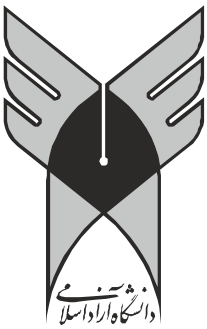
بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه آزاد اسلامي

واحد شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی ، گروه مهندسی عمران
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد « M.Sc »
گرایش : سازه

عنوان :
عوامل موثر بر فرکانس سازه های فضاکار گنبدی

استاد راهنما :
دکتر علی کیهانی

نگارش :
سینا نیازی

پاییز 93

سپاسگزاری

اکنون که با عنایت خداوند متعال مراحل مختلف تحقیق و نگارش این پایان نامه به اتمام رسیده است بر خود لازم میدانم که از زحمات دلسوزانه و راهنمائی های ارزنده جناب اقای دکتر علی کیهانی استاد راهنما پایان نامه و جناب اقای پرفسور هوشیار نوشین پدر علم سازه های فضاکار و سایر اساتید محترم گروه سازه دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد شاهرود که در مراحل مختلف این تحقیق مرا یاری نموده اند نهایت سپاسگزاری و قدر دانی را داشته باشم .

تقدیم به پدر و مادر عزیزم :

آنان که وجودمان برایشان همه رنج بود و وجودشان برایمان مهر .

مویشان سپیدی گرفت تا رویمان سپید بماند .

آنان که فروغ نگاهشان ، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه های جاودان زندگیمان هستند .

در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می نهیم و با دلی مملو از عشق و محبت بر دستانشان بوسه می زنیم .

فهرست مطالب

عنوان
صفحه

چکیده 1

فصل اول : مقدمه

1-1 . فرضیات کلی 2
2-1 . جنبه نو اوری 2
3-1 . انواع گنبد های فضاکار مورد بررسی و ویژگی های انها 3
9-1 . هدف 4
10-1 . روش کار و تحقیق 5

فصل دوم : مروری بر تحقیقات گذشته

1-2 . مروری بر تحقیقات گذشته 6

فصل سوم : عوامل مورد بررسی

1-3 . عامل تاشه یا پیکره بندی 8
1-1-3 . فرضیات 8
2-1-3 . روش کار 8
3 -1-3 . نتایج بدست امده 9
4-1-3 . نتیجه گیری 10

2-3 . عامل شرایط تکیه گاهی 10
1-2-3 . فرضیات 10
2-2-3 . روش کار 11
3-2-3 . نتایج بدست امده 12
1-3-2-3 . نوع تکیه گاه 12
1-4-2-3 . نتیجه گیری 14
2-3-2-3 . تعداد تکیه گاه 14
2-4-2-3 . نتیجه گیری 16
3-3-2-3 . موقعیت قرار گیری تکیه گاه 16
3-4-2-3 . نتیجه گیری 18

3-3 . عامل ضخامت لایه در گنبدهای دو لایه فضاکار 19
1-3-3 . فرضیات 19
2-3-3 . روش کار 19
3-3-3 . نتایج بدست امده 20
4-3-3 . نتیجه گیری 22

4-3 . عامل نسبت ارتفاع به دهانه 22
1-4-3 . فرضیات 22
2-4-3 . روش کار 22
3-4-3 . نتایج بدست امده 23
3 -4-4 . نتیجه گیری 24

5-3 . عامل قطر بازشو در راس گنبد فضاکار .....
24
1-5-3 . فرضیات 24
2-5-3 . روش کار 25
3-5-3 . نتایج بدست امده 25
4-5-3 . نتیجه گیری 27

6-3 . عامل تعداد لایه گنبدهای فضاکار.....
28
1-6-3 . فرضیات 28

2-6-3 . روش کار
..... 28
3-6-3 . نتایج بدست امده
..... 28
4-6-3 . نتیجه گیری
..... 30

فصل چهارم : نتیجه گیری کلی
4 -1 . نتیجه گیری کلی
..... 31

پیوست ها

پ-1 . برنامه نویسی فرمین تاشه های تک لایه لملا ، دنده ای و شوئدلر..... 32
پ-2 . برنامه نویسی فرمین تاشه های دو لایه لملا ، دنده ای و شوئدلر..... 32
پ-3 . برنامه نویسی فرمین تاشه های تک لایه لملا ، دنده ای و شوئدلر با بازشو در راس گنبد..... 33

منابع و ماخذ

فهرست منابع فارسی
..... 34
فهرست منابع غیر فارسی
..... 35
چکیده انگلیسی
..... 35

فهرست جداول

جدول
صفحه

جدول 3-1-1 . مقایسه پارمترهای مختلف در تاشه های مختلف با دهانه کوچک ، متوسط و بزرگ با نسبت ارتفاع به دهانه کم (0/1) 9
جدول 3-2-1 . h) با سازه با تکیه گاه گیردار (f) با نسبت ارتفاع به دهانه (0/1) 12
مقایسه پریود سازه با تکیه گاه مفصلی (
جدول 3-2-2 . h) با سازه با تکیه گاه گیردار (f) با نسبت ارتفاع به دهانه (0/5) 13
مقایسه پریود سازه با تکیه گاه مفصلی (
جدول 3-2-3 . h) با سازه با تکیه گاه گیردار (f) با نسبت ارتفاع به دهانه (1) 13
مقایسه پریود سازه با تکیه گاه مفصلی (
جدول 3-2-4 . مقایسه پارامترهای مختلف مودهای غالب تاشه های لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و ..... 14 بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) با نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) با تکیه گاه های مفصلی و گیردار

جدول 3-2-5 . مقایسه پریود گنبدهای فضاکار با تعداد تکیه گاه 8 ، 20 و 40 عدد در دهانه ها ، ..... 15 تاشه ها و نسبتهای مختلف ارتفاع به دهانه

جدول 3-2-6. مقایسه پارامترهای مختلف مودهای غالب تاشه های لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) با نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) ..... 15 با تعداد تکیه گاه های کم ، متوسط و زیاد (8 ، 20 و 40 عدد)

جدول 3-2-7 . مقایسه پریود in) با سازه با تکیه گاه های روی لایه خارجی (out) با 16
سازه با تکیه گاه های روی لایه داخلی (
H/S = 0/1

جدول 3-2-8 . مقایسه پریود in) با سازه با تکیه گاه های روی لایه خارجی (out) با 17
سازه با تکیه گاه های روی لایه داخلی (
H/S = 0/5

جدول 3-2-9 . مقایسه پریود in) با سازه با تکیه گاه های روی لایه خارجی (out) با 17
سازه با تکیه گاه های روی لایه داخلی (
H/S=1

جدول 3-2-10 . مقایسه پارامترهای مختلف در اغلب تاشه های دو لایه لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) با نسبتهای
ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) با 18
تکیه گاه های روی پایین ترین گره های لایه داخلی و خارجی
جدول 3-3-1 . مقایسه پریود گنبد فضاکار H/S = 0/1 20
دو لایه با ضخامتهای 0/5 ، 1/5 و 2/5 متر با
جدول 3-3-2 . مقایسه پریود گنبد فضاکار H/S = 0/5 20
دو لایه با ضخامتهای 0/5 ، 1/5 و 2/5 متر با
جدول 3-3-3 . مقایسه پریود گنبد فضاکار H/S = 1 21
دو لایه با ضخامتهای 0/5 ، 1/5 و 2/5 متر با

جدول 3-3-4 . مقایسه پارامترهای مختلف در مودهای غالب برای تاشه های دو لایه
لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) با نسبتهای ارتفاع
..... 21
به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) با ضخامتهای لایه (0/5 ، 1/5 و 2/5 متری)

جدول 3-4-1 . مقایسه پریود سازه های تک لایه با تاشه های لملا ، دنده ای و شوئدلر با
..... 23 نسبتهای ارتفاع به دهانه 0/1 ، 0/5 و 1

جدول 3-4-2 . مقایسه پارامترهای مختلف در مودهای غالب برای تاشه های تک لایه لملا و دنده ای با
دهانه های ..... 24 کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50
و 70 متر) با نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1)

جدول 3-5-1 . مقایسه پریود سازه های با بازشو با قطر های H/S=0/1 26
0 (بدون بازشو) ،1 ،3 و 5 متر در راس گنبد با
جدول 3-5-2 . مقایسه پریود سازه های با بازشو با قطر های 0 (H/S=0/5 26
بدون بازشو) ،1 ،3 و 5 متر در راس گنبد با

جدول 3-5-3 . مقایسه پریود سازه های با بازشو با قطر های 0 (H/S=1 26
بدون بازشو) ،1 ،3 و 5 متر در راس گنبد با

جدول 3-5-4 . مقایسه پارامترهای مختلف در مودهای غالب برای تاشه های تک لایه لملا و
دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) با نسبتهای ارتفاع به
دهانه ..... 27 کم ، متوسط
و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) بدون بازشو و با بازشو با قطرهای (1 ، 3 و 5 متر
)..... 29 H/S =) با 0/1 L2) و دو لایه (1 L جدول 3-6-
1. مقایسه پریود سازه های تک لایه(..... 29 H/S=)
با 0/5 L2) و دو لایه (1 L جدول 3-6-2. مقایسه پریود سازه های تک لایه(

1 L) و دو لایه (2L) با H/S= 1 29
جدول 3-6-3. مقایسه پریود سازه های تک لایه(

جدول 4-6-3 . مقایسه پارامترهای مختلف در مودهای غالب برای تاشه های تک لایه و دو لایه
لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) با نسبتهای
..... 30
ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1)

جدول 4-1 . تمام نتایج بدست امده از تاثیر عوامل مختلف بر رفتار ، پریود و فرکانس مودهای غالب
گنبدهای فضاکار 31

فهرست نمودار ها

نمودار
صفحه

نمودار 3-1-1 . پریودهای مودهای غالب تاشه های لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ 9
(30 ، 50 و 70 متر) و نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1)

نمودار 3-2-1 . پریودهای مودهای غالب تاشه های لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) و نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) در ده مود اول ، میانی و آخر 13
با تکیه گاه های مفصلی و گیردار

نمودار 3-2-2 . پریودهای مودهای غالب تاشه های لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) و نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) ..... 15 با تعداد تکیه گاه های کم ، متوسط و زیاد (8 ، 20 و 40 عدد)

نمودار 3-2-3. پریودهای مودهای غالب تاشه های لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ
(30 ، 50 و 70 متر) و نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) در ده مود اول ، میانی 18
و آخر با تکیه گاه های روی پایین ترین گره های لایه داخلی و خارجی گنبد دو لایه

نمودار 3-3-1. پریودهای مودهای غالب برای تاشه های دو لایه لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) و نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) با ضخامتهای لایه (0/5 ، 1/5 و 2/5 متری) 21

نمودار 3-4-1. پریودهای مودهای غالب برای تاشه های تک لایه لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) و نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) 23

نمودار 3-5-1. پریودهای مودهای غالب برای تاشه های تک لایه لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ،
متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) و نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1) 27
بدون بازشو و با بازشو با قطرهای (1 ، 3 و 5 متر)

نمودار 3-6-1. پریودهای مودهای غالب برای تاشه های دو لایه و تک لایه لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) 30
و نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1)

فهرست اشکال

شکل **صفحه**

شکل 1-1 . طرح شماتیکی از سازه فضاکار تخت تک و دو لایه **4**

شکل 1-2 . طرح شماتیکی از انواع چلیک ها **4**

شکل 1-3 . طرح شماتیکی از برج ها و شبکه ها **5**

شکل 1-4 . طرح شماتیکی از انواع گنبدهای فضاکار **5**

شکل 1-5 . طرح شماتیک گنبد تک لایه با تاشه دنده ای **6**

شکل 1-6 . طرح شماتیک گنبد تک لایه با تاشه شوئدلر **7**

شکل 1-7 . طرح شماتیک گنبد تک لایه با تاشه لملا **7**

شکل 3-1 . طرح شماتیک گنبد تک لایه با تکیه گاه مفصلی **12**

شکل 3-2 . طرح شماتیک گنبد تک لایه و دو لایه **16**

شکل 3-3 . طرح شماتیک از موقعیت قرار گیری تکیه گاه در گنبدهای دو لایه **16**

شکل 4-3 . طرح شماتیک از گنبدهای فضاکار با تاشه های مختلف با بازشو در راس گنبد **29**

چکیده

در این مطالعه به بررسی تاثیر عواملی از جمله پیکره بندی ، شرایط تکیه گاهی که شامل : نوع تکیه گاه ها (مفصلی یا گیردار) و تعداد تکیه گاه ها (8 ، 20 و 40 عدد) و موقعیت قرار گیری تکیه گاه ها در گنبدهای دو لایه (روی پایین ترین گره های لایه داخلی یا خارجی) ، ضخامت یا عمق لایه در گنبدهای دو لایه ، نسبت ارتفاع به دهانه ، قطر بازشو در راس گنبد و تعداد لایه (تک لایه یا دو لایه) بر فرکانس گنبدهای فضاکار می پردازیم . با استفاده از نتایج می توان رفتار این سازه ها را تحت تاثیر این عوامل تا حدودی پیش بینی نمود و با اگاهی از رفتار انها ، می توان فرکانس سازه را تا حدودی از محدوده فرکانس تشدید ناشی از زلزله ساختگاه یا ماشین الات متصل شده به سازه خارج نمود. که در بررسی هر یک از عوامل سه نوع تاشه لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک (30 متری) ، متوسط (50 متری) و بزرگ (70 متری) و برای هر یک از تاشه ها با دهانه های ذکر شده ، سه نسبت ارتفاع به دهانه 0/1 ، 0/5 و 1 برای عمومیت دادن به نتایج نهایی ارائه شده ، در نظر گرفته می شود . در بررسی هر یک از عوامل ، برنامه نویسی تاشه ها توسط برنامه مدلسازی سازه های فضاکار Formian و انالیز مودال توسط برنامه Sap 2000 صورت گرفته است . از میان مودهای سازه ، مود هایی که مجموع جرم های موثر انها بیشتر از 90 درصد جرم کل سازه می باشد در نظر گرفته شده و از میان انها ، نتایج در ده مود اول ، میانی و اخر استخراج گردیده است . با توجه به اکثر نتایج بدست امده در بررسی عامل تاشه یا پیکره بندی ، از نظر پریود و انعطاف پذیری از بیشتر به کمتر به ترتیب لملا ، دنده ای و شوئدلر و از نظر فرکانس شو ئدلر ، دنده ای و لملا می باشند . همچنین با توجه به اکثر نتایج بدست امده ، در بررسی عامل شرایط تکیه گاهی از نظر نوع تکیه گاه ، سازه با تکیه گاه مفصلی در اکثر مود ها دارای پریود و انعطاف پذیری بیشتری و فرکانس کمتری نسبت به سازه با تکیه گاه گیردار می باشد . در بررسی عامل تعداد تکیه گاه با توجه به اکثر نتایج بدست امده با افزایش قیود تکیه گاهی پریود و انعطاف پذیری سازه کاهش و فرکانس ان افزایش می یابد . در بررسی عامل موقعیت قرار گیری تکیه گاه ها با توجه به اکثر نتایج بدست امده ، سازه دو لایه با تکیه گاه های روی پایین ترین گره های لایه خارجی دارای پریود و انعطاف پذیری بیشتر و فرکانس کمتری نسبت به سازه دو لایه با تکیه گاه های روی پایین ترین گره های لایه داخلی می باشد و همچنین در بررسی عامل ضخامت یا عمق لایه در گنبدهای دو لایه با توجه به اکثر نتایج بدست امده ، با افزایش ضخامت یا عمق لایه ، فرکانس افزایش و پریود و انعطاف پذیری کاهش می یابد و در بررسی عامل نسبت ارتفاع به دهانه با توجه به اکثر نتایج بدست امده ، با افزایش نسبت ارتفاع به دهانه پریود و انعطاف پذیری افزایش و فرکانس کاهش می یابد و در مورد تاشه شوئدلر در ده مود اول و میانی پیش بینی صحیحی نمی توان ارائه نمود ولی در ده مود اخر با افزایش نسبت ارتفاع به دهانه پریود سازه افزایش و فرکانس ان کاهش می یابد . در بررسی عامل قطر بازشو در راس گنبد با توجه به اکثر نتایج بدست امده در تاشه های لملا و دنده ای ، با افزایش قطر بازشو پریود و انعطاف پذیری افزایش و فرکانس کاهش می یابد . همچنین در بررسی عامل تعداد لایه با توجه به اکثر نتایج بدست امده ، با افزایش تعداد لایه یا تبدیل از تک لایه به دو لایه ، پریود و انعطاف پذیری کاهش و فرکانس افزایش می یابد .

فصل اول : مقدمه

1-1 . فر ضیات کلی

توجه خاص این مطالعه در بررسی تمامی عوامل ، روی گنبدهای فضاکار با تاشه های مختلفی اعم از دنده ای ، شوئدلر و لملا از میان مدلهای هندسی متعدد ، معطوف می شود . مدلسازی مدلها ، با نرم افزار مدلسازی سازه های فضاکار Formian صورت گرفته و همچنین سه گروه گنبد با دهانه های 30 متر (دهانه کوچک) ، 50 متر (دهانه متوسط) و 70 متر (دهانه بزرگ) در نظر گرفته شده و در هر گروه برای عمومیت دادن به نتایج نهایی ارائه شده ، سه نسبت ارتفاع به دهانه 0/1 ، 0/5 و 1 با تعداد چشمه های ایجاد شده مساوی توسط المانها در هر دو جهت ، دور گنبد بصورت افقی (رینگ) و روی گنبد به صورت عمودی (ریب) برای ایجاد چگالی تقریبا برابر در تمامی مدلها منظور گردیده است . برای انجام تحلیل دینامیکی از نرم افزار Sap 2000 استفاده شده و در تمامی مدلها برای تمامی اعضای سازه از مقطع لوله ای با قطر خارجی 11 سانتی متر و ضخامت جداره 4 میلی متر و از فولاد ST-37 استفاده گردیده و همچنین رفتار سازه بصورت خطی فرض گردیده است . برای انجام انالیز گنبدهای فضاکار تک لایه و دو لایه ، اتصالات بصورت صلب در نظر گرفته شده است . در این تحلیل یک سازه فضاکار با n درجه ازادی دارای n مود ارتعاشی می باشد که با توجه به دقت مهندسی لازم نیست تمام n مود در نظر گرفته شود بلکه کافی است تمامی مودهای ارتعاش را که مجموع جرمهای موثر انها بیشتر از 90 درصد جرم کل سازه است ، مورد استفاده قرار گیرد و تعداد مودهای موثر تعیین گردد . در این مطالعه برای هر عامل ، از میان تعداد مودهای موثر برای هر مدل ، بیشترین تعداد مود موثر در نظر گرفته شده است و از میان این مودها ، پریود 10 مودهای اول ، میانی و اخر مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته اند .

2-1 . جنبه نو آوری

در مطالعات پیشین اثرات عواملی همچون نسبت ارتفاع به دهانه و چگالی بر پریود گنبد فضاکار مورد بررسی قرار گرفته است در حالیکه ما اثرات عواملی از قبیل نسبت ارتفاع به دهانه ، شرایط تکیه گاهی ، قطر بازشو در راس گنبد ، ضخامت لایه در گنبد های دو لایه ، تعداد لایه گنبد ، تاشه یا پیکره بندی روی پریود و رفتار سازه مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین در این مطالعات تاشه لملا مورد بررسی قرار نگرفته است در صورتی که ما در بررسی تمامی عوامل تاشه های دنده ای ، لملا و شوئدلر را مورد بررسی قرار داده ایم . در این مطالعات سازه اصلی مدل نشده و تنها مدلی کاهش یافته با چگالی کمتر از سازه اصلی مدل شده و مورد بررسی قرار گرفته است این موضوع باعث کاهش دقت نتایج و تقریبی شدن ان خواهد شد در صورتی که ما سازه اصلی را مدل کرده ایم و نتایج

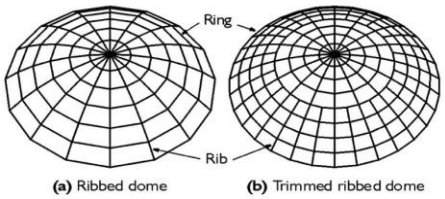
ما به واقعیت نزدیک تر است . همچنین در مطالعات صورت گرفته تنها مودهای اول و اخر را بررسی شده اند و به مودهای میانی توجه ای نشده است ولی ما در این تحقیق علاوه بر بررسی مودهای اول و اخر ، مودهای میانی را نیز بررسی کرده ایم .

3-1 . انواع گنبدهای فضاکار مورد بررسی و ویژگی های انها

اگر گنبد تک لایه باشد باید حتما اتصالات هم وندهای گنبد را از نوع صلب طرح و اجرا نمود ، چرا که اگر اتصالات مفصلی باشد در پایداری ان مشکل ایجاد خواهد شد و فروجهشی دینامیکی در جهت قائم خواهیم داشت که البته اگر گنبد دو لایه باشد خطر فروجهش وجود نخواهد داشت . سیستم های گنبد ، درجه نامعینی زیادی دارند اما با این حال ممکن است با خرابی یک المان ، کل سازه فرو بریزد . انواع گنبدهای فضاکار از نظر تاشه یا پیکره بندی به شرح زیر می باشند :

1. گنبد دنده ای (Ribbed dome)

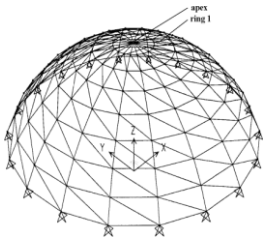
این نوع تاشه از قدیمی ترین گنبدهای فضاکار می باشد . که از دو قسمت ریب های نصف نهاری و رینگ های افقی تشکیل شده است ریب ها بصورت نصف نهار قرار می گیرند و رینگ ها بصورت افقی دور انها را گرفته و فشرده کرده و از جدا شدن انها از هم جلوگیری می کنند . که یک شبکه گنبدی با چشمه های شبه ذوزنقه ای را ایجاد می کند .



شکل 1-1 . طرح شماتیک گنبد تک لایه با تاشه دنده ای

2. گنبد شوئدلر (Schwedler dome)

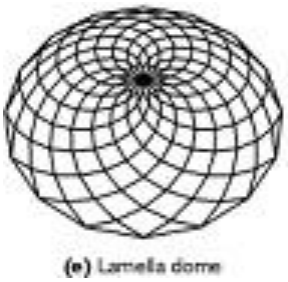
این تاشه از گنبدهای فضاکار در سال 1863 توسط یک مهندس آلمانی به نام J.W.Schwedler معرفی شد . این تاشه تا حدودی شبیه به تاشه دنده ای می باشد با این تفاوت که در شبکه ایجاد شده توسط رینگ و ریب ، در چشمه های شبه ذوزنقه ای شبکه از المان های قطری استفاده شده است از جمله ویژگی های ان می توان به مقاومت بالای ان در برابر بارهای نامتقارن اشاره کرد . نمونه ای از این تاشه در شکل 1-6 امده است .



شکل 1-2. طرح شماتیک گنبد تک لایه با تاشه شوئدلر

3. گنبد لملا (Lamella dome)

این تاشه از گنبدهای فضاکار از تقاطع ریب هایی قطری در دو جهت بوجود می اید و شبکه ای گنبدی با چشمه هایی شبه لوزی یا شبه متوازی الاضلاع را ایجاد می کند بطوری که اندازه یک قطر این شبه لوزی یا شبه متوازی الاضلاع دو برابر قطر دیگر ان باشد .



شکل 1-3 . طرح شماتیک گنبد تک لایه با تاشه لملا

1-4 . هدف

امروزه با توجه به نیاز روز افزون به اماکن بزرگ سرپوشیده ، سازه های فضاکار گنبدی به علت پوشش دهانه های بزرگ با کمترین سطح و مصرف کم مصالح مورد توجه و گسترش می باشند و در نتیجه درک رفتار این سازه ها در برابر نیروهای دینامیکی زلزله ، باد و ماشین الات ضروری می باشد . پدیده تشدید که در اثر قرار گرفتن فرکانس طبیعی
سازه در محدوده فرکانس تشدید ایجاد خواهد شد که در صورت عدم ورود سازه به رفتار غیرخطی با افزایش شدید تنش ها باعث انهدام ناگهانی سازه و در نتیجه کاهش فرصت فرار ساکنین خواهد شد . در این مطالعه تاثیر عوامل مختلف بر فرکانس طبیعی و پریود سازه های فضاکار گنبدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت . این عوامل عبارتند از تاشه ، شرایط تکیه گاهی ، ضخامت لایه در گنبدهای دو لایه ، نسبت ارتفاع به دهانه ، قطر بازشو در راس گنبد و تعداد لایه می باشد . با استفاده از نتایج بدست امده می توان رفتار دینامیکی این سازه ها را در مقایسه با هم ، پیش بینی نمود و همچنین می توان با تغییر در این عوامل فرکانس طبیعی سازه را از محدوده فرکانس تشدید خارج نمود و ان را در برابر پدیده تشدید ایمن طرح کرد .

1-5 . روش کار و تحقیق

برای بررسی هر یک از عوامل سه نوع تاشه لملا ، دنده ای و شوئدلر در نظر گرفته شده که برای هر تاشه سه دهانه 30 ، 50 و 70 متری و برای هر دهانه سه نسبت ارتفاع به دهانه 0/1 ، 0/5 و 1 منظور گردیده است . هر تاشه با شرایط هندسی خاص خودش برنامه نویسی ان به زبان فرمکس نوشته شده و در برنامه مدلسازی سازه های فضاکار Formian مدل شده و این مدل به نرم افزار Sap 2000 منتقل شده و در انجا شرایط تکیه گاهی و اتصالات اعضا و مشخصات مصالح و مقاطع در ان تعریف می گردد و همچنین شرایط انالیز مودال در برنامه با فرض رفتار خطی سازه تعیین خواهد شد . پس از انالیز ، گنبد فضاکار با n درجه ازادی دارای n مود ارتعاشی می باشد که هر یک از مودها دارای پریود و فرکانس نیز می باشد با توجه به بند 5-4-3-1-1-1 نشریه شماره 400 سازمان برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور مشارکت هر کدام از مودها در پاسخ کل سازه فضاکار متفاوت می باشد و با توجه

به دقت مهندسی لازم نیست تمام n مود در نظر گرفته شود بلکه کافی است تمامی مودهای ارتعاش را که مجموع جرمهای موثر انها بیشتر از 90 درصد جرم کل سازه است ، مورد استفاده قرار گیرد و تعداد مودهای موثر تعیین گردد . از میان تعداد مودهای موثر برای هر مدل ، بیشترین تعداد مود موثر در نظر گرفته شده است و از میان این مودها 10 مود اول ، 10 مود میانی ، 10 مود اخر در نظر گرفته شده است . پس از استخراج فرکانس و پریودهای هر یک از مدلها و مقایسه انها با هم ، به تاثیر ان عامل مورد بررسی روی فرکانس و پریود سازه پی خواهیم برد .

فصل دوم : مروری بر تحقیقات گذشته

مروری بر تحقیقات گذشته

اولین مطالعات در زمینه پیش بینی رفتار دینامیکی سازه های فضاکار از جمله گنبد های فضاکار ، توسط سعیدی[14] در سال 2000 ارائه شد. این مطالعه یک روش موثری برای پیش بینی رفتار برخی از سازه های فضاکار از جمله گنبدهای فضاکار ارائه می کند این روش بر این اساس است که سازه های چگال فضایی را به یک سازه فضایی مشابه (با تعداد المان و گره های کمتر) تبدیل می کنند . این سازه کاهش یافته پس از انالیز در شرایط معمول ، نتایج بدست امده برای پیش بینی تقریبی رفتار سازه واقعی بکار می رود . با استفاده از این روش می توان اثر تغییر چگالی را روی رفتار سازه پیش بینی نمود . مطالعات دیگری در این زمینه توسط ایت اللهی [3] در سال 2005 با توسل به گنبدی با ترتیب و خصوصیات گنبد اصلی ولی با چگالی متفاوت در تعداد گره ها و المانها انجام گرفت . با توجه به این مطالعه پاسخ به گنبد اصلی را می توان از حل گنبدی کوچک تحت بارها ، شرایط تکیه گاهی و شرایط مرزی مشابه بدست اورد . کاربرد دیگر مدل پیشنهادی ، بررسی تجربی چگالی سازه های فضاکار می باشد و همچنین می توان گفت مدل فیزیکی یک سازه می تواند با خواص سازه ای خیلی نزدیک به سازه اصلی ولی با تعداد کمتری عضو و گره در مقایسه با سازه واقعی ساخته شود . نتایج ناشی از بررسیهای به عمل امده از این مطالعه ، تفسیر پارامترهای سازه واقعی را با استفاده از سازه مدل ممکن می سازد . در این پایان نامه برای بررسی عوامل مختلف بر فرکانس سازه از روش ارائه شده در این مطالعه استفاده نشده است و تمامی مدلها بصورت سازه واقعی در نظر گرفته شده و در بررسی عوامل مختلف برای مدلهای مشابه ، چگالی مدلها تقریبا با هم برابر در نظر گرفته شده است . مطالعات دیگری نیز ، در زمینه تاثیر عوامل مختلف بر فرکانس ، پریود و رفتار گنبدهای فضاکار توسط عبدلی و اعتضادی [4] در سال 2007 در خصوص تاثیر چگالی بر فرکانس طبیعی گنبدهای فضاکار انجام گرفت که در طی ان روشی را برای پیش بینی رفتار گنبدهای فضاکار معرفی کردند . این روش بر این اساس است که بسیاری از سازه های فضاکار در هنگام تغییر چگالی ، تغییراتی قانونمند دارند و با بررسی مدلی ساده شده از سازه های فضاکار و انالیز مودال ان امکان پیش بینی رفتار این سازه ها بوجود می اید و همچنین در این مطالعه یک رابطه تقریبی بین چگالی و پریود سازه ارائه شده است . همچنین ایت اللهی [5] در مطالعه ای دیگر در سال 2008 رفتار انواع سازه های گنبدی را تحت اثر نیروی دینامیکی زلزله مورد بررسی قرار داد و در این بررسی ، سازه هایی با تاشه و شرایط مشابه سازه اصلی ولی با چگالی متفاوت (رینکچر سازه) استفاده نموده و رفتار تاشه هایی از قبیل : دنده ای ، شوئدلر ، دیاماتیک ، مخروطی و .. با هم مقایسه و طبقه بندی نمود . از این بررسی ها دریافت که با کاهش چگالی سازه ، پریود سازه افزایش و فرکانس ان کاهش می یابد و همچنین دریافت که برخلاف ساختمانهای معمولی که رفتار دینامیکی شان عمدتا متاثر از مود افقی اول می باشد در گنبدهای فضاکار مودهای قائم و بالاتر نیز در پاسخ دینامیکی مشارکت موثر دارند . در این پایان نامه برای در نظر گرفتن فرکانس و پریود غالب سازه ، از میان مودهای سازه ،
مودهایی که مجموع جرمهای موثر انها بیشتر از 90 درصد جرم کل سازه است فرکانس و پریود 10 مودهای اول ، میانی و

اخر در نظر گرفته شده است . يحيايی و همكارانش [6] نيز در سال 2010 پريود گنبدهاي شوئدلر و دنده اي تك لايه را مورد مقايسه قرار دادند بدين منظور تعداد شش عدد گنبد شوئدلر و شش عدد گنبد دنده اي با دهانه هاي متفاوت و گره ها و تعداد المانهاي يكسان تحت شرايط كاملا مشابه توسط نرم افزار اجزاي محدود open sees تحت تحليل استاتيكي غيرخطي push over قرار دادند و نمودارهاي نيرو - تغيير مكان را برای اين گنبدها ارائه نمودند كه از بررسي نمودارهاي نيرو - تغيير مكان رابطه ای جهت تعيين مقادير پريود سازه بدست اورند و همچنين از مقايسه پريود اين دو تاشه دريافتند كه پريود تاشه دندانه ای تقريبا 3 برابر پريود تاشه شوئدلر می باشد و تنها عاملی كه باعث ايجاد اختلاف بين نتايج حاصل از گنبد شوئدلر و دندانه ای شده است المانهای قطری می باشد كه باعث شده پريود گنبدهای شوئدلر به يک سوم پريود گنبدهای دندانه ای و همچنين كاهش شكل پذيری و در نتيجه افزايش سختی اين تاشه از گنبدها گردد و همچنين دريافتند كه با افزايش دهانه و ارتفاع گنبدها ، پريود انها افزايش می يابد . در اين پايان نامه از تحليل ديناميكی خطی انااليز مودال برای بررسی عوامل مختلف بر پارامترهای ديناميكی رفتار گنبدهای فضاكار از جمله پريود و فركانس استفاده شده است . جمشيدی و همكارانش [7] در سال 2011 نيز به بررسی تاثير هندسه سازه (دهانه ، ارتفاع ، شعاع انحناء ، عمق لايه و مساحت جانبی كل) بر پريود و به دنبال ان فركانس و رفتار گنبدهای دو لايه فضاكار پرداخته و با انااليز مودال چندين مدل با شرايط هندسی مختلف و محاسبه ضريب همبستگی بين پريود و مشخصات مختلف هندسی به تاثير به سزای مساحت جانبی كل بر پريود سازه ، از ميان ديگر ويژگی های هندسی پی برده و يک رابطه تقريبی بين پريود و مساحت جانبی كل ارائه كرده اند . در اين پايان نامه تاثير عوامل مختلف هندسی از جمله نسبت ارتفاع به دهانه ، تاشه ، شرايط تكيه گاهی ، تعداد لايه ، ضخامت لايه ، ابعاد بازشو در راس گنبد بر پريود ، فركانس و رفتار سازه مورد بررسی قرار گرفته است . جمشيدی و همكارانش در پژوهشی ديگر در سال 2012 به مطالعه ديناميكی گنبدهای مشبک دو لايه پرداختند . با توجه به اين كه رفتار ديناميكی سازه ها تابع ماتريس سختی و جرم سازه می باشند بنابراين در اين مطالعه اثرات هندسه سازه روی پريود طبيعی ارتعاش كه به اين دو ماتريس وابسته است مورد مطالعه قرار گرفته است . نتايج نشان می دهند كه پريود طبيعی ارتعاش و رفتار ديناميكی گنبدهای مشبک دو لايه به هندسه اين سازه ها علاوه بر نسبت ارتفاع به دهانه وابسته هستند . سرانجام پريود طبيعی ارتعاش گنبدهای دو لايه مشبک را می توان به وسيله استفاده از پارمترهای هندسی تخمين زد .

فصل سوم : عوامل مورد بررسی

1-3 . عامل تاشه يا پيكره بندی

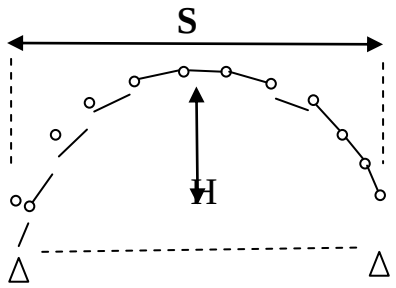
1-1-3 . فرضيات

در بررسی اثر اين عامل روی فركانس طبيعی ، پريود و رفتار سازه مدلهايی با تاشه های مختلف اعم از دنده ای ، شوئدلر و لملا با دهانه های كوچک (30 متری) ، متوسط (50 متری) و بزرگ (70 متری) و نسبتهای ارتفاع به دهانه كم (0/1) ، متوسط (0/5) و زياد (1) را در نظر می گيريم . اتصالات

تمامی مدلها از نوع صلب و شرایط تکیه گاهی انها مفصلی (بسته بودن سه درجه ازادی انتقالی) فرض می شود . تعداد چشمه های ایجاد شده توسط المانها در هر دو جهت رینگ و ریب برای ایجاد چگالی تقریبا برابر در مقایسه مدلهای مشابه با هم ، مساوی می باشند .

2-1-3 . روش کار

تاشه های دنده ای ، شوئدلر و لملا با دهانه های 30 ، 50 و 70 متری با نسبتهای ارتفاع به دهانه 0/1 ، 0/5 و 1 مجموعا 27 مدل توسط برنامه مدلسازی فرمین ، مدلسازی می شوند و پس از انتقال به اتوکد و نهایتا انتقال به برنامه Sap انالیز مودال روی مدلها صورت گرفته و مودهایی که مجموع جرمهای موثر انها بیشتر از 90 درصد جرم کل سازه است در نظر گرفته شده و پریودهای حاصله ، در ده مود اول ، میانی و اخر با هم مقایسه شده اند . با توجه به نتایج می توان رفتار دینامیکی این سازه ها را در مقایسه با هم ، پیش بینی نمود و با انتخاب تاشه مناسب می توان فرکانس سازه را از محدوده فرکانس تشدید خارج نمود. پارمترهای ارتفاع (H) و دهانه (S) به صورت شماتیک در شکل 3-1 نشان داده شده است .

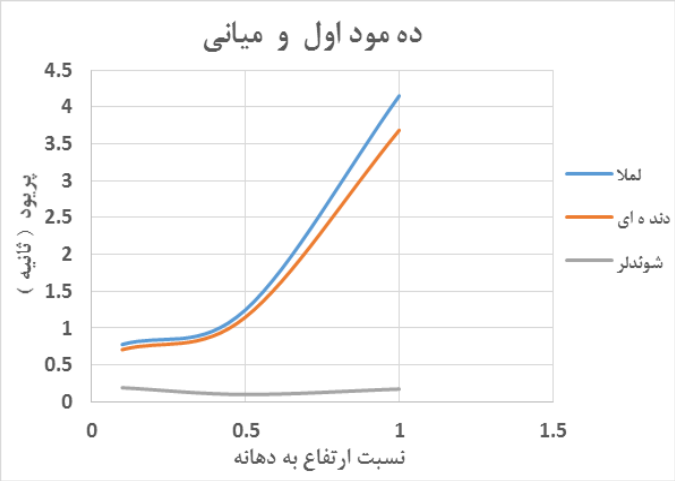


شکل 3 -1. طرح شماتیک گنبد تک لایه با تکیه گاه مفصلی

3-1-3 . نتایج بدست آمده

در این بخش با استفاده از برنامه Sap روی مدلهایی با تاشه ها و دهانه ها و نسبتهای ارتفاع به دهانه مختلف انالیز مودال انجام گرفته و نتایج به دست امده به صورت نمودارها و جداول بیان شده است و از مقایسه مدلهای با دهانه و نسبت ارتفاع به دهانه یکسان و تاشه متفاوت به تاثیر تاشه بر فرکانس این سازه ها پی می بریم . نتایج بدست امده برای ترکیبات مختلف نسبت ارتفاع به دهانه ، دهانه و تاشه در مودهای اول ، دوم ، 10 مود اول ، 10 مود میانی و 10 مود اخر به شرح زیر می باشند :

با توجه به نتایج بدست امده در مودهای غالب بصورت نمودار 3-1-1 و جدول 3-1-4 به شرح زیر است و همچنین در نمودار 3-1-1 رنگ ابی نماینده گنبد فضاکار با تاشه لملا و رنگ نارنجی نماینده گنبد فضاکار با تاشه دنده ای و رنگ خاکستری نماینده گنبد فضاکار با تاشه شوئدلر می باشد :



نمودار 3-1-1 . پریودهای مودهای غالب تاشه های لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه های کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) و نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1)

پارامتر مورد بررسی	10 مود اول و میانی	10 مود آخر
پریود	شوئدلر< دنده ای< لملا	لملا< دنده ای< شوئدلر
فرکانس طبیعی	لملا< دنده ای< شوئدلر	شوئدلر< دنده ای< لملا
انعطاف پذیری	شوئدلر< دنده ای< لملا	لملا< دنده ای< شوئدلر

جدول 3-1-1 . مقایسه پارامترهای مختلف مودهای غالب تاشه های لملا ، دنده ای و شوئدلر مختلف با دهانه کوچک ، متوسط و بزرگ (30 ، 50 و 70 متر) با نسبتهای ارتفاع به دهانه کم ، متوسط و زیاد (0/1 ، 0/5 و 1)

3-1-4 . نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست امده در نمودار 3-1-1 و جدول 3-1-4 در ده مودهای اول و میانی تاشه های لملا ، دنده ای و شوئدلر با دهانه ها و نسبتهای مختلف ارتفاع به دهانه می توان به این نتیجه رسید که گنبدهای فضاکار با تاشه لملا دارای بیشترین پریود و انعطاف پذیری و کمترین فرکانس طبیعی نسبت به تاشه های دنده ای و شوئدلر می باشند و گنبدهای فضاکار با تاشه شوئدلر دارای کمترین پریود و انعطاف پذیری و بیشترین فرکانس طبیعی نسبت به تاشه های لملا و دنده ای می باشند و گنبدفضاکار با تاشه دنده ای از نظر پریود و فرکانس و رفتار ، در بین دو تاشه لملا و شوئدلر قرار می گیرد و همچنین تفاوت زیادی بین فرکانس ، پریود و رفتار تاشه لملا با تاشه شوئدلر وجود دارد در حالیکه رفتار تاشه لملا و دنده ای تقریبا به هم نزدیک است اما در ده مود اخر شوئدلر دارای بیشترین پریود و انعطاف پذیری و کمترین فرکانس