

# بررسی رفتار لرزه ای در گنبد های فضا کار تک لایه

حسن عبدال پور<sup>۱</sup>، ضیاءالدین زمان زاده<sup>۲</sup>

Email:h\_abdolpour@yahoo.com

## خلاصه

طراحی سازه های فضائی در نواحی تحت فعالیت های لرزه ای بزرگ ایجاب می کند که رفتارهای دینامیکی این نوع از سازه ها را نسبت به نیروهای زلزله بدانیم. برخلاف سایر سازه های متعارف که اطلاعات کافی در مورد این رفتارها در دست می باشد ولی در مورد سازه های فضائی اطلاعات کافی در دست نمی باشد. در این مقاله سعی شده است تا پاسخ های دینامیکی را بر روی گنبدهای مشبک تک لایه در مقابل حرکت های افقی زلزله با استفاده از شتاب نگاشت های به مقیاس در آمده زلزله های نزدیک به گسل و چگالی های مختلف جرمی و اعضاء مختلف اختصاص داده شده به اعضاء گنبد، در انواع مختلف گنبد بررسی شود. با استفاده از نتایج حاصل از این تحلیل ها نیروهای زلزله در ترازهای مختلف یک گنبد بدست آمده اند. جهت تخمین نیروهای برش پایه و همچنین نیروهای ناشی از زلزله در ترازهای مختلف یک گنبد روابطی ارائه شده است.

کلمات کلیدی: سازه های فضائی، تحلیل دینامیکی، رفتار لرزه ای، معادل استاتیکی

## مقدمه

اولین ضوابط طراحی و ساخت سازه های فضائی (JGJ-80) در سال ۱۹۸۱ در کشور چین انتشار یافت و پس از آن در سال ۱۹۹۲ ویرایش جدید آن (JGJ-90) منتشر شد [۳]. این آئین نامه شامل مقرراتی برای بارگذاری و طرح اتصالات و اعضاء شبکه های تخت دو لایه می باشند. در این آئین نامه ۲ روش برای ارزیابی نیروی زلزله قائم بر روی شبکه های دو لایه تخت به صورت استاتیکی معادل ارائه شده است. در مطالعات دیگری تاثیر نیروهای ناشی از زلزله بر روی چلیک ها انجام گردیده است و روابطی جهت تخمین نیروهای ناشی از زلزله بیان شده است [۴ و ۵]. لازم به ذکر است که علاوه بر نیروهای ناشی از زلزله تحقیقات مختلفی نیز در مورد نیروهای دینامیکی ناشی از باد بر روی سازه های فضائی انجام گردیده است [۶].

در این مقاله سعی شده است تا روش تخمینی برای بدست آوردن نیروهای لرزه ای معادل استاتیکی بدست آید. برای همین منظور مدل سازی هندسی گنبد توسط برنامه نویسی در محیط Matlab انجام شده و مختصات کلیه گره های گنبد بدست آمده است، جهت انجام تحلیل ها از ۵ تاشه گنبد کروی با خیز های ۶۰ و ۷۵ و ۹۰ و ۱۰۵ و ۱۲۰ با قطر پایه ۶۰ متر استفاده شده است. در ادامه اعضاء و چگالی های مختلف جرمی به عناصر گنبد اختصاص داده شده است و با استفاده از شتاب های مختلف زلزله تحلیل های دینامیکی انجام یافته و نتایج حاصل از این تحلیل ها برای یافتن ضریب برشی پایه بر روی گرافی رسم شده است که با استفاده از این گراف ها و رابطه ارائه شده می توان ضریب برش پایه را در انواع مختلف گنبد با استفاده از پریمود اول سازه به راحتی بدست آورد که با ضرب این ضریب در وزن خود گنبد نیروی برش پایه حاصل می گردد و در ادامه شاهد نحوه توزیع نیروهای ناشی از زلزله در ترازهای مختلف گنبدهای فضائی خواهیم بود که مشاهده می گردد بر خلاف ساختمان های متعارف که نیروی ناشی از زلزله از تراز صفر به سمت ارتفاع ساختمان دائماً در حال افزایش می باشد در این نوع از سازه های فضائی نیروی ناشی از زلزله از تراز پایه به سمت بالای گنبد در حال افزایش بوده ولی در یک تراز خاصی این نیرو کاهش می یابد. این تراز در تمامی گنبدها ثابت بوده و در تراز H/88 از راس گنبد می باشد. با استفاده از گراف های بدست آمده روابطی برای تخمین نیروهای ناشی از زلزله پیشنهاد گردیده که کاربر قادر باشد به راحتی و بدون انجام محاسبات زمان بر دینامیکی و یا فرمول های پیچیده ریاضی، نیروی برشی زلزله را در ترازهای مختلف گنبد به راحتی بدست آورد. جهت پی بردن به زمان گسترش

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد سازه

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد سازه

پلاستیسیته در میان اعضاء مختلف گنبد و سرعت جابه جایی گره های گنبد می توان از آنالیزهای Finite Element بهره جست و شتاب هائی را که تحت آن گنبد به حد خرابی می رسد را بدست آورد [۵].

## مدل های سازه ای برای گنبد های مشبک و مدل اعضاء

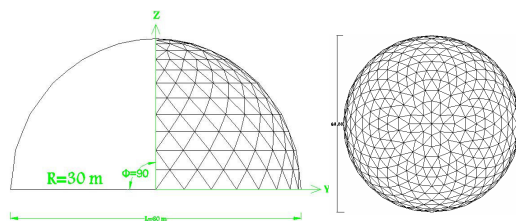
### اشکال گنبدها

شکل گنبد های مطالعه شده در این مقاله مطابق با شکل ۱-۲ می باشد. فرم این گنبدها به شکل کروی با قطر پایه ۶۰ متر می باشد و هر یک از این گنبد ها به صورت تکیه گاه مفصلی به زمین متصل شده اند.

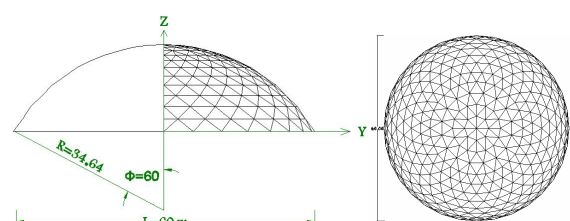
مطابق مرجع [۱] رفتار گنبد ها در مقابل نیروهای زمین لرزه بسته به نصف زاویه باز  $\Phi$  فرق می کنند. بنابراین ما در این تحقیق از گنبد های با زوایای ۹۰ و ۱۰۵ و ۱۲۰ و ۷۵ و ۶۰ (خیز زیاد) استفاده می کنیم و برای مدل سازی این نوع از گنبد ها از نرم افزار نوشته شده در محیط Matlab کمک گرفته شده است، که این نرم افزار قادر است علاوه بر تاشه هندسی، مختصات کلیه گره ها را هم ارائه نماید. شکل ۱، گنبد های استفاده شده در این مقاله را نشان می دهد.

### حرکتهای لرزه ای و شتاب های اقتباس شده

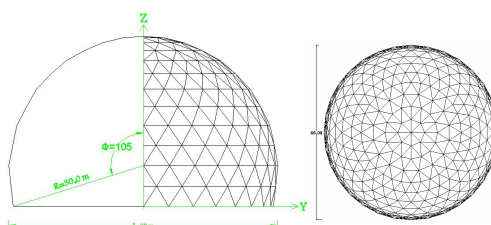
حرکتهای افقی زمین لرزه فرض می شود که به پایه گنبدها وارد میشود. شتابهای اقتباس شده در این تحقیق شتابهای نزدیک به گسل یا همان Near field می باشند که مطابق شکل ۲ می باشند.



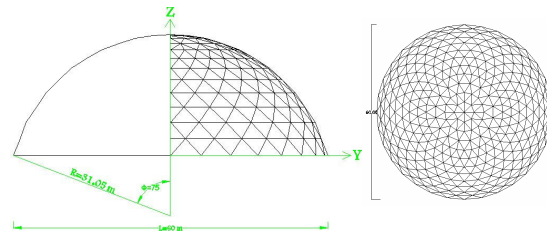
گنبد با خیز ۹۰ درجه



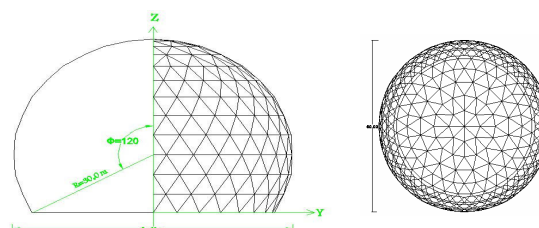
گنبد با خیز ۶۰ درجه



گنبد با خیز ۱۰۵ درجه



گنبد با خیز ۷۵ درجه



گنبد با خیز ۱۲۰ درجه

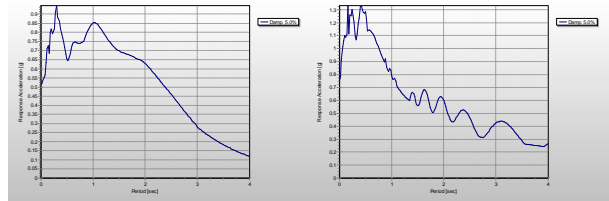
شکل ۱- گنبد های استفاده شده

### حرکتهای لرزه ای و شتاب های اقتباس شده

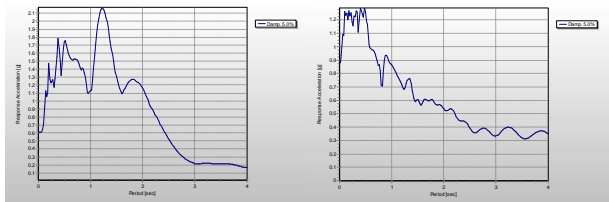
حرکتهای افقی زمین لرزه فرض می شود که به پایه گنبدها وارد میشوند. شتابهای اقتباس شده در این تحقیق شتابهای نزدیک به گسل یا همان Near field می باشند که مطابق شکل ۲ می باشند. طبق بند ۲-۵-۱ آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران [۷] شتابهای اقتباس شده باید مقیاس بندی شود. حال ما این شتاب نگاشتها را طوری تغییر دادیم که در عین حفظ ماهیت ذاتی خود طیف پاسخ حاصل از این شتاب نگاشتها به طیف آئین نامه ۲۸۰۰ ایران

نزدیکتر باشد. و لازم به ذکر است که شتاب مبنای طرح را  $0.5g$  در نظر گرفتیم و در نهایت طیف های اصلاح شده به دست می-آیند. همان طور که ملاحظه می شود این طیف ها خیلی نزدیک به طیف آئین نامه زلزله  $2800$  با شتاب مبنای  $0.5g$  می باشد.

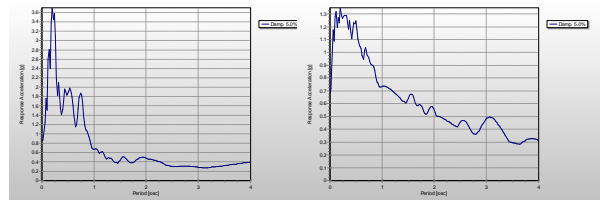
شکل سمت چپ: طیف پاسخ مربوط به زلزله **Erzinjan** با میرائی  $5\%$  درصد. شکل سمت راست: طیف پاسخ اصلاح شده برای زلزله **Erzinjan** با میرائی  $5\%$  درصد.



شکل سمت چپ: طیف پاسخ مربوط به زلزله **Kobe** با میرائی  $5\%$  درصد. شکل سمت راست: طیف پاسخ اصلاح شده برای زلزله **Kobe** با میرائی  $5\%$  درصد.



شکل سمت چپ: طیف پاسخ مربوط به زلزله **Tabas** با میرائی  $5\%$  درصد. شکل سمت راست: طیف پاسخ اصلاح شده برای زلزله **Tabas** با میرائی  $5\%$  درصد.



شکل ۲- طیف های پاسخ شتاب های استفاده شده

### خواص سازه ای اعضاء گنبد

گنبد های استفاده شده در این مقاله فرض می شود دارای ابعاد یکسان مطابق با جدول ۱ می باشند. لازم به ذکر است جدول فوق بیانگر مشخصات پروفیل های به کار رفته اعم از نوع مقطع، قطر خارجی، ضخامت، مساحت و ممان اینرسی مقاطع می باشد. توجه شود که سمبل  $P-dxt$  به معنای این است که عضو دایره تو خالی به قطر خارجی  $d$  و به ضخامت جدار  $t$  بر حسب میلی متر میباشد. همچنین خواص فولاد مصرفی برای این نوع از مقاطع نیز در جدول ۲ آورده شده است. از آنجائیکه سازه های فضایی تک لایه و به خصوص سازه های تک لایه قوسی شکل دارای مشکل ناپایداری میباشند لذا اتصالات اعضا گنبد ها بر خلاف انواع متعارف سازه های فضایی به صورت صلب می باشند. اتصالات گنبد ها به پی نیز به صورت مفصلی مدل شده اند به گونه ای که گره ها در محل اتصال به پی فوق حول محور مماس به دایره پلان اجازه دوران دارند.

جدول ۲- خواص اعضاء استفاده شده

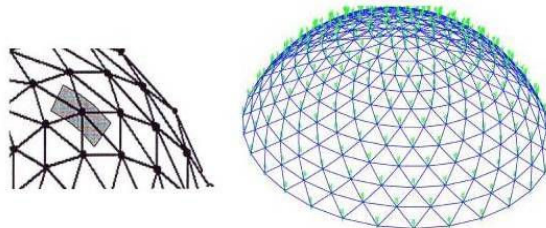
$\sigma$	$2.1 \times 105 \text{Kgf/cm}^2$
$E$	$2400 \text{Kgf/cm}^2$

جدول ۱- مشخصات پروفیل های استفاده شده

$P-dxt$	$A(\text{cm}^2)$	$I_p(\text{cm}^4)$
P-114.3*3.5	12.18	187
P-165.2*3.5	22.72	734
P-216.3*5.8	38.36	2130

### بارگذاری گنبد ها

برای رسیدگی به اثرات وزن گنبد ها، نیروهای ثقلی در  $3$  حالت  $800$ ،  $700$  و  $600 \text{ kg}$  برای هر گنبد با توجه به سطح بار گیر هر کدام از گره های گنبد مطابق با شکل ۳ بارهای قائم وارد می شوند.



شکل ۳- گنبد بارگذاری شده با توجه به سطح بارگیر هر گره

### پریودهای طبیعی ومودهای ارتعاشی

مثالهای اولین مودهای ارتعاش طبیعی از گنبدها با جرمهای ۶۰۰ و ۷۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم در جدول شماره ۳ دسته بندی شده است. توجه شود که اولین پریود طبیعی T<sub>1</sub> با افزایش خیز گنبد تمایل به زیاد شدن دارد. همان طور که از دینامیک سازه ها می دانیم مود اول معمولاً مود غالب می باشد و دلیل استفاده از پریود اول سازه به همین دلیل می باشد.

جدول ۳- خواص اعضاء استفاده شده مود اول ارتعاشی برای زلزله ERZINJAN

نام عضو	جرم داده شده به هر گره	گنبد ۶۰	گنبد ۷۵	گنبد ۹۰	گنبد ۱۰۵	گنبد ۱۲۰
P-114.3x3.5	۶۰۰	۰/۲۲۱۸	۰/۲۴۹۶	۰/۲۹۵	۰/۳۶۶۳	۰/۴۸۵۵
	۷۰۰	۰/۲۳۷۱	۰/۲۶۶۷	۰/۳۱۴۱۷	۰/۳۹۰۳	۰/۵۱۶۷
	۸۰۰	۰/۲۵۱۵	۰/۲۸۲۷	۰/۳۳۳۳	۰/۴۱۲۹	۰/۵۴۶
P-165.2x4.5	۶۰۰	۰/۱۷۲۸	۰/۱۹۴۲	۰/۲۳۲۴	۰/۲۹۰۷	۰/۳۸۷۹
	۷۰۰	۰/۱۸۳۵	۰/۲۰۵۹	۰/۲۴۶۱	۰/۳۰۷۳	۰/۴۰۹۲
	۸۰۰	۰/۱۹۳۷	۰/۲۱۷۰	۰/۲۵۹۱	۰/۳۲۲۹	۰/۴۲۹۵
P-216.3x5.8	۶۰۰	۰/۱۴۲۱	۰/۱۶۱۵	۰/۱۹۳۶	۰/۲۴۴۲	۰/۳۲۸۱
	۷۰۰	۰/۱۴۹۷	۰/۱۶۹۹	۰/۲۰۳۲	۰/۲۵۵۷	۰/۳۴۲۸
	۸۰۰	۰/۱۵۶۹	۰/۱۷۷۹	۰/۲۱۲۴	۰/۲۶۶۷	۰/۳۵۶۹

### تعیین نیروی استاتیکی معادل زلزله در گنبدهای مشبک تک لایه

برای تعیین نیروی استاتیکی معادل زلزله در این گنبدها مطابق مطالب گفته شده عمل می کنیم. برای این منظور در ابتدا بایستی ضریب برش پایه را که همان C می باشد را تعیین کنیم، تا با ضرب این ضریب در وزن گنبد نیروی برش پایه بدست آید. در ادامه سعی در یافتن نیرو های افقی ناشی از زلزله در ترازهای مختلف گنبد هستیم برای این منظور روابطی بدست خواهیم آورد که بر اساس این روابط سعی در تخمین این مقادیر می باشیم.

### تعیین ضریب برش پایه (C)

برای تعیین اثر افقی زلزله ابتدا باید نیروی برش پایه ناشی از زلزله (V<sub>B</sub>) را تعیین کنیم. که V<sub>B</sub> از رابطه (۱) بدست می آید.

$$V_B = C_{HO} \times W_t \quad (1)$$

که در آن V<sub>B</sub>: نیروی برش پایه، C<sub>HO</sub>: ضریب نیروی افقی زلزله، W<sub>t</sub>: وزن موثر کل گنبد می باشد. ضریب نیروی افقی زلزله از رابطه ۲ قابل محاسبه است:

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

می شود رابطه ۲ را به صورت زیر هم نوشت:

$$C_{Ho} = \alpha \times \frac{S_A(T_1)}{g} \quad (3)$$

که در آن  $\alpha$  ضریب ثابتی بوده و بستگی به نوع گنبد دارد، T<sub>1</sub> همان پریود اول سازه، S<sub>A</sub>(T<sub>1</sub>) شتاب پاسخ طیف طرح است برای مود اول ارتعاش گنبد، g شتاب ثقل زمین می باشد. پس در این قسمت هدف یافتن ضریب  $\alpha$  است. برای بدست آوردن نیروی برش پایه آنالیز دینامیکی خطی را برای گنبدهای ذکر شده با اعضاء، جرمها و شتاب های مختلف انجام میدهیم. اگر شتابهای پاسخ گره های مختلف به دست آمده را در جرمهای گره های مربوط ضرب کنیم (F=m\*a) نیروی اینرسی اعمالی زلزله به دست می آید که با جمع نیروهای کلیه گره ها برش پایه محاسبه می شود.

$$V_B = \left| \sum m \times (\vec{U}_g + \vec{U}_j) \right|$$

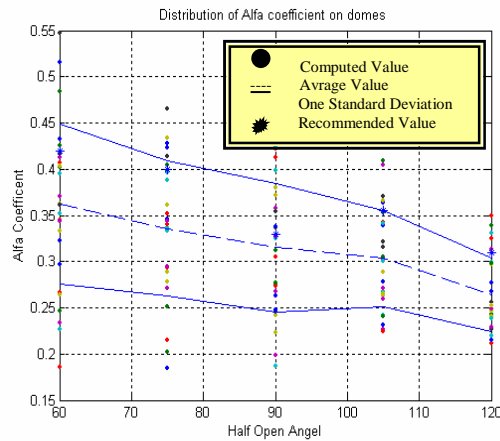
حال با تقسیم برش پایه بدست آمده به ۲۲۴ (وزن تمامی تره ها) ضریب نیروی رتبه برای سبب نداست های محصف و سبدهای محصف را می سود به دست آورد. برای اینکه بتوانیم ضریب C<sub>HO</sub> بدست آمده به صورت استاتیکی معادل و بدون نیاز به شتاب نگاشت ها محاسبه کنیم این ضریب با شتاب پاسخ مود اول گنبد که از طیف زلزله های مختلف به دست می آید ارتباط داده می شود.

$$C_{Ho} = \alpha \times \frac{S_A(T_1)}{g} \quad (4)$$

می توان  $\alpha$  را از فرمول بالا واز طریق معکوس گیری بدست آورد و نهایت به رابطه زیر خواهیم رسید:

$$\alpha = \frac{C_{Ho}}{\left[ \frac{S_A(T_1)}{g} \right]} \quad (5)$$

حال اگر این مقادیر را بر روی یک دستگاه مختصات پیاده کنیم به شکل ۴ خواهیم رسید که بیانگر نحوه توزیع و انتخاب ضریب  $\alpha$  در انواع مختلف گنبد می باشد.



شکل ۴- نحوه توزیع و انتخاب ضریب  $\alpha$

#### توزیع نیروهای افقی زلزله در ترازهای مختلف گنبد

برای به دست آوردن نیروهای افقی ناشی از زلزله در ترازهای مختلف شتابهای پاسخ گره های یک تراز را در جرم گره های آن تراز ضرب کنیم نیروی اینرسی

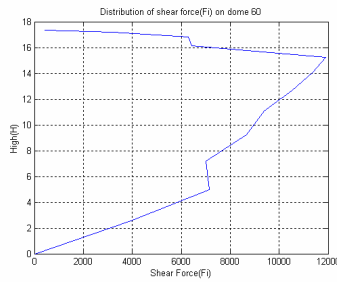
$$F_i = \left| \sum m_i \times (\ddot{u}_j + \ddot{u}_g) \right| \quad \text{اعمالی زلزله به آن تراز به دست خواهد آمد.}$$

جدول ۴ نشان دهنده نیروی افقی ناشی از زلزله Erzincan بر روی گنبد با زاویه باز خارجی ۶۰، بار ۶۰۰ کیلوگرم، و عضو ۳.۵\*۳.۵\*۱۱۴.۳-P می باشد.

جدول ۴- نیروهای زلزله در ترازهای مختلف گنبد ۶۰ درجه

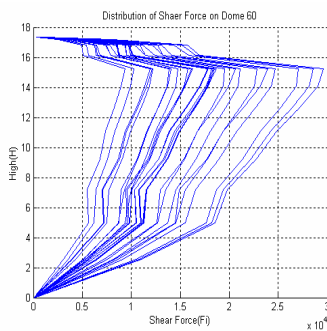
Story	V <sub>i</sub> x(kg)
STORY12	419.74
STORY11	3205.59
STORY10	6280.49
STORY9	6422.8
STORY8	11890.13
STORY7	11372.72
STORY6	10511.92
STORY5	9373.51
STORY4	8665.83
STORY3	7002.12
STORY2	7138.59
STORY1	3933.51
BASE	0

حال اگر مقادیر به دست آمده را روی یک دستگاه مختصات دکارتی پیاده کنیم خواهیم دید که توزیع نیروی افقی ناشی از زلزله در ترازهای مختلف یک گنبد به صورت شکل ۵ خواهد بود.

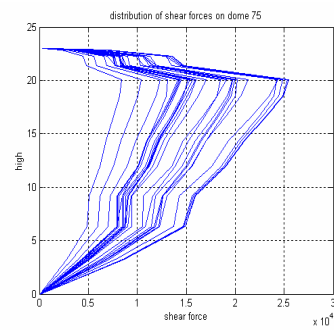


شکل ۵- نحوه توزیع نیروی زلزله در ترازهای گنبد ۶۰ درجه

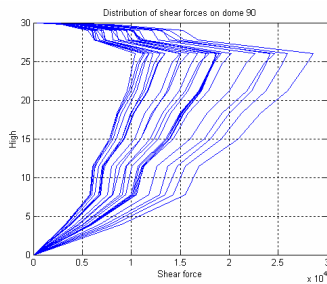
با رسم نیروهای برشی در ترازهای مختلف یک گنبد برای انواع شتاب های زلزله و جرم ها به اشکال ۱۰-۶ زیر خواهیم رسید.



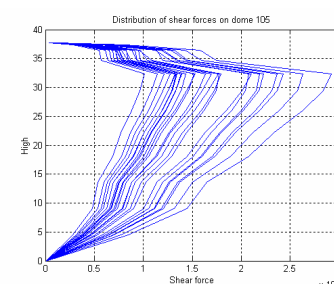
شکل ۶- نحوه توزیع نیروی زلزله در ترازهای گنبد ۶۰ درجه



شکل ۷- نحوه توزیع نیروی زلزله در ترازهای گنبد ۷۵ درجه

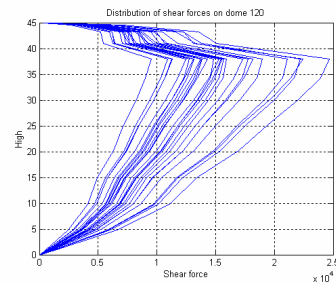


شکل ۸- نحوه توزیع نیروی زلزله در ترازهای گنبد ۹۰ درجه



شکل ۹- نحوه توزیع نیروی زلزله در ترازهای گنبد ۱۰۵ درجه

همانطوری که از این گراف ها مشاهده می شود در تمامی حالت ها نیروی برشی از تراز صفر که همان پایه گنبد است به سمت بالای گنبد افزایش یافته و در یک تراز خاصی از گنبد این نیروی برشی زلزله رفته رفته کاهش می یابد. با بررسی بیشتر مشاهده می شود که این برگشت منحنی در ارتفاع خاصی از گنبد به وقوع می پیوندد که همان فاصله  $H/8$  از راس گنبد می باشد. بررسی های انجام گرفته حاکی از این مطلب می باشد که پدیده **Snap through** یا همان کمانش فرو جهنده گنبدها در این تراز به وقوع می پیوندد [۸].



شکل ۱۰- نحوه توزیع نیروی زلزله در ترازهای گنبد ۱۲۰ درجه

### تخمین نیروی افقی زلزله در ترازهای مختلف گنبد

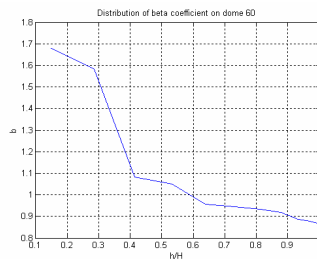
برای تخمین نیروی افقی زلزله در ترازهای مختلف یک گنبد از رابطه ۶ استفاده می کنیم.

$$F_i = V_b \times \frac{W_i \times H_i}{\sum_{i=1}^j W_i \times H_i} \times \beta \quad (6)$$

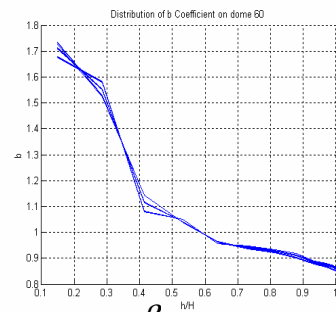
که در آن  $F_i$  - نیروی افقی زلزله است در طبقه  $i$  ام،  $V_b$  - برش پایه،  $\beta$  - ضریبی است که بستگی به خیز گنبد دارد. با توجه به اینکه  $F_i$  و  $V_b$  را قبلا حساب کردیم مقادیر  $\beta$  از طریق معکوس گیری فرمول بالا به دست می آید:

$$\beta = \frac{F_i}{V_b \times \frac{\sum_{i=1}^j W_i \times H_i}{W_i}} \quad (7)$$

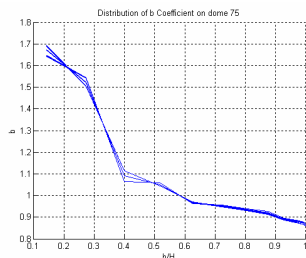
مقادیر  $\beta$  را در انواع مختلف گنبد می شود بدست آورد. حال اگر مقادیر به دست آمده را بر روی یک دستگاه مختصات دکارتی پیاده کنیم و نقاط نمود نظر را به هم وصل کنیم به شکل ۱۱ خواهیم رسید. حال به همین ترتیب اگر مقادیر  $\beta$  را برای انواع مختلف یک گنبد بدست آورده و نتایج آن را در یک دستگاه مختصات پیاده کنیم به ۱۶-۱۲ خواهیم رسید.



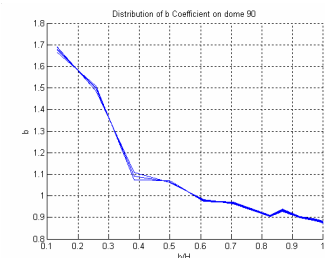
شکل ۱۱- نحوه توزیع ضریب  $\beta$  در گنبد ۶۰ درجه



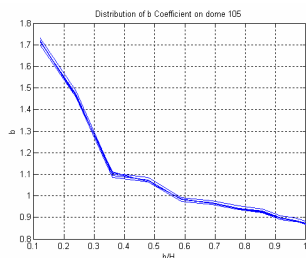
شکل ۱۲- نحوه توزیع ضریب  $\beta$  در گنبد ۶۰ درجه



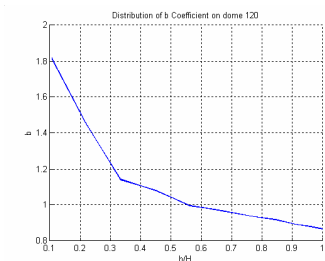
شکل ۱۳- نحوه توزیع ضریب  $\beta$  در گنبد ۷۵ درجه



شکل ۱۴- نحوه توزیع ضریب  $\beta$  در گنبد ۹۰ درجه



شکل ۱۵- نحوه توزیع ضریب  $\beta$  در گنبد



شکل ۱۶- نحوه توزیع ضریب  $\beta$  در گنبد ۱۲۰ درجه

حال با استفاده از ریاضیات به دنبال تابعی هستیم که بیانگر منحنی فوق باشد. بهترین تابعی که می شود برای این گنبدها بدست آورد به شرح زیر می باشد:

$$\beta = a \times e^{3\left(\frac{h}{H}\right)} + b \times e^{2\left(\frac{h}{H}\right)} + c \times e^{\frac{h}{H}} + d \quad (8)$$

که مقادیر a, b, c, d برای انواع مختلف گنبد به شرح جدول ۵ می باشد. که در آن H ارتفاع گنبد و h ارتفاع i امین لایه گنبد است، که می خواهیم نیروی افقی زلزله را در آن لایه (تراز) حساب کنیم.

جدول ۵، مقادیر محاسبه شده برای رابطه ۸

	a	B	C	d
60	-0.55	3.8	-8.75	7.63
75	-0.58	3.9	-8.8	7.54
90	-0.59	3.93	-8.8	7.48
105	-0.7	4.56	-9.9	8.08
120	-0.8	5.15	-11.05	8.78

### نتیجه گیری

با مطالعات انجام شده در مورد گنبد های تک لایه نتایج زیر حاصل می گردد:

۱- چگونگی تخمین نیروی برش پایه در گنبد ها با خیز زیاد:

بر اساس مطالعات انجام شده این نیرو توسط رابطه (۲) محاسبه می شود:  
ضریب نیروی افقی زلزله از رابطه (۳) قابل محاسبه است.

۲- چگونگی تخمین نیروی افقی زلزله در ترازهای مختلف گنبد تک لایه با خیز زیاد:

این نیروها بر اساس مطالعات انجام شده از رابطه (۶) بدست می آید.  $(\beta)$  در رابطه (۶) ضریبی است که از رابطه (۸) بدست می آید. ضرائب a, b, c, d در رابطه (۸) از روابط (۹)، (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) به دست می آیند.

۳- حداکثر نیروی افقی حاصل از زلزله در ارتفاع h/88 از بالای گنبد اتفاق می افتد و پدیده Snap through نیز در این ارتفاع از گنبد به وقوع می پیوندد.

### مراجع

- 1- Kato, S., Ueki, T. and Mukaiyama, Y., 1997. Study of Dynamic Collapse of Single Layer Reticular Domes Subjected to Earthquake Motion and the Estimation of Statically Equivalent Seismic Forces. International journal of space structures. Vol. 12, No. 3 pp. 191-203
- 2- Sadegi, A., 2004. Horizontal Earthquake Loading and Linear/Nonlinear seismic Behaviour of Double Layer Barrel Vaults. International journal of space structures. Vol. 19 No. 1, pp. 21-37
- 3- Specification for the Design and Construction of Space trusses jgj 7-9. International journal of space structures. Vol. 16, No. 3, 2001
- 4- ارزیابی اثر زلزله بر روی سازه های فضاکار . ۱۳۸۵. ارژنگ صادقی. کنفرانس سازه های فضایی
- 5- Fan, F., Shen, S.Z, and Parke, G.A.R. 2005. study of the Dynamic Strength of Reticulated Domes under Sever Earthquake Loading. International journal of space structures. Vol. 20, No. 4, pp. 235-244
- 6- Uematsu, Y., Kuribara, O., Ymada, M., Sasaki, A. And Hongo, T. 2001. Wind-induced Dynamic Behaviour and its Load Estimation of a Single Layer Latticed Dome with a long Span. Journal of wind engineering and industrial aerodynamics. Vol. 89, No. 14, pp. 1671- 1687
- 7- آئین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران
- 8- Abedi, K., Parke, G.A.R., 2001. Experimental Study of Dynamic Propagation of Local Snap-through on Single Layer Braced Domes. Internatinal journal of Space Structures. Vol. 16, No. 2, pp. 125-136