

ارزیابی میزان بار استاتیکی معادل زلزله بر روی گنبد های مشبک تک لایه

مجتبی قربانی علمدار¹، ارژنگ صادقی²، شاپور امانی³، امین صدر نور محمدی⁴

1- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشگاه آزاد واحد مراغه

mojtabagorbani@yahoo.com

2- استادیار گروه عمران دانشگاه تربیت معلم آذربایجان، تبریز

a.sadeghi@azaruniv.edu

3- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشگاه آزاد واحد مراغه

shapouramani@yahoo.com

4- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشگاه آزاد واحد مراغه

amin_sadr_n@yahoo.com

چکیده

امروزه با پیشرفت تکنولوژی و گرایش به استفاده از سازه های فضاکار و سازه های خاص، ایجاب می کند که طراحی در نواحی مختلف تحت فعالیتهای لرزه ای بزرگ انجام گردد. برخلاف سازه های متعارف که اطلاعات کافی در مورد رفتار دینامیکی آنها تحت فعالیتهای لرزه ای در دست است، در مورد سازه های فضاکار چنین نیست. در این مقاله سعی شده است جهت تخمین نیروهای برش پایه و همچنین نیروهای ناشی از زلزله در ترازهای مختلف گنبد مشبک تک لایه، روابطی ارائه گردد که این روابط قادرند نیروی زلزله را به راحتی و بدون انجام محاسبات زمان بر دینامیکی و یا استفاده از فرمولهای پیچیده ریاضی تخمین بزنند.

واژه های کلیدی: سازه های فضاکار، برش پایه، رفتار دینامیکی، استاتیکی معادل، گنبد مشبک تک لایه

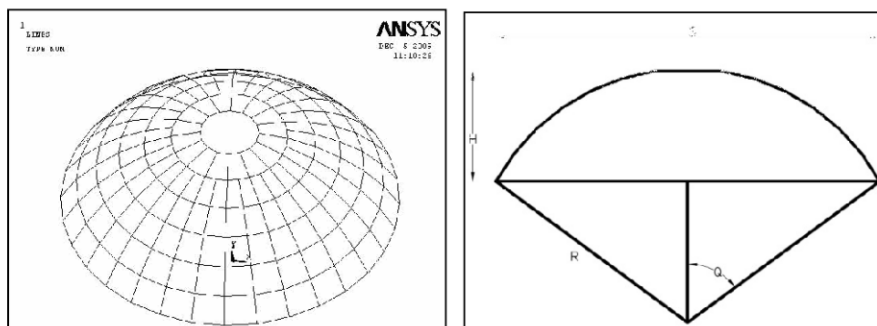
1. مقدمه

بدلیل سبکی و درجه نامعینی زیاد سازه های فضاکار چنین تصور می شد که این سازه ها در برابر زلزله از مقاومت بالایی برخوردار بوده و ضد زلزله می باشند. ولی به هنگام وقوع زلزله کوبه در سال 1995 مشاهده شد که این سازه ها

هرچند نسبت به سازه های معمولی ایمن ترند ولی نباید آنها را مطلقاً مصون و ضد زلزله دانست. با توجه به این مطلب کارهای متعددی بر روی رفتار دینامیکی سازه های فضاکار در مقابل زلزله انجام گرفته است. با توجه به نبود دستورالعمل مشخص و روابط آئین نامه ای در رابطه با میزان بار ناشی از زلزله و نحوه اعمال آن بر روی سازه های فضاکار، هدف از این تحقیق محاسبه و توزیع بارهای زلزله در جهت افقی بر روی گنبد های مشبک تک لایه می باشد. از میان مطالعات قابل توجه در مورد توزیع نیروی استاتیکی معادل زلزله بر روی سازه های فضاکار می توان به کارهای پژوهشگران ژاپنی Ishikawa, Kato [1] و صادقی [3] و [2] و سلاجقه اشاره کرد. مدل سازی و تاشه پردازی سازه در نرم افزار FORMIAN 2 [4] انجام شده است سپس این گنبد ها فقط برای بارهای مرده و زنده توسط نرم افزار SAP2000 طراحی شده اند و در نهایت برای بدست آوردن الگو و روابط توزیع نیروی استاتیکی معادل زلزله بوسیله نرم افزار ANSYS [5] تحلیل دینامیکی خطی شده اند.

2. شکل و خصوصیات گنبدها

در این تحقیق از گنبد های تک لایه با تاشه دنده ای حلقوی به دهانه 40 متر و نسبت های خیز به دهانه $0/3$ ، $0/2$ ، $0/1$ ، $0/5$ ، $0/4$ استفاده شده است. تکیه گاه همه مدلها از نوع مفصلی ثابت بر روی گره های پائین ترین حلقه در نظر گرفته شده است مانند شکل (1) که نمونه ای از گنبدها می باشد. پس از انتخاب مدل هندسی، همه مدلها به صورت اقتصادی در برابر بارهای استاتیکی شامل بار مرده اسکلت، پوشانه و بار برف با فرض قرار گرفتن سازه در منطقه سرد سیر کشور ایران طراحی شده است. در ضمن طراحی اعضاء بر اساس روش تنش مجاز با استفاده از آئین نامه ساختمانهای فولادی ایران صورت گرفته است.



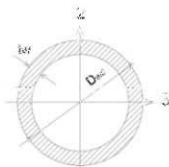
شکل (1): مشخصات گنبد

3. مشخصات سازه ای اعضای گنبد

پروفیل های استفاده شده در این مقاله دارای ابعاد مطابق با جدول (1) و شکل (2) می باشند. لازم به ذکر است جدول (1) بیانگر مشخصات پروفیل های بکار رفته اعم از نوع مقطع، قطر خارجی، ضخامت، مساحت و ممان اینرسی مقاطع می باشد. همچنین مشخصات فولاد مورد استفاده برای این نوع از مقاطع St 37 می باشد.

جدول (1): مشخصات مقاطع به کار برده شده در مدلها

SectionName	Material	Shape	t3	tw	Area	Tors Const	I3	I2	I03	I02
Text	Text	Text	m	m	m ²	m ⁴	m ⁴	m ⁴	m	m
P1	STEEL37	Pipe	0.07	0.001	0.000217	2.59E-07	1.29E-07	1.29E-07	2.44E-02	2.44E-02
P2	STEEL37	Pipe	0.07	0.002	0.000427	4.94E-07	2.47E-07	2.47E-07	2.41E-02	2.41E-02
P3	STEEL37	Pipe	0.07	0.003	0.000631	7.10E-07	3.55E-07	3.55E-07	2.37E-02	2.37E-02
P4	STEEL37	Pipe	0.07	0.004	0.000829	9.07E-07	4.53E-07	4.53E-07	2.34E-02	2.34E-02
P5	STEEL37	Pipe	0.07	0.005	0.001021	1.09E-06	5.42E-07	5.42E-07	2.30E-02	2.30E-02
P6	STEEL37	Pipe	0.07	0.006	0.001206	1.29E-06	6.23E-07	6.23E-07	2.27E-02	2.27E-02
P7	STEEL37	Pipe	0.07	0.007	0.001385	1.38E-06	6.86E-07	6.86E-07	2.24E-02	2.24E-02
P8	STEEL37	Pipe	0.07	0.008	0.001558	1.52E-06	7.61E-07	7.61E-07	2.21E-02	2.21E-02
P9	STEEL37	Pipe	0.07	0.01	0.001685	1.74E-06	8.72E-07	8.72E-07	2.18E-02	2.18E-02
P10	STEEL37	Pipe	0.07	0.011	0.002039	1.84E-06	9.19E-07	9.19E-07	2.12E-02	2.12E-02
P11	STEEL37	Pipe	0.07	0.012	0.002187	1.92E-06	9.59E-07	9.59E-07	2.09E-02	2.09E-02
P12	STEEL37	Pipe	0.07	0.014	0.002463	2.04E-06	1.03E-06	1.03E-06	2.04E-02	2.04E-02
P13	STEEL37	Pipe	0.07	0.015	0.002592	2.11E-06	1.05E-06	1.05E-06	2.02E-02	2.02E-02
P14	STEEL37	Pipe	0.08	0.001	0.000248	3.07E-07	1.84E-07	1.84E-07	2.79E-02	2.79E-02
P15	STEEL37	Pipe	0.08	0.002	0.00049	7.96E-07	3.73E-07	3.73E-07	2.76E-02	2.76E-02
P16	STEEL37	Pipe	0.08	0.003	0.000726	1.06E-06	5.33E-07	5.33E-07	2.72E-02	2.72E-02
P17	STEEL37	Pipe	0.08	0.004	0.000955	1.30E-06	6.82E-07	6.82E-07	2.69E-02	2.69E-02
P18	STEEL37	Pipe	0.08	0.005	0.001178	1.66E-06	8.32E-07	8.32E-07	2.66E-02	2.66E-02
P19	STEEL37	Pipe	0.08	0.006	0.001395	1.92E-06	9.61E-07	9.61E-07	2.62E-02	2.62E-02
P20	STEEL37	Pipe	0.08	0.008	0.002007	2.57E-06	1.29E-06	1.29E-06	2.58E-02	2.58E-02
P21	STEEL37	Pipe	0.1	0.015	0.004009	7.40E-06	3.73E-06	3.73E-06	3.05E-02	3.05E-02



شکل (2): مقاطع بکار برده شده در مدلها

4. تحلیل مودال و کاربرد آن در آنالیز سازه‌ها

ابتدا مدل مورد نظر را تحلیل استاتیکی کرده و مقاطع های آنرا بدست آورده و سپس در برنامه ANSYS مقاطع مورد نظر با استفاده از المان BEAM188 به مدل اختصاص داده و آنالیز مودال انجام میشود حال با توجه به اینکه چون در این مطالعه نیروی زلزله درجهت X وارد می شود پس درین خروجی های تحلیل مودال باید خروجی ها در جهت X رادر نظر گرفت. حال برای بدست آوردن اولین و دومین فرکانس باید ضریب مشارکت جرمی را با یکدیگر مقایسه کرده و بین بزرگترین ضریب مشارکتها، فرکانس های آنها را درنظر گرفت و برای سازه های فضاکار نسبت میرایی را $\xi = 0.02$ در نظر گرفته در فرمول جایگزین کرده تا ضرایب رایی بدست آید.

$$\alpha = \xi \frac{2f_i f_j}{f_i + f_j} \quad , \quad \beta = \xi \frac{2}{f_i + f_j} \quad (1)$$

5. انتخاب شتاب نگاشت برای آنالیز دینامیکی و مقیاس آن براساس طیف طرح ایران

در این تحقیق از بانک های اطلاعاتی موجود در مورد زلزله شتابنگاشت مناطق زیر به علت بزرگی PGA یا شتاب آنها گرد آوری شده و مورد استفاده قرار گرفته است. که در جدول (2) اطلاعات مربوط به زلزله انتخاب شده و شتابنگاشت که در تحلیل لرزه ای از آنها استفاده شده است مشاهده می کنید.

جدول (2): اطلاعات شتابنگاشت زلزله های KOBÉ, TABAS, DUZCE, ELCENTRO

Earthquake	Tabas, Iran 1978/09/18 (H)	Tabas, Iran 1978/09/18 (V)
Record/Component	TABAS/TAB-TR	TABAS/TAB-UP
HP (Hz)	0.05	0.05
LP (Hz)	null	null
PGA (g)	0.852	0.888
PGV (cm/s)	121.4	98.03
PGD (cm)	94.58	76.37
Earthquake	El Centro 1940/05/19 (H)	El Centro 1940/05/19 (V)
Record/Component	IMPVALL/I-ELC180	IMPVALL/I-ELC-UP
HP (Hz)	0.2	0.2
LP (Hz)	15	15
PGA (g)	0.313	0.206
PGV (cm/s)	29.8	10.7
PGD (cm)	13.32	9.16
Earthquake	Kobe, Japan 1995/01/16 (H)	Kobe, Japan 1995/01/16 (V)
Record/Component	KOBE/KJM000	KOBE/KJM-UP
HP (Hz)	0.05	0.05
LP (Hz)	null	null
PGA (g)	0.821	0.343
PGV (cm/s)	81.3	38.3
PGD (cm)	17.68	10.29
Earthquake	Duzce, Turkey 11/12/99 (H)	Duzce, Turkey 11/12/99 (V)
Record/Component	DUZCE/376-N	DUZCE/376-V
HP (Hz)	0.15	0.06
LP (Hz)	50	50
PGA (g)	0.97	0.193
PGV (cm/s)	36.5	5.5
PGD (cm)	5.48	6.2

با فرض قرار گیری سازه در کشور ایران برای حصول نتایج مطلوب جهت تحلیل دینامیکی سازه از طیف طرح ایران استفاده شده است. بدین صورت که PGA و به طبع آن تمامی نقاط شتابنگاشتها را با توجه به سازه مورد نظرافزایش یا کاهش داده تا به طیف طرح ایران مقیاس شوند. در نهایت شتابنگاشت جدیدی بدست آمده که به طیف طرح ایران مقیاس شده است و سازه را با این شتابنگاشتها تحت تحلیل دینامیکی قرار میدهم. یادآور می شود چون طیف طرح ایران برای سازه های ساختمانی بامیرایی 5 درصد است به همین منظور جهت اصلاح و تبدیل طیف طرح به میرایی 2 درصد (میرایی سازه- های فضاکار) از آئین نامه اروپا [6] طبق رابطه (3) استفاده شده است. در این مطالعه فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

زمین نوع دوم با خطر لرزه خیزی زیاد

T پریو موثر سازه

S_a, T_s, T_0 پارامترهای مرتبط با نوع زمین و خطر نسبی، B ضریب بازتاب ساختمان.

شتاب مبنای طرح = $g = 0.35$

ضریب اهمیت = $1/2$

ضریب رفتار = 1

با بدست آمدن ضریب بازتاب سازه، S_a با میرایی 5٪ درصد از رابطه زیر حاصل می شود.

$$S_a = \frac{A \times B \times I}{R} \quad (2)$$

جهت تبدیل رابطه مذکور به میرایی 2٪ درصد از رابطه زیر طبق آئین نامه اروپا استفاده می گردد.

$$S_a(\xi) = S_a(5\%) \cdot \sqrt{\frac{10}{\xi + 5}} \quad (3)$$

بدین ترتیب شتاب نگاشت ها با توجه به S_a طیف ایران مقیاس می شوند.

6. تعیین نیروی استاتیکی معادل زلزله در گنبدها

همانطور که بیان گردید برای اینکه نیروی استاتیکی معادل زلزله در گنبدها تعیین شود در ابتدا بایستی ضریب برش

پایه C را تعیین کنیم، تا با ضرب این ضریب در وزن موثر کل گنبد نیروی برش پایه ناشی از زلزله بدست آید. در ادامه

سعی در یافتن نیروهای افقی ناشی از زلزله در ترازهای مختلف گنبد می شود. برای این منظور روابطی ارائه خواهد شد که این روابط می تواند نیروهای افقی ناشی از زلزله را در ترازهای مختلف گنبد تخمین بزند.

7. تعیین ضریب برش پایه

برای تعیین اثر افقی زلزله ابتدا باید نیروی برش پایه ناشی از زلزله (V_b) را تعیین کرد. از رابطه زیر استفاده می شود.

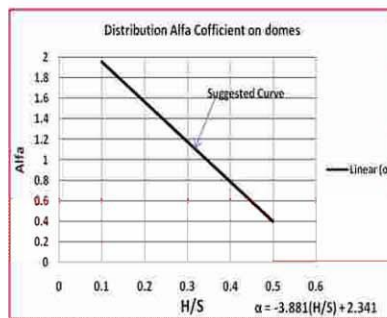
$$V_b = C_{HO} \times W_t \quad (4)$$

که در آن C_{HO} ضریب نیروی افقی زلزله بوده و W_t وزن موثر کل گنبد می باشد. ضریب نیروی افقی زلزله از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد.

(5)

$$C_{HO} = \alpha \times \frac{S_a(T_m)}{g}$$

که در آن α ضریب ثابت بوده بستگی به نوع گنبد دارد که مقدار آن بر حسب نسبت خیز به دهانه گنبد از نمودار شکل (3) و رابطه (6) بدست می آید. T_m همان پریود موثر سازه می باشد. $S_a(T_m)$ شتاب پاسخ طیف طرح ایران برای مود موثر ارتعاش گنبدها بوده و g شتاب ثقل زمین می باشد.



شکل (3): منحنی و رابطه محاسبه ضریب α

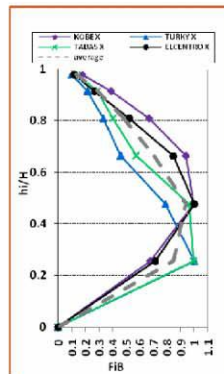
$$\alpha = -3.881\left(\frac{H}{S}\right) + 2.341 \quad (6)$$

8. توزیع نیروی زلزله در ترازهای مختلف گنبد

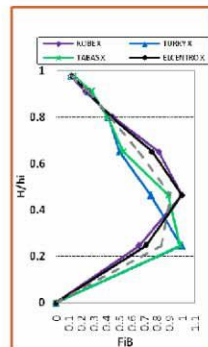
برای این که نیروهای افقی ناشی از زلزله در ترازهای مختلف گنبد بدست آید شتابهای پاسخ گره های هر تراز در جرم گره های آن تراز ضرب می شود تا نیروی اینرسی اعمالی از طرف زلزله به آن تراز بدست آید.

$$F_i = \left| \sum m_i \times (ii) \right| \quad (7)$$

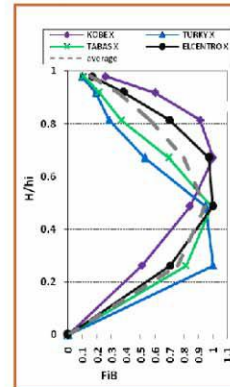
با رسم الگوی توزیع نیروهای برشی در ترازهای مختلف گنبد ها برای انواع شتابنگاشتهای زلزله، به نمودارهای شکل های (4) الی (8) می توان اشاره کرد. این اشکال مربوط به الگوی توزیع نیروی اینرسی نرمال شده به عدد حداکثر نیروی اینرسی ایجاد شده در بین کل گره های گنبد می باشد.



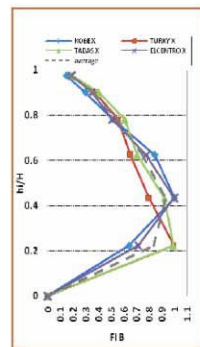
شکل (6): الگوی توزیع نیروی زلزله
در ترازهای گنبد $H/S = 0.3$



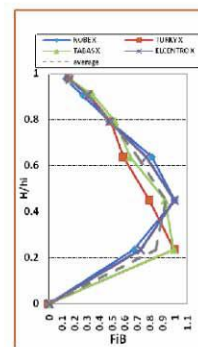
شکل (5): الگوی توزیع نیروی زلزله
در ترازهای گنبد $H/S = 0.2$



شکل (4): الگوی توزیع نیروی زلزله
در ترازهای گنبد $H/S = 0.1$



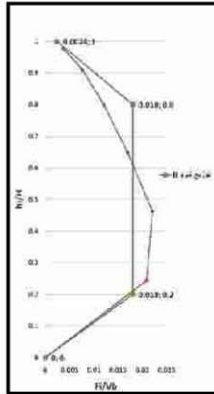
شکل (8): الگوی توزیع نیروی زلزله
در ترازهای گنبد $H/S = 0.5$



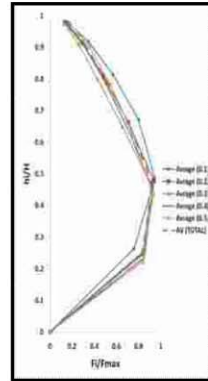
شکل (7): الگوی توزیع نیروی زلزله
در ترازهای گنبد $H/S = 0.4$

بعد از این که الگوی توزیع نیروی زلزله در ترازهای تمامی مدلها بدست آمد از تمامی آنها یک میانگین نهایی می گیریم که در شکل (9) نشان داده شده است.

چنان که مشاهده می شود تا به حال الگوی توزیع نیروی جانبی معادل زلزله مشخص شده است ولی جهت توزیع نیروی برش پایه، نیازمند ترسیم تغییرات نسبت نیرو به برش پایه در ارتفاع هر دنده گنبد است که الگوی توزیع این نسبت نیرو مطابق شکل (10) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود یک منحنی سه خطی نسبت به منحنی میانگین برازش داده می شود طوری که مساحت زیر منحنی برازش داده شده و میانگین با هم برابر باشد. هدف از استفاده منحنی سه خطی بدست آوردن یک الگوی توزیع واحد برای تمامی مدها با شرایط متفاوت می باشد.



شکل (10): نمودار توزیع نسبت نیرو به برش پایه و نمودار برازش یافته نسبت به آن در ارتفاع گنبد



شکل (9): الگوی توزیع نیروی جانبی نرمال شده میانگین مدلها

9. تخمین نیروی افقی زلزله در ترازهای مختلف گنبد

برای توزیع نیروی افقی زلزله در ترازهای مختلف گنبد مشبک تک لایه از روابط (8) استفاده می شود.

$$\begin{aligned}
 F_i &= \frac{\left(\frac{h_i}{H}\right)}{0.2} \times Y & 0 \leq \left(\frac{h_i}{H}\right) \leq 0.2 \\
 F_i &= Y & 0.2 < \left(\frac{h_i}{H}\right) < 0.8 \\
 F_i &= \frac{1.03 - \left(\frac{h_i}{H}\right)}{0.23} \times Y & 0.8 \leq \left(\frac{h_i}{H}\right) \leq 1
 \end{aligned} \tag{8}$$

برای استفاده از روابط (8) ابتدا باید پارامترهای زیر محاسبه شوند.

$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{V_b}{(a+n+b)} \\
 a &= \sum_0^{0.2} \left(\frac{h_i}{H}\right) \\
 b &= \sum_{0.8}^1 \left(\frac{1.03 - \left(\frac{h_i}{H}\right)}{0.23}\right)
 \end{aligned} \tag{9}$$

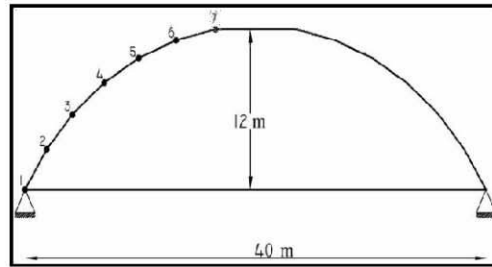
که در آن F_i نیروی جانبی زلزله در تراز i ، h_i ارتفاع تراز i از زمین، H ارتفاع گنبد، V_b برش افقی پایه و n تعداد گره در بازه $0.2 < (h_i/H) < 0.8$ میباشند.

10. توزیع نیروی زلزله هر تراز (حلقه) در بین گره های آن

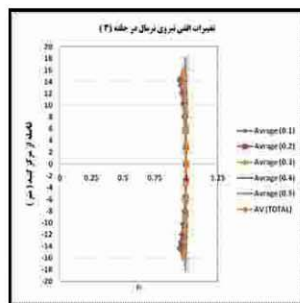
همانطور که از شکل‌های (12) الی (17) مشاهده می شود نحوه توزیع نیرو در تمامی حلقه ها مشابه هم بوده، و از آنجا که مقدار نیرو در تمامی مدل‌ها در تمام حلقه ها در بین گره های آن تقریباً مساوی می باشد شکل توزیع نیرو در حلقه ها به صورت خطی در نظر گرفته می شود. در نهایت برای تمامی حلقه ها رابطه توزیع (10) به دست می آید. یادآور می شود این شکل توزیع به علت تقارن نیروها برای نصف حلقه می باشد. شماره گذاری حلقه ها به صورت افزایشی از تکیه گاه ها به طرف بالای گنبد می باشد. شکل (11)

$$F_j = \frac{F_i}{m} \quad (10)$$

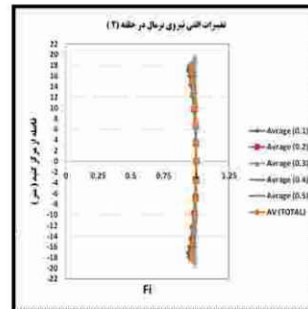
که در رابطه فوق F_i مقدار نیروی هر یک از گره های حلقه مورد نظر و F_j مقدار نیروی مربوط به تراز حلقه مورد نظر که در بخش قبل رابطه محاسبه آن ذکر شده است و m تعداد گره های حلقه مورد نظر می باشد.



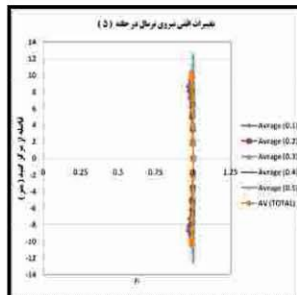
شکل (11): الگوی نامگذاری حلقه های تراز های مختلف گنبد



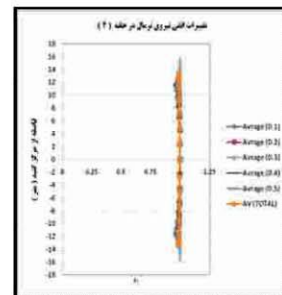
شکل (13): تغییرات افقی میانگین نیروی نرمال در حلقه 3



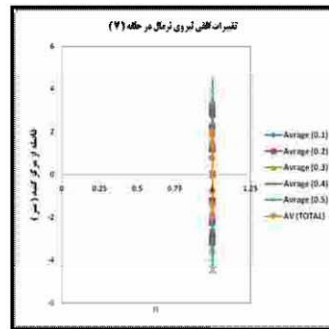
شکل (12): تغییرات افقی میانگین نیروی نرمال در حلقه 2



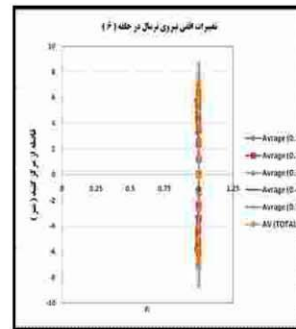
شکل (15): تغییرات افقی میانگین نیروی نرمال در حلقه 5



شکل (14): تغییرات افقی میانگین نیروی نرمال در حلقه 4



شکل (17): تغییرات افقی میانگین نیروی نرمال در حلقه 7



شکل (16): تغییرات افقی میانگین نیروی نرمال در حلقه 6

6. نتیجه گیری :

با بررسی نتایج حاصل از مدلها، نتایج به صورت روابط در متن مقاله ارائه شده است. همچنین در این مقاله بعلمت ظرفیت خمیری پایین گنبدها، ضریب رفتار این سازه ها واحد در نظر گرفته شده و از تحلیل خطی استفاده شده است.

7. مراجع:

1. Ishikawa, K. and Kato, S., Dynamic Buckling Behaviour of Single and Double Layer Latticed Domes due to Vertical Earthquake Motions, Park, G.A.R. ed., Space Structures 4: Proceedings of the Fourth International Conference of Space Structures, Vol. 1, Thomas Telford, 1993, pp. 466-475.
- 2- Sadeghi, A., "Horizontal Earthquake Loading and Linear/Nonlinear Seismic Behaviour of Double Layer Barrel Vaults", International Journal of Space Structures, Vol. 19, No 1, 2004.
3. Sadeghi, A, "Vertical effects of earthquakes on the double layer barrel vaults", J. of Space Structures, Vol. 19, No.2, 2004
4. Nooshin, H. Course on Space Structures, Kerman, Iran, May 2003
5. Ansys Theory Reference, 17.7, Spectrum Analysis
6. Eurocode 8, Part 2, "Seismic Design of Bridges", Basil Kolias, Denco S.A, 16 Kifissias Ave, Athens Greece.