مقدمه

پروژه حاضر مربوط به طرح لرزه ای یک مخزن آب هوایی فلزی می باشد.

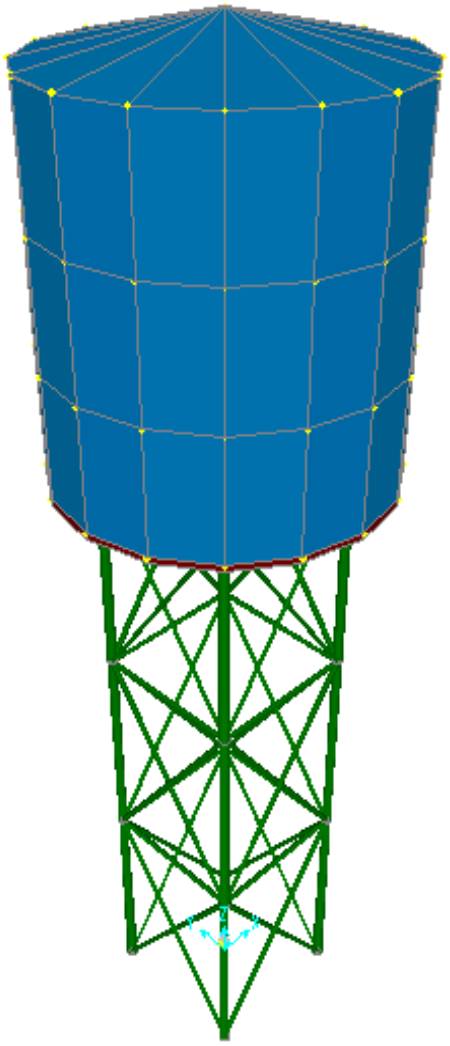
مشخصات طرح عبارتند از

تنش کششی مجاز ورق فولادی	1400 kg/m2
حد تسلیم فولاد	2400 kg/m2
حد نهایی فولاد	3700 kg/m2
دانسیته حجمی فولاد	7850 kg/m3
مقاومت 28 روزه بتن فونداسیون	210 kg/m3
دانسیته حجمی بتن	2400 kg/m3
دانسیته حجمی خاک رو فونداسیون	1800 kg/m3
حجم مخزن	20 m3
وزن مخصوص آب	1000 kg/m3
تنش نهایی میل مهارها	5000 kg/m2
محل پروژه	بوشهر
آیین نامه های مورد استفاده	مبحث دهم مبحث نهم مبحث ششم آیین نامه 2800

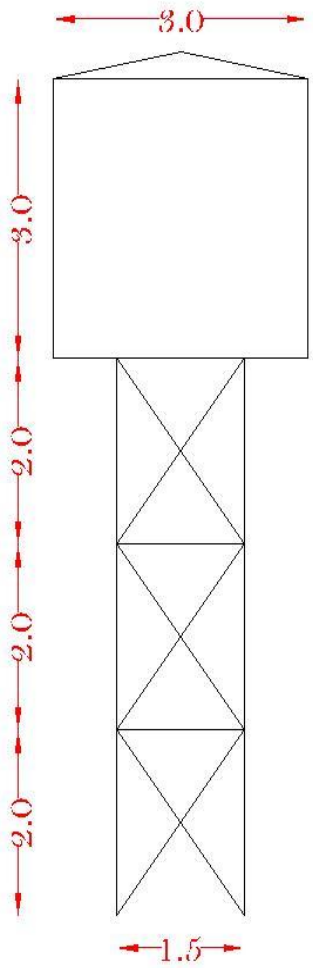
مدل سازی

مدلسازی

در شکل زیر مخزن مدل شده در نرم افزار نمایش داده شده است.



مشخصات هندسی مخزن



بارگذاری

۶-۴-۲- بار برف مبنا

بار برف مبنا، P_S، را در مناطق مختلف کشور باید با توجه به تقسیم بندی مشخص شده در شکل ٦-٤-١، حداقل برابر با مقادیر زیر در نظر گرفت. این بار را می توان با انجام مطالعات دقیق تر آماری برای منطقه مورد نظر نیز تعیین نمود، ولی مقدار آن در هر حالت نباید کمتر از ۸۰% مقادیر زیر در نظر گرفته شود.

بخش ۱- مناطق با برف کم	۲۵ دکانیوتن بر مترمربع
بخش ۲- مناطق با برف متوسط	۱۰۰ دکانیوتن برمترمربع
بخش ۳- مناطق با برف زیاد	۱۵۰ دکانیوتن برمترمربع
بخش ٤- مناطق با برف خیلی زیاد (برف گیر و کوهستانی)	۲۰۰ دکانیوتن برمترمربع

۶-۴-۳- بار برف بامها

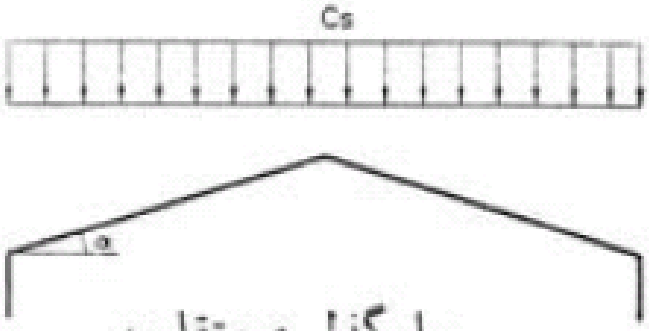
۶-۴-۳-۱- بار برف بر روی بامها، P_r، را باید با توجه به زاویه شیب بام، برای هر مترمربع تصویر افقی سطح آن، از رابطه زیر تعیین نمود.

$$P_r = C_S . P_S$$

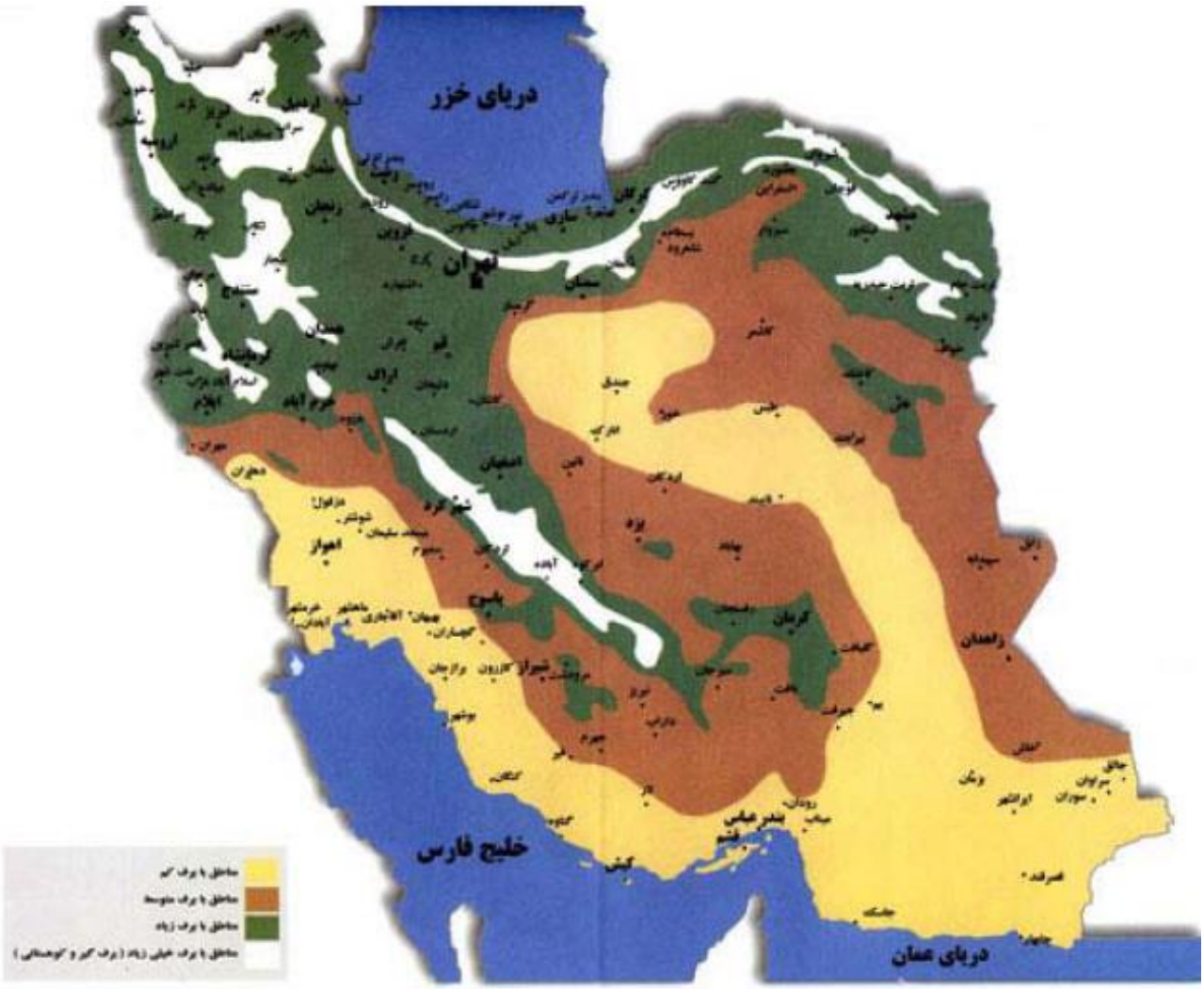
۶-۴-۳-۲- ضریب اثر شیب، C_S برای بامهای مسطح و شیب دار به شرح زیر تعیین می شود:

الف: در بامهای مسطح و شیب دار با زاویه شیب کمتر از ۱۵ درجه:

$$C_S = ۱/۰$$



بارگذاری متقارن



شکل۶-٤-۱تقسیم بندی مناطق کشور برای بار برف

با توجه به اینکه شهر بوشهر در منطقه با ابرف نادر دارد و از طرفی زاویه شیب سقف مخزن کمتر از 15 درجه است محاسبت مربوط به بارگذاری برف جهت سقف مخزن به شرح زیر خواهد بود.

$$P_r = C_S . P_S$$ =1 x 25 = 25 kg/m2

۶-۶-۵- فشار یا مکش ناشی از باد

فشار یا مکش ناشی از باد بر روی سطوح ساختمان، در هر ارتفاعی از آن، از رابطه زیر محاسبه می شود. اصطلاح فشار برای حالتی است که جهت نیرو رو به سطح و اصطلاح مکش برای حالتی است که جهت نیرو از طرف سطح به طرف خارج باشد.

$$\mathbf{p = C_e . C_q . q}$$

q فشار مبنای باداست

C_q ضریبی است به نام «ضریب اثر تغییر سرعت»

C_e ضریبی است به نام «ضریب شکل»

الف- در نواحی داخل شهرها و یا محلهائی که دارای ساختمانهای متعدد و یا انبوه درختان اند:

$$C_e = ۱/۶ \left(\frac{Z}{۱۰}\right)^{۰/۲۲}$$

$$C_e \geq ۱/۶$$

(۴-۶-۶)

ب- در نواحی باز خارج از شهرها و یا محلهایی که دارای ساختمانها و یا درختان پراکنده اند:

$$C_e = ۲/۰ \left(\frac{Z}{۱۰}\right)^{۰/۱۴}$$

$$C_e \geq ۲/۰$$

جدول شماره ٦-٦-٢ ضریب اثر تغییر سرعت برای ارتفاع ترازهای مختلف

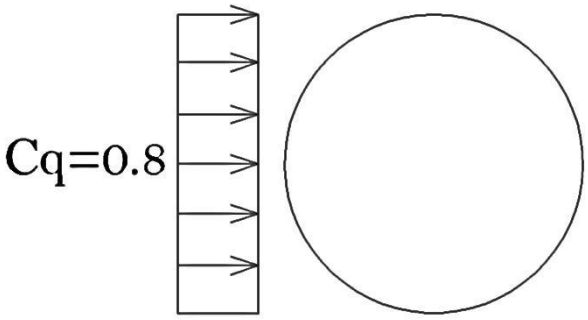
ارتفاع تراز مورد نظر (به متر)	۰-۱۰	-۲۰ ۱۰	۲۰-۳۰	-۴۰ ۳۰	۴۰-۵۰	-۶۰ ۵۰	-۸۰ ۶۰	-۱۰۰ ۸۰	-۱۲۰ ۱۰۰
نواحی بند (الف)	۱/۶	۱/۹	۲/۱	۲/۲	۲/۳	۲/۴	۲/۶	۲/۸	۲/۹
نواحی بند (ب)	۲/۰	۲/۲	۲/۴	۲/۵	۲/۶	۲/۷	۲/۸	۲/۹	۳/۰

۶-۶-۹- ضریب شکل برای سازه های غیر ساختمانی

۶-۶-۹-۱- دودکشها، مخازن، برجهای با دیوار توپر: ضریب شکل برای این سازه ها باید با توجه به شکل هندسی آنها در پلان، به شرح زیر در نظر گرفته شوند:

ب- سازه های با پلان دایره یا بیضی

$$C_q = ۰/۸$$

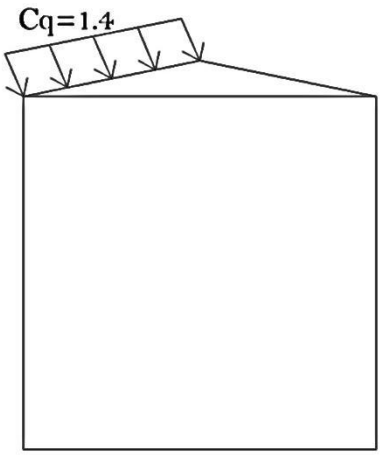


نیروی باد وارده بر جداره مخزن به صورت تصویر شده برابر خواهد با

$$p = C_e.C_q.q \quad = 0.8 \times 2 \times 50 = 80 \text{ kg/m2}$$

جدول شماره ٦-٦-٤ ضریب شکل برای پوشش بامها و اعضای سازه ای نگهدارنده آنها

شیب کمتر از ۱۵ درجه	-۱/۲



نیروی باد وارده بر سقف مخزن برابر خواهد بود با

$$p = C_e.C_q.q \quad = -1.4 \times 2 \times 50 = -140 \text{ kg/m2}$$

۶-۶-۱۰- ضوابط عمومی طراحی سازه ها برای باد

۶-۶-۱۰-۱- در طراحی سازه ها برای باد، کل سازه باید از نظر واژگونی پایدار باشد. لنگر واژگونی مؤثر بر سازه باید نسبت به محور واقع بر فصل مشترک وجه انتهایی شالوده با صفحه زیر آن، در سمت پشت به باد، تعیین گردد. ضریب اطمینان موجود در مقابل واژگونی نباید کمتر از ۱/۷۵ اختیار شود. در محاسبه لنگر مقاوم در مقابل واژگونی می توان وزن شالوده و خاک روی آن را نیز به حساب آورد.

۶-۶-۱۰-۲- مقاومت کل سازه در مقابل رانش بر روی زمین باید به وسیله اصطکاک شالوده ها بر روی زمین، مقاومت ایجاد شده توسط خاک مقابل شالوده، و یا هر مهار جانبی دیگری که برای این منظور تعبیه شده است، تأمین گردد. ضریب اطمینان موجود در مقابل رانش نباید کمتر از ۱/۵ در نظر گرفته شود.

۶-۷-۲-۵-۱- نیروی جانبی زلزله - نیروی برشی پایه، V

حداقل نیروی برشی پایه یا مجموع نیروهای جانبی زلزله در هر یک از امتدادهای ساختمان با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد:

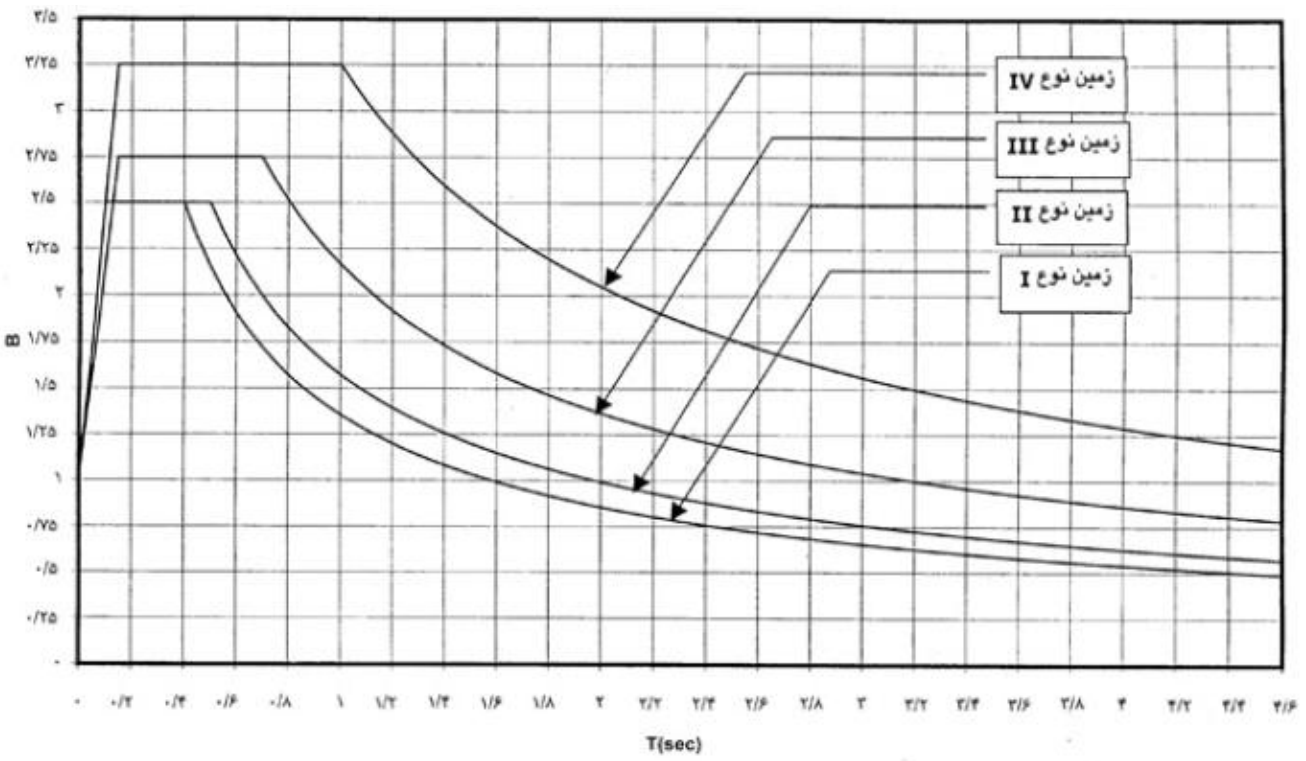
$$V = CW \quad (۶-۷-۱)$$

$$C = \frac{ABI}{R}$$

۶-۷-۲-۴- میزان مشارکت بار زنده در تعیین نیروی جانبی زلزله

محل بار زنده	درصد میزان بار زنده
بامهای شیبدار با شیب ۲۰% و بیشتر *	-----
بامهای مسطح یا با شیب کمتر از ۲۰%	۲۰
ساختمانهای مسکونی،اداری،هتلها و پارکینگها	۲۰
بیمارستانها،مدارس،فروشگاهها و ساختمانهای محل اجتماع یا ازدحام	۴۰
انبارها و کتابخانه ها	۶۰
مخازن آب و سایر مایعات	۱۰۰

* در صورتی که احتمال ماندگار شدن برف بر روی این بامها زیاد باشد،درصد مشارکت،مانند بامهای مسطح در نظر گرفته شود.



شکل ۶-۷-۱-الف – ضریب بازتاب ساختمان برای مناطق با خطر نسبی کم و متوسط

جدول شماره ٦-٧-٨ ضریب رفتار برای سازه های غیر ساختمانی، R

ردیف	نوع سازه	R
۱	سازه هایی که رفتارشان مشابه پاندول وارونه است. مخازن هوایی که بر روی پایه های بادبندی شده یا نشده قرار دارند.	۳
۲	سیلوها، دودکشها و به طور کلی سازه هایی که دارای جرم گسترده بوده و رفتارشان مشابه ستون طره ای است.	۵
۳	برجهای خنک کن که بر روی پایه های بادبندی شده قرار گرفته اند.	۳
۴	قیفها و کندوهای متکی بر روی پایه های بادبندی شده یا نشده	۴
۵	برجها و دکلهای مشبک، آزاد یا مهار شده	۴
۶	علائم، تابلوها، تاسیسات خاص تفریحی و بازی و برجهای یادبود	۵
۷	سایر سازه ها	۳/۵

جدول ۶-۷-۲ نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق با لرزه خیزی مختلف

منطقه	توصیف	نسبت شتاب مبنای طرح
۱	پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد	%۳۵
۲	پهنه با خطر نسبی زیاد	%۳۰
۳	پهنه با خطر نسبی متوسط	%۲۵
۴	پهنه با خطر نسبی کم	%۲۰

شتاب مبنای طرح شهر بوشهر	0.25
ضریب بازتاب طرح	2.5
ضریب اهمیت	1.2
ضریب رفتار	3

$$C = \frac{ABI}{R}$$ =0.25

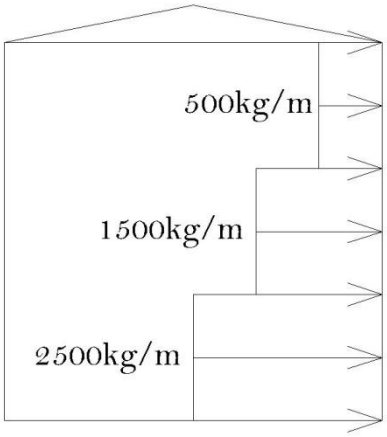
نیروی ناشی از سیال درون مخزن

فشار هیدرواستاتیک سیال درون مخزن به جداره داخلی مخزن به شکل مثلثی توزیع خواهد شده که مقدار آن برابر خواهد بود با

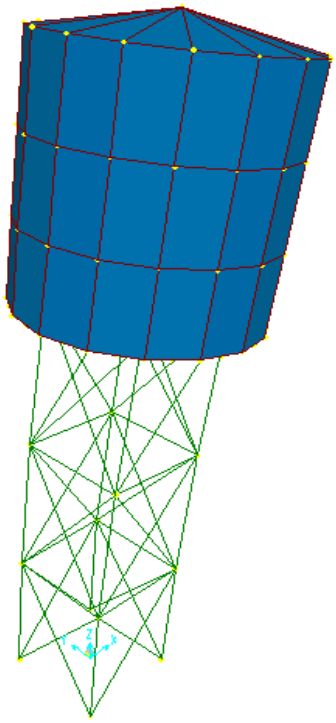
$$P=Y * Z$$

ارتفاع از بالای مخزن بر حسب متر	مقدار فشار هیدرواستاتیک بر حسب کیلوگرم در عرض واحد
0	0
1	1000
2	2000
3	3000

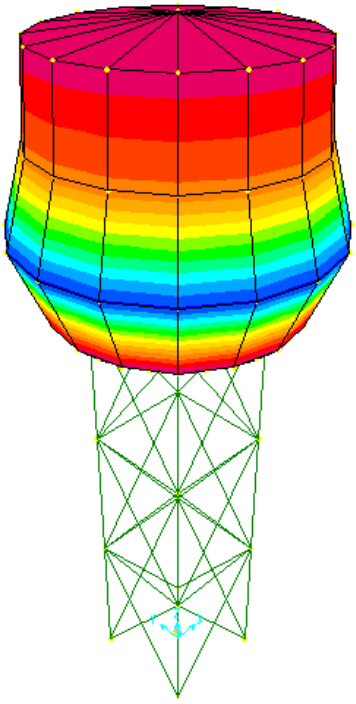
به دلیل اینکه امکان بارگذاری به شکل فوق در نرم افزار میسر نیست، بنابراین بارگذاری را به صورت تقریبی و به شکل پلکانی انجام می دهیم.



تحلیل



تغییر شکل مخزن ناشی از نیروی زلزله



تغییر شکل مخزن ناشی از نیروی هیدروستاتیک سیال

کنترل واژگونی

نیروی زلزله(تن)	5.87	نیروی باد(تن)	0.75
وزن موثر مخزن(تن)	23.5	وزن موثر مخزن(تن)	3.5
وزن پی(تن)	10.8	وزن پی(تن)	10.8
وزن خاک رو پی(تن)	16.2	وزن خاک روی پی(تن)	16.2
بازوی لنگر واژگونی(متر)	9	بازوی لنگر واژگونی(متر)	9
بازوی لنگر مقاوم(متر)	1.5	بازوی لنگر مقاوم(متر)	1.5
لنگر واژگونی(تن متر)	52.83	لنگر واژگونی(تن متر)	6.75
لنگر مقاوم(تن متر)	50.5	لنگر مقاوم(تن متر)	30.5
مخزن واژگون	می شود	مخزن واژگون	نمی شود

ملاحظه می شود که مخزن در برابر نیروی زلزله به لحاظ واژگونی دارای مقاومت کافی نبوده که برای رفع نقیصه بهتر است پایه های مخزن به صورت پار باز یا مایل طراحی شده تا بازوی لنگر مقاوم بیشتری بدهد.

کنترل ستونها برای ترکیبات بار محوری ویژه

الف ــ ظرفیت بار محوری ستون در فشار یا کشش، بدون در نظر گرفتن لنگر خمشی وارد بر آن، نباید کمتر از بار محوری تعیین‌شده در ترکیب بارگذاری زلزله تشدیدیافته باشد. در این ترکیب رابطه بار محوری به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

۱ ـ در طراحی به‌روش تنش مجاز

ـ در فشار محوری:

$$۰/۷۵P_D + ۰/۷۵P_L + ۰/۷۵\Omega_۰ P_E \le F_a \cdot A \qquad (۲ ـ ۳ ـ ۱۰)$$

ـ در کشش محوری:

$$۰/۷۵P_D + ۰/۷۵\Omega_۰ P_E \le ۰/۶ F_y \cdot A \qquad (۳ ـ ۳ ـ ۱۰)$$

در این روابط:

P_D= نیروی محوری ناشی از بار مرده

P_L= نیروی محوری ناشی از بار زنده

P_E= نیروی محوری ناشی از بار زلزله

F_a= تنش فشاری مجاز ستون، بند ۱۰ ـ ۱ ـ ۵

A= سطح مقطع کلی ستون

$\Omega_۰$ = ضریب اضافه مقاومت (جدول ۱۰ ـ ۳ ـ ۲)

جدول ۱۰ ــ ۳ ــ ۲ ضریب اضافه مقاومت

سیستم باربر جانبی	$\Omega_۰$
قاب خمشی با شکل‌پذیری زیاد	۲/۸
قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط	۲/۸
قاب خمشی با شکل‌پذیری کم	۲/۸
قاب ساده + مهاربند همگرا با شکل‌پذیری زیاد	۲
قاب ساده + مهاربند همگرا با شکل‌پذیری کم	۲

$۰/۷۵P_D + ۰/۷۵P_L + ۰/۷۵\Omega_۰ P_E$ = 17.3 TON < 29.9 TON ✓

$۰/۷۵P_D + ۰/۷۵\Omega_۰ P_E$ = 14 TON < 21.5 TON ✓

طراحی

ترکیبات بارگذاری

ردیف	شرایط	ترکیب بار
۱	ترکیب بار مبنا[1] (مرده + بهره‌برداری)	D+L
۲	ترکیب بار مرده، بهره‌برداری و زلزله یا باد *	۰/۷۵ [D+L± (E یا W)] ۰/۷۵ [D± (E یا W)]

۱۰ ـ ۳ ـ ۹ ـ ۳ ـ ۳ اتصالات قطری‌های مهاربندها

اتصالات مهاربندها باید برای کمترین نیروهای زیر طراحی شوند:

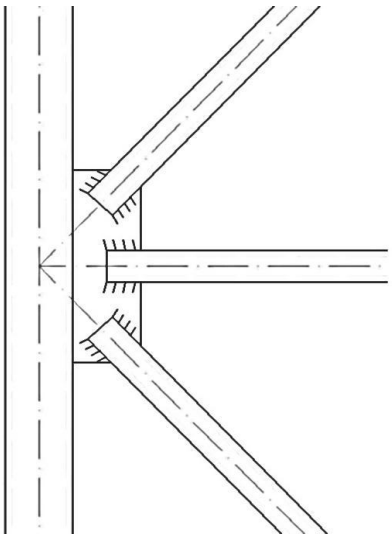
الف ـ ظرفیت کششی مجاز یا مقاومت کششی اعضای مهاربندی:

در طراحی به‌روش تنش‌های مجاز $۰/۶\, A_g\, F_y$

$۰/۶\, A_g\, F_y$ = 0.6 * 4.43* 2400 = 6380 Kg

جهت اتصال اعضا مهاربند از جوش گوشه با بعد جوشش 5 میلی متر استفاده می کنیم، از طرفی ارزش جوش گوشه را برابر 650D در نظر می گیریم، بنابر این خواهیم داشت.

4*650*0.5*L=6380 → L= 4.9 cm ≈ 5 cm



جهت ورق اتصال از یک پلیت به ابعاد 5*100*300 میلی متر استفاده می کنیم.

کف ستون‌ها

تنش فشاری مجاز بر روی تکیه‌گاه بتنی:

$$F_p = ۰/۳ f_c \sqrt{\frac{A_۲}{A_۱}} \leq ۰/۶ f_c \qquad (۱۰ - ۱ - ۱۰ - ۱۱)$$

که در آن:

f_c = مقامت مشخصه فشاری بتن بر روی نمونه استوانه‌ای استاندارد

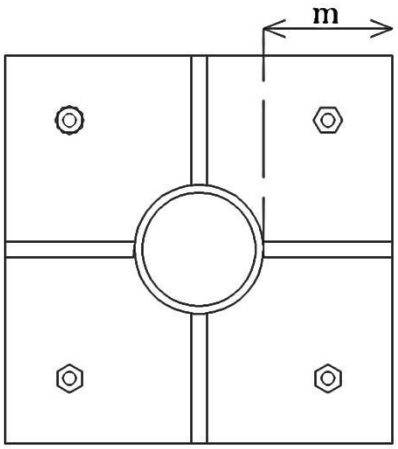
$A_۱$ = سطح ورق زیرستون در تماس با شالوده

$A_۲$ = حداکثر سطحی از شالوده هم‌مرکز و متشابه با ورق کف ستون

جهت صفحه کف ستون از یک ورق به ابعاد 20 در 20 سانتیمتر استفاده می کنیم.

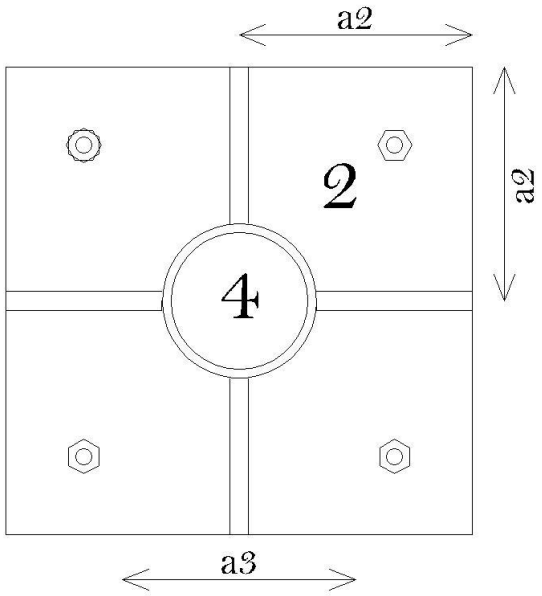
$$Fp = \frac{P}{A1} = \quad = \frac{10375}{20 * 20} = 26\ Kg/cm2$$ OK

$۰/۶ f_c$ = 0.6 * 210 = 126 Kg/cm2



$$t = 2\text{m}\sqrt{\frac{Fp}{0.75Fy}} = 2 * 5 * \sqrt{\frac{26}{0.75*2400}} = 1.2\ \text{cm}$$

طراحی سخت کننده های صفحه ستون



ناحیه 2 (از دو طرف بسته):

$$m_2 = \frac{q_2 \cdot \alpha_2^{\,2}}{2} = \frac{26 * 25}{2} = 325 kg.cm$$

$q_2 \leftarrow$ تنش ماکزیمم در ناحیه **2**

$\alpha_2 \leftarrow$ بعد کوچکتر ناحیه **2**

$m_2 \leftarrow$ لنگر عرض واحد ناحیه **2**

ناحیه 4 (از چهار طرف بسته):

$$m_4 = \beta_4 \cdot q_4 \cdot \alpha_4^{\,2} \quad =0.048*26*100=125 \text{ kg.cm}$$

q_4 ← تنش ماکزیمم ناحیه **4**

α_4 ← بعد کوچکتر ناحیه **4**

m_4 ← لنگر عرض واحد ناحیه **4**

b_4 طول بعد بزرگ تر ناحیه **4** است .

β_1 : از جدول تعیین می شود , b_4 طول بعد بزرگ تر ناحیه **4** است .

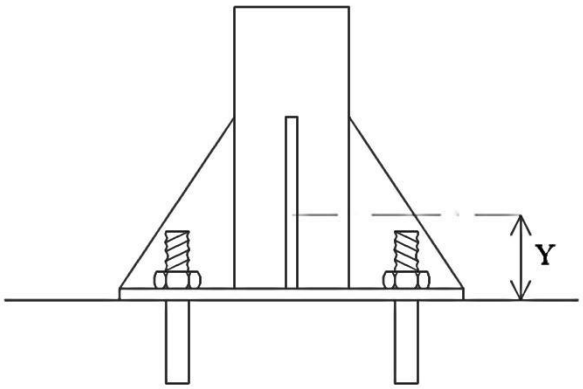
b_4/α_4	۱	۱,۱	۱,۲	۱,۳	۱,۴	۱,۵	۱,۶	۱,۷	۱,۸	۱,۹	۲	>۲
β_4	۰,۰۴۸	۰,۰۵۵	۰,۰۶۳	۰,۰۶۹	۰,۰۷۵	۰,۰۸۱	۰,۰۸۶	۰,۰۹۱	۰,۰۹۴	۰,۰۹۸	۰,۱۰۰	۰,۱۲۵

M= max (m2,m4)

ضخامت جدید ورق کف ستون بعد از لحاظ کردن اثر سخت کننده ها برابر خواهد بود با :

$$t = 2\text{m}\sqrt{\frac{6m}{0.75Fy}} = \sqrt{\frac{6*325}{0.75*2400}} = 1.04 \approx 1 \text{ cm}$$

ابعاد سخت کننده ها



جهت سخت کننده از یک ورق به ابعاد 5*50*200 میلی متر استفاده کرده و تنش موجود را با تنش مجاز مقایسه می کنیم.

$$f_b = \frac{M}{S} \leq 0.75F_y$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{325}{67} = 4.25\ kg/cm2$$

طراحی میل مهارها بولت ها :

میل‌مهارها

میل‌مهارها باید طوری طراحی و محاسبه شوند که در تمام حالت‌های بارگذاری وارد بر سازه، از نظر کشش و برش در پای ستون‌ها، جوابگو باشند که شامل کشش ناشی از لنگر خمشی حاصل از گیرداری و یا نیمه‌گیرداری پای ستون نیز می‌باشد.

طراحی میل مهارها به برش پای ستون و نیروی کششی T بستگی دارد از رابطه زیر تعیین می شود :

$$nA_S \geq \frac{T + 0.9V}{0.43.F_u}$$

$$nA_S \geq \frac{T + 0.9V}{0.43.F_u} = \frac{6725}{0.43 * 5000} = 3.12\ cm2$$

با توجه به اینکه سطح مقطع هر بولت نمره 14 برابر 1.53 سانتیمتر مربع است، از 4 بولت نمره 14 استفاده می کنیم.

تعیین ضخامت جداره مخزن

ضخامت جداره مخزن را برحسب تنش کشش حلقوی تعیین می کنیم. تنش کششی حلقوی برای مخازن فلزی نگهدارنده آب را برابر 1400 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در نظر می گیریم.

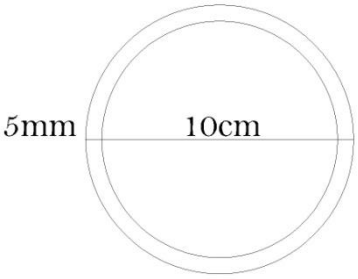
$$Ft = \frac{\gamma \times h \times r}{1000 \times t \times 0.35} = \frac{1 \times 300 \times 150}{1000 \times 0.3 \times 0.35} = 428\ kg/cm2$$

Ft	تنش کششی حلقوی	kg/cm2
h	ارتفاع مخزن	cm
r	شعاع مخزن	cm
t	ضخامت مخزن	cm
0.35	ضریب کارایی جوش گوشه	

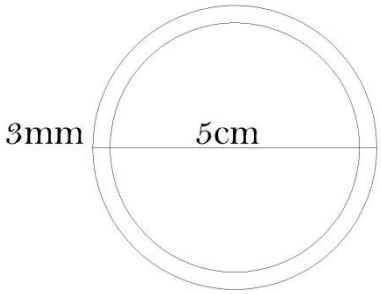
بنابراین ضخامت جداره مخزن را برابر 3 میلی متر در نظر می گیریم.

جهت کف مخزن از ورقی به ضخامت 5 میلی متر و جهت سقف مخزن از ورقی به ضخامت 3 میلی متر استفاده می کنیم.

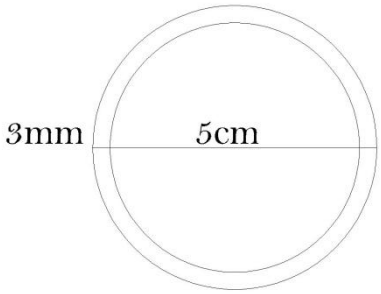
نمایش نسبت تنش محوری موجود اعضا به تنش مجاز



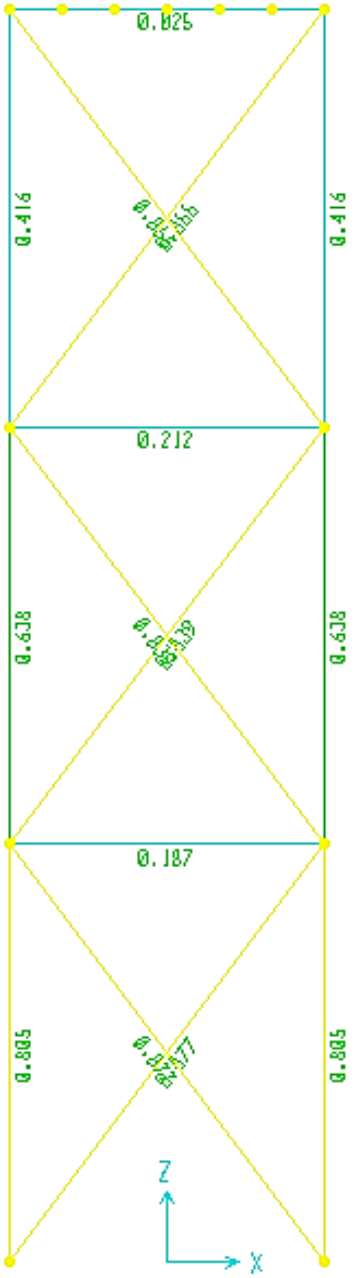
مقطع مورد استفاده جهت اعضا عمودی



مقطع مورد استفاده جهت اعضا افقی



مقطع مورد استفاده جهت اعضا قطری



طراحی پی

				P(TON)		
	43	cm	عمق موثر	13.6	0.75D+0.75L+0.75E	ترکیب بار کنترل تنش خاک زیر پی
	4050	kg	وزن خاک روی پی	21.75	D+1.2L+1.2E	ترکیب بار طراحی پی
	2700	kg	وزن پی	1.5	m	طول پی
	0.83	kg/cm2	تنش زیر پی	1.5	m	عرض پی
				50	cm	طول پدستال
طول و عرض پی کافی است	0.83		تنش موجود / تنش مجاز	50	cm	عرض پدستال
				50	cm	ضخامت پی
				100	cm	ارتفاع خاک روی پی
	9.67	T/m	تنش نهای زیر پی	7	cm	ضخامت پوشش بتن
	7.25	TON	ماکزیمم برش	20	cm	طول بیس پلیت
	28.50	cm	فاصله لبه پی تا محل پانچ	20	cm	عرض بیس پلیت
	2.76	TON	برنچ پانچینگ	2400	kg/m3	وزن واحد حجم بتن
55.63	83.45	TON	ظرفیت برشی	1800	kg/m3	وزن واحد حجم خاک روی پی
	372	cm2	محیط برش پانچ	210	kg/cm2	تنش مجاز بتن
	2.04	T.m	لنگر خمشی ماکزیمم	4000	kg/cm2	حد تسلیم آرماتورهای خمشی
				1	kg/cm2	تنش مجاز خاک زیر پی
ضخامت پی کافی است	0.05		برش پانچ / ظرفیت برشی	14	mm	نمره آرماتور مصرفی
				1.54	cm2	سطح مقطع یک آرماتور
	11.61	cm2	سطح مقطع آرماتورهای خمشی		cm	فاصله 2 آرماتور طولی متوالی
	8		تعداد آرماتور هر سفره			
	21	cm	فاصله آرماتورها از هم