نسبت فرکانس γ یا به عبارتی نسبت فرکانس القائی به فرکانس طبیعی مخزن

$$\gamma = \frac{f}{F_n} \quad (6)$$

ضریب بزرگنمایی دینامیکی (D.A.F) که از رابطه ۷ بدست می آید و بستگی مستقیم به نسبت فرکانس γ و همچنین به میرائی معادل ξ_{eq} دارد، همچنان که در رابطه ۷ نیز دیده می شود وقتی که میزان فرکانس القائی به فرکانس طبیعی مخزن نزدیک باشد و به عبارتی در نزدیکیهای نسبت فرکانس برابر ۱ میزان ضریب بزرگنمایی دینامیکی صرفاً بستگی به میرائی معادل و به عبارتی به تعداد صفحات سوراخدار دارد. که در خلال آزمایشات نیز به این نتایج رسیده ایم که در جداول و نمودار ها ارائه شده است.

$$D.A.F = \frac{\gamma^2}{\sqrt{(1-\gamma^2)^2 + 4\xi^2 \gamma^2}} \quad (7)$$

محاسبه تابع ترانسفر یا همان تابع تبدیل

$$H_{(i\omega)} = D \times D.A.F \quad (8)$$

محاسبه زاویه دوران سطح آب

$$\theta_h = \frac{\pi \times |H_{(i\omega)}|}{L} \times \tanh\left(\frac{\pi H}{L}\right) \quad (9)$$

محاسبه فشار هیدرو دینامیکی آب وارد بر جداره ها

$$P_w = \rho_w \times \frac{L^2}{12} \times \frac{\pi}{2} \times \omega_e^2 \times \theta_h \times \cot gh \left(\frac{\pi H}{L}\right) \quad (10)$$

محاسبه بیشینه جابجائی قائم سطح آب

$$\eta = \frac{P_w}{\rho_w \left(g - \frac{L}{2} \times \omega_e^2 \times \theta_h\right)} \quad (11)$$

نحوه ساخت دستگاه

برای انجام آزمایشات و تست سیستم میراگر مایعی نیازمند ساخت اشل آزمایشگاهی آن بودیم که پس از پیشنهاد شدن ۳ طرح مختلف برای ساخت آن، طرح اولیه ای انتخاب شد که شیوه کار آن بدین ترتیب بود که توسط یک موتور الکتریکی و یک بازوی دینامیکی، حرکت دورانی (چرخشی) را تبدیل به حرکت انتقالی (خطی) می کنیم، که این حرکت خطی میز لرزه ای را که مخزن حاوی مایع روی آن قرار دارد را با فرکانسهای مختلف و با دامنه تحریک ۱۲ سانتیمتر حرکت می دهد. لازم به ذکر است که طول مخزن مدل آزمایشگاهی در این سری از آزمایشات ۶۸.۷ سانتیمتر می باشد. با انتخاب ارتفاع آب مختلف (H) و در نتیجه ضرایب شکل مختلف (H/L)، آزمایشات را با فرکانسهای ۰.۴، ۰.۸، ۱.۰ و ۲ هرتز انجام دادیم که در نهایت، نتایج زیر حاصل گشت:



شکل (۴): نمائی از میراگر TLD سوار بر روی میز لرزه ساخته شده در اشل آزمایشگاهی

جدول شماره ۳- فرکانس تحریک ۰.۴ هرتز حالت بدون پره

L/H	f_n	γ	D.A.F	$H_{(i\omega)}$	θ_h	P_w	η	H	Z theory	Z experimental
20.82	0.41	0.98	2.093	3.115	0.256	665.87	7.2	3.3	10.5	9
10.57	0.573	0.7	0.83	0.1048	0.1383	388.104	4.17	6.5	10.67	11.25
5.97	0.74	0.54	0.392	0.049	0.1083	300.095	3.57	11.5	15.07	16
4.04	0.86	0.46	0.267	0.0325	0.0967	269.42	3.05	17	20.05	22
3.04	0.94	0.426	0.217	0.0262	0.0928	257.67	2.99	22.6	25.59	26.5

جدول شماره ۳ - فرکانس ۰.۴ حالت ۱ پره

L/H	f_n	γ	D.A.F	$H_{(i\omega)}$	θ_h	P_w	η	H	Z theory	Z experimental
20.82	0.41	0.98	2.093	0.2512	0.172	470.37	4.83	3.3	8.13	6.25
10.57	0.573	0.7	0.83	0.0996	0.1313	366.58	3.97	6.5	10.47	10
5.97	0.74	0.54	0.392	0.047	0.1039	287.71	3.3	11.5	14.8	14.37
4.04	0.86	0.46	0.267	0.032	0.0961	267.75	3.03	17	20.03	20.75
3.04	0.94	0.426	0.217	0.026	0.0921	255.69	2.94	22.6	25.54	25.6

جدول شماره ۴ - فرکانس ۰.۴ حالت ۲ پره

L/H	f_n	γ	D.A.F	$H_{(i\omega)}$	θ_h	P_w	η	H	Z theory	Z experimental
20.83	0.41	0.98	1.603	0.1923	0.132	360.981	3.79	3.3	7.09	5.5
10.57	0.573	0.7	0.78	0.0936	0.1234	341.82	3.69	6.5	10.19	9.5
5.97	0.74	0.54	0.371	0.0446	0.0982	271.679	3	11.5	14.5	14
4.04	0.86	0.46	0.258	0.0309	0.0908	252.98	2.84	17	19.84	19.75
3.04	0.94	0.426	0.211	0.0253	0.089	248.75	2.85	22.6	25.45	25.5

همانطوریکه در اشکال 6a ملاحظه می شود ، در آزمایشات با فرکانسهای تحریک پائین $f=0.4\text{Hz}$ مخزن که روی ریل انجام گرفت ، ضریب بزرگنمایی دینامیکی (D.A.F) از مقادیر کوچکتر از ۱ برای مقادیر ضریب شکل $L/H < 10$ یعنی ارتفاع آب در حالت ساکن $H > 10$ به صورت غیر خطی تا مقادیر بالاتر از $D.A.F=1.5$ به ازاء نسبت ضریب شکل $10 < L/H < 20$ تغییر می نماید. تغییرات D.A.F در این محدوده در حالیکه به ازاء $H=3.3\text{cm}$ در این حالت $D.A.F=3.115$ از آزمایشات حاصل گردیده است به ازاء ارتفاع آب مخزن $H=22.6\text{cm}$ ، $D.A.F=0.22$ بدست آمده است.

نیروی هیدرو دینامیکی وارده بر جدار مخزن P_w در حالت اول یعنی $H=3.3\text{cm}$ ، نسبت به حالت $H=22.6\text{cm}$ حدود ۲.۵۸ برابر می باشد ، در حالیکه نیروی هیدرو استاتیکی حالت اخیر نسبت به حالت $H=3.3\text{cm}$ ۴۶.۹ برابر می باشد.

در این سری از آزمایشات پاششی جزئی ملاحظه گردید. نکته جالب توجه این است که به ازاء $L/H=20.8$ ، ضریب بزرگنمایی دینامیکی D.A.F در حالت یک پره به ۲.۰۹۳ و در حالت دو پره به ۱.۶۰۳ تنزل پیدا نموده است که این موضوع به ترتیب بیانگر کاهش ۳۲.۸٪ و ۴۸.۵٪ به ازاء افزودن یک پره و دو پره سوراخدار می باشد.

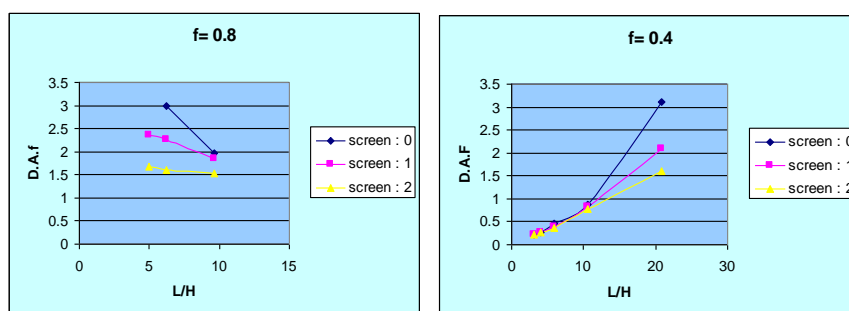
ماکزیمم خطای مشاهده شده بین آزمایشات و تئوری هاووزنر در حدود ۱۴.۳٪ می باشد. با توجه به خطاهای اندازه گیری ، خطای دستگاهی (میز لرزه) ، و همچنین تقریبی بودن تئوری خطی هاووزنر در محاسبه Z و... این مقدار حداکثر خطا قابل قبول می باشد.

در شکل 5b نمودار تغییرات ضریب D.A.F بر حسب ضریب شکل L/H اینبار در سری آزمایشات با فرکانس تحریک $f=0.8\text{Hz}$ مخزن در حالتی بدون پره ، با یک پره و با دو پره ملاحظه می شود. در این سری از آزمایشات ارتفاع سطح آب ساکن در مخزن قبل از ارتعاش از 7.1cm تا

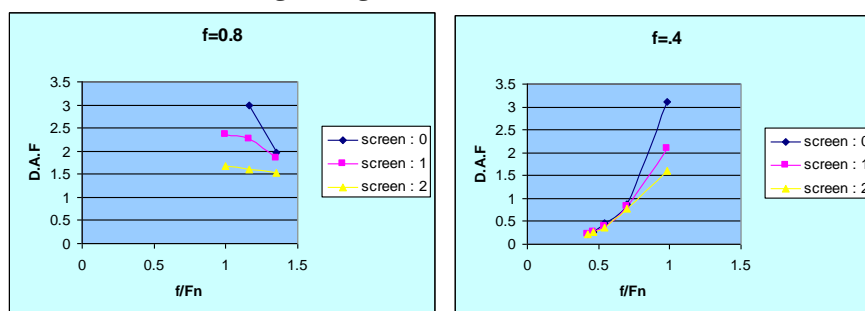
13.7cm انتخاب گردید. بر اساس مشاهدات در حین آزمایشات D.A.F از مقادیر بالاتر از ۳ تا کمتر از ۲ در حالت بدون پره و در حالت‌های با یک پره و دو پره از ۲.۳۶ به ۱.۸۴ و ۱.۶۸ تا ۱.۵۳۳ تغییر نمود. همانند شکل قبلی شیب تغییرات D.A.F به L/H برای حالت بدون پره بسیار زیادتر بوده و در اینحالت به ازاء H=13.7 به علت پاشش شدید آب در مخزن و پرش هیدرولیکی قابل ملاحظه تقریباً ورق محافظ یونولیت بالای مخزن به بیرون پرتاب شد و ارتفاع آب تا حد بالای 60~70cm مشاهده گردید که به علت پاشش شدید قطرات آب این اندازه گیری قابل استناد نبود.

علت روند نزولی نمودارهای شکل 5b بر خلاف نمودارهای صعودی شکل 5b این است که در حالت اول $\gamma \geq 1.0$ بوده و در حالت قبلی نسبت فرکانس همواره $0.426 \leq \gamma \leq 1.0$ قرار داشت.

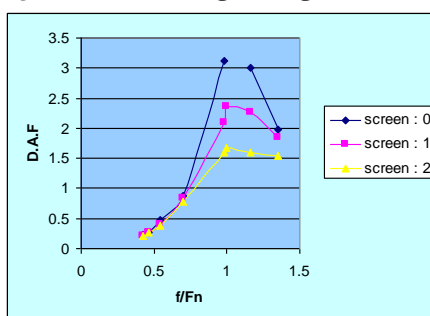
میزان کاهش ضریب D.A.F در آزمایشات انجام یافته با فرکانس تحریک $f=0.8\text{Hz}$ برای حالت با یک پره و با دو پره به ترتیب برابر ۳۰.۵٪ و ۵۱٪ میباشد که این میزان کاهش با حالت قبلی ارتعاش مخزن با فرکانس $f=0.4\text{Hz}$ قابل مقایسه می باشد. با روند افزایش $L/H > 10$ یا $\gamma \geq 1.0$ سه منحنی (نمودار) به همدیگر نزدیکتر میشوند که این امر کاملاً از دینامیک خطی سازه ها و سیالات قابل پیش بینی می باشد. نمودارهای ترسیم شده در شکل ۸ از نتایج کلی آزمایشات به استثنای $f=1\text{Hz}$ و $f=2\text{Hz}$ را شامل می شوند. همانگونه که در این شکل ملاحظه می گردد ، به ازاء یک پره میزان کاهش در حداکثر D.A.F در نزدیکی نسبت فرکانس ۱ حدود ۳۰٪ میباشد که این امر نشانگر تاثیرات میرایی قابل ملاحظه افزودن یک پره به تنهایی می باشد. پیش بینی می شود که افزودن سه پره تاثیر زیادی روی میرایی مخزن نگذارد. اشکال a,b,c۹ نمودارهای محاسباتی و مشاهداتی Z بر حسب H را در مخزن ، در این سری از آزمایشات TLD را نشان می دهد و ملاحظه می گردد که نتایج تئوریک و تجربی بسیار نزدیک به هم بوده و همخوانی خیلی خوبی دارند. در این بخش از آزمایشات به ازاء $H < 5\text{cm}$ مقدار خطای اندازه گیری نسبت به محاسبات اندکی افزایش یافته است که علت آن دقت اندازه گیریها ، خطای محاسباتی ، دقت دستگاه و... بوده است.



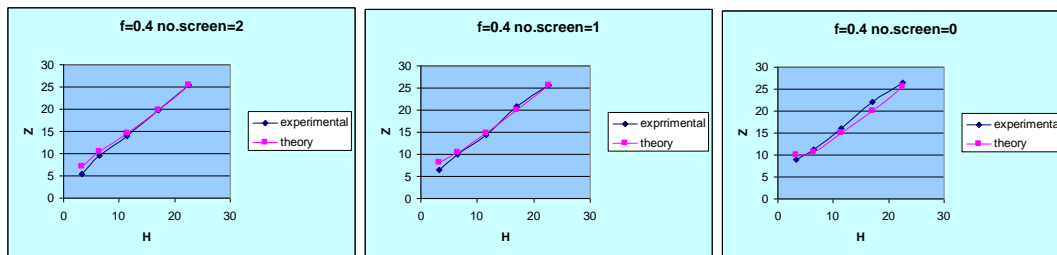
اشکال 6 - a,b - نمودارهای تغییرات ضریب بزرگنمایی دینامیکی بر حسب ضریب شکل



اشکال 7 - a,b - نمودارهای تغییرات ضریب بزرگنمایی دینامیکی بر حسب نسبت فرکانس f/f_n برای فرکانس های ۰.۴ و ۰.۸ هرتز



شکل 8 - نمودارهای تغییرات ضریب بزرگنمایی دینامیکی بر حسب نسبت فرکانس f/f_n برای مخزن با تعداد پره های مختلف



اشکال 9- a,b,c- نمودار های تغییرات ارتفاع سطح موج (z) نسبت به کف مخزن بر حسب ارتفاع سطح آب داخل مخزن در حالت های فرکانس ۰.۴ هرتز و با تعداد پره های ۰ و ۱ و ۲.

نتیجه گیری

- ۱- با توجه به تغییرات پیروید طبیعی میراگر مایعی بکاررفته در این سری از آزمایشات که به صورت تابعی از نسبت (ضریب شکل مخزن) نامیده شده نسبت میرائی معادل برای فرکانسهای تحریک ۰.۴ و ۰.۸ و ۱ و ۲ هرتز از روابط داده شده در متن که از آنالیز رگرسیون بدست می آیند تبعیت نموده است.
- ۲- نسبت های میرائی مشاهده شده از محدوده های ۰.۱۵۶ و ۰.۲۰۸ و ۰.۳۱۲ برای مخزن ساخته شده به طول ۶۸.۷ سانتیمتر برای ارتفاع متغیر سطح آب داخل مخزن از ۳.۳ تا ۲۲.۶ تغییر نمود.
- ۳- همچنین ضریب بزرگنمایی دینا میکی در این سری از آزمایشات میراگر مایعی بستگی مستقیم به نسبت فرکانس مخزن یا به عبارتی فرکانس تحریک خود مخزن و نیز ارتفاع آب درون مخزن دارد.
- ۴- علاوه بر مشاهدات فوق نشان داد که ضریب بزرگنمایی دینامیکی و میرائی معادل بستگی مستقیم به تعداد صفحات سوراخدار (پره های ضربه گیر) دارد. بدین ترتیب که با افزودن تمها یک پره ضریب بزرگنمایی دینا میکی در نسبت فرکانس ۱ از حدود بالای ۳.۵ به کمتر از ۲.۵ تقلیل یافت و نیز افزودن ۲ پره هم باعث افزایش بیشتر میرائی معادل و کاهش ضریب بزرگنمایی دینامیکی گردید. در واقع به علت کاهش طول موثر مخزن فرکانس طبیعی میراگر مایعی متاثر از این امر تغییر یافت که در عمل این موضوع در رابطه خود میرائی معادل ظاهر گردیده است.
- ۵- عملا پاشش در مخزن میراگر مایعی در فرکانسهای بالای ۱ هرتز و در فرکانس ۲ هرتز کاملا مشهود بوده و در طی آزمایشات نتایج ثبت شده دال بر شکستن موج در جریان آزمایشات بوده و خطای ناشی از این امر در محاسبات نیز به وضوح دیده می شود که علت این امر را می توان به غیر خطی بودن موج سیال ایجاد شده در داخل مخزن نسبت داد که از مدل خطی تئوری هاوونر تبعیت نمی نماید. برای بهتر شدن و یا واقعی نمودن مقایسات بهتر است در آزمایشات بعدی طول مخزن را افزایش داد و نیز از مدل غیر خطی موج استوکس مراتب بالای ۵ برای پیش بینی ارتفاع حداکثر آب در نقطه اوج استفاده نمود.
- ۶- با توجه به اینکه میرائی معادل مخزن تا حد زیادی به وجود پره ها در حین آزمایش بستگی دارد در آزمایشات بعدی بایستی تغییرات شکل سوراخها و قطر آنها و نحوه قرار گیری پره ها مد نظر باشد.
- ۷- آزمایشات فاز بعدی شامل مراحل کوپلینگ سازه - مخزن میراگر مایعی است تا بتوان تاثیرات میراگر مایعی و سختی سازه و میرائی سازه ای را یکجا بررسی نمود.
- ۸- در طی آزمایشات فازهای بعدی در صورت امکان اثرات اندر کنش خاک - سازه و مخزن نیز بررسی خواهد شد تا به مدل رفتار واقعی سازه مجهز به سیستم میراگر مایعی دست یافت.

مراجع

- [1] Chopra, A.K. 1995. Dynamic of structure: "Theory and Application to Earthquake Engineering". Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- [2] Daewoo Institute of Construction Technology. 1996. "The Design and Analysis of Tall Buildings". Technical report DEP-007-96.
- [3] Young-Kyu Ju, 2004. "Structural Behavior of Water Sloshing Damper with Embossments Subject to Random Excitation". 31:120-132(2004)

- [4] Li, S.J., Li, G.Q., Tang, J., and Li, Q.S.2002."Shallow Cylindrical Tuned Liquid Damper for Vibration Control of High-Rise Structures."The Structural Design of Tall Buildings, 11(4):295-308
- [5] Reed, D., Yu, j.K., Yeh, H., and Gardarsson, S.1998."Investigation of Tuned Liquid Dampers under Large Amplitude Excitation." ASCE Journal of Engineering Mechanics, 124(4):405-413.
- [6] M.j.Tait, A.A.El Damatty, N.Isyumov, M.R.Siddique.2005."Numerical Flow Models to Simulate Tuned Liquid Dampers (TLD) With Slat Screens" .Journal of Fluids and Structures 20(2005)1007-1023
- [7] Emami Azadi and Moan T. 1996 "Ductility Demand Analysis of Simplification Pile-Soil-Jacket System Under Extreme Sea Waves and Earthquakes "Proc, Of, Eurodyn 96 Conf. , pp ,1025-1034