



مقایسه پریود و ضریب رفتار گنبد‌های شودلر و دندانه ای تک لایه

محمود یحیایی^۱، مرتضی چهاردولی^۲
(تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۱، تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۴)

چکیده

شناخت رفتار سازه های فضاکار برای اهداف طراحی در برابر پاسخ های لرزه ای از اهمیت بسزایی برخوردار است. گنبد‌های فضاکار در برابر زمین لرزه های شدید می توانند پایداری کنند که ناشی از مولفه های وزن پایین، هندسه مناسب، مقاومت پس ماند بالا ی این سازه هاست. در این مقاله پریود و ضریب رفتار گنبد‌های شودلر و دندانه ای تک لایه مورد بررسی قرار گرفته است. شش عدد گنبد شودلر و شش عدد گنبد دندانه ای با دهانه های متفاوت و گره ها و تعداد المانهای یکسان تحت شرایط کاملا مشابه توسط نرم افزار اجزای محدود مدل شده است. و تحلیل استاتیکی غیر خطی (Push Over) روی آنها انجام شده است. و از بررسی نتایج نمودارهای نیرو- تغییر مکان برای بدست آوردن رابطه ای جهت تعیین مقادیر پریود اصلی سازه استفاده شده است. با استفاده از این رابطه، ضریب رفتار گنبد‌ها در قالب یک رابطه خطی بیان می شود و در نهایت مقایسه ای بین ضریب رفتار و پریود این دو نوع گنبد انجام می گیرد.

کلمات کلیدی

ضریب رفتار، پریود طبیعی، گنبد‌های شودلر و دندانه ای، تحلیل استاتیکی غیرخطی

Compare Natural Period and Behavior Factor Of Single Layer Schwedler and Ribbed Domes

Mahmood Yahyai¹, Morteza Chahardoli²

ABSTRACT

Knowing space structure behaviors for design of structures in seismic response is important. To guarantee better performance of space domes against strong earthquake from low weight index, safe geometry and high remain resistance.

Seismic behavior and natural period of single layer Schwedler and Ribbed domes is studied in this paper. Six domes of both with different spans and the same number of nodes and elements as well as loading conditions are modeled by finite element method. Nonlinear static analysis is carried out. The force-displacement results are used to derive a formula for predicting the fundamental natural period. Using this equation, the behavior factor of domes is obtained in the form of a linear equation. Finally, behavior factor and natural period both of domes are compared.

Key Word

Behavior Factor, Natural Period, Schwedler and Ribbed Domes, Nonlinear static analysis.

۱. عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی yahyai@kntu.ac.ir (نویسنده مسئول)
۲. کارشناس ارشد زلزله دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی m_ch_civil@yahoo.com

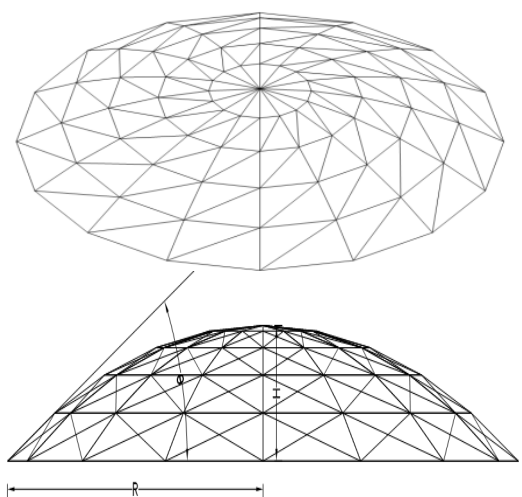


ویژگیهای مشترک گنبد‌های مورد مطالعه به شرح ذیل

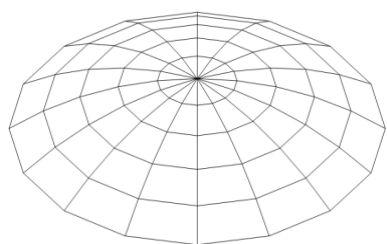
است:

- تعداد المانها و گره های یکسان
- شرایط تکیه گاهی و اتصالات یکسان
- روشهای بارگذاری و تحلیل یکسان

در شکلهای ۱ و ۲ بصورت شماتیک هندسه مدلها ارائه شده است.



شکل ۱: شکل شماتیک گنبد‌های شودلر



شکل ۲: شکل شماتیک گنبد‌های دندان‌ه ای

θ : زاویه خط مماس بر گنبد با افق

H: ارتفاع گنبد

R: شعاع گنبد

ویژگیهای گنبد‌های مورد مطالعه در جدولهای ۱ و ۲ ارائه شده است:

در طراحی سازه ای گنبد‌های فضاکار تک لایه در مناطق با خطر لرزه ای زیاد همواره با مشکل برآورد پاسخ دینامیکی تحت تکانه‌های زمین لرزه و بزرگی مقدار نیروی معادل استاتیکی مواجه هستیم. زلزله Hyogoken Nanbo که در سال ۱۹۹۵ اتفاق افتاد توجه بسیاری از محققین را در مورد امنیت سازه های فضاکار در برابر زلزله برانگیخت.

از این رو اولین مطالعه روی گنبد‌های تک لایه در سال ۱۹۹۷ توسط Shiro Kato و همکاران [۸] به بررسی تخریب دینامیکی گنبد‌های یک لایه ، تحت نیروی زلزله و تخمین نیروی استاتیکی معادل روی آنها صورت گرفت. سپس در سال ۱۹۹۷ توسط M Kawaguchi و همکاران [۹] ، آزمایش سازه ای بر روی یک گنبد معلق (Hikarigaoka) صورت گرفت. در مطالعه بعدی در کشور چین توسط Zicao , Yigang Zhang [۷] در سال ۱۹۹۹ صورت گرفت که در آن پاسخهای لرزه ای نیروهای زلزله در دو راستای افقی و قائم روی گنبد‌ها و چلیکها بررسی شد و نتایج آن مبنای قسمتهایی از آیین نامه چین قرار گرفت.

در مورد سازه های فضاکار نمی توان روشهایی که برای سازه های عادی در نظر می گیریم بکار گرفت زیرا در آیین نامه های موجود بطور مدون در مورد رفتار این سازه ها اظهار نظر نشده است و تعیین ضریب رفتار این نوع سازه ها نیاز به محاسبات ویژه ای دارد و پارامترهای زیادی در این ضریب رفتار موثر هستند.

ما در این تحقیق سعی برآن داریم که در مورد ضریب رفتار گنبد‌های فضاکار تک لایه شودلر و دندان‌ه ای کوتاه مرتبه تحقیق کرده و عوامل موثر بر ضریب رفتار آنها را بیان کنیم . همچنین رابطه ای برای بدست آوردن پرئود این نوع از سازه ها ارائه داده که از آن ضریب رفتار آنها را بصورت یک رابطه خطی بدست آوریم.

۲- فرضیات مدل سازی

در این مطالعه از هر نوع گنبد شش عدد با دهانه های مختلف و ارتفاعهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفته اند.

جدول ۱: مشخصات گنبد‌های دندان‌ه‌ای

pos.	R (cm)	H (cm)	Θ (rad)	Num Pieces	Total Length (m)	Total Weight (ton)
da-01	750	228	0.52	160	271	1.28
da-02	1125	341	0.52	160	406	2.96
da-03	1500	455	0.52	160	542	6.49
da-04	1500	677	0.79	160	567	6.22
da-05	2250	654	0.52	160	810	18.02
da-06	2250	1015	0.79	160	850	16.40

جدول ۲: مشخصات گنبد‌های شودلر

pos.	R (cm)	H (cm)	Θ (rad)	Num Piece	Total Length (cm)	Total Weight (ton)
sc-01	750	228	0.52	224	426	1.45
sc-02	1125	341	0.52	224	639	3.00
sc-03	1500	455	0.52	224	853	7.24
sc-04	1500	677	0.79	224	891	6.78
sc-05	2250	654	0.52	224	1275	17.68
sc-06	2250	1015	0.79	224	1337	13.68

۳- بارگذاری روی سازه

الف- بار مرده

بار مرده وارد بر سقف برابر مجموع وزن لوله های سازه فضایی، پوشش سقف و تاسیسات ملحق به سازه می باشد و براساس مبحث ششم مقررات ملی ایران [۱] در نظر گرفته شده است.

ب - بار زنده (سر بار برف)

الگوی بارگذاری بار برف بر اساس ANSI/ASCE 1997 [۵] و مقدار بار برف را برابر مقدار تعیین شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران [۱] در نظر گرفته شده است.

ج - بار زلزله

مقدار بار زلزله وارد بر سازه بر اساس روابط ارائه شده توسط Kato و همکارانش [۸] بدست آمده و مقدار آن بصورت بارهای متمرکز و در هر دو جهت X و Y به گره های سازه اعمال شده است.

کلیه بارهای فوق به نسبت مساحت سهم هر گره و زاویه اعمال بار به گره های لایه فوقانی سقف تخصیص داده می شود.

د - شرایط تکیه گاهی و اتصالات گرهی

شرایط تکیه گاهی گنبد‌ها بصورت صلب با ۸ تکیه گاه بر روی زمین بوده و همه اتصالات در سازه ها و مدل‌های مورد بررسی بصورت کاملاً صلب در نظر گرفته شده است.

ه - تحلیل

تحلیل اولیه در نرم افزار SAP2000 [۳] صورت گرفته و در نهایت توسط نرم افزارالمان محدود Open Sees [۱۲] مدل‌ها تحلیل غیر خطی شده اند.

ویژگیهای مقاطع و مصالح بکار رفته شده به شرح جداول ۳ و ۴ می باشند.

جدول ۳: مشخصات مصالح بکار رفته شده در سازه

UnitWeight	UnitMass	E1	G12	U12
Kgf/m3	Kgf-s2/m4	Kgf/m2	Kgf/m2	Unitless
7850	800	2e10	7.8e9	0.3
Fy	Fu	EffFy	EffFu	
Kgf/m2	Kgf/m2	Kgf/m2	Kgf/m2	
42E+6	54E+6	46E+6	60E+6	

جدول ۴: مشخصات المانهای بکار رفته شده در سازه ها

Section Name	Fy (kg/cm ²)	Shape	R (cm)	T (cm)	A (cm ²)	I (cm ⁴)
P1.5	4200	Pipe	4.84	0.29	4.13	10.8
P2	4200	Pipe	6.00	0.29	5.23	21.2
P3	4200	Pipe	8.87	0.33	8.71	79.9
P4	4200	Pipe	11.4	0.36	12.65	192.3
P5	4200	Pipe	14.1	0.48	20.71	477.0
P6	4200	Pipe	11.6	0.48	16.97	262.6

۴- ارزیابی پارامترهای موثر در محاسبه ضریب رفتار

ضریب رفتار سازه در واقع ضریبی است که عملکرد غیر ارتجاعی سازه را در بر داشته و نشان دهنده مقاومت پنهان سازه در محدوده غیر ارتجاعی می باشد و با تقسیم مقاومت سازه در حالت کاملاً ارتجاعی به این ضریب، مقاومت مورد نیاز حاصل می شود [۳].

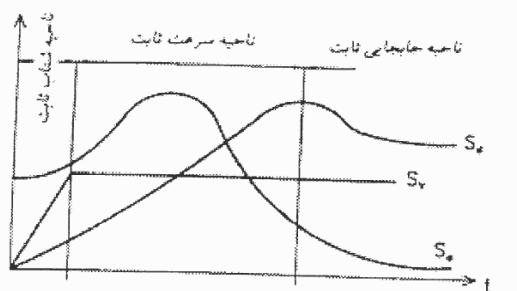


شکل پذیری کلی سازه به مقداری کمتر یا برابر شکل پذیری کل هدف (μ_i) در اثر یک زلزله می باشد.

$$R_\mu = \frac{F_y (\mu=1)}{F_y (\mu=\mu_i)} \quad (3)$$

در اینجا ما از روش نیومارک هال که بصورت معادلات کلی زیر می باشد استفاده کرده ایم [۱۱].
در این روش رفتار غیر ارتجاعی سازه در حالات مختلف زیر بررسی گردیده است:

- ۱- ناحیه فرکانس بالا
که در آن سیستم الاستیک و غیر الاستیک هر دو دارای پاسخ های نیرویی یکسانند. (فرکانس بیش از ۳۳ هرتز).
- ۲- ناحیه ای که در آن سازه در حالتی است که مقدار شتاب ثابت و میزان فرکانس بیش از ۲ تا ۸ هرتز است.
- ۳- ناحیه ای که در آن سازه در حالتی قرار دارد که میزان جابجایی و سرعت ثابت است و فرکانس کمتر از ۱ هرتز است.

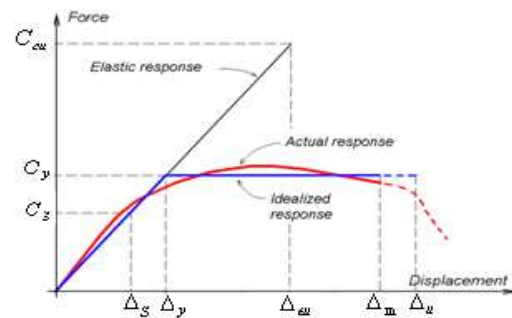


شکل ۴: منحنی تغییرات طیف شتاب، سرعت و جابجایی نسبت به زمان تناوب [۱۱]

$$(4) \quad \begin{cases} R_\mu = 1 & f > 33 \text{ Hz} \\ R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} & 2 \text{ Hz} < f < 8 \text{ Hz} \\ R_\mu = \mu & f < 1 \text{ Hz} \end{cases}$$

د- ضریب اضافه مقاومت (Ω)

این ضریب در واقع نشان دهنده مقاومت ذخیره ای است که بین تراز واقعی تسلیم سازه (C_y) و تراز اولین تسلیم قابل توجه (C_s) وجود دارد و به شکل زیر بیان می شود:



شکل ۳: رفتار کلی سازه [۵]

الف- شکل پذیری

شکل پذیری میزان ورود سازه به ناحیه غیر خطی را بیان میکند و هرچه تغییر مکان یک سازه پس از تسلیم و قبل از انهدام بیشتر باشد شکل پذیری آن بیشتر است.

ب- ضریب شکل پذیری کلی سازه (μ_s)

با توجه به شکل ۳، شکل پذیری کلی سازه را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\mu_s = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (1)$$

در این رابطه:

Δ_{max} : ماکزیمم جابجایی

Δ_y : جابجایی در نقطه تسلیم

ج- ضریب کاهش در اثر شکل پذیری (R_μ)

در اثر شکل پذیری های مختلف سازه ظرفیتی برای استهلاک انرژی های ورودی زلزله خواهد داشت، لذا می توان با توجه به این ظرفیت، نیروهای طراحی الاستیک (C_{eu}) را به تراز مقاومت تسلیم (C_y) کاهش داد.

$$R_\mu = \frac{C_{eu}}{C_y} \quad (2)$$

در رابطه بالا تراز مقاومت تسلیم C_y به تراز ایجاد مکانیزم گسیختگی و یا فروریزش سازه اطلاق شده و تراز اولین تسلیم در سازه را شامل نمی شود [۲].

با توجه به مطالب گفته شده در بالا می توان ضریب کاهش در اثر شکل پذیری را بر اساس رابطه زیر تعریف نمود که $F_y(\mu=1)$ مقاومت مورد نیاز برای جلوگیری از تسلیم در سازه و $F_y(\mu=\mu_i)$ مقاومت مورد نیاز برای محدود کردن



$$\Omega_0 = \frac{C_y}{C_s} \quad (5)$$

مقدار C_s که نشان دهنده تشکیل اولین مفصل پلاستیک در سازه می باشد، برابر تراز نیرویی است که در آن پاسخ کلی سازه به نحو قابل توجهی شروع به منحرف شدن از پاسخ ارتجاعی می نماید.

ضریب اضافه مقاومت حاصل از روش فوق را ضریب اضافه مقاومت اولیه نامیده و به منظور در نظر گرفتن عوامل موثر در آن، این ضریب توسط چند ضریب اصلاحی به ضریب اضافه مقاومت واقعی سازه تبدیل می شود و در محاسبات ضریب رفتار باید مقادیر واقعی ضریب اضافه مقاومت را به شرح زیر منظور نمود:

$$\Omega = \Omega_0 \times F_1 \times F_2 \times F_3 \times \dots \quad (6)$$

در رابطه بالا ضرایب F_i نشان دهنده اثر عوامل مختلف می باشد مثلاً F_1 می تواند برای در نظر گرفتن اختلاف بین حد جاری شدن اسمی وحد جاری شدن واقعی مصالح باشد مطالعات آماری مقدار این ضریب را ۰.۵ برای سازه های فولادی تعیین نموده و ضریب F_2 می تواند اثر افزایش تنش جاری شدن در اثر افزایش نرخ کرنش در هنگام زلزله باشد و مطالعات آماری این مقدار را ۱/۱ تعیین نموده و سایر پارامترهای F میتواند اثر قطعات غیر سازه ای و غیره باشند. [۵]

ه- ضریب تنش مجاز (y)

برای طراحی بر اساس روش تنشهای مجاز، تراز مربوط به نیروی طراحی (Cw) از تراز اولین تسلیم قابل توجه (Cs) بوسیله این ضریب به روش زیر کاهش می یابد:

$$C_w = \frac{C_s}{C_y} \quad (7)$$

نماینگر مقادیر نیروی طراحی در حد سرویس C_w ضریب تنش مجاز y را می توان بر اساس آیین نامه AISC-ASD بطریق زیر محاسبه نمود. در این رابطه ضریب 4/3، اضافه تنش مجاز در هنگام وجود نیروهای زلزله می باشد.

Z-مدول پلاستیک مقطع

$$y = \frac{C_s}{C_w} = \frac{M_p}{M_w} = \frac{ZF_y}{S(0.6F_y \times \frac{4}{3})} \quad (8)$$



برای مقاطع لوله ای شکل، نسبت Z/S برابر ۱/۳۲ بوده و مقدار ضریب تنش مجاز برابر ۱/۶۵ محاسبه می گردد [۴].

و- ضریب افزایش تغییر مکان جانبی C_d :

رابطه بین ضریب تشدید تغییر مکان جانبی C_d و ضریب کاهش پاسخ الاستیک R بصورت زیر می باشد

$$\frac{R}{C_d} = \frac{R_u \times \Omega}{\mu \times \Omega} = \frac{R_u}{\mu} \quad (9)$$

$$\frac{R}{C_d} = \frac{R_w}{C_{d,w}} = \frac{R_w \times \Omega \times y}{\mu \times \Omega \times y} = \frac{R_u}{\mu} \quad (10)$$

$$\frac{R_w}{C_{d,w}} = \frac{R_u}{\mu} \quad (11)$$

رابطه اخیر نباید از یک بیشتر باشد [۴].

۵- ضریب رفتار سازه

ضریب رفتار R بعنوان ضریب ذخیره مقاومت مطابق با ضریب رفتار NEHRP 1998 به صورت زیر شرح داده شده است: ضریب ذخیره مقاومت یک ضریب اصلاح تجربی کاهنده به منظور به حساب آوردن خصوصیات ذاتی میرایی و شکل پذیری در یک سیستم سازه ای، در تغییر مکانهایی که به قدری بزرگ هستند که به حداکثر تغییر مکان سیستم برسند. و مقدار آن مطابق روش طراحی بر اساس تنشهای مجاز و با توجه به شکل قبل، می توان بصورت زیر تعیین نمود [۱۰].

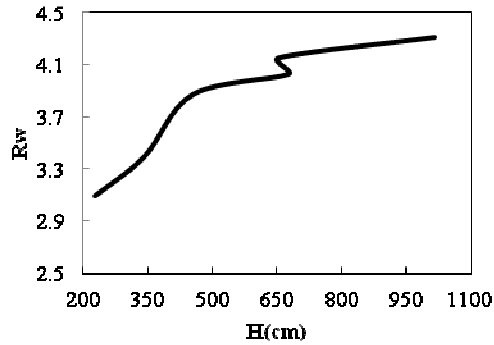
$$R_w = \frac{C_{eu}}{C_w} = \frac{C_{eu}}{C_y} \cdot \frac{C_y}{C_s} \cdot \frac{C_s}{C_w} = R_u \cdot \Omega \cdot y \quad (12)$$

۶- آنالیز Push Over

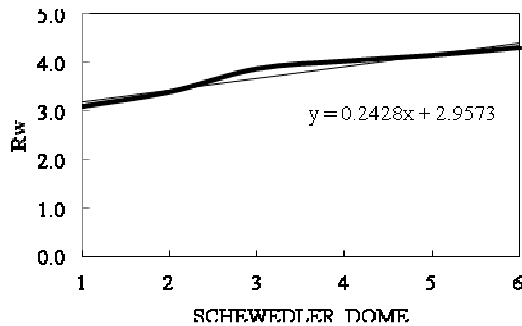
الف - تعیین منحنی ظرفیت سازه یا منحنی Pushover
منحنی ظرفیت یا Pushover که حاصل از دنبال کردن تغییرات برش پایه برحسب تغییر مکان بام می باشد برپایه این فرض استوار است که مود اصلی ارتعاش (مود اول) تعیین کننده رفتار غالب سازه باشد. برای سازه های انعطاف پذیر باید اثرات مودهای بالاتر نیز مدنظر قرارگیرد. در تحلیل استاتیکی Pushover پاسخ سازه با پاسخ سیستم یک درجه آزادی معادل شبیه سازی میشود. روشهای مختلفی برای تبدیل سیستم چند درجه آزادی به یک سیستم یک درجه آزادی معادل پیشنهاد شده است و بیشتر

جدول ۶: نتایج حاصل از نمودارهای پوش اور گنبدیهای شودر

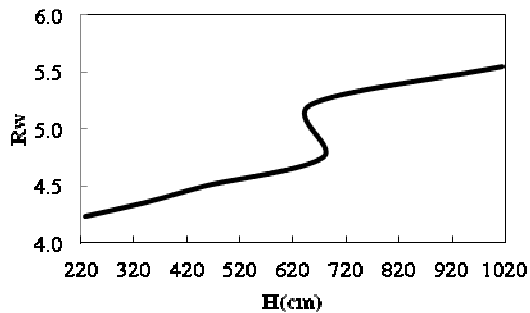
POS.	T(sec)	μs	Ω_0	Ω	γ	R_μ	R_w
SC-01	0.12	1.29	1.30	1.50	1.65	1.25	3.1
SC-02	0.18	1.29	1.42	1.63	1.65	1.258	3.4
SC-03	0.23	1.30	1.60	1.85	1.65	1.267	3.9
SC-04	0.25	1.50	1.49	1.73	1.65	1.414	4.0
SC-05	0.31	1.32	1.70	1.96	1.65	1.281	4.2
SC-06	0.38	1.51	1.59	1.84	1.65	1.422	4.3



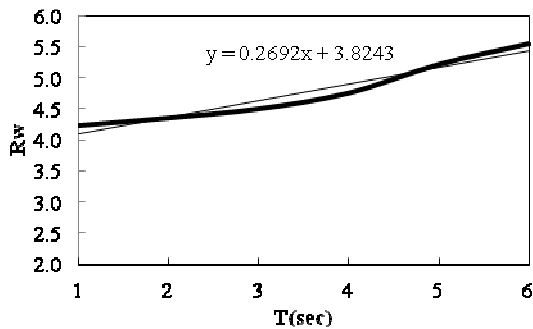
شکل ۷: رابطه بین ضریب رفتار و ارتفاع در گنبدیهای شودر



شکل ۸: مقادیر ضریب رفتار در انواع گنبدیهای شودر



شکل ۹: رابطه بین ضریب رفتار و ارتفاع در گنبدیهای دندان ای



این روشها براساس مود تغییرشکلی و معادله تعادل دینامیکی بیان شده اند. این معادله به صورت زیر است:

$$[M]\{X\} + [C]\{X\} + \{Q\} = -[M]\{1\} Xg \quad (13)$$

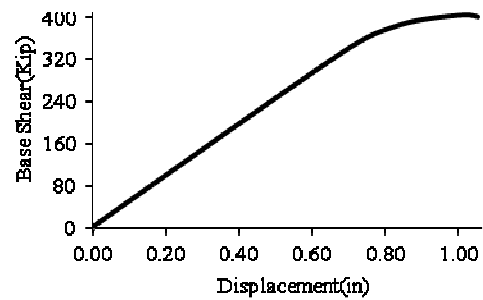
که در آن $[M]$ ماتریس جرم، $[C]$ ماتریس میرایی، $\{X\}$

برداری تغییر مکان نسبی، $\{Q\}$ بردار نیروی طبقه و Xg

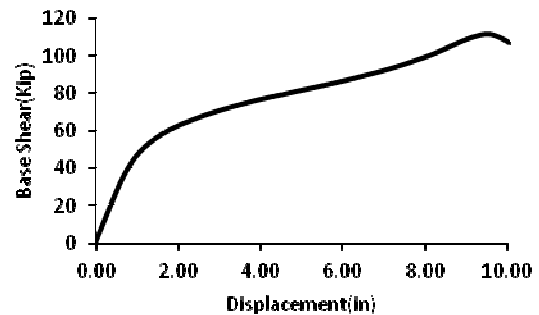
تاریخچه شتاب نداشت زمین است.

ب - نتایج تحلیل Push Over

در شکلهای ۵ و ۶ دو نمونه از نتایج تحلیل پوش اور گنبدیهای شودر و دندان ای آمده است.



شکل ۵: شکل شماتیک منحنی Push Over گنبدیهای شودر



شکل ۶: شکل شماتیک منحنی Push Over گنبددندان ای

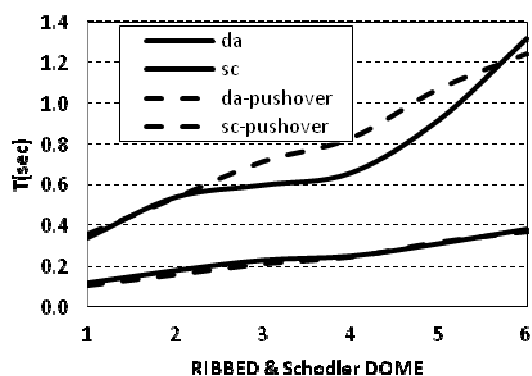
جدولهای ۵ و ۶ نتایج تحلیلهای پوش اور را برای هر دو نوع گنبد و انواع آنها بیان می کند.

شکلهای ۷ تا ۱۰ رابطه بین ضریب رفتار با ارتفاع و مقادیر ضریب رفتار را نمایش می دهد.

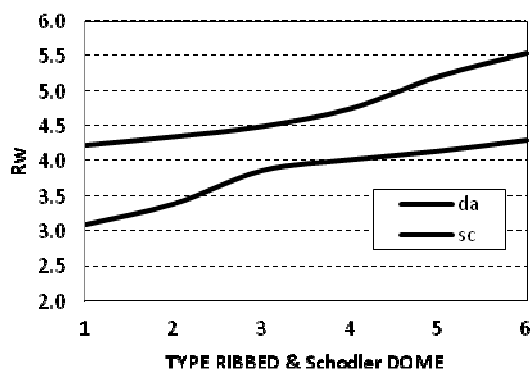
جدول ۵: نتایج حاصل از نمودار پوش اور گنبدیهای دندان ای

POS.	T(sec)	μs	Ω_0	Ω	γ	R_μ	R_w
da-01	0.34	1.66	1.46	1.69	1.65	1.52	4.23
da-02	0.54	2.40	1.17	1.35	1.65	1.95	4.35
da-03	0.60	2.14	1.28	1.48	1.65	1.84	4.50
da-04	0.66	1.56	1.63	1.88	1.65	1.53	4.75
da-05	0.92	2.21	1.27	1.46	1.65	2.16	5.21
da-06	1.32	2.43	1.20	1.39	1.65	2.43	5.55





شکل ۱۱: مقایسه پریود گنبد‌های شودلر و دندانه ای حاصل از نتایج تحلیل و نتایج تجربی



شکل ۱۲: مقایسه ضریب رفتار گنبد‌های شودلر و دندانه ای نتایجی که از نمودارهای ۱۱ و ۱۲ و معادلات بدست می آید به شرح ذیل است:

نقطه پوش ماکزیم ناشی از تغییر شکل گنبد ها در ترازهای پایین و تقریباً نزدیک تراز یک سوم ارتفاعی از پائین گنبد قرار دارد. و این نقطه در گنبد های مورد مطالعه در بین ترازهای ۳ و ۴ قرار گرفته است.

پریود بدست آمده از روابط بالا با پریود های واقعی بدست آمده از محاسبات سازه در گنبد‌های شودلر اختلاف اندکی دارد ولی در گنبد‌های دندانه ای اختلافات کمی بیشتر شده و بیشترین مقدار در مورد گنبد da-04 در حدود ۲۰ درصد می باشد. و همچنین با افزایش ارتفاع و دهانه گنبد‌ها، پریود و ضریب رفتار گنبد‌ها افزایش می یابد.

مقادیر ضریب رفتار بدست آمده برای گنبد‌های دندانه ای عددی بین ۴/۵ تا ۵/۵ و برای گنبد‌های شودلر بین ۳/۵ تا ۴/۵ می باشد که می توان با کمی تقریب عدد ۵ و ۴ را به ترتیب به عنوان ضریب رفتار این نوع گنبد‌ها بیان کرد.

شکل ۱۰: مقادیر ضریب رفتار در انواع گنبد‌های دندانه ای همانطور که از رابطه و نمودارها پیداست دهانه و زاویه ای که مماس بر گنبد با افق می سازد در این رابطه بطور مستقیم دخالت داشته و پریود سازه تابعی از این پارامترها می باشد:

$$T = f(\theta, R)$$

زاویه مماس بر گنبد خود نیز تابعی از ارتفاع سازه و دهانه سازه می باشد:

$$\theta = f(R, H)$$

در کل می توان نتیجه گرفت که پریود سازه با ارتفاع، دهانه و زاویه ای که مماس بر گنبد با افق می سازد رابطه مستقیم دارد:

$$T = f(\theta, R, H)$$

با توجه به مطالب بالا رابطه پریود سازه بصورت ذیل بیان می شود:

$$T = aMR \quad (14)$$

در این رابطه:

$$M = \frac{\tan \theta}{\theta} \quad (15)$$

R: شعاع گنبد (m)

a ضریبی است که از مدلها بدست می آید و زمانی که کلیه پارامترها در سیستم SI تعریف شوند مقدار آن برابر است با:

در گنبد‌های شودلر $a=0.013$

در گنبد‌های دندانه ای $a = \frac{10}{3} \cdot 0.013$

زاویه ای که خط مماس بر گنبد با افق می سازد $\theta = (\text{rad})$

رابطه ضریب رفتار بصورت خطی با T (پریود سازه):

در گنبد‌های شودلر $RW = 4.8T + 2.6$

در گنبد‌های دندانه ای $RW = 1.46T + 3.7$

در نمودارهای زیر مقایسه ای بین نتایج بدست آمده برای ضریب رفتار و پریود سازه از رابطه های ارائه شده در بالا و نتایج حاصل از تحلیل های غیر خطی در مورد هر دو نوع گنبد شودلر و دندانه ای صورت گرفته است:



همانطوری که از روابط بدست آمده برای پریود و ضریب رفتار دیدیم ضریب رفتار گنبدهای دندانان ای بزرگتر از گنبد های شودلر می باشد و این مقدار را نیز می توان از نمودارهای حاصله دریافت.

پریود گنبد های دندانان ای تقریباً ۳ برابر پریود گنبدهای شودلر است که از روابط ارایه شده جهت محاسبه پریود دو سازه، پریود گنبدهای دندانان ای $10/3$ گنبدهای شودلر بدست می آید. تنها عاملی که باعث ایجاد اختلاف بین نتایج حاصل از گنبدهای شودلر و دندانان ای شده است المانهای قطری می باشد که باعث شده پریود گنبدهای شودلر به $\frac{1}{3}$ پریود گنبد های دندانان ای و همچنین کاهش شکل پذیری و در نتیجه افزایش سختی این نوع گنبدها گردیده اند. در گنبدهای شودلر المانهای قطری ابتدا باعث سختی سازه و افزایش شیب منحنی پوش اور شده اند و سپس در اثر شکست فشاری این المانها شیب به سرعت کاهش یافته و منجر به خرابی سازه گردیده است.

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق هدف بررسی رفتار شش نمونه از گنبدهای شودلر و دندانان ای کوتاه مرتبه تحت بارهای لرزه ای و محاسبه پریود و ضریب رفتار آنها بوده که بدین منظور تحلیل استاتیکی غیر خطی روی آنها صورت گرفته است و رابطه زیر جهت تعیین پریود آنها بدست آمده است:

$$T = aMR$$

با توجه به پریود سازه ضریب رفتار را می توان بصورت رابطه خطی زیر بیان کرد:

$$R_w = 4.8T + 2.6 \quad \text{در گنبدهای شودلر}$$

$$R_w = 1.46T + 3.7 \quad \text{در گنبدهای دندانان ای}$$

با افزایش ارتفاع و دهانه گنبدها پریود و ضریب رفتار گنبدها افزایش می یابد. مقادیر ضریب رفتار بدست آمده برای گنبدهای دندانان ای عددی بین $4/5$ تا $5/5$ و برای گنبدهای شودلر بین $3/5$ تا $4/5$ می باشد که می توان با کمی تقریب عدد ۵ و ۴ را به ترتیب به عنوان ضریب رفتار این نوع گنبدها بیان کرد.

در منحنی های پوش اور گنبدهای شودلر با توجه به مقاومت المانهای قطری ابتدا شیب منحنی افزایش یافته و سپس در اثر شکست فشاری این المانها شیب به سرعت کاهش یافته و منجر به خرابی سازه گردیده است و این باعث اختلاف بین شیب منحنی های پوش اور گنبدهای شودلر در مقایسه با گنبدهای دندانان ای شده است. نقطه تغییر مکان حداکثر تقریباً در تراز یک سوم ارتفاعی از پائین گنبدها قرار دارد.

۸- مراجع

- ۱- مبحث ششم مقررات ملی ایران ، بارهای وارد بر ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۵.
- ۲- مقدم ، حسن ، (بارگذاری و تحلیل لرزه ای ساختمانها) انتشارات فراهنگ ، ص ۱۳۱-۳۵۹ ، ۱۳۸۱.
- ۳- یحیائی ، محمود ، (اثر باد بر سازه ها) ، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ، بهمن ماه ۱۳۸۷.
- 4- AISC, 2005, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-05, American Institute for Steel Construction, Chicago, Illinois.
- 5- ANSI/ASCE 1997, Minimum Load for Building and other Structures.
- 6- ATC 63, FEMA 2008, Quantification of Building Seismic Performance Factors, 90% draft, Federal Emergency Management Agency.
- 7- Cao Z, Zhang Y. "A Study on the Seismic Research of Lattic Shells" International Journal of Space Structures Vol.15 No, 3&4, 2000.
- 8- Kato, S. Ueki T. Mukaiyama Y, Study of Dynamic Collapse of Single" Layer Reticular Domes Subjected to Earthquake Motion and Estimation of Statically Equivalent, Department of Architecture and Civil Engineering, Toyohashi, University "Siesmic Forces of Teechnology, JAPAN March 1997.
- 9- Kawaguchi, M. A review of the recent development of steel space structures in japan. Bulletin of the International Association for Shell and Spatial Structures, 1988, XXIX-1 (96).
- 10- NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures" (FEMA303), Building Seismic Safety Council, 1997.



11- Newmark , N.M. , Hall , W.J. , " Procedures and Criteria for Earthquake resistant Desing " , Building Practice for Disaster Mitigation , National Bureau of Standards , Feb 1973.

12- Opensees, Open System for Earthquake Engineering Simulation, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley,

<http://opensees.berkeley.edu>

13- SAP 2000 Advanced 9.0.3, Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures, Computer and Structures Inc., 1995 University AVE . , Berkeley, CA 94704, 2004.

