



بررسی و آنالیز ساخت آب‌انبارهای غرب استان هرمزگان از دیدگاه سازه‌ای

سعید لطیف زاده^۱، علی دهقانی تلگردو^۲، وحید لطیف زاده^۳، پرویز نجاتی^۴، جبروت قنبری باغستانی^۵

۱. پژوهشکده هرمز، دانشگاه هرمزگان

۲. شرکت آب و فاضلاب روستایی استان هرمزگان

۳. گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان

۴. شرکت آب و فاضلاب روستایی استان هرمزگان

۵. شرکت آب و فاضلاب روستایی استان هرمزگان

چکیده

در این مقاله آنالیز ساخت آب‌انبارهای غرب استان هرمزگان به لحاظ سازه‌ای تحت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته شده که در بحث استاتیکی به مقایسه‌ی تنش‌ها در سقف گنبدی و مخروطی پرداخته شده است. در ادامه مقادیر ماکزیمم و مینیمم تنش اصلی موجود در سقف در حالت استاتیکی ارائه شده است. پس از آن آب‌انبارها، تحت بار دینامیکی زلزله با شتاب نگاشت زلزله‌های مشخص مانند منجیل قرار می‌گیرند. از آنجایی که ضخامت سقف عامل اثر گذار بر روی تنش‌های ایجاد شده در سقف می‌باشد، لذا سعی می‌شود با تغییر پارامتر ضخامت سقف در بارگذاری دینامیکی برای دو نوع سقف گنبدی و مخروطی، روند تغییرات تنش مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با اعمال نمودن شتاب‌های نگاشت متفاوت در زلزله‌های رخ داده به ازای پارامترهای ابعادی ثابت یک آب‌انبار، تاثیرات این زلزله‌ها را بر روی تنش‌های ایجاد شده در سقف آب‌انبار مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در این راستا آنالیز دینامیکی سقف آب‌انبار با تغییرات ضخامت جهت بررسی روند تغییرات تنش در حالت کششی و فشاری برای دو نوع سقف گنبدی و مخروطی صورت گرفته است. همچنین آنالیز هیدرو استاتیکی مخزن آب‌انبارها به واسطه اثرات تغییر ارتفاع و تغییر ضخامت مخزن بر تنش‌های اصلی در بارگذاری هیدرو استاتیکی مورد ارزیابی واقع شده است. در انتها نتایج حاصله بیانگر دقت لازم جهت طراحی سازه‌های موجود بر اساس مبانی علمی می‌باشد.

کلمات کلیدی: آب‌انبار، آنالیز استاتیکی، آنالیز دینامیکی، نیروی هیدرو استاتیکی، زلزله

مقدمه

اندوخته نمودن آب آشامیدنی برای هر مردمی در هر گوشه‌ای از جهان، کاری ضروری بود. از مردمی که در کنار دریاها بودند و با آب شور یا بد مزه سرو کار داشتند تا مردمی که در کویر و بخش‌های کم آب جهان بوده و بیش از نیمی از سال بارندگی نداشته و دسترسی به آب با دشواری قرین بوده، و به وجود جایگاه‌هایی برای اندوخته‌ی آب پی‌بردند که پایه‌ی ساخت آب‌انبارها، یعنی کهن‌ترین پدیده‌ی معماری برای نگهداری و ذخیره‌ی آب بوده و در روند تاریخ و پیشرفت تمدن بشری تکامل یافت و به شکل امروزی رسید [۱].

همزمان با پیشرفت تمدن در ایران باستان، مصر و بین‌النهرین آب در آب‌انبارهای سرپوشیده‌ای که مانع از تبخیر آب و آلودگی بود، اندوخته می‌کردند. و از این روش در کشورهای یونان و روم برای نگهداری آب بهره می‌برند. یکی از



پژوهندگان به نقل از کتب تاریخی آورده که ایرانی‌ها را سرآمد دانش آب‌رسانی می‌دانستند. داریوش، پادشاه هخامنشی پس از فتح مصر، این فناوری ارزنده را به مصریان آموخت تا بدین طریق در مناطق مورد نیاز، همواره آب را در دسترس داشته باشند [۱]. گفته می‌شود تاریخ ایجاد برخی آب‌انبارها در فلسطین به دوران نبطیان باز می‌گردد. اما کهن‌ترین و جالب‌ترین نمونه آب‌انبار شناخته شده در ایران، مربوط است به آب‌انباری در کنار محوطه باستانی شهر تاریخی شوش در استان خوزستان که مربوط به ۱۲۵۰ سال پیش از میلاد و دوران شکوفایی معماری اعلام می‌شود. با آمدن اسلام به ایران و تأکید فراوان دین جدید بر بهداشت و پاکیزگی باعث شد که مخازن آب (حوض، آب‌انبار، خزینه حمام و ...) به عنوان عنصر پایه‌ای در زندگی مردم مورد توجه قرار گیرد و با توجه به گسترش دامنه جغرافیای اسلام و حضور پررنگ ایرانیان در کشورگشایی‌ها، هنر و فن ساخت مخازن آب به ویژه آب‌انبار، به کشورهای چیره شده برده شد و هم زمان با آن دانشمندان ایرانی به شیوه‌های بهتری در ساخت و نگه داری آب‌انبار، مانند کاربردهای گنبد، بادگیر، تهویه، خنک سازی آب و غیره دست یافتند که آب‌انبارهای دوره قاجاری و پهلوی اول را می‌توان از نمونه‌های بسیار قابل توجه در هنر و فن ساخت آب‌انبار دانست [۱].

امروزه علیرغم لوله کشی و دسترسی به آب آشامیدنی در بسیاری از مناطق ایران، هنوز هم مردمان خطه‌ی جنوب ایران، به دلیل شیرینی، زلالی و گوارایی از آب‌انبار بهره می‌برند. منتهی نوع و سبک معماری ساخت آب‌انبارها در خطه جنوب ایران با توجه به شرایط اقلیمی متفاوت با دیگر آب‌انبارهای ساخته شده در مناطق دیگر در طی دوران‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. در طی چندین سال گذشته بررسی‌ها و مطالعاتی در خصوص آب‌انبارها انجام شده است که در قالب چندین مقاله ارائه شده است [۲ و ۳].

با توجه به روند تاریخی ساخت آب‌انبارها در غرب استان هرمزگان می‌توان ملاحظه نمود ساخت آب‌انبارها از لحاظ نوع معماری تغییرات چشمگیری نداشته و عمدتاً با توجه به تجربه‌ایی که سازندگان آب‌انبارها در اختیار داشتند هیچ روند علمی و بنیادی برای ساخت آب‌انبارها بنا ننموده‌اند و صرفاً با تجربه‌ایی که معماران آب‌انبار ساز در اختیار داشتند روند ساخت هر آب‌انبار تعیین می‌گردید و با دیگر آب‌انبارهای مشابه، متفاوت بوده است. چنانچه تحقیقات میدانی نشان می‌دهد، آب‌انبارهایی موجود در غرب استان هرمزگان معمولاً پس از گذشت چندین سال پس از ساخت، از ناحیه سقف مشکل پیدا کرده و سقف آنها فرو ریخته است. از آنجایی که ساخت سقف یک آب‌انبار سخت‌ترین و حساس‌ترین قسمت ساخت آن بشمار می‌رود و تنها تجربه معماران آب‌انبار ساز پشتوانه این امر بوده است، لذا سعی می‌شود با بررسی پارامترهای اثرگذار بر روی ساخت سقف یک آب‌انبار نظیر ضخامت، ارتفاع و نوع منحنی گنبد سقف نگاه علمی‌تری به ساخت آب‌انبارها داشت. خاطر نشان می‌گردد که ساخت مخزن و سکوی آن با توجه به تحقیقات میدانی انجام شده کمتر دچار فروریزش بوده و می‌توان به روند سنتی ساخت آن اتکا نمود ولی با این حال به تحلیل مخزن در برابر بارگذاری هیدرواستاتیکی نیز پرداخته می‌شود.

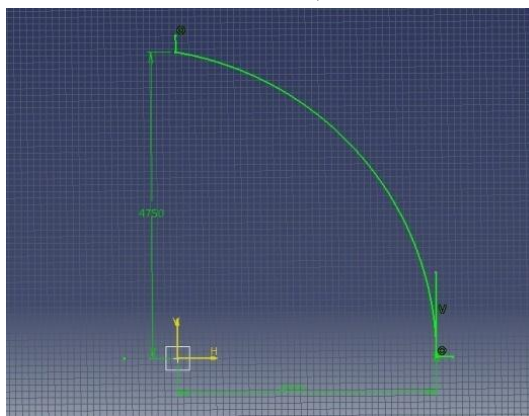
معرفی فرایند انجام تحقیق

با توجه به اطلاعاتی که از نمونه واقعی آب‌انبارهایی موجود در غرب استان هرمزگان گرفته شده است، می‌توان از ابعاد و اندازه‌های آنها که شامل قطر مخزن، ضخامت مخزن، ارتفاع سکو، ارتفاع سقف، ضخامت سقف و ضخامت جداره‌های مخزن می‌باشند استفاده نمود و آن را به عنوان چهارچوب اصلی طراحی قرار داد. در ادامه با استفاده از نرم افزار Abaqus که یک نرم افزار آنالیز به حساب می‌آید [۴]، سقف یک آب‌انبار در دو حالت استاتیکی و دینامیکی و همچنین مخزن آب‌انبار در حالت هیدرواستاتیکی مورد آنالیز قرار می‌گیرد و روند تغییرات پارامترهای اثر گذار در ساخت آب‌انبار به شرح ذیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت:

الف) حالت استاتیکی سقف



در این حالت سقف یک آب‌انبار که به دو فرم مخروطی و گنبدی تعریف می‌شود را تحت بار وزن و همچنین ماکزیمم نیروی حاصل از زلزله که بر اساس محاسبات مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بدست می‌آید، بارگذاری شده و مورد آنالیز قرار خواهد گرفت. بدین ترتیب روند تغییرات ارتفاع گنبد در دو حالت معرفی شده مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در هر مرحله ماکزیمم تنش اصلی ماکزیمم (حداکثر تنش کششی) و مینیمم تنش اصلی مینیمم (حداکثر تنش فشاری) در سازه محاسبه می‌گردد و این مقادیر مبنای طراحی سازه بنایی غیر مسلح آب‌انبار قرار می‌گیرد. لذا فرآیند مقایسه را با رسم منحنی مماس بر خط قائم مطابق شکل (۱) انجام خواهد گرفت.



شکل ۱: شماتیکی از نحوی رسم منحنی سقف گنبدی بر که بین دو نقطه

(ب) حالت دینامیکی سقف

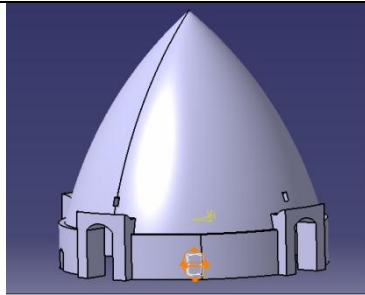
سقف یک آب‌انبار با ابعاد مشخص که به دو فرم مخروطی و گنبدی تعریف می‌شود، تحت بار تحت بار دینامیکی زلزله با شتاب نگاشت زلزله منجیل که به مدت ۵۱/۹۸ ثانیه بطول انجامیده است، مورد بررسی قرار گرفته و تغییرات ضخامت در گنبد سقف اعمال شده که در نهایت تنش‌های اصلی وارد بر سقف استخراج می‌گردد. و از آنجایی که گنبد سقف آب‌انبارها جزء سازه‌های تحت خمش می‌باشند، لذا مقدار تنش کششی ماکزیمم اصلی حائز اهمیت است. در ادامه برای یک آب‌انبار با گنبد مخروطی و ابعاد مشخص تاثیرات زلزله‌های مختلف از قبیل زلزله بم، طبس، بافق و منجیل که دارای شتاب نگاشت‌های متفاوتی در مدت زمان مشخص ۱۰ ثانیه می‌باشند، روند تغییرات تنش‌های کششی و فشاری اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

(ج) حالت هیدرواستاتیکی مخزن

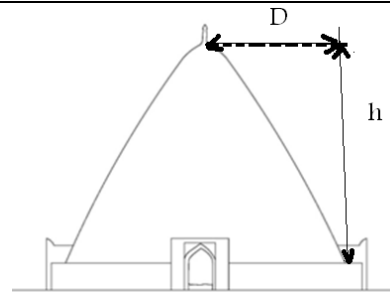
مخزن آب‌انبارهای موجود که تحت فشار هیدرواستاتیکی آب، خاک و همچنین تحت بار استاتیکی وزن سقف گنبدی قرار دارد، تغییرات ارتفاع و ضخامت دیواره مخزن را اعمال نموده و روند تغییرات تنش‌های کششی و فشاری اصلی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

معرفی پارمترهای طراحی

به ازای مشخصات داده شده در نرم افزار Abaqus مدل سازی انجام خواهد گرفت. در شکل (۲) پارامتر D معرف شعاع مخزن و پارامتر h ارتفاع گنبد از روی سکو را نشان می‌دهد.

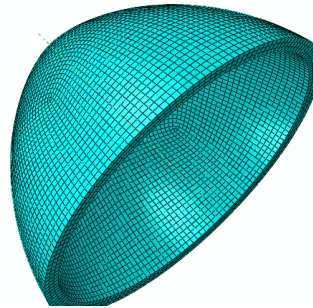


شکل ۳: نمایی از آب‌انبار طراحی شده



شکل ۲: معرفی پارامترهای طراحی

بهترین نوع مشی^۱ که نرم افزار Abaqus در فرایند حل مسئله انتخاب می‌کند مش Structure است که می‌توان در مقایسه با مش‌های Sweep, Free و Hex به هماهنگ شدن گره‌ها برای سرعت و دقت بیشتر حل معادله در این نوع مش اشاره نمود. در شکل (۴) شماتیکی از مش Structure در محیط نرم افزار نشان داده شده است. المانی که برای حل این فرآیند در محیط نرم افزار در نظر گرفته می‌شود از نوع C3D8R (المان هشت گره‌ای سه بعدی به روش حل انتگرال کاهش یافته در محیط پیوسته) می‌باشد.



شکل ۴: نمایی از مش Structure ایجاد شده در محیط نرم افزار

نحوه بارگذاری بر روی سقف سازه در حالت استاتیکی

از آنجایی که وزن سقف در ساخت آب‌انبارها حائز اهمیت است لذا یک از نیروهای اعمالی نیروی گرانش است. دیگر نیروی اعمالی به سقف نیروهای باد و زلزله می‌باشد که از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان نیروهای باد و زلزله تعیین می‌گردد. اما می‌توان به این موضوع اشاره نمود که طبق بند ۶-۶-۱-۳ در طراحی اعضای سازه، اثر ناشی از بار باد با بار زلزله جمع نمی‌شود. "کلیه اعضای سازه باید تحت تاثیر هر یک از این دو که بیشتر می‌باشد طراحی گردد" [۴]. از آنجایی که بار زلزله بیشتر به وزن سازه بستگی دارد همواره اثر نیروی زلزله از اثر نیروی باد بیشتر می‌باشد و مقدار نیروی زلزله در بیشترین حالت ممکن طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$V = C \cdot W \quad (1)$$

V: نیروی برشی پایه در امتداد مورد نظر در تراز پایه

W: وزن کل سازه

C: ضریب زلزله که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C = \frac{ABI}{R} \quad (2)$$

A: نسبت شتاب مبنای طرح که از جدول‌های موجود مرجع [۳] مقدار ۳ در نظر گرفته می‌شود.

B: ضریب بازتاب سازه که از جدول‌های موجود مرجع [۳] مقدار ۱/۵ در نظر گرفته می‌شود.

I: ضریب اهمیت سازه که از جدول‌های موجود مرجع [۳] مقدار ۱/۸ در نظر گرفته می‌شود.

¹-Mesh

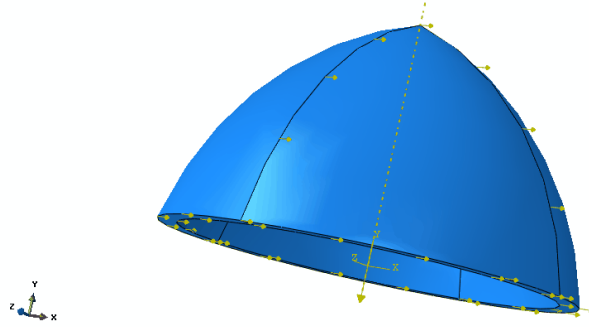


R: ضریب رفتار سازه که از جدول های موجود مرجع [۳] مقدار ۳ در نظر گرفته می شود.

لذا مقدار پارامتر C برابر ۰/۱۲ بدست می آید. در این صورت مقدار V به صورت زیر بدست می آید.

$$V = 0.12W \quad (۳)$$

بنابراین نیروی زلزله محاسبه شده در حالت استاتیکی به همراه نیروی گرانش به گنبد سقف وارد می گردد.



شکل ۵: نمایی از نحوه بارگذاری بر روی آب‌انبار در محیط نرم افزار

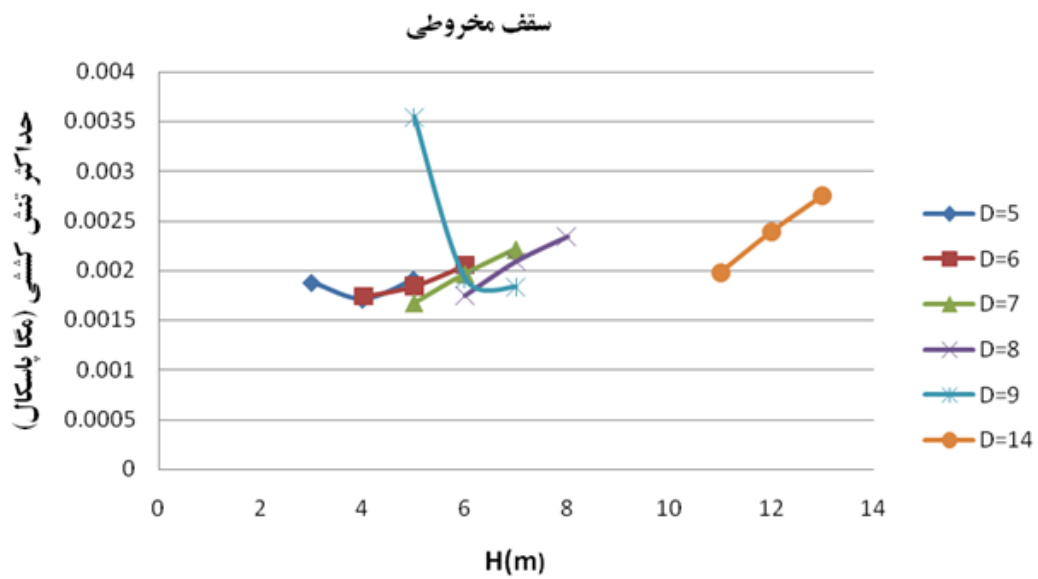
تغییرات ارتفاع سقف در فرایند حل استاتیکی

در این مرحله به ازای مشخصات بدست آمده از تحقیقات میدانی، تغییرات ارتفاع را بر سقف آب‌انبار به دو صورت گنبدی و مخروطی اعمال نموده و روند تغییرات تنش مورد بررسی قرار می‌گیرد. مشخصات آب‌انبارها به شرح جدول (۱) می‌باشد:

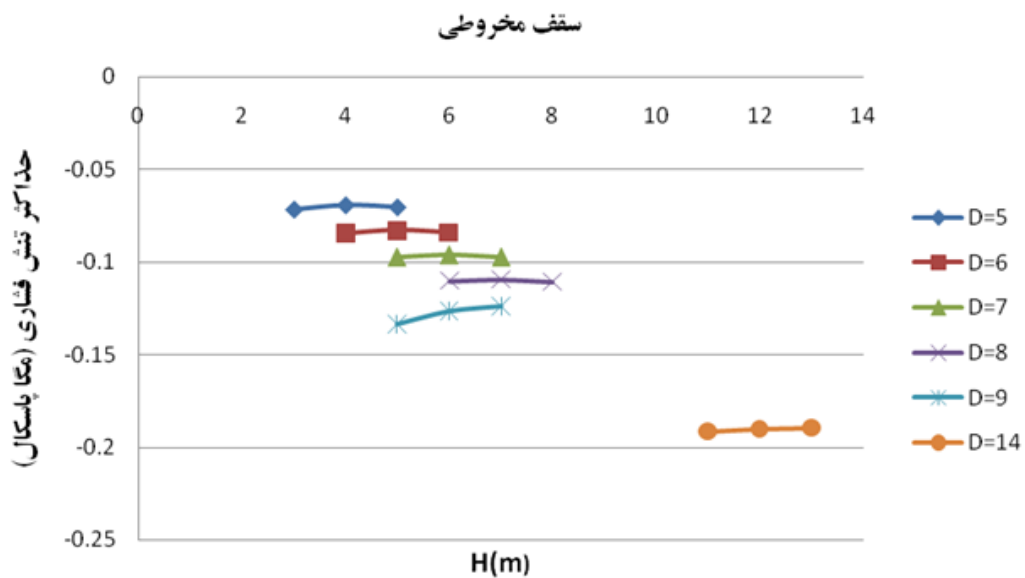
جدول ۱: مشخصات آب‌انبارها در تحلیل استاتیکی

نوع سقف	قطر (D) متر	ارتفاع سقف (H) متر	ضخامت سقف (t) سانتی متر
گنبدی و مخروطی	۵	۵-۴-۳	۳۰
گنبدی و مخروطی	۶	۶-۵-۴	۳۰
گنبدی و مخروطی	۷	۷-۶-۵	۳۰
گنبدی و مخروطی	۸	۸-۷-۶	۳۰
گنبدی و مخروطی	۹	۷-۶-۵	۳۰
گنبدی و مخروطی	۱۴	۱۳-۱۲-۱۱	۳۰

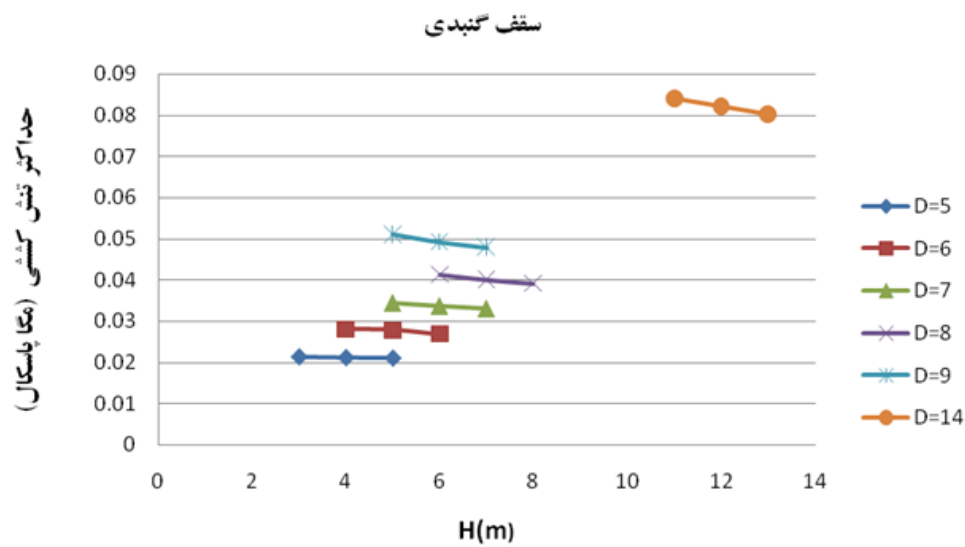
لذا نتایج به صورت نمودار شکل‌های ۶-۷-۸ و ۹ ارائه می‌گردد.



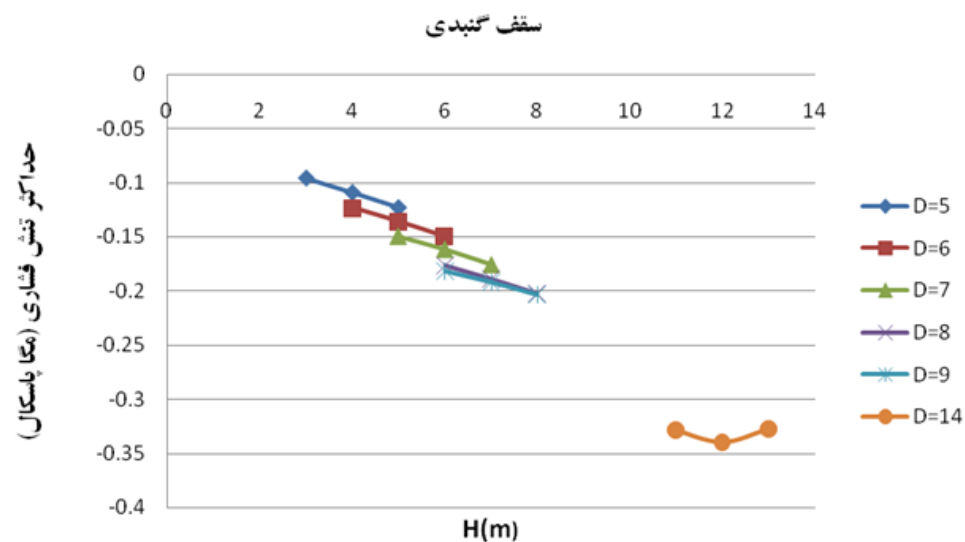
شکل ۶: نمودار روند تغییرات حداکثر تنش کششی در سقف مخروطی به ازای ارتفاع‌های مختلف



شکل ۷: نمودار روند تغییرات حداکثر تنش فشاری در سقف مخروطی به ازای ارتفاع‌های مختلف

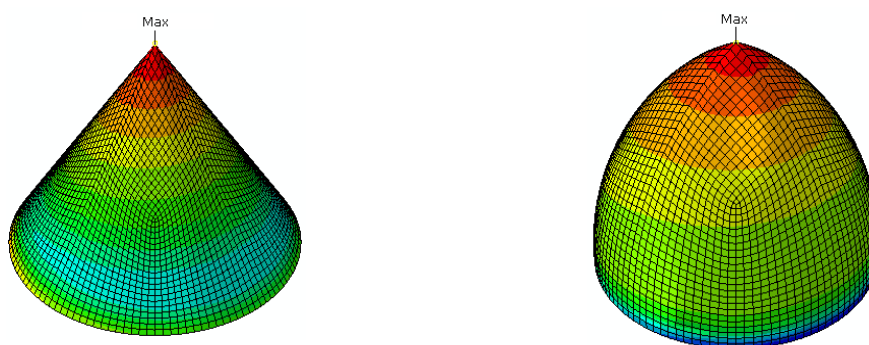


شکل ۸: نمودار روند تغییرات حداکثر تنش کششی در سقف گنبدی به ازای ارتفاع‌های مختلف

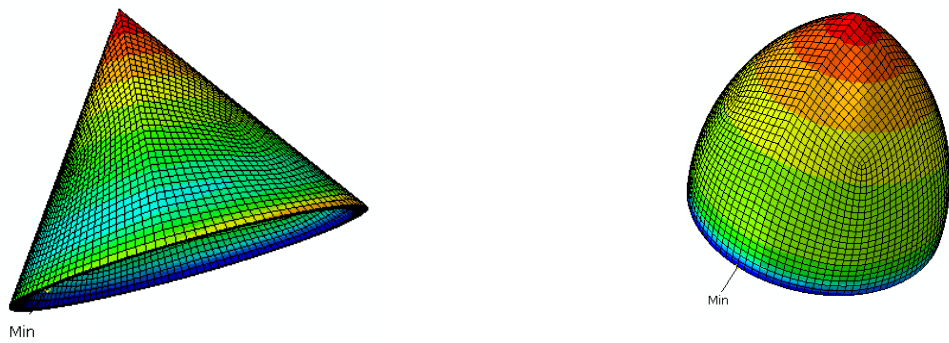


شکل ۹: نمودار روند تغییرات حداکثر تنش فشاری در سقف گنبدی به ازای ارتفاع‌های مختلف

در ادامه به محل رخ دادن ماکزیمم و مینیمم تنش اصلی در سقف آب‌انبار به دو صورت گنبدی و مخروطی پرداخته می‌شود.

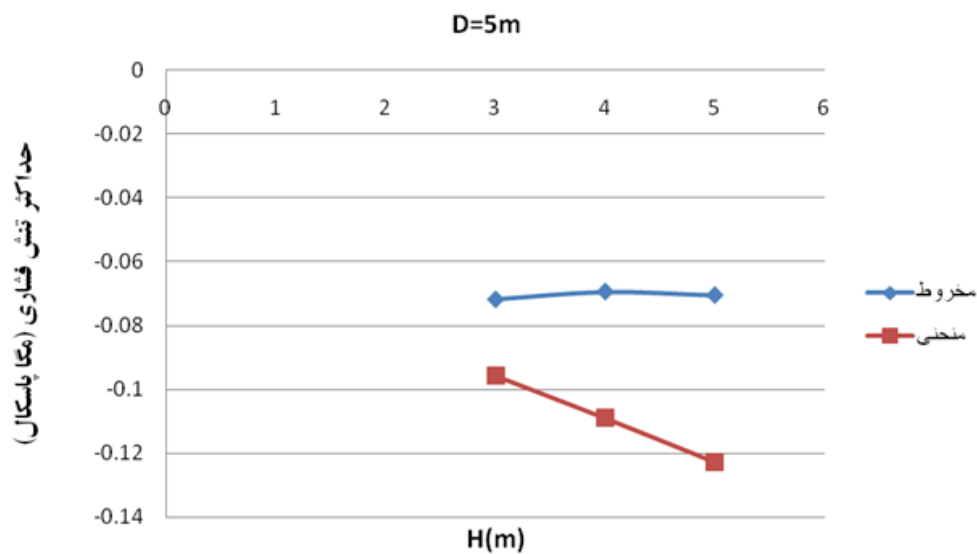


شکل ۱۰: مقایسه محل رخ دادن ماکزیمم تنش کششی

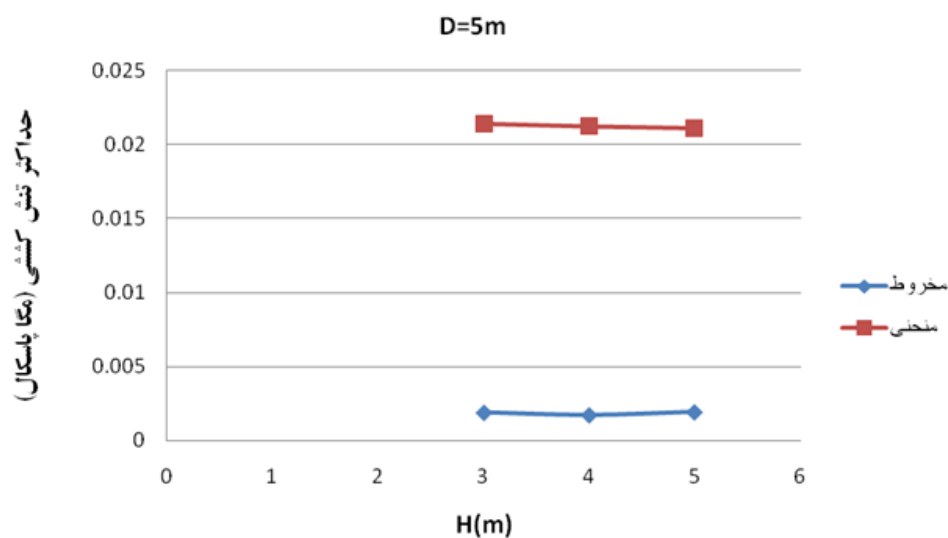


شکل ۱۱: مقایسه محل رخ دادن ماکزیمم تنش فشاری

در انتها، در بحث استاتیکی به مقایسه تنش‌ها در سقف گنبدی و مخروطی به ازای قطر مخزن مشخص ثابت پرداخته می‌شود که نمودارهای ۱۲ و ۱۳ نشان دهنده این موضوع می‌باشند.



شکل ۱۲: مقایسه تنش‌های حداکثر فشاری بین دو سقف گنبدی و مخروطی به ازای D=5m



شکل ۱۳: مقایسه تنش‌های حداکثر کششی بین دو سقف گنبدی و مخروطی به ازای D=5m



با توجه به آنالیزهای انجام شده در بالا، نتایج مقادیر ماکزیمم و مینیمم تنش اصلی موجود در سقف در حالت استاتیکی ارائه شده است. از آنجایی که مهمترین عامل تخریب سقف آبنبارها تنش خمشی که به واسطه وزن سازه ایجاد می‌گردد، می‌باشد لذا به ازای هر قطر ثابت ارتفاعی انتخاب می‌گردد که ماکزیمم تنش کششی مثبت کمتری ایجاد کند.

آنالیز سقف تحت بارگذاری دینامیکی

در این قسمت سقف آبنبارهای مورد مطالعه قرار گرفته شده تحت بار دینامیکی زلزله با شتاب نگاشت زلزله منجیل قرار می‌گیرد. از آنجایی که ضخامت سقف عامل اثر گذار بر روی تنش‌های ایجاد شده در سقف می‌باشد لذا سعی می‌شود با تغییر پارامتر ضخامت سقف در بارگذاری دینامیکی برای دو نوع سقف گنبدی و مخروطی، روند تغییرات تنش مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با اعمال نمودن شتاب‌های نگاشت متفاوت در زلزله‌های رخ داده نظیر منجیل، بم، طیس و بافق به ازای پارامترهای ابعادی ثابت یک آبنبار، تاثیرات این زلزله‌ها را بر روی تنش‌های ایجاد شده در سقف آبنبار مورد ارزیابی قرار داد.

محاسبه ضرایب میرایی

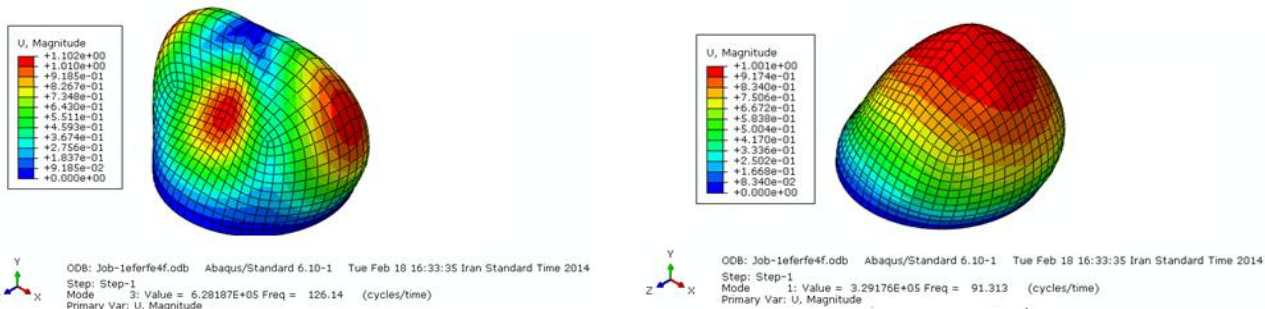
ضرایب میرایی تناسبی رایلی α و β را با فرض میرایی ۵٪ برای مدهای اول و سوم بر اساس روابط زیر محاسبه شده و در نرم افزار آباکوس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\xi = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha}{\omega} + \beta \omega \right) \quad (4)$$

$$\frac{1}{2} \begin{pmatrix} \frac{1}{\omega_1} & \omega_1 \\ \frac{1}{\omega_3} & \omega_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi \\ \xi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.05 \\ 0.05 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = 2 \begin{pmatrix} \frac{1}{\omega_1} & \omega_1 \\ \frac{1}{\omega_3} & \omega_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0.05 \\ 0.05 \end{pmatrix} \quad (6)$$

که در آن ω_1 و ω_3 به ترتیب فرکانس زاویه‌ای مدهای اول و سوم ارتعاش آزاد طبیعی سیستم بدون میرایی می‌باشند.



شکل ۱۴: شماتیک از آنالیز مودال برای محاسبه فرکانس طبیعی مود اول
شکل ۱۵: شماتیک از آنالیز مودال برای محاسبه فرکانس طبیعی مود سوم

در ادامه در جدول ۲ ضریب میرایی برای چند آبنبار مشهور در غرب استان هرمزگان آورده شده است.

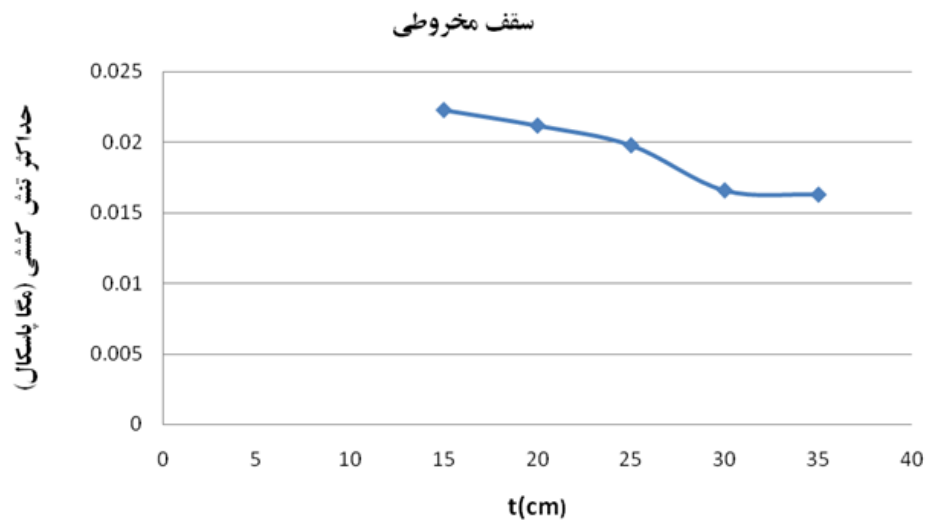


جدول ۲- محاسبه ضریب میرایی برای چند آب‌انبار مشهور

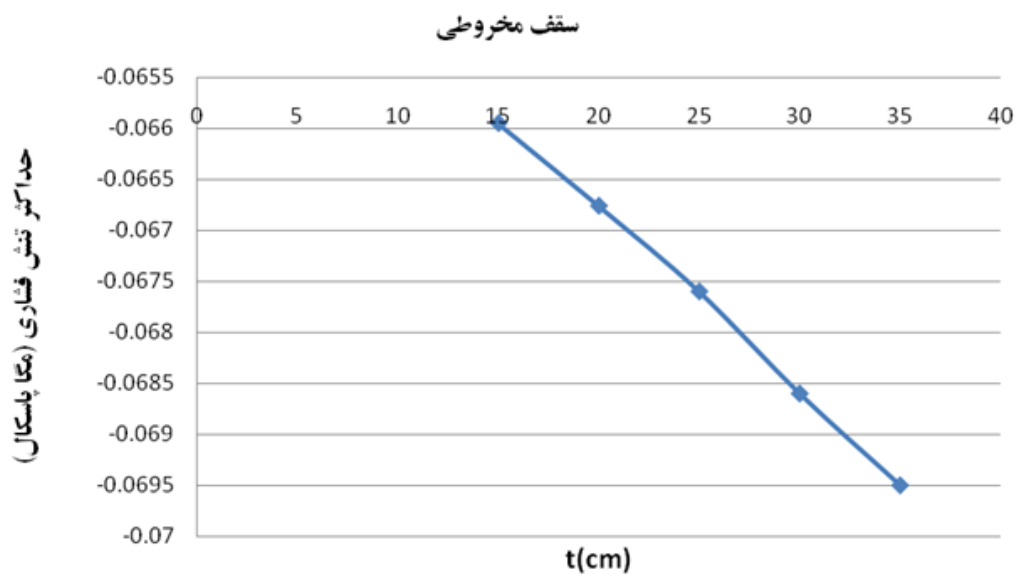
ضریب میرایی β	ضریب میرایی α	آب‌انبار
0.000032	14.406543	محمد عبدالله
0.000023	4.756522	چیرو
0.000044	11.960394	خواجه عبدالله
0.000031	4.586917	احمد کوچک
0.000060	10.654990	محمد امین طالبی
0.000041	1.940235	خواجه غلام

آنالیز دینامیکی سقف آب‌انبار با تغییرات ضخامت

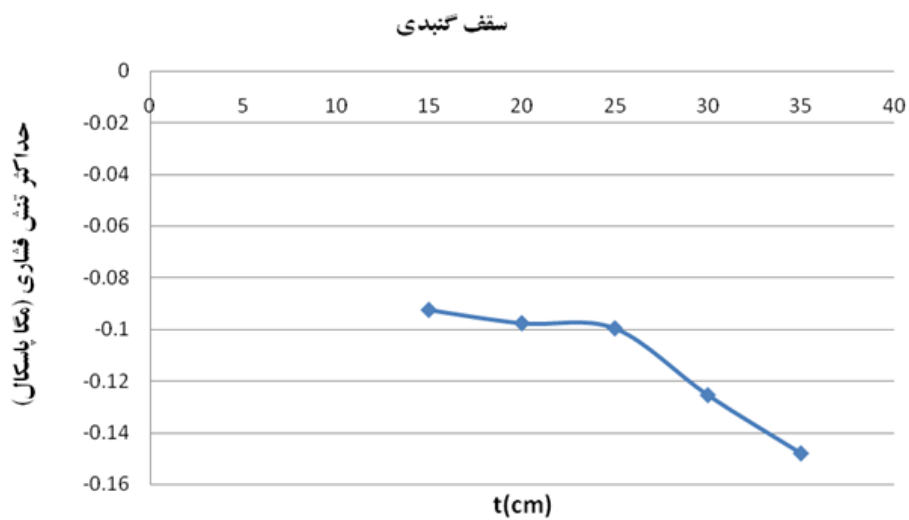
در این مرحله با تغییر دادن ضخامت از ۱۵ تا ۳۵ سانتی‌متر برای آب‌انبار محمد عبدالله تحت زلزله منجیل به مدت ۱۰ ثانیه، روند تغییرات تنش در حالت کششی و فشاری برای دو نوع سقف گنبدی و مخروطی در نمودارهای ذیل نشان داده می‌شود.



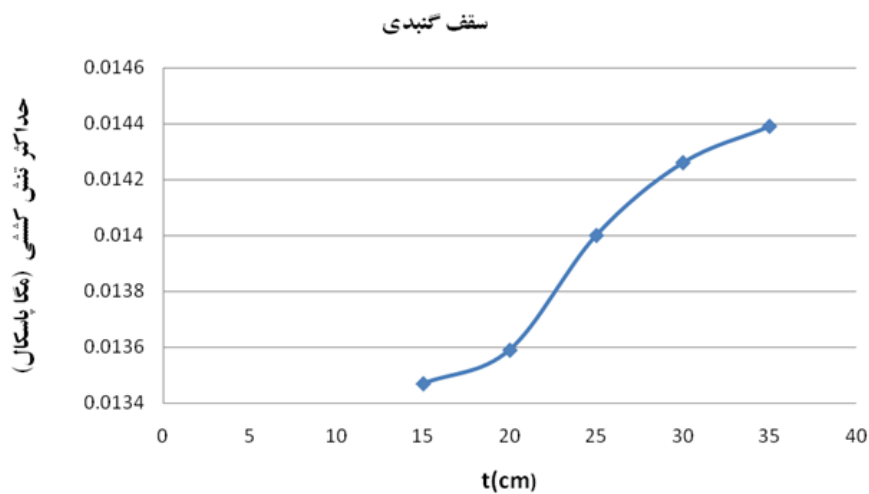
شکل ۱۶: نمودار حداکثر تنش کششی بر حسب ضخامت در سقف مخروطی



شکل ۱۷: نمودار حداکثر تنش فشاری بر حسب ضخامت در سقف مخروطی

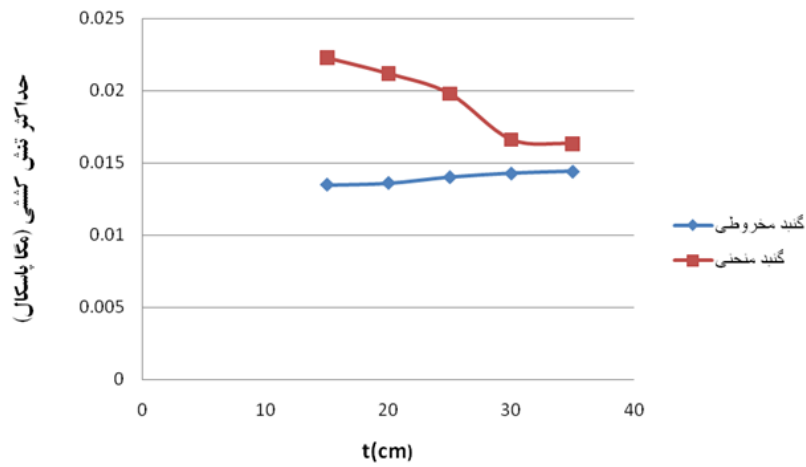


شکل ۱۸: نمودار حداکثر تنش فشاری بر حسب ضخامت در سقف گنبدی

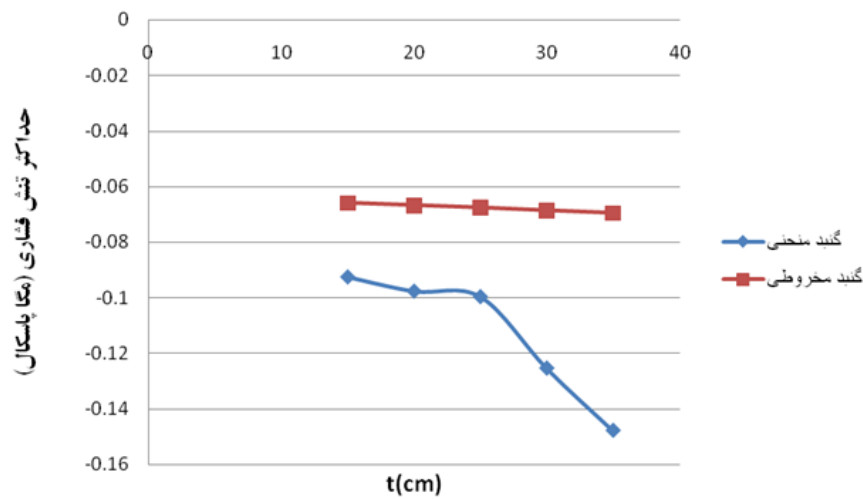




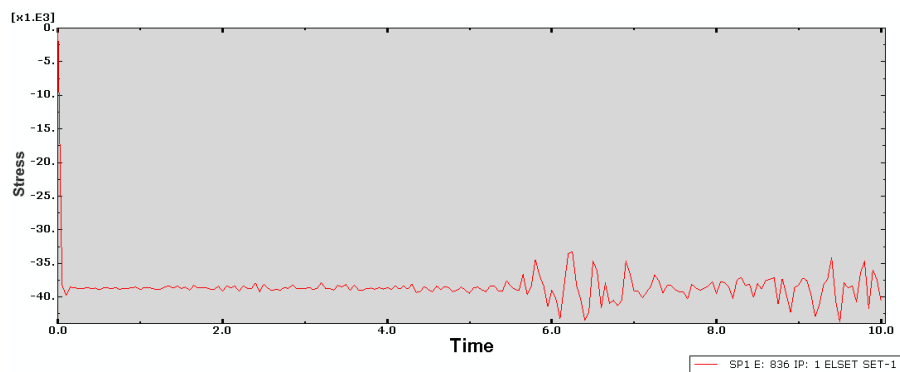
شکل ۱۹: نمودار حداکثر تنش کششی بر حسب ضخامت در سقف گنبدی



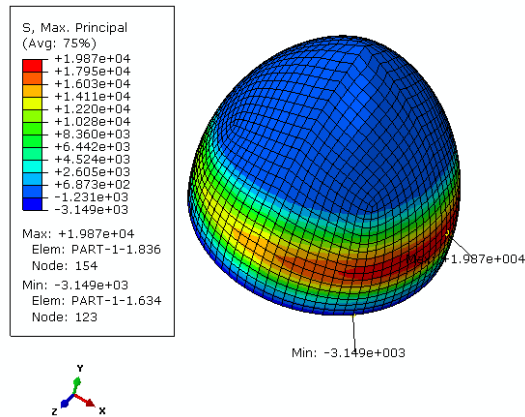
شکل ۲۰: نمودار حداکثر تنش کششی در مقایسه دو سقف مخروطی و گنبدی



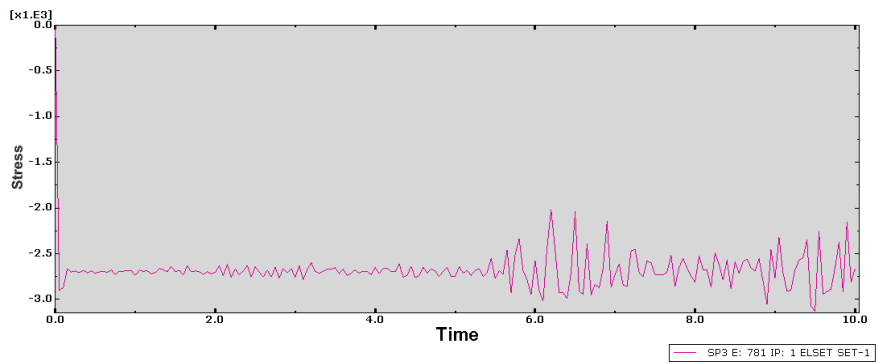
شکل ۲۱: نمودار حداکثر تنش فشاری در مقایسه دو سقف مخروطی و گنبدی



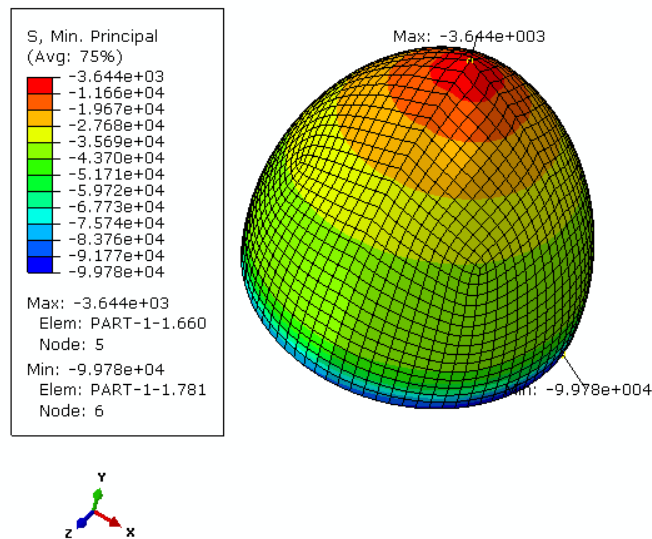
شکل ۲۲: شماتیکی از نمودار تنش ماکزیمم بر حسب زمان در آب‌انبار سقف گنبدی



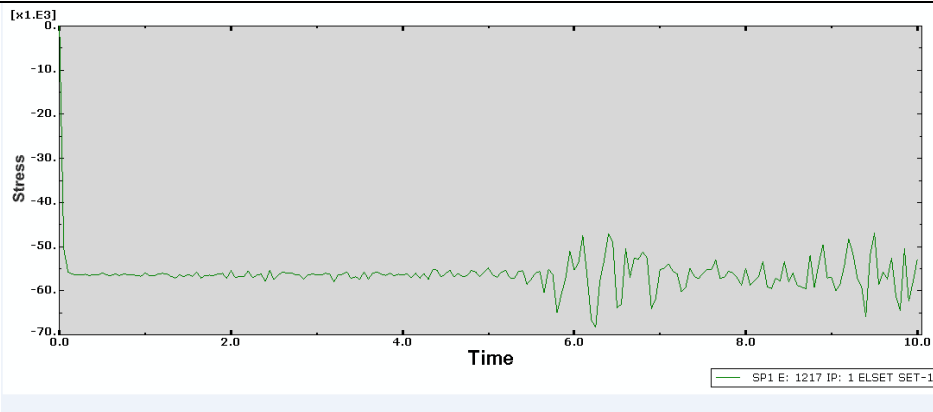
شکل ۲۳: شماتیکی از محاسبه مقدار ماکزیمم تنش اصلی برای آب‌انبار با سقف گنبدی به ضخامت سقف ۲۵ سانتی‌متر



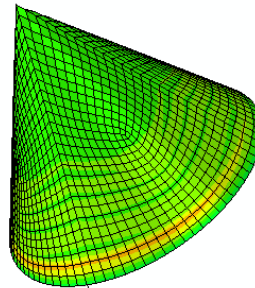
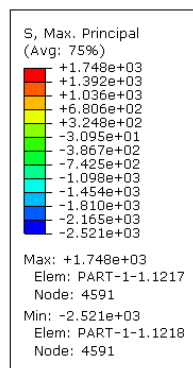
شکل ۲۴: شماتیکی از نمودار تنش مینیمم بر حسب زمان در آب‌انبار سقف گنبدی



شکل ۲۵: شماتیکی از محاسبه مقدار ماکزیمم تنش اصلی برای آب‌انبار با سقف گنبدی به ضخامت سقف ۲۵ سانتی‌متر

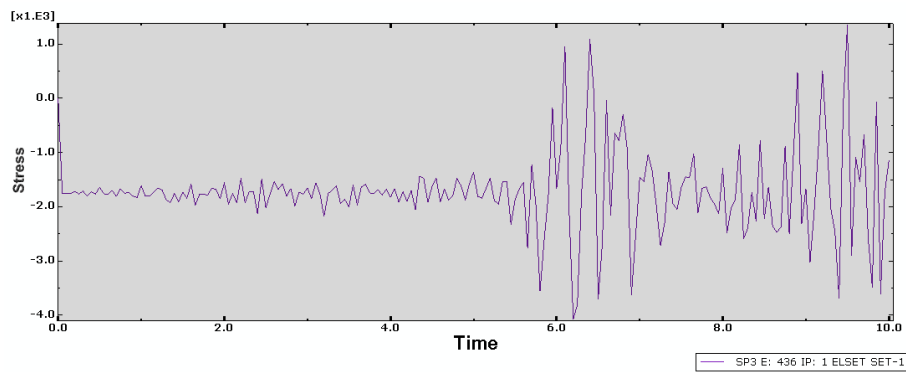


شکل ۲۶: شماتیکی از نمودار تنش ماکزیمم بر حسب زمان در آب‌انبار سقف مخروطی

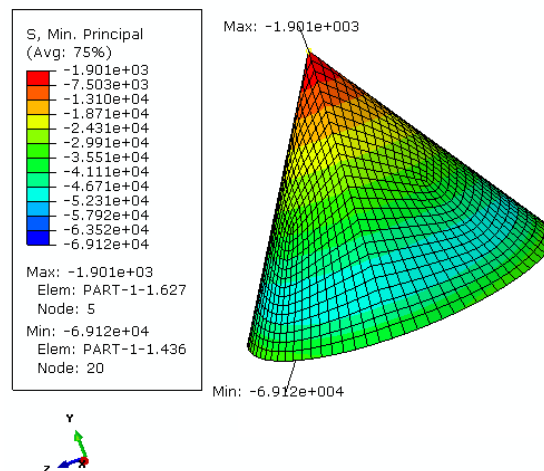


شکل ۲۷: شماتیکی از محاسبه مقدار ماکزیمم تنش اصلی برای آب‌انبار با سقف مخروطی به ضخامت سقف ۳۰ سانتی

متر



شکل ۲۸: شماتیکی از نمودار تنش مینیمم بر حسب زمان در آب‌انبار سقف مخروطی



شکل ۲۹: شماتیکی از محاسبه مقدار مینیمم تنش اصلی برای آب‌انبار با سقف مخروطی به ضخامت سقف ۳۰ سانتی متر

اثرات زلزله‌های مختلف بر سقف آب‌انبار

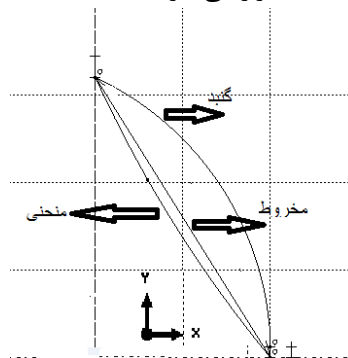
پس از این مرحله در بارگذاری دینامیکی به بررسی اثر زلزله‌های مختلف بر یک آب‌انبار با سقف گنبدی و با ابعاد مشخص در مدت زمان ۱۰ ثانیه پرداخته شده است که نتایج حاصله در جدول ۳ مشاهده می‌گردد. ابعاد آب‌انبار محمد عبدالله با ضخامت سقف ۳۰ سانتی‌متر برای این آنالیز مورد استفاده قرار گرفته شده است.

جدول ۳: محاسبه تنش‌های اصلی به ازای بارهای زلزله متفاوت

زلزله	ماکزیمم تنش اصلی (Mpa)	مینیمم تنش اصلی (Mpa)
منجیل	0.01660	-0.09513
بم	0.02795	-0.1283
طیس	0.01348	-0.0819
بافق	0.07137	-0.2380

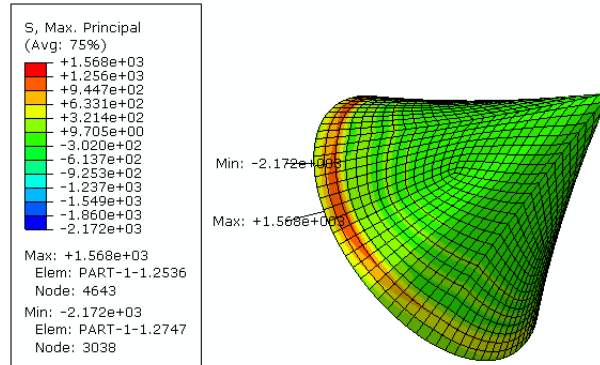
تاثیر شکل منحنی سقف آب‌انبار بر روی تنش‌های اصلی در بارگذاری دینامیکی

همانطور که اشاره شد یکی از پارمترهایی که استادان آب‌انبار ساز دقیقاً بر حسب تجربه به آن اتکا می‌نمایند، شکل منحنی گنبد می‌باشد. از آنجایی که امکانات و وسایل لازم برای ساخت سقف آب‌انبار در دست نبوده است بنا به تجربه و شرایط کار، منحنی گنبد شکل می‌گرفته است. در این قسمت به بررسی سه نوع مدل سقف به صورت‌های مخروطی، گنبدی و منحنی به شرح شکل ۳۰ پرداخته می‌شود. و در ادامه پس از بارگذاری دینامیکی زلزله منجیل بر سه حالت تعریف شده، تنش‌های آن مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

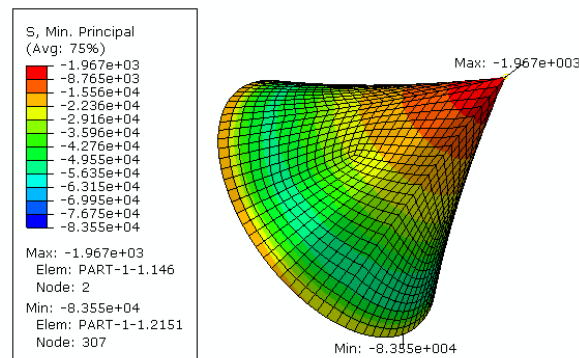


شکل ۳۰- شماتیکی از انواع منحنی‌های مورد آنالیز سقف

دو نوع سقف مخروطی و گنبدی با ابعاد برکه محمد عبدالله در قسمت‌های قبل تحت زلزله منجبل مورد آنالیز قرار گرفت. لذا برای تکمیل فرآیند تنها حالت منحنی که در شکل ۳۰ نشان داده شده است مورد آنالیز قرار می‌گیرد.



شکل ۳۱: شماتیکی از محاسبه مقدار ماکزیمم تنش اصلی برای آب‌انبار با سقف منحنی به ضخامت سقف ۳۰ سانتی‌متر



شکل ۳۲: شماتیکی از محاسبه مقدار مینیمم تنش اصلی برای آب‌انبار با سقف مخروطی به ضخامت سقف ۳۰ سانتی‌متر

جدول ۴: مقایسه بین تنش‌های اصلی به ازای هندسه‌های مختلف سقف

هندسه سقف	ماکزیمم تنش کششی اصلی (مگا پاسکال)	مینیمم تنش فشاری اصلی (مگا پاسکال)
گنبدی	0.0166	-0.09513
مخروطی	0.001426	-0.0686
منحنی	0.001568	-0.08355

آنالیز هیدرواستاتیکی مخازن



از آنجایی که مخزن آب‌انبارها تحت تاثیر دو نیروی هیدرولیکی آب و نیروی خاک قرار دارد، در این قسمت سعی شده است مخزن آب‌انبارهای مورد مطالعه تحت تاثیر نیروهای مذکور آنالیز گردد. همانطور که می‌دانیم نیروهای آب و خاک توزیع مثلی بر دیواره مخزن دارند و از روابط زیر محاسبه می‌گردند:

$$F_w = \gamma_w h_w \quad (7)$$

$$F_{kh} = k_a k_b \gamma_{kh} h_{kh} \quad (8)$$

که در فرمول‌های بالا پارامترهای بیان شده آورده شده اند.

γ_w : وزن مخصوص آب

h_w : ارتفاع آب داخل مخزن

F_w : نیروی ایجاد شده توسط آب

F_{kh} : نیروی ایجاد شده توسط خاک

k_a : ضریب خاک

k_b : ضریب کاهش

γ_{kh} : وزن مخصوص خاک

h_{kh} : ارتفاع خاک پشت مخزن

$$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} \quad (9)$$

که در آن ϕ زاویه اصطکاک خاک بین ۱۰ - ۴۰ درجه می‌باشد که برای بستر خاکی غرب استان ۳۰ درجه در نظر گرفته شده است لذا:

$$k_a = \frac{1}{3}, k_b = 0.5, \gamma_w = 10000, \gamma_{kh} = 18500$$

در فرآیند حل، مخزن بصورت یک استوانه توخالی در نظر گرفته می‌شود که پوسته خارجی آن تحت توزیع بار مثلی نیروی خاک قرار گرفته و پوسته داخلی تحت تاثیر توزیع مثلی نیروی آب می‌باشد و همچنین به کف مخزن فشار یکنواخت آب وارد می‌شود. روی دیواره استوانه نیز بار ناشی از وزن سقف و سکو وارد می‌گردد.

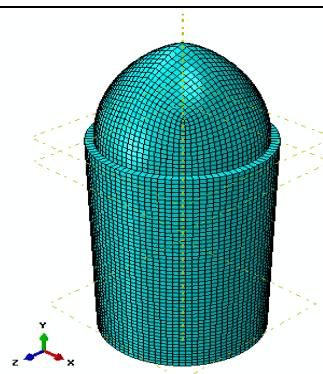
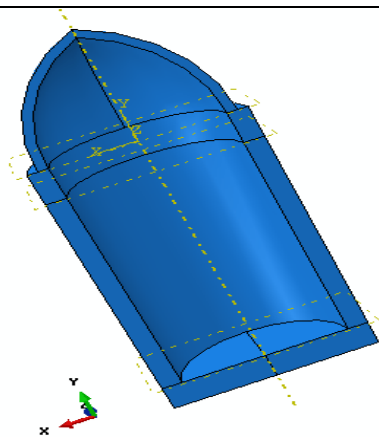
معرفی بارهای وارد شده به مخزن در حالت هیدرواستاتیکی

با توجه به مشخصات مخزن آب‌انبارها، چهار نیروی P1، P2 و P3 به مخزن وارد می‌شود که عبارت‌اند از:

P1: نیروی خاک که توزیع مثلی روی پوسته خارجی مخزن دارد و برابر $3083h_{kh}$ نیوتن می‌باشد.

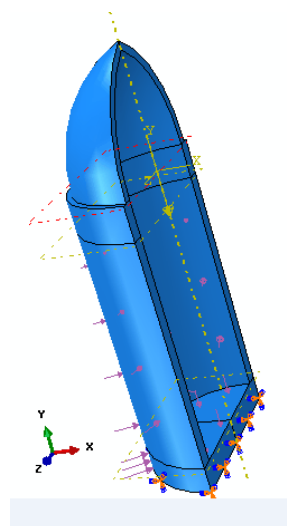
P2: نیروی آب که توزیع مثلی روی پوسته داخلی مخزن دارد و برابر $10000h_w$ نیوتن می‌باشد.

P3: نیروی آب وارده به کف مخزن بصورت گسترده وارد شده و برابر $10000h_w$ نیوتن می‌باشد.



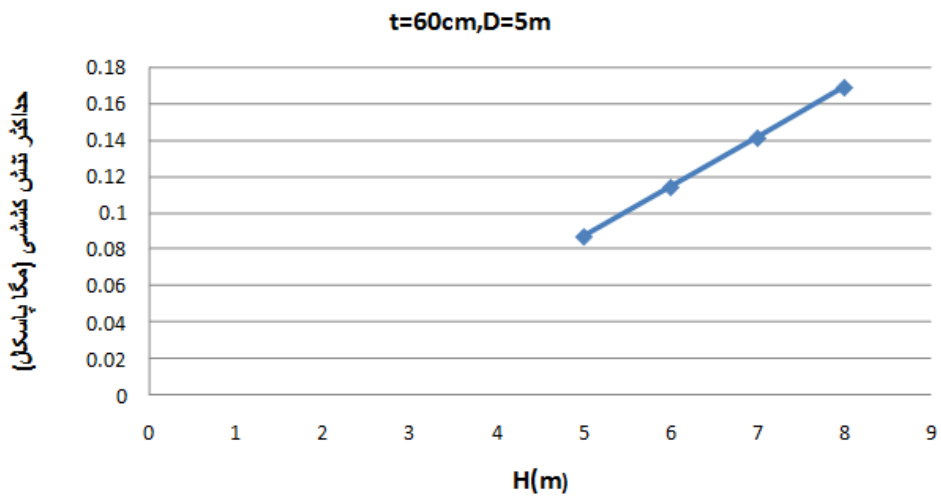
شکل ۳۴: شماتیکی از نمای برش خورده مخزن به همراه سقف

شکل ۳۳: شماتیکی از نحوه مش بندی مخزن به همراه سقف

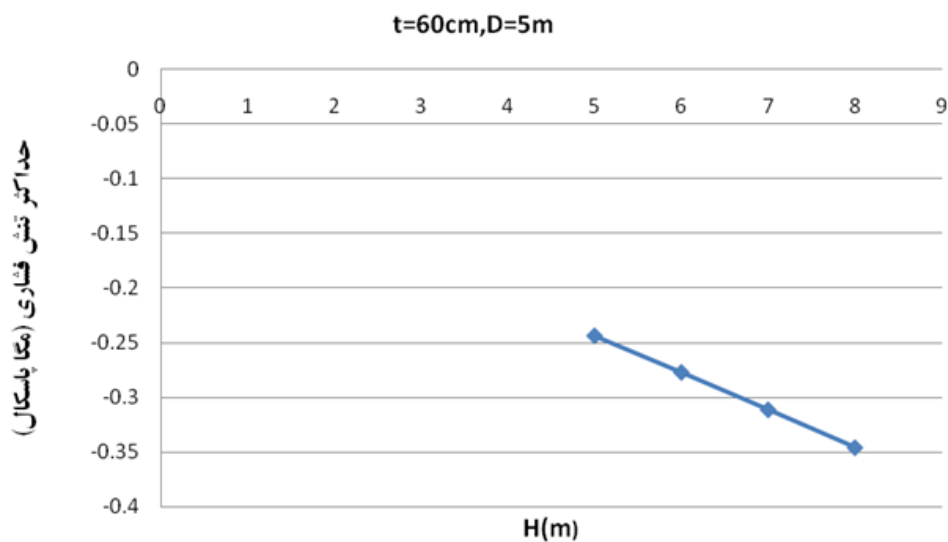


شکل ۳۵: شماتیکی از نحوه بارگذاری مخزن به همراه سقف

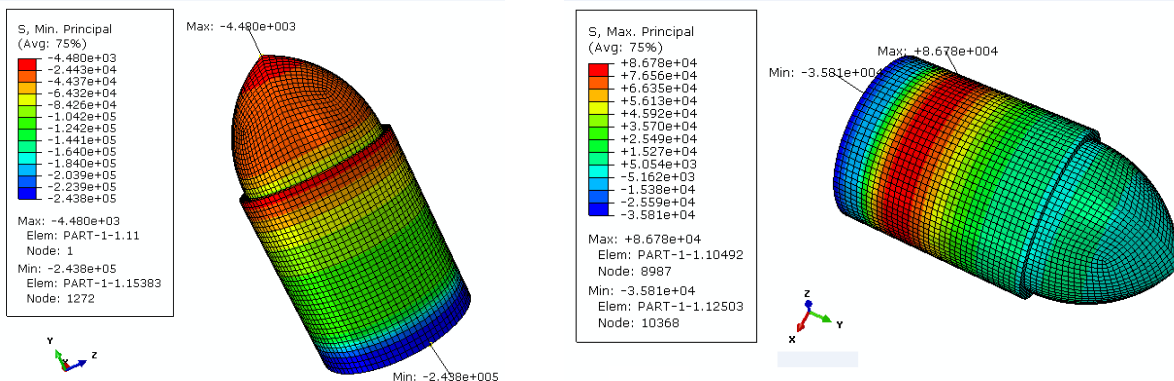
اثرات تغییر ارتفاع مخزن در تنش‌های اصلی در بارگذاری هیدرو استاتیکی برای بررسی تاثیرات تغییر ارتفاع مخزن در تنش‌های اصلی، مخزن یک آب‌انبار با ابعاد مشخص در نظر گرفته و با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها مقدار ارتفاع را تغییر داده و مخزن تحت بارگذاری هیدرو استاتیکی آب و خاک مورد آنالیز قرار می‌گیرد. در این مرحله آب‌انبار محمد عبدالله با قطر ۵ متر و ضخامت دیواره مخزن ۶۰ سانتی متر مورد بررسی قرار گرفته شده است.



شکل ۳۶: نمودار ماکزیمم تنش کششی بر حسب ارتفاع در مخزن آب‌انبار



شکل ۳۷: نمودار ماکزیمم تنش فشاری بر حسب ارتفاع در مخزن آب‌انبار

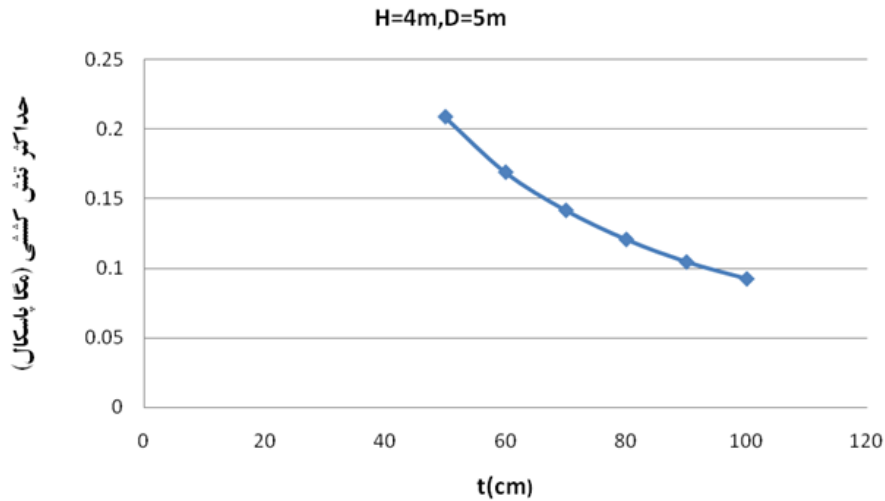


شکل ۳۹: شماتیکی از محاسبه مقدار حداکثر تنش فشاری با ارتفاع مخزن $t=60\text{cm}$ و $H=5\text{m}$

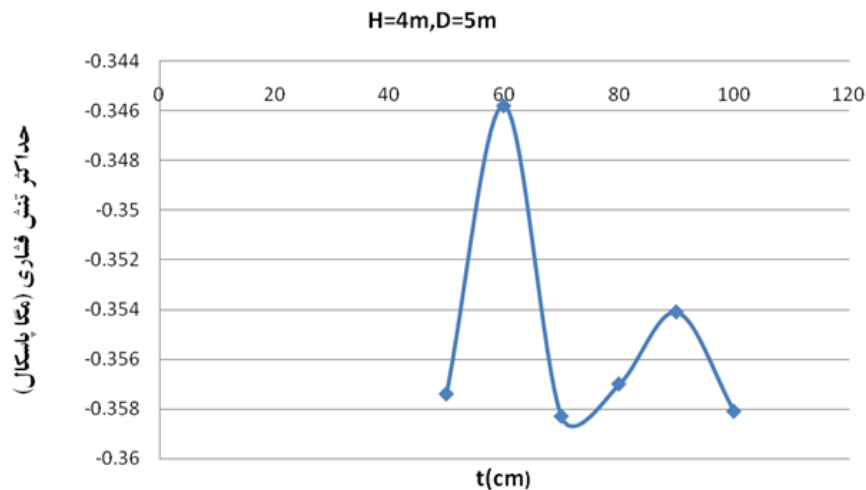
شکل ۳۸: شماتیکی از محاسبه مقدار حداکثر تنش کششی با ارتفاع مخزن $t=60\text{cm}$ و $H=5\text{m}$



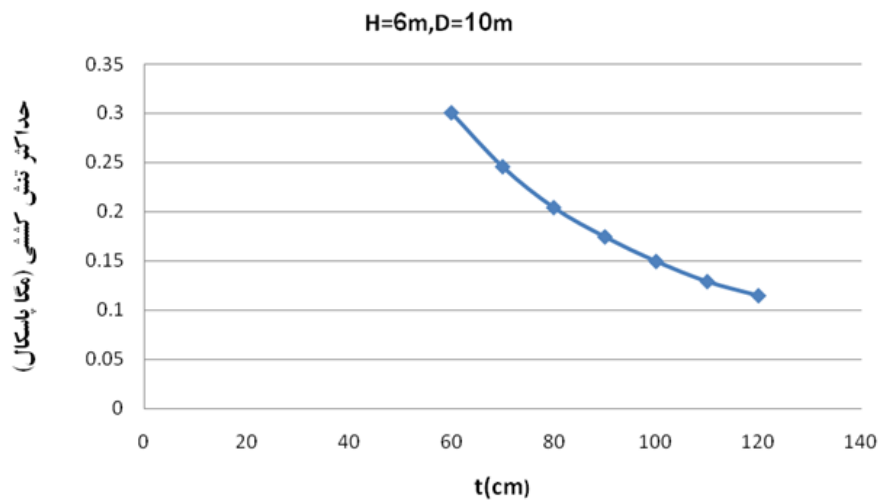
اثرات تغییر ضخامت مخزن بر تنش‌های اصلی در بارگذاری هیدرو استاتیکی به ازای پارامترهای ثابت مخزن یک آب‌انبار، ضخامت دیواره مخزن را تغییر داده و اثرات آن بر تنش‌های اصلی در بارگذاری هیدرو استاتیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در انجام این فرایند از مشخصات سه آب‌انبار استفاده شده است.



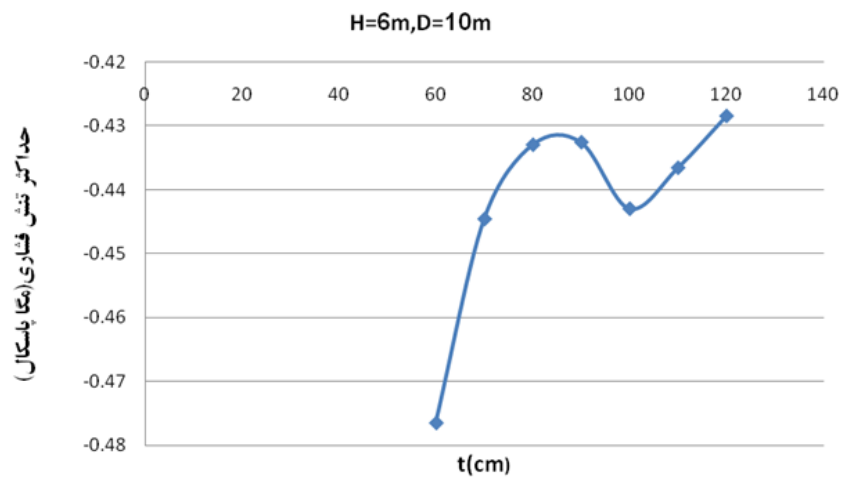
شکل ۴۰: نمودار ماکزیمم تنش کششی بر حسب ضخامت در مخزن آب‌انبار به قطر $D=5m$ و ارتفاع مخزن $H=4m$



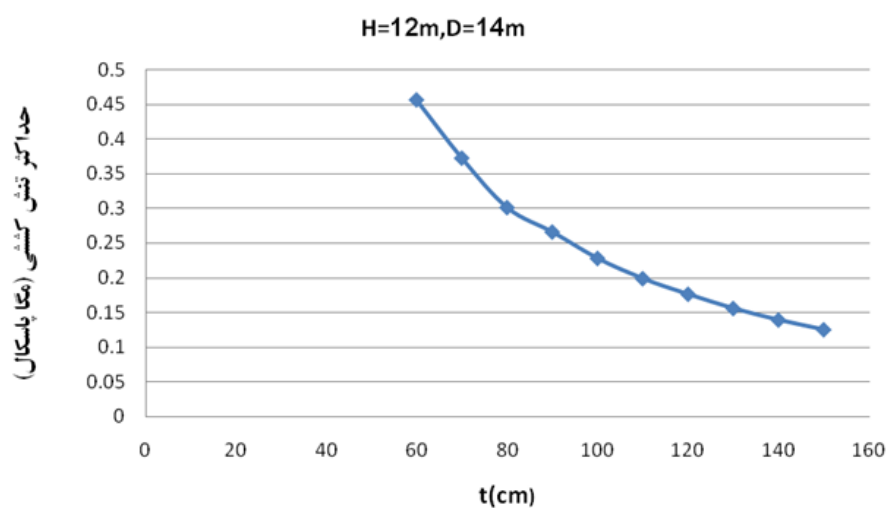
شکل ۴۱: نمودار ماکزیمم تنش فشاری بر حسب ضخامت در مخزن آب‌انبار به قطر $D=5m$ و ارتفاع مخزن $H=4m$



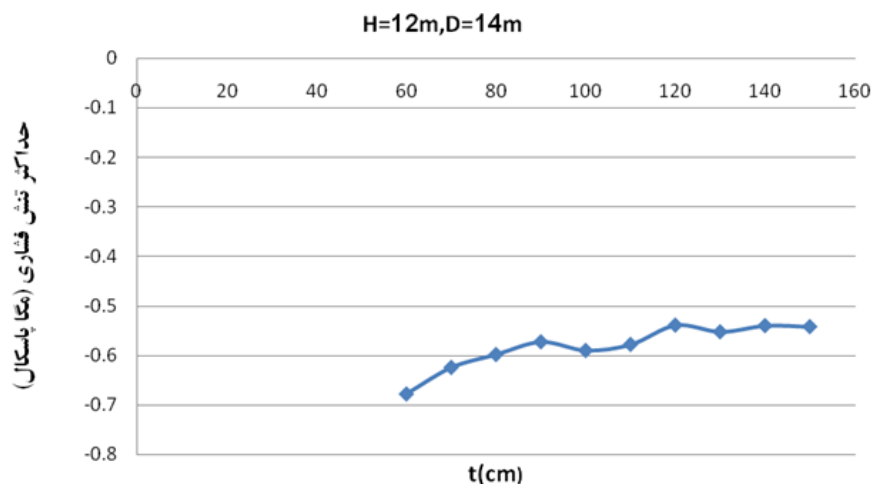
شکل ۴۲: نمودار ماکزیمم تنش کششی بر حسب ضخامت در مخزن آب‌انبار به قطر $D=10m$ و ارتفاع مخزن $H=6m$



شکل ۴۳: نمودار ماکزیمم تنش فشاری بر حسب ضخامت در مخزن آب‌انبار به قطر $D=10m$ و ارتفاع مخزن $H=6m$



شکل ۴۴: نمودار ماکزیمم تنش کششی بر حسب ضخامت در مخزن آب‌انبار به قطر $D=14m$ و ارتفاع مخزن $H=12m$



شکل ۴۵: نمودار ماکزیمم تنش فشاری بر حسب ضخامت در مخزن آب‌انبار به قطر $D=14m$ و ارتفاع مخزن $H=12m$

نتیجه گیری

با توجه به آنالیزهای دینامیکی و استاتیکی سقف آب‌انبار می‌توان به چند موضوع اشاره داشت:

- ۱- هندسه سقف آب‌انبار در ایجاد تنش‌های حداکثر کششی و فشاری اثر داشته و بهترین نوع هندسه، حالت مخروطی سقف است.
- ۲- به ازای تنش‌های محاسبه شده از بارگذاری دینامیکی زلزله می‌توان استدلال نمود که این دسته سقف‌ها در برابر بارگذاری‌های اعمال شده از لحاظ مقاومت مصالح مقاوم بوده و دچار ترک نمی‌شوند. منتهی بایستی به کیفیت مصالح استفاده شده توجه نمود.
- ۳- ترکیب مصالح با کیفیت در تحمل بارهای خمشی سقف بسیار تاثیر گذار است. لذا ممانعت از مرطوب شدن سقف، که عامل اثر گذار در استحکام گچ می‌باشد، بسیار مهم است.
- ۴- تنش‌های کششی و فشاری بدست آمده از مخزن آب‌انبار زیر حد تنش مجاز مصالح بنایی استفاده شده در مخزن بوده و به لحاظ مقاومت مصالح مستحکم می‌باشد. در مخزن در اثر فشار سیال مقادیر تنش‌ها قابل ملاحظه تر نسبت به سقف آب‌انبار است و لذا ضخامت دیواره مخزن بر مبنای قطر و دیواره مخزن بر مبنای مقاومت کششی مصالح مخزن بدست خواهد آمد. مثلاً برای مخزنی با قطر ۵ متر و ارتفاع ۸ متر ضخامتی از مخزن قابل قبول است که تنش ایجاد شده در دیواره مخزن کمتر از حد تنش مجاز مصالح بنایی استفاده شده در مخزن باشد. بنابراین با توجه به نمودار شکل های ۴۰، ۴۲ و ۴۴ می‌توان بهترین ضخامت دیواره مخزن را انتخاب نمود. یا در حالت دیگر به ازای قطر و ضخامت مشخص دیواره مخزن و با توجه به تنش مجاز مصالح استفاده شده با استفاده از نمودار شکل ۳۶ می‌توان بهترین ارتفاع مخزن را انتخاب نمود.

منابع

- [۱] حسین مسرت. آب‌انبار های شهر یزد..
- [۲] فضل الله کریمی قطب آبادی، محمد ملکی. ۱۳۸۹. آب‌انبارها، نماد فرهنگ و معماری تاحیه لارستان..
- [۳] مقررات ملی ساختمان، "مبحث ششم: بارهای وارد بر ساختمان. ۱۳۸۰

