

# محاسبه و بررسی ضریب رفتار سازه های فضاکار گنبدی تک لایه

دکتر محمدعلی سعیدی<sup>۱</sup>، دکتر محمدعلی برخوردار<sup>۲</sup>، مهندس پیمان حیدری

۱- استاد دانشگاه یزد- دانشکده عمران

۲- استاد دانشگاه علم و صنعت- دانشکده عمران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه یزد

Heydari.5254peyman@yahoo.com

## خلاصه

فلسفه کاربردی ضریب رفتار در آیین نامه های طراحی لرزه ای سازه ها، احتساب انرژی است که یک سازه، از زمانی که اولین مفصل پلاستیک در آن تشکیل می شود تا زمانی که به مکانیزم خرابی کامل می رسد، تحمل یا جذب می کند، هدف از این مقاله بررسی شکل پذیری و ضریب رفتار گنبد های تک لایه تحت بار قائم می باشد. برای این کار لازمه نیاز به مطالعه تعداد زیادی مدل می باشد. در این تحقیق چهار نوع شبکه گنبد فضا کار تک لایه، که عبارت است از: گنبد شولدر، گنبد تریمد شولدر، گنبد لاملای نوع ۱ و گنبد لاملای نوع ۲ و گنبد دیاماتیک با نسبت دهانه به ارتفاع های مختلف (h/s)، در نظر گرفته شده اند که تعداد کل مدل های انتخاب شده ۱۰۰ عدد می باشد. در این مقاله با استفاده از نرم افزار ANSYS 10 که توانایی تحلیل غیر خطی مسائل را به روش اجزای محدود دارا است، گنبد ها مدل سازی شده و سپس با روش معمول آنالیز غیر خطی مصالح و غیر خطی هندسی با بار استاتیکی زیاد شونده روی سازه انجام گرفته تا سازه ناپایدار و خراب شود که از حاصل نتایج منحنی های نیرو- تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) به دست می آید و با استفاده از شیوه های ارائه شده شکل پذیری و ضریب رفتار این سازه ها را محاسبه می شوند.

کلید واژه ها: گنبد تک لایه، آنالیز غیر خطی، ضریب رفتار، پارامترهای لرزه ای

## مقدمه

امروزه با پیشرفت علوم و تکنولوژی نیازها و خواسته های جدیدی در زمینه مهندسی سازه رخ نموده است عامل زمان در ساخت سازه ها اهمیت دوچندان یافته و این امر گرایش به سازه های پیش ساخته را افزایش داده است همچنین با افزایش جمعیت جوامع بشری علاقه به داشتن فضاهای بزرگ بدون حضور ستون های میانی خواهان بسیار پیدا کرده است در این راستا از اوایل قرن حاضر تعدادی از متخصصین مجذوب قابلیت های منحصر بفرد سازه های فضاکار<sup>۳</sup> گشته و پاسخ بسیاری از نیازهای جدید را در این سازه ها جسته اند و البته به نتایج بسیار مثبتی نیز دست یافتند با انتشار این

<sup>۱</sup> استادیار

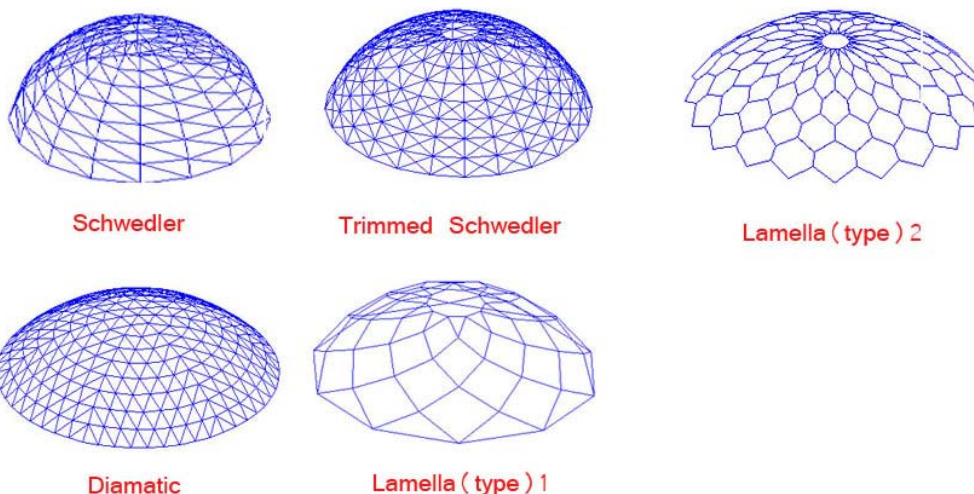
<sup>۲</sup> دانشیار

نتایج روز به روز این عرصه با اقبال بیشتری مواجه گردید به گونه ای که با گذشت چندین دهه هنوز هم مطالعه سازه های فضاکار در کانون تحقیقات متخصصین و دانشجویان قرار دارد.

در این مقاله منظور از عبارت سازه فضاکار سیستم های اسکلت فلزی بوده که از بافت تعداد زیادی المان یا مدول با شکلهای استاندارد به یکدیگر تشکیل می شوند و نهایتاً یک سیستم سبک و یا صلیبیت زیاد را ایجاد می کنند.

تجربه تاثیر زلزله های گذشته بر سازه ها نشان می دهد که سازه ها در هنگام زلزله رفتاری غیر خطی دارند و بدین دلیل مقدار قابل توجهی از انرژی ورودی زلزله را به صورت انرژی میرایی و پسماند تلف می کنند. بنابراین سازه ها راعمولاً بر اساس ضوابط آیین نامه های زلزله برای نیروی زلزله که بسیار کمتر از نیروی لازم در حالت رفتار خطی الاستیک می باشد طراحی می نمایند. تحلیل رفتار و طراحی دقیق سازه ها در مقابل زلزله های شدید تنها با تحلیل غیر خطی میسر می باشد این نوع تحلیل با توجه به وقتگیر بودن محاسبات و نیاز به داشتن نرم افزارهای پیشرفته و دانش تحلیلی قوی، روشی پرهزینه می باشد و انجام آن برای سازه های معمولی در دفاتر مهندسی عملاً غیر اقتصادی می باشد. بنابراین با توجه به سهولت و گستردگی روشهای تحلیل و طراحی سازه در محدوده خطی با نیروهای تقلیل یافته زلزله می باشد. نیروی زلزله برای تحلیل و طراحی خطی سازه ها، از یک طیف خطی زلزله بدست می آید. به منظور کاهش نیروی اعمالی زلزله بدلیل رفتار غیر خطی سازه ناشی از عواملی مانند شکل پذیری، اضافه مقاومت، میرایی و غیره، نیروی خطی محاسبه شده از طیف خطی طرح بوسیله ضریبی به نام ضریب رفتار سازه (R)، کاهش پیدا می کند. [1]

برای تعیین ضریب رفتار گنبدها و دستیابی به یک مقدار مشخص و کلی نیاز به مطالعه تعداد زیادی مدل می باشد. در این تحقیق چهار نوع شبکه گنبد فضا کار تک لایه مطابق شکل (۱)، که عبارت از: ۱- گنبدهای شودلر، ۲- گنبدهای تریمد شودلر، ۳- گنبدهای لاملای (نوع ۱) و ۴- گنبدهای لاملای (نوع ۲) و ۵- ب گنبد دیاماتیک با نسبت دهانه به ارتفاع های مختلف (h/s)، در نظر گرفته شده اند که تعداد کل مدل های انتخاب شده ۱۰۰ عدد می باشد هر کدام از این گنبد ها تحت بارگذاری مطابق با آیین نامه ۵۱۹ قرار می گیرند و سپس در نرم افزار SAP2000 تحلیل و طراحی شده اند لازم به ذکر است طراحی ها بر اساس آیین نامه AISC-ASD89 انجام گرفته است و کلیه ضوابط طراحی نظیر کنترل کمانش و کنترل نسبت تنش در اعضاء در نظر گرفته شده اند و بعد از طراحی، این سازه ها برای تحلیل غیر خطی به نرم افزار ANSYS انتقال داده شده اند.



شکل ۱- سازه های فضاکار گنبدی تک لایه

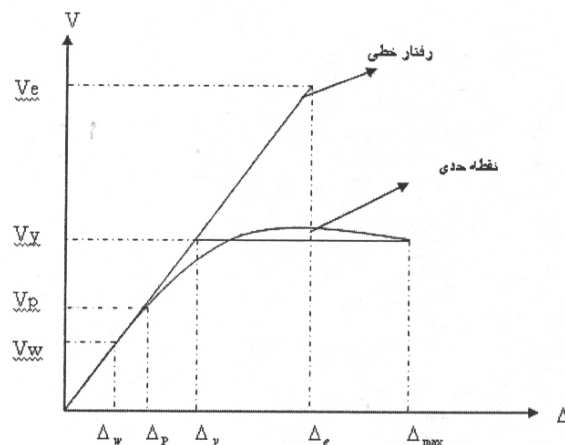
## مدل اجزای محدود

به منظور مدل سازی از نرم افزار ANSYS استفاده شده است کتابخانه المانهای برنامه ANSYS ۱۸، گروه المان دارد که شامل بیش از ۱۰۰ نوع المان می شود در اینجا برای مدل سازی از المان beam 189 استفاده شده است.

از المان beam 189 برای مدل کردن تیر و ستون و مهاربندها و کلیه اعضای رشته ای سه بعدی استفاده می شود این المان دارای ۴ گره (۲ گره در انتها و یک گره در وسط و یک گره خارج از المان) می باشد. که هر گره آن ۶ درجه آزادی انتقالی و دوارانی دارد این المان امکان مدل سازی رفتار غیر خطی مصالح را بصورت های گوناگون فراهم می سازد همچنین قادر به منظور نمودن کرنش ها و تغییر شکل های بزرگ را دارا می باشد این نوع تیر از نوع تیرهای با مقاطع نازک تا متوسط می باشد و بر پایه تئوری تیر تیموشنکو بنا نهاده شده است و ویژگی های منحصر بفرد آن پذیرش مقاطع مختلف عمومی و قراردادی می باشد. [2]

## مبانی ضریب رفتار

آیین نامه های طراحی در مقابل زلزله الاستیک باقی ماندن سازه را در مواجهه با زلزله شدید الزامی نمی دانند. بلکه اجازه داده می شود تا سازه وارد پلاستیک شده و انرژی ناشی از زلزله را در خود مستهلک نماید. به همین دلیل در تعیین نیروی های معادل زلزله جهت تحلیل خطی و طراحی به روش تنش مجاز نیروی زلزله را بر یک ضریبی بنام ضریب رفتار تقسیم می شود این ضریب نشان دهنده عملکرد لرزه و قابلیت جذب انرژی آن است. [۱]



نمودار (۱) منحنی نیرو - تغییر مکان سازه در حالت خطی و غیر خطی

۱- ضریب کاهش نیرو در اثر شکل پذیری ( $R_{\mu}$ ):

عبارتست از خارج قسمت نیروی نهایی وارده به سازه در صوتیکه رفتار سازه الاستیک باقی بماند ( $V_e$ ) به نیروی متناظر با حد تسلیم سازه در هنگام تشکیل مکانیزم خرابی ( $V_y$ )

$$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y} \quad (1)$$

۲- ضریب اضافه مقاومت (Rp)

عبارتست از خارج قسمت نیروی متناظر با حد خرابی (Vy) به نیروی متناظر با تشکیل لولای خمیری در سازه (Vp)

$$Rp = \frac{V_y}{V_s} \quad (2)$$

۳- ضریب تنش مجاز (Y)

عبارتست از ضریبی که نحوه برخورد آیین نامه ها با تنش های طراحی ( بارمجاز یا بارنهایی) تعیین می شود و برابر است با نسبت نیرو در حد تشکیل اولین لولایی خمیری (Vp)، به نیروی در حد تنش مجاز (Vw) مقدار این ضریب حدود ۱/۴۵ تا ۱/۶۰ در سازه های فضاکار می باشد.

$$Y = \frac{V_s}{V_w} = \frac{M_p}{M_w} = \frac{ZF}{S(0.6F_y(4/3))} \quad (3)$$

با افزایش نیروی محوری از ظرفیت مقاطع کاسته می شود لذا نمی توان از فرمول  $M_p = ZF_y$  لنگر پلاستیک را به دست آوریم. بنابراین لنگر کاهش یافته از فرمول زیر محاسبه می شود. [۳]

$$M_p = 1.273SF_y \left( 1 - \left( \frac{P}{P_y} \right)^2 \right) \quad \text{-----} \quad 0 \leq \frac{P}{P_y} \leq 0.65 \quad (4)$$

$$M_p = 1.82SF_y \left( 1 - \frac{P}{P_y} \right) \quad \text{-----} \quad .65 \leq \frac{P}{P_y} \leq 1 \quad (5)$$

برای محاسبه ضریب رفتار بر اساس بار مجاز ما نیاز به محاسبه مقدار Y داریم. بنابراین برای به دست آوردن ضریب تنش مجاز در گنبدها، تعداد ۱۲۰ سازه را مدل کرده و پس از آنالیز با استفاده از فرمول های (۴) و (۵) مقدار این ضریب حدود ۱/۴۵ تا ۱/۶ محاسبه شده، و با بررسی و میانگین گیری مقدار این ضریب ۱/۵۷ برای گنبدها به دست آمد.

الف: ضریب رفتار بر اساس سطح متناظر با بارنهایی:

$$R = \frac{V_{eu}}{V_s} = \frac{V_{eu}}{V_y} * \frac{V_y}{V_s} = R_\mu * Rp \quad (6)$$

ب: ضریب رفتار بر اساس متناظر با تنش مجاز

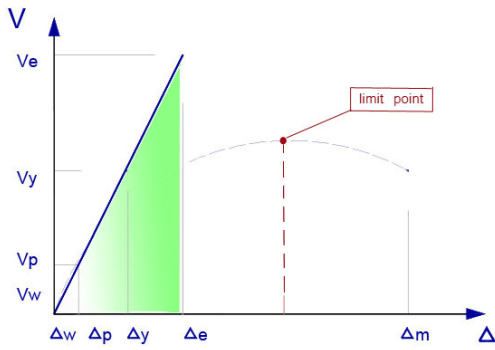
$$R_w = \frac{V_{eu}}{V_w} = \frac{V_{eu}}{V_y} * \frac{V_y}{V_s} = R_\mu * Rp * Y \quad (7)$$

محاسبه نیروی نهائی (Ve)

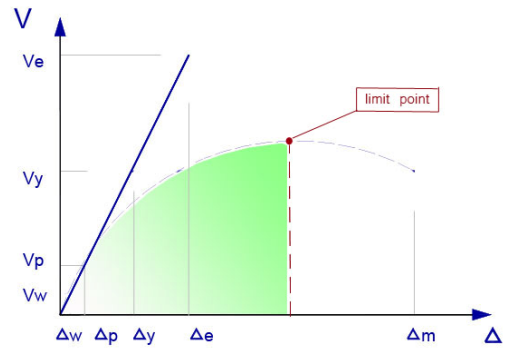
برای محاسبه ضریب رفتار تحت بار استاتیکی افزایشی، سازه را به روش پوش آور تحلیل نموده و منحنی برش پایه- جابجائی را رسم می کنیم. برای محاسبه نیروی نهائی (Ve) در حالت الاستیک، بار را به صورت گام های کوچک وارد کرده تا اولین مفصل پلاستیک تشکیل شود

در مرحله بعد برای بدست آوردن مقدار Ve از همسان سازی مقدار انرژی یا به عبارت دیگر سطح زیر نمودار نیرو - جابجائی استفاده نمود و مقدار نیرو

در تحلیل خطی معادل مقدار نیرو در تحلیل غیر خطی در ناحیه بحران یا خرابی (limit point) را محاسبه می کنیم.

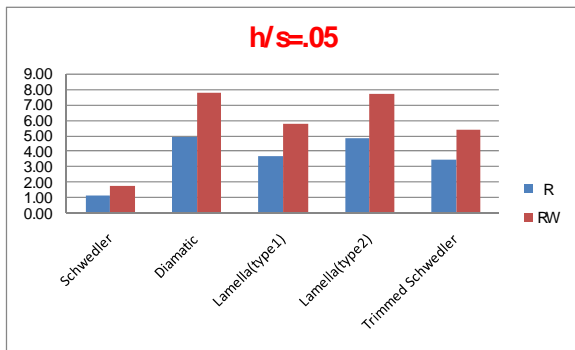


نمودار (۲-ب)

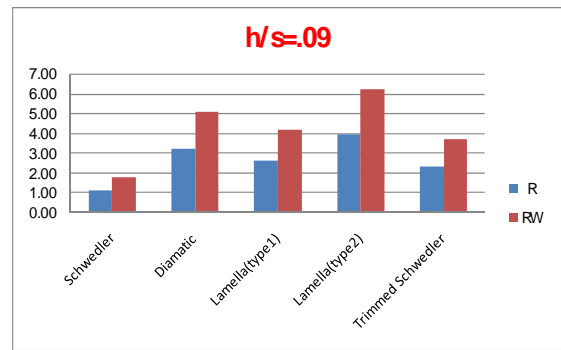


نمودار (۲-الف)

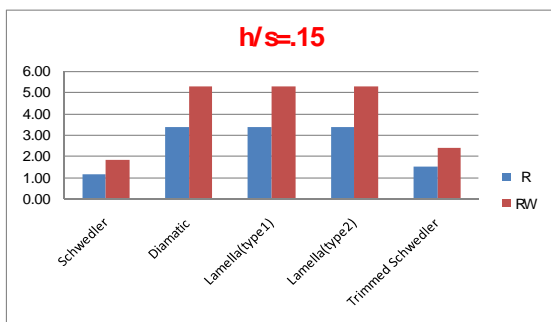
بررسی اثر تعدادی از نسبت  $\frac{h}{s}$  بر ضریب رفتار برای سازه های مختلف



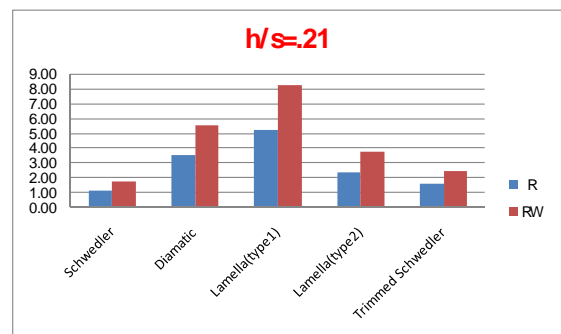
نمودار (۲) نمودار شبکه - ضریب رفتار 0.05 /  $\frac{h}{s}$



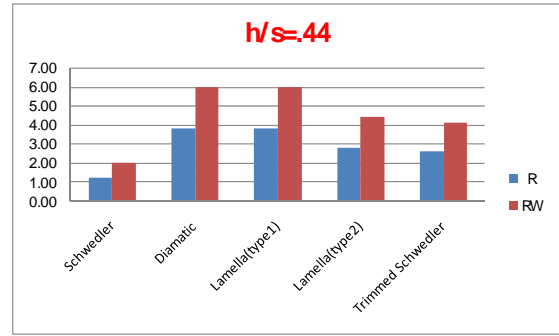
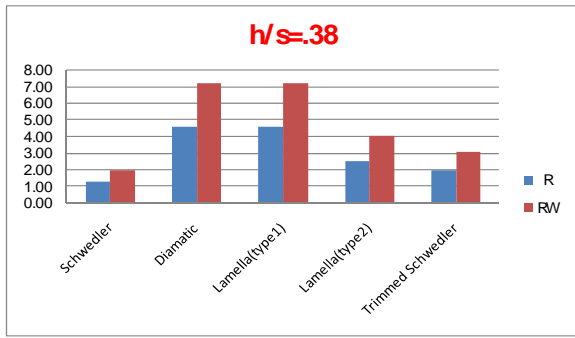
نمودار (۱) نمودار شبکه - ضریب رفتار 0.09 /  $\frac{h}{s}$



نمودار (۴) نمودار شبکه - ضریب رفتار 0.15 /  $\frac{h}{s}$

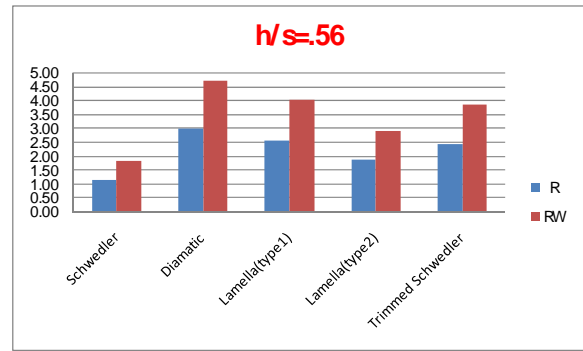
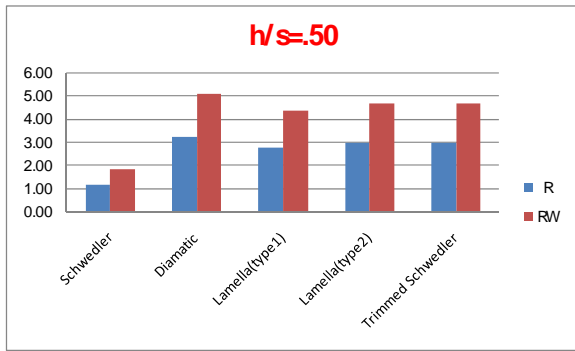


نمودار (۳) نمودار شبکه - ضریب رفتار 0.21 /  $\frac{h}{s}$



نمودار (۶) نمودار شبکه - ضریب رفتار 0.38  $\frac{h}{s}$

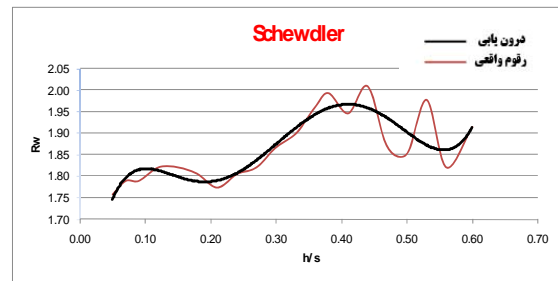
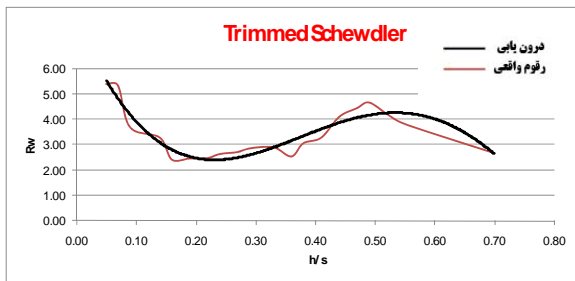
نمودار (۴) نمودار شبکه - ضریب رفتار 0.44  $\frac{h}{s}$



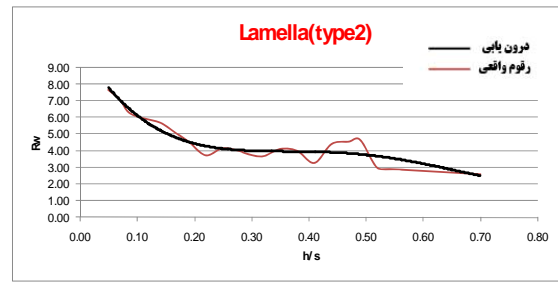
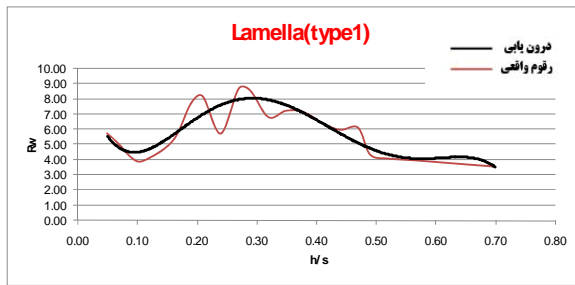
نمودار (۶) نمودار شبکه - ضریب رفتار 0.55  $\frac{h}{s}$

نمودار (۵) نمودار شبکه - ضریب رفتار 0.56  $\frac{h}{s}$

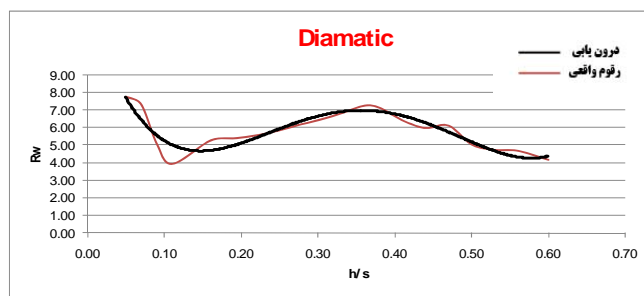
بررسی اثرات  $\frac{h}{s}$  برای ضریب رفتار هر سازه



نمودار (۷) نمودار تغییرات  $RW$  نسبت به  $\frac{h}{s}$  برای گنبد شودلر و گنبد تریمه شودلر



نمودار (۸) نمودار تغییرات  $R_w$  نسبت به  $\frac{h}{s}$  برای گنبد لاملای (نوع ۱) و گنبد لاملای (نوع ۲)



نمودار (۹) نمودار تغییرات  $R_w$  نسبت به  $\frac{h}{s}$  برای گنبد دیاماتیک

### نتیجه گیری نهایی

با توجه به نتایج به دست آمده از نمودارها و محاسبات انجام شده ضریب رفتار پیشنهادی برای انواع گنبدیهای تک لایه سازه فضاکار به شرح

زیر می باشد:

جدول (۱) ضریب رفتار انواع گنبدیهای تک لایه سازه فضاکار

Structure	R	Rw
Schwedler	1.2	1.85
Trimmed Schwedler	2.2	3.45
Lamella(type1)	3.8	5.9
Lamella(type2)	2.8	4.45
Diamatic	3.7	5.85

از بررسی نمودارهای فوق نتایج زیر را حاصل می شود

۱- یکی از مهمترین و زیباترین نتایج به دست آمده از این تحقیق استفاده از یک رنج و یا یک بازه مناسب جهت طراحی سازه گنبد فضاکار

می باشد چرا که در این رنج میزان جذب انرژی یا به عبارتی رفتار سازه ماکزیمم می باشد. این بازه برای سازه های فضاکار گنبدی از  $\frac{h}{s} = 3$  تا

$\frac{h}{s} = 5$  می باشد. که همین رنج در طراحی سازه در کتب مختلف پیشنهاد گردیده است.

۲- در این سازه ها گنبدهای لاملای (نوع ۱) و گنبد دیاماتیک و تریمه شودلر رفتار و ضریب رفتار بهتری نسبت به گنبدهای لاملای نوع ۲ و

شودلر دارند.

### منابع

[۱] مقدم حسن ، رفتار لرزه ای سازه های فضایی ، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس سازه های فضا کار انتشارات دانشگاه تهران ، ۱۳۸۴

[۲] شعبانعلی ، محمد رضا ، تحلیل به روش المان محدود با نرم افزار Ansys ، موسسه علمی فرهنگی نص ، ۱۳۸۲

[3] -Victor, G., *Instability: Problems in Space Structures*, Elsevier Applied SciencePublishera, Vfli.

7, No .4, pp. 331-321,(2004).