

تحلیل رفتار دینامیکی سیال و لنگرهای بیشینه در مخازن بتنی مدفون فریدون رضایی، آرین هل فروش

دانشیار، دانشگاه بوعلی سینا

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه

Email: Aryan.helforoosh@gmail.com

چکیده

مخازن بتنی یکی از سازه‌های مهم در نگهداری سیالات به منظور ذخیره سازی و استفاده در شبکه‌های انتقال می‌باشند. این مخازن مستطیلی معمولا دارای اشکال ثابتی در پلان و ارتفاع بوده و با توجه به میزان دبی ورودی، شرایط زمین ساختگاه، نوع بار استاتیکی و دینامیکی طراحی و محاسبه می‌گردد. در این تحقیق ابتدا جهت استقرار دو نوع سیال مختلف با نام‌های آب و فسفات بارهای هیدرواستاتیکی محاسبه گردیده و سپس برای مخزن ۲۵۰ مترمکعبی با ابعاد و ارتفاع‌های متفاوت تنش‌ها و لنگرهای وارده به کمک مدل ریاضی محاسبه گردیده است. در مرحله بعد بر پایه تحلیل مخزن الگوریتمی محاسبه گردیده تا بر اساس آن ضخامت بهینه مخازن با توجه به لنگرهای وارده محاسبه و در نهایت وزن میلگرد مصرفی محاسبه گردد. الگوریتم و نمودارهای مقایسه ای مخازن نشان می‌دهد با استفاده از لنگر خمشی ضمن تعیین و طراحی ضخامت اعضای سازه جهت مقاومت در برابر نیروهای برشی وارده می‌توان مقادیر میلگرد مورد نیاز را در اعضا به همراه مقادیر اضافی در نقاط تمرکز تنش محاسبه نمود. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که با افزایش ارتفاع سازه مخازن، میلگرد مورد نیاز و حجم بتن مصرفی در دیوار طولی و عرضی آن‌ها افزایش می‌یابد. بررسی روند تغییر شکل‌ها و رفتار ارتعاشی مخازن ذخیره سیال نشان می‌دهد که در مخازن با ارتفاع کمتر مودهای اول و دوم نوسان بیشترین تغییر را ناشی می‌شود.

واژگان کلیدی: مخازن بتنی، رفتار دینامیکی، بهینه سازی، الگوریتم مقایسه‌ای

1- Abstract

One of the important structures in concrete tanks for storage and maintenance fluids are used in transmission networks. These tanks are usually rectangular in plan and elevation has been fixed bugs. According to the input, site ground conditions, static and dynamic load and is calculated design. In this study, to establish two different fluids, namely water and phosphate hydrostatic loads is calculated.

Then 250 cubic meters of tank dimensions and different heights tensions and moments acting on the mathematical model is calculated. Then, based on analysis of reservoir calculation algorithm has been optimized based on the thickness of the reservoir anchors damages were calculated according to weight rebar consumption is calculated.

Charts show a comparison algorithm tanks using the moment to determine the thickness of structural members designed to resist shear forces can be sustained in the amounts required reinforcement members with additional amounts calculated stress concentration points. According to the results we can say that at the height of the structures tanks, fittings required and the volume of concrete used in the longitudinal and transverse walls of increases. To assess changes in the vibration behavior of shapes and fluid storage tanks according to modal analysis shows that the tanks with less height of the first and second oscillation modes biggest change comes.

Key words: Concrete tanks, dynamic behavior, optimization, comparison algorithm.

۱- مقدمه

مخازن مدفون سیال کاربرد گسترده‌ای در ذخیره آب شرب و آتش نشانی، فاضلاب، نفت، مواد شیمیایی سمی و سایر مایعات مشابه دارند. بنابراین با توجه به نوع کاربری آنها، این مخازن بطور معمول در رده سازه‌های با اهمیت خیلی زیاد قرار دارند. در نتیجه طراحی آن‌ها در برابر بارهای لرزه‌ای و عملکرد مناسب آن‌ها در هنگام زلزله از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد.

شکست سازه‌ای مخازن پس از وقوع زلزله، علاوه بر زیان اقتصادی ممکن است قطع آب، آتش‌سوزی‌های کنترل نشده، اتلاف و نشت مواد شیمیایی سمی یا آلوده‌کننده محیط‌زیست را به همراه داشته باشد، که گاهی خسارت‌هایی بیش از خود زلزله را باعث می‌شوند. با توجه به موقعیت لرزه‌خیزی کشورمان بررسی رفتار این مخازن در برابر بارهای لرزه‌ای از اهمیت بسزایی برخوردار است.

اگرچه مطالعات گسترده‌ای در گذشته بر روی مخازن صورت گرفته، اما اغلب در مورد مخازن دایره‌ای، بخصوص مخازن فولادی بحث شده و توجه کمی به پاسخ دینامیکی بر روی مخازن بتنی مستطیلی شده است. برای بررسی رفتار دینامیکی مخازن موارد اساسی متعددی را باید در نظر گرفت که از آن جمله می‌توان به اندرکنش بین سیال و سازه تحت بار زلزله اشاره نمود.

از عوامل تعیین کننده در تحلیل و بررسی رفتار سازه‌های مدفون متشکل از دال‌ها و دیوارها، می‌توان از موقعیت جغرافیایی سازه، شرایط سیال‌ها، ضریب رفتار سازه، شرایط منظمی و نا منظمی سازه نام برد، که ممکن است سازه تحت تاثیر آنها نتایج تحلیل متفاوتی داشته باشد. در طول تحقیق فرضیات اولیه یکسانی برای بررسی چندین سازه با پلان مشابه و شرایط سیال متفاوت (شامل ۲ نوع سیال مختلف) و شرایط ارتفاعی مختلف با ارتفاع های ۳/۵، ۴/۵، ۶ و ۷ متری در نظر گرفته می‌شود و نتایج حاصل شده مقایسه می‌گردد.

در این تحقیق با تحلیل رفتارهای استاتیکی و دینامیکی سازه‌های مدفون تحت شرایط مختلف سیال‌ها و با افزایش ارتفاع سازه‌ها، اندرکنش های دیوارها و سیال را مورد بررسی قرار داده تا با تحلیل نتایج، شرایط بهینه ارتفاعی این سازه‌ها، مد های نوسانی غالب این سازه‌ها، شرایط استهلاک انرژی بر حسب نیرو و تغییر مکان محاسبه و تحلیل گردیده، و در نهایت ارتفاعی بهینه برای این سازه‌ها محاسبه و در صورت افزایش مقدار سیال شرایط بهینه برای این سازه‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مطالعات انجام شده بر روی مخازن

تاریخچه ساخت مخازن بتنی مدفون در خاک به سال ۱۹۱۴ برمی‌گردد که اولین بار در توکیو ساخته شد (۱). بعداً در خلال جنگ جهانی دوم برای ذخیره‌سازی سوخت کشتی‌ها اینگونه مخازن احداث شد. اما در مورد مطالعه رفتار دینامیکی مخازن، یاکوبسن^۱ جزو اولین محققانی بود که مطالعاتی را بر روی رفتار دینامیکی مخازن آب انجام داد بعد از آن هاوونتر^۲ در سال ۱۹۵۷ روش تقریبی را برای محاسبه توزیع فشار و ارتفاع امواج سطحی مایع در مخازن استوانه‌ای و مستطیلی تحت اثر نوسان افقی تکیه‌گاه ارائه نمود (۲). هارون^۳ این مطالعات را برای مخازن انعطاف‌پذیر گسترش داد (۳). او در ادامه در سال ۱۹۹۲ مدلی تجربی برای مخازن مستقر بر روی خاک را برای در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و مخزن ارائه نمود. در سال ۱۹۶۰ لایزمر^۴ استفاده از مرزهای جاذب ویسکوز را در اطراف محیط محدود برای مدل کردن محیط نیم بینهایت مطرح نمود. اما مشکل عمومی این مرزهای پیشنهادی محدود بودن کاربرد آن‌ها برای تحلیل در حوزه فرکانسی بود. در ایران نیز تحقیقاتی در زمینه رفتار دینامیکی مخازن مدفون انجام شده است، آقای خواجه احمد عطاری در زمینه اثر عمق دفن‌شدگی در رفتار لرزه‌ای مخازن مدفون مطالعاتی را انجام داده‌اند (۴) و آقای خداوردی رفتار دینامیکی مخازن مدفون را در انواع مختلفی از خاک بررسی کرده‌اند (۵). در این تحقیق ۴ سازه با شرایط ارتفاعی مختلف و پلان‌های متفاوت (شکل های ۱ تا ۴) تحت اثر سیالات آب و فسفات مورد مطالعه قرار گرفته است (جدول شماره ۱). اثر نوع سیال بر نیروها و تنش‌های وارده بر جداره مخزن بررسی شده است. نتایج تحلیل نشان‌دهنده وجود اختلاف در رفتار لرزه‌ای مخزن برای سیالات مختلف تحت رکورد زلزله‌های مختلف می‌باشد که از این نتایج می‌توان در رفتارسنجی طراحی مخازن برای سیالات مختلف استفاده کرد.

جدول ۱: مشخصات مخازن مورد بررسی

مخزن شماره	ابعاد پلان		ارتفاع (m)	ارتفاع آب (m)	ضخامت سقف (cm)	ضخامت پایین دیوار (cm)	ضخامت بالای دیوار (cm)	سیال‌های مورد بررسی
	طول (m)	عرض (m)						
۱	۱۲	۷	۳/۵	۳	۲۰	۵۰	۳۰	آب و فسفات
۲	۱۰/۵	۶	۴/۵	۴	۲۰	۶۰	۳۵	آب و فسفات
۳	۹	۵/۵	۶	۵/۵	۲۰	۷۰	۴۰	آب و فسفات
۴	۸/۵	۴/۵	۷	۶/۵	۲۰	۷۵	۴۰	آب و فسفات

۳- بررسی اندرکنش آب و سازه در مخازن مدفون

معادله حاکم بر رفتار آب که از ترکیب دو قانون بقای جرم و حرکت بدست می‌آید، برای یک سیال غیرلزج، تراکم‌ناپذیر و غیرچرخشی بصورت زیر می‌باشد.

$$\nabla^2 \phi = 0$$

در این رابطه ϕ تابع پتانسیل سرعت می‌باشد. با داشتن شرایط مرزی می‌توان فشار هیدرودینامیکی وارد بر مخزن را تعیین نمود. بطور خلاصه سه شرط مرزی بصورت زیر مدنظر قرار می‌گیرد.
فشار در سطح آزاد

$$\frac{\partial \phi}{\partial t}(x, y, t) = 0$$

سرعت در کف مخزن

$$\frac{\partial \phi}{\partial y}(x, y, t) = 0$$

سرعت در دیواره مخزن در مرز سیال، سازه

$$\frac{\partial \phi}{\partial x}(x, y, t) = u(t)$$

همانطور که مشاهده می‌شود برای تعیین سومین شرط مرزی نیاز به تعیین سرعت حرکت دیواره در مرز سیال و سازه می‌باشد و مقدار سرعت نیز از حل معادله حاکم بر سازه که در رابطه زیر ارائه شده است تعیین می‌گردد.

¹ -Yacoubssene

² -Havezner

³ -Haroun

⁴ -Lysmer

$$[M] \{\ddot{u}\} + [C] \{\dot{u}\} + [K] \{u\} = \{F\}$$

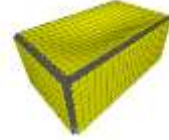
که در این رابطه $\{F\}$ نیروی ناشی از فشار هیدرودینامیکی می‌باشد. بنابراین ملاحظه می‌گردد که دو رابطه فوق به یکدیگر وابسته بوده و حل دو معادله بایستی توأمأ صورت پذیرد (۶).

۴- روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

نرم افزار SAP2000 برای انجام تحلیل‌های خطی استاتیکی و دینامیکی طیفی مورد استفاده واقع گردید و همچنین از نرم افزارهای EXCEL و MATLAB نیز جهت بررسی خروجی‌های تحلیل و ایجاد گرافها و نمودارها بر حسب مورد بهره گرفته شد.



شکل ۲: مخزن شماره ۱ با ابعاد ۱۲×۷×۳/۵



شکل ۱: مخزن شماره ۲ با ابعاد ۱۰/۵×۶×۴/۵



شکل ۴: مخزن شماره ۳ با ابعاد ۹×۵/۵×۶



شکل ۳: مخزن شماره ۴ با ابعاد ۸/۵×۴/۵×۷

۵- بارگذاری سازه‌های مورد مطالعه

در بارگذاری مخازن، جدار سازه از نوع سخت فرض می‌شود، لذا مطابق تئوری هاسنر^۵، مدل دینامیک مایعات با ویسکوزیته ای در حدود آب که درون مخزنی با جداره سخت قرار دارند، مدلی با ۲ درجه آزادی است. یک درجه آزادی مربوط به جرمی شامل وزن آن قسمت از مایع که همراه مخزن نوسان می‌کند و جرم سخت نامیده می‌شود و یک درجه آزادی شامل وزن آن قسمت از مایع درون مخزن می‌باشد که به طور مستقل با زمان تناوبی به مراتب بزرگتر از زمان تناوب قسمت سخت و سازه نوسان می‌کند و جرم مایع نامیده می‌شود (۷). با توجه به تغییرات فشار آب در هنگام زلزله، برای اعمال این فشار جانبی در حالت دینامیکی می‌توان از روابط موجود در آیین نامه مخازن بتنی آمریکا^۶ استفاده نمود و بارهای جرم سخت و موج و زمان تناوب و محل اثر آن‌ها را محاسبه نمود (۸). در این تحقیق ضمن محاسبه تمام این بارها برای ۸ مخزن مورد مطالعه، شرح مختصری از روند تحلیل و محاسبه بارها به صورت زیر آورده شده است.

۶- فشار استاتیکی سیال (F_s)

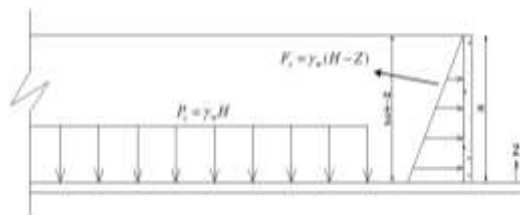
با توجه به شکل ۵، فشار استاتیکی سیال از رابطه زیر بدست می‌آید (۸). که در این رابطه متغیرهای تعریف شده به صورت زیر می‌باشد.

F_s : فشار استاتیکی سیال برای مخازن بر حسب کیلوگرم بر متر مربع

γ_w : چگالی سیال بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب

h : ارتفاع آب درون مخزن بر حسب متر

$$F_s = \gamma_w (h - Z)$$



⁵-Housner

⁶-ACI 350

شکل ۵: فشار استاتیکی سیال به کف و دیواره مخزن

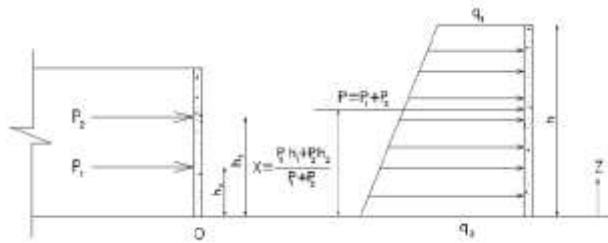
برای محاسبه فشار استاتیکی سیال و در نظر گرفتن آن در مدل نرم افزاری باید معادله خطی محاسبه شود که این معادله خط بر اساس چگالی آب و فسفات که به ترتیب ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب می‌باشند محاسبه گردیده است (جدول شماره ۲).

جدول ۲: فشار استاتیکی مخازن (F_s)

شماره مخزن	h (m)	آب F_s	فسفات F_s
۱	۳	$F_s = -1000Z + 3000$	$F_s = -1400Z + 4200$
۲	۴	$F_s = -1000Z + 4000$	$F_s = -1400Z + 5600$
۳	۵/۵	$F_s = -1000Z + 5500$	$F_s = -1400Z + 7700$
۴	۶/۵	$F_s = -1000Z + 6500$	$F_s = -1400Z + 9100$

۷- محاسبه فشار دینامیکی سیال (F_d)

برای محاسبه فشار دینامیکی سیال به کمک شکل ۶ به صورت زیر عمل می‌کنیم (۸).



شکل ۶: نمایش نیروهای وارد بر دیواره مخزن

$$\sum F = 0 \rightarrow P_1 + P_2 = \left(\frac{q_1 + q_2}{2}\right) \times h \times l$$

$$q_1 + q_2 = \frac{2(P_1 + P_2)}{hl}$$

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow P_1 h_1 + P_2 h_2 = \left[\left(q_1 h \times \frac{h}{2} \right) + (q_2 - q_1) \times \frac{h}{2} \times \frac{h}{3} \right] l$$

$$P_1 h_1 + P_2 h_2 = \frac{(2q_1 + q_2) h^2 l}{6}$$

$$2q_1 + q_2 = \frac{6(P_1 h_1 + P_2 h_2)}{h^2 l}$$

به کمک شکل برای محاسبه فشار دینامیکی سیال (F_d) در کف مخزن و در سطح آب به روابط فوق الذکر رسیده که برای محاسبه فشار دینامیکی در کف مخزن (q_1) و فشار دینامیکی در سطح آب (q_2) از این روابط به صورت ۲ معادله و ۲ مجهول استفاده می‌شود و سپس معادله خط فشار دینامیکی سیال برای دیوار طولی و عرضی محاسبه می‌گردد (جدول شماره ۳).

q_1 : فشار دینامیکی در کف مخزن بر حسب کیلو گرم بر متر مربع

q_2 : فشار دینامیکی در سطح آب بر حسب کیلو گرم بر متر مربع

p_1 : نیروی جانبی ناشی از جرم سخت بر حسب کیلوگرم

p_2 : نیروی جانبی ناشی از جرم مواج بر حسب کیلو گرم

h_1 : محل اثر نیروی جانبی ناشی از جرم سخت بر حسب متر

h_2 : محل اثر نیروی جانبی ناشی از جرم مواج بر حسب متر

l : طول دیوار مورد نظر (طولی یا عرضی) بر حسب متر می‌باشد.

جدول ۳: فشار دینامیکی سیال برای دیوار طولی و عرضی در حالیکه از آب پر است

شماره مخزن	دیوار طولی آب		دیوار طولی فسفات		دیوار عرضی آب		دیوار عرضی فسفات	
	q_1	q_2	q_1	q_2	q_1	q_2	q_1	q_2

۱	۴۲۴/۹۳	۱۲۴۶/۸۵	۶۰۰/۸۷	۱۷۳۹/۶۳	۹۷۸/۸۳	۳۱۲۶/۳۳	۱۳۸۱/۷۶	۴۳۶۵/۴۷
۲	۴۵۶/۷۷	۱۴۵۱/۶۵	۶۳۶/۱۷	۲۰۳۵/۶۱	۱۰۰۸/۰۶	۳۴۹۴/۸۸	۱۳۹۹/۹۸	۴۹۰۴/۱۴
۳	۵۰۶/۸۳	۱۸۱۹/۹۴	۷۰۹/۵	۲۵۴۷/۹۸	۵۷۷/۴۳	۳۸۶۲/۲۱	۸۰۹/۳۵	۵۴۰۶/۱۴
۴	۹۱۵/۳	۱۱۸۹/۳۲	۱۲۸۱/۴۳	۱۶۶۵/۰۳	-۷۴۷/۲۶	۵۲۷۶/۷۳	-۱۰۴۶/۱۷	۷۳۸۷/۴۳

با استفاده از q_1 و q_2 ، معادله خط فشار دینامیکی سیال از کف مخزن تا سطح آب برای دیوار طولی و عرضی بدست می‌آید که در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: معادله خط فشار دینامیکی سیال برای دیوار طولی و عرضی زمانیکه مخازن از آب پر هستند

شماره مخزن	دیوار طولی آب	دیوار طولی فسفات	دیوار عرضی آب	دیوار عرضی فسفات
۱	$F_d=273/97z+1246/85$	$F_d=-379/59z+1739/63$	$F_d=-715/83z+3126/33$	$F_d=-994/57z+4365/47$
۲	$F_d=-248/72z+1451/65$	$F_d=-349/86z+2035/61$	$F_d=-621/71z+3494/88$	$F_d=-876/04z+4904/14$
۳	$F_d=-238/75z+1819/94$	$F_d=-334/27z+2547/98$	$F_d=-597/23z+3862/21$	$F_d=-835/78z+5406/14$
۴	$F_d=-42/16z+118932$	$F_d=-59/02z+1665/03$	$F_d=-926/77z+5276/73$	$F_d=-1297/48z+7387/43$

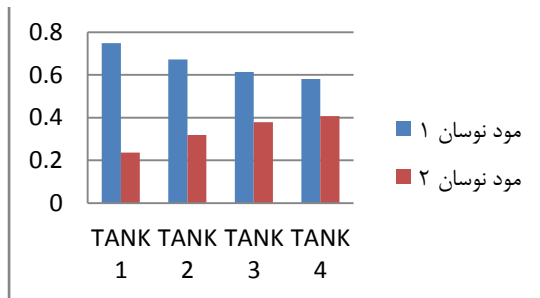
فشار استاتیکی و دینامیکی سیال وارد بر کف و دیواره مخزن نسبت مستقیم با وزن سیال دارد. بنابراین در طراحی مخازن باید نوع سیال مشخص باشد تا نتایج معقول و اقتصادی بدست آید. در این تحقیق از دو نوع سیال با نام های آب و فسفات استفاده گردیده تا فشارهای استاتیکی و دینامیکی وارد بر کف مخزن اندازه گیری و سپس در مدل سازه ای اعمال گردد. اعداد فوق بیانگر آن است که هر چقدر ارتفاع سیال افزایش یابد و چگالی سیال نیز افزایش یابد معادله بدست آمده نتایج بزرگتری خواهد داشت.

۸- آنالیز مودال مخازن پر شده با آب و فسفات

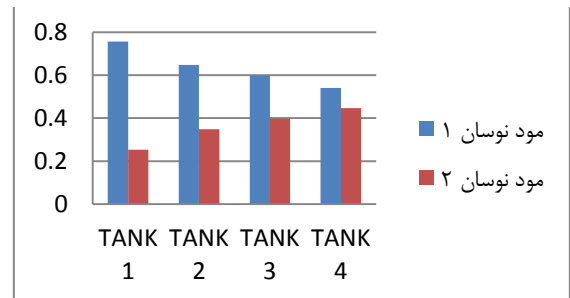
در این تحقیق کلیه سازه‌ها با سیال آب و فسفات و با تحلیل دینامیکی و تحلیل مودال مورد بررسی قرار گرفت. حال نتایج به دست آمده (جدول شماره ۵۲) از تحلیل مدهای نوسان در مخازن مستطیلی صلب به صورت زیر است (شکل های ۷ تا ۸).

جدول ۵: درصد مشارکت جرم در مدهای نوسان مخازن حاوی آب و فسفات

مخزن	شماره مخزن	درصد مشارکت جرم در مود نوسان ۱	درصد مشارکت جرم در مود نوسان ۲
مخازن حاوی آب	۱	۰/۷۵۶	۰/۲۵۳
	۲	۰/۶۴۷	۰/۳۴۸
	۳	۰/۵۹۸	۰/۳۹۸
	۴	۰/۵۴۱	۰/۴۴۷
مخازن حاوی فسفات	۱	۰/۷۴۹	۰/۲۳۶
	۲	۰/۶۷۲	۰/۳۱۹
	۳	۰/۶۱۳	۰/۳۷۸
	۴	۰/۵۸۱	۰/۴۰۷



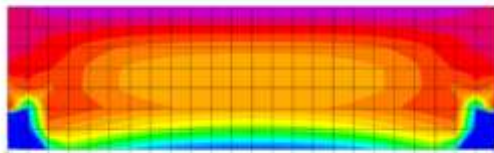
شکل ۸: نمودار مقایسه درصد مشارکت جرم در موده‌های نوسان یک و دو برای مخازن حاوی فسفات



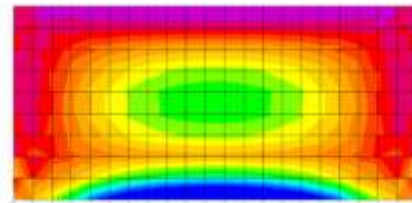
شکل ۷: نمودار مقایسه درصد مشارکت جرم موده‌های نوسان یک و دو برای مخازن حاوی آب

۹- بررسی لنگرهای خمشی حداکثر در دیوارهای طولی

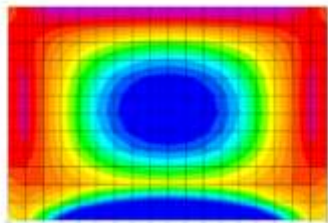
خروجی‌های زیر نمایش دهنده لنگرهای ماکزیمم است (شکل‌های ۹ تا ۱۶) که تحت ترکیب بار نهایی ENVELOPE کنترل گردیده است. این ترکیب بار نمایش دهنده بیشینه لنگرهای بدست آمده از تمام ترکیبات بار است که شرایط تحلیل را جهت طراحی میلگرد مورد نیاز فراهم می‌نماید.



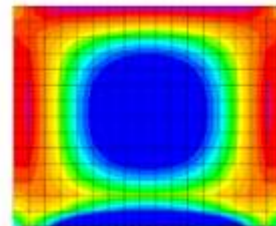
شکل ۱۰: لنگر ماکزیمم در دیوار طولی مخزن آب شماره ۱



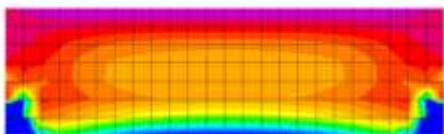
شکل ۹: لنگر ماکزیمم در دیوار طولی مخزن آب شماره ۲



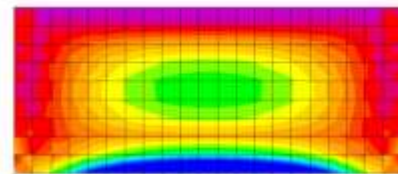
شکل ۱۲: لنگر ماکزیمم در دیوار طولی مخزن آب شماره ۳



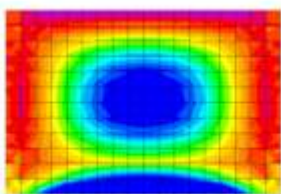
شکل ۱۱: لنگر ماکزیمم در دیوار طولی مخزن آب شماره ۴



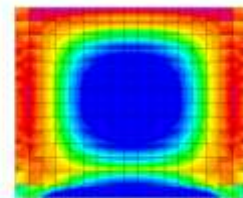
شکل ۱۴: لنگر ماکزیمم در دیوار طولی مخزن فسفات شماره ۱



شکل ۱۳: لنگر ماکزیمم در دیوار طولی مخزن فسفات شماره ۲



شکل ۱۶: لنگر ماکزیمم در دیوار طولی مخزن فسفات شماره ۳

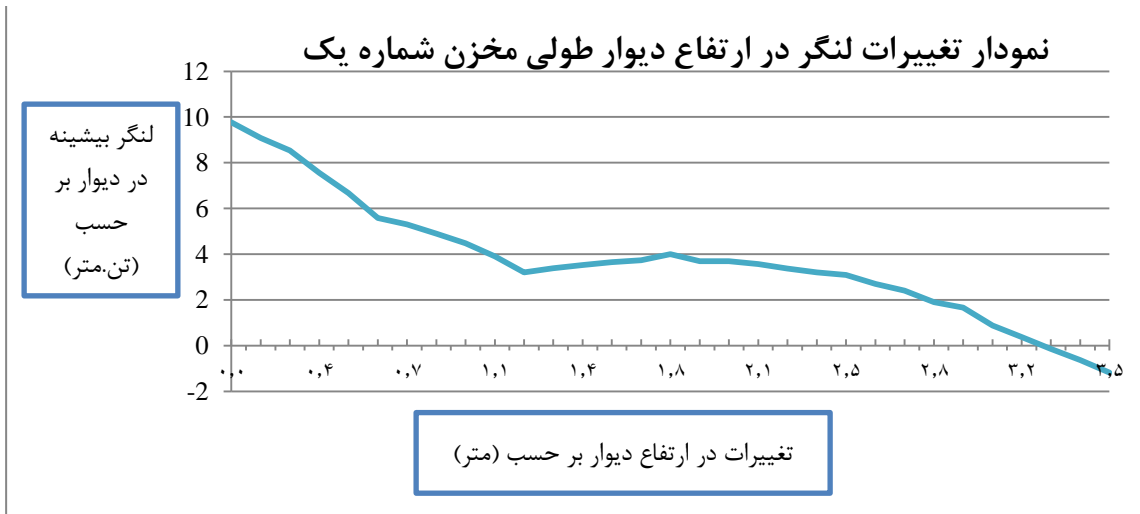


شکل ۱۵: لنگر ماکزیمم در دیوار طولی مخزن فسفات شماره ۴

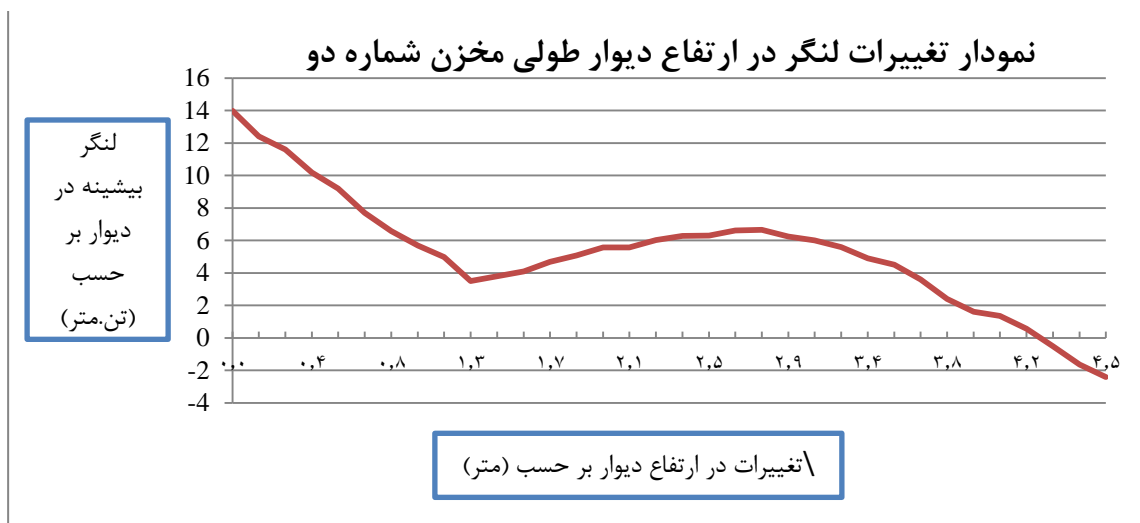
لنگرهای فوق بیانگر آن است که تنش‌ها در مخازن با افزایش ارتفاع، افزایش می‌یابد که امری طبیعی است ولی تنش‌های موجود در مخزن شماره ۲ نسبت به بقیه مخازن با توجه به حجم بتن کمتر، بهینه‌تر به نظر می‌رسد.

بررسی روند افزایش لنگرهای طراحی بیانگر افزایش مقدار لنگر طولی با توجه به افزایش ارتفاع است. این روند در دیوارهای دارای طول بیشتر در میلگرد عرضی لنگر بیشتری را نمایش می‌دهد. تحلیل رفتار دیوارها در مقابل لنگرها با توجه به افزایش ارتفاع نشان از تغییر رفتار مخازن در رفتار دینامیکی آن‌ها برای سیالات مختلف است. حال به بررسی و مقایسه لنگرهای محاسبه شده فوق در جدول و نمودارهای ذیل می‌پردازیم که مبین مطالب فوق الذکر می‌باشد.

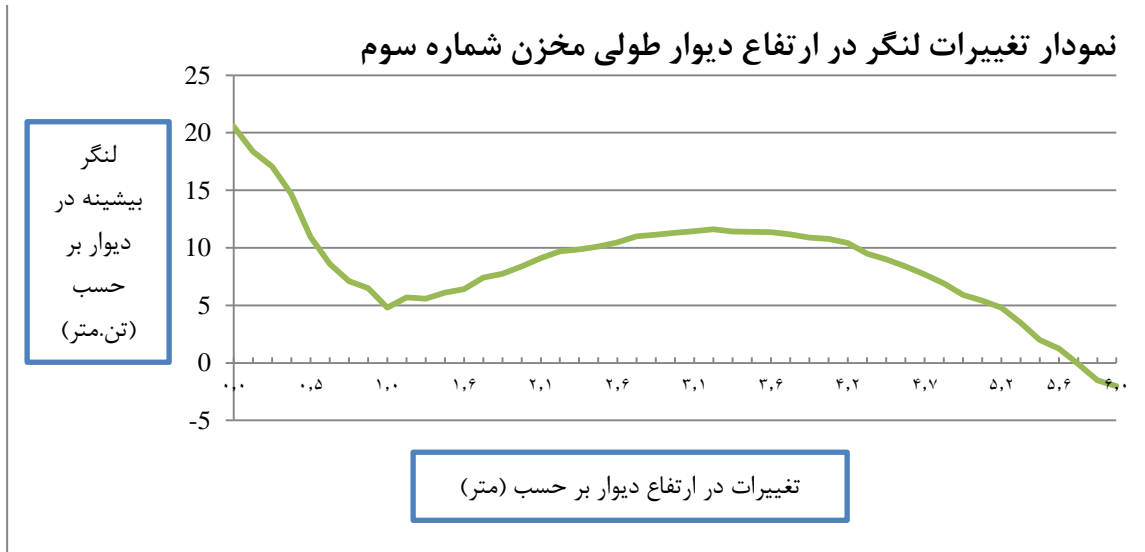
نمودارهای شکل های ۱۷ تا ۲۰، نمودارهای تغییر لنگر در ارتفاع دیوارهای طولی مخازن آب می‌باشد. روند طی شده در این نمودارها کاملاً مشابه دیوارهای عرضی آب و مشابه دیوارهای طولی و عرضی در مخازن فوسفات است. طبق این نمودارها میزان لنگر بیشینه در محل اتصال دیوار به فونداسیون اتفاق می‌افتد که این روند در ارتفاع دیوار ابتدا با کاهش و سپس در ارتفاع‌های متفاوتی در مخازن با افزایشی برابر حدوداً نصف لنگر ماکزیمم در محل اتصال دیوار به فونداسیون همراه است و هرچقدر به محل اتصال دیوار به سقف نزدیک می‌شویم این لنگر کاهش پیدا می‌کند.



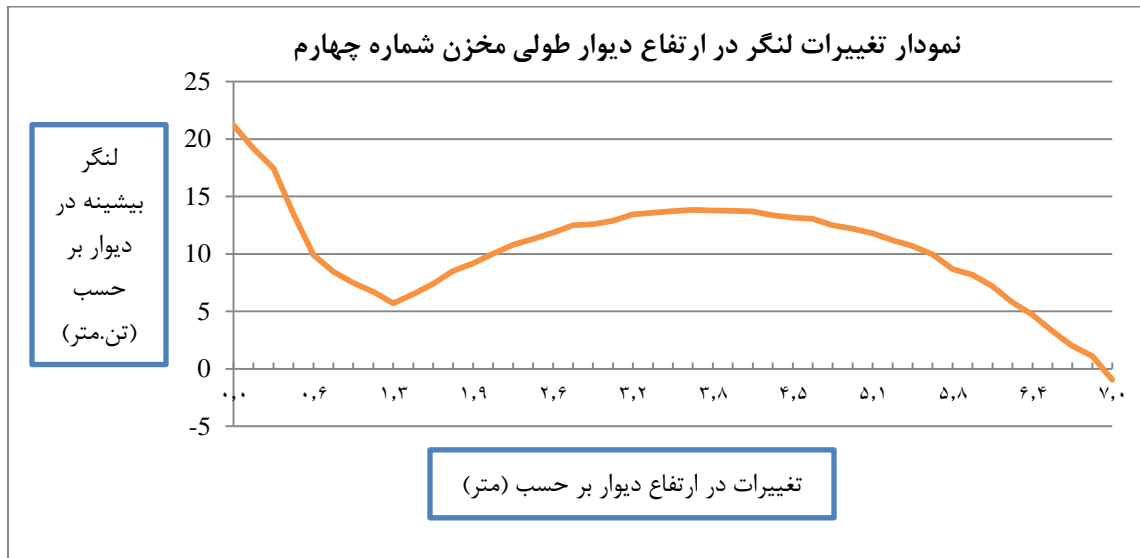
شکل ۱۷: نمودار تغییرات لنگر در ارتفاع دیوار طولی مخزن شماره یک



شکل ۱۸: نمودار تغییرات لنگر در ارتفاع دیوار طولی مخزن شماره دو



شکل ۱۹: نمودار تغییرات لنگر در ارتفاع دیوار طولی مخزن شماره سه



شکل ۲۰: نمودار تغییرات لنگر در ارتفاع دیوار طولی مخزن شماره چهارم

لنگرهای فوق بیانگر آن است که تنش‌ها در مخازن با افزایش ارتفاع، افزایش می‌یابد که امری طبیعی است ولی تنش‌های موجود در مخزن شماره ۲ نسبت به بقیه مخازن با توجه به حجم بتن کمتر، بهینه‌تر به نظر می‌رسد. بررسی روند افزایش لنگرهای طراحی بیانگر افزایش مقدار لنگر طولی با توجه به افزایش ارتفاع است. این روند در دیوارهای دارای طول بیشتر در میلگرد عرضی لنگر بیشتری را نمایش می‌دهد. تحلیل رفتار دیوارها در مقابل لنگرها با توجه به افزایش ارتفاع نشان از تغییر رفتار مخازن در رفتار دینامیکی آن‌ها برای سیالات مختلف است. حال به بررسی و مقایسه لنگرهای محاسبه شده فوق در جدول و نمودارهای ذیل می‌پردازیم که مبین مطالب فوق الذکر می‌باشد.

۱۰- نتیجه گیری نهایی

- فشار استاتیکی و دینامیکی سیال وارد بر کف و دیواره مخزن نسبت مستقیم با وزن سیال دارد. بنابراین در طراحی مخازن باید نوع سیال مشخص باشد تا نتایج معقول و اقتصادی بدست آید. اعداد و معادلات حاصل شده، بیانگر آن است که هر چقدر ارتفاع سیال افزایش یابد و چگالی سیال نیز افزایش یابد معادلات بدست آمده برای فشار استاتیکی و دینامیکی نتایج بزرگتری خواهد داشت.
- با توجه به زمان‌های تناوب بدست آمده برای حداکثر فشار دینامیک سیال وارد بر دیواره و حداکثر تغییر مکان سطح سیال می‌توان نتیجه گیری کرد زمان تناوب جرم سخت به زمان تناوب سازه نزدیک تر بوده و امکان پدیده تشدید وجود دارد ولی زمان تناوب جرم موج با تناوب اصلی سازه فاصله دارد. لذا پدیده رزونانس در ادغام جرم موج و سازه اتفاق نمی‌افتد.
- مخازن بتنی مستطیلی نگه دارنده سیالات بر اساس میزان دبی ورودی دارای حجم‌های متفاوتی می‌باشد. این در حالی است که معمولاً شکل کلی سازه ثابت است. بررسی مخزن ۲۵۰ متر مکعبی با اشکال متفاوت نشان می‌دهد می‌توان با تغییر الگوهای پلان و ارتفاع، مقاطع بهینه تری در حجم بتن مصرفی و میلگرد محاسبه کرد.
- نتایج تحلیل سازه برای انواع بارهای وارد بر سازه بتنی مخزن متشکل از المان‌های پوسته‌ای که در قالب ترکیب بار مشخص و پاسخ‌های لنگر خمشی و نیروهای برشی بر پوسته‌های دیوار، فونداسیون و سقف وارد می‌شود می‌تواند در بهینه سازی مخازن به ما کمک کند. بدین ترتیب که با استفاده از لنگر خمشی ضمن تعیین و طراحی ضخامت اعضای سازه جهت مقاومت در برابر نیروهای برشی وارده می‌توان مقادیر میلگرد مورد نیاز را در اعضا به همراه مقادیر اضافی در نقاط تمرکز تنش محاسبه نمود. با افزایش ارتفاع سازه مخزن، میلگرد مورد نیاز و حجم بتن مصرفی در دیوار طولی و عرضی آن‌ها افزایش می‌یابد که این افزایش در مخزن‌های شماره ۳ و ۴ نسبت به مخزن‌های شماره ۱ و ۲ به میزان قابل توجهی بوده و می‌توان گفت با توجه به حجم گنجایش مخازن مورد بررسی که ثابت است، مخازن شماره ۱ و ۲ بهینه بوده و ساخت آن‌ها نسبت به مخازن شماره ۳ و ۴ توجیه اقتصادی دارد. همچنین با توجه به اینکه میلگرد مورد نیاز و حجم بتن مصرفی مخزن شماره ۲ اختلاف کمی با مخزن شماره ۱ دارد، در صورت نیاز به ارتفاع بیشتر مخازن گزینه مناسب‌تری خواهد بود.
- بررسی روند تغییر شکل‌ها و رفتار ارتجاعی مخازن ذخیره سیال با توجه به تحلیل مودال نشان می‌دهد که در مخازن یک و دو با ارتفاع کمتر مودهای اول و دوم نوسان بیشترین تغییر را ناشی می‌شود که در دورترین نقطه نسبت به فونداسیون اتفاق می‌افتد حال آنکه در مخازن سه و چهار با ارتفاع بیشتر، با افزایش تعداد مودهای نوسان شاهد افزایش تغییر شکل در میانه‌های دیوار می‌باشیم. بنابراین با افزایش ارتفاع تغییر شکل‌های پیچیده‌تر و بیشتری را در دیوارها شاهد خواهیم بود.

منابع

۱. امیری قلعه‌نو، مهران، *استفاده از بتن‌های با نفوذپذیری کم در ساخت مخازن نفتی بتنی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۱.
2. Hamdan, F.H. assessment of Eurocode8-part4: design of Lituid storage Tanks. European Seismic Design Practice, Elnashai. 1995.
3. Haroun, M.A. Dynamic analysis of liquid storage tanks. EERL 80-4, 1980.
۴. خواجه احمد عطاری، نادر، *تحلیل لرزه‌ای مخازن مدفون*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۰.
۵. خداوردی، محمد، *مطالعه رفتار دینامیکی سازه مخازن مدفون در خاک*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.
6. Olson, L.G., Bathe. K.J., 1985. Analysis of Fluid – Structure Interactions. A Direct Symmetric coupled Formulation based on the Fluid Velocity Potential. Journal of Computers and Structures. Vol. 21, No. 1/2, P.P. 21-32.
7. Housner, G. W. 1957. Dynamic Pressure on Accelerated Fluid Containers, Bulletin of Seismological Society of America. Vol. 47, No. 1, P.P 15-35.
8. Scismic Design of Liquid – Containing concrete Structures (ACI350.3-01) and commentary (350-3R-01)