بررسی رفتار چلیکهای دو لایه در مقابل اثر مؤلفههای افقی و توأم افقی – قائم زلزله

ارژنگ صادقی^{*} دانشیار گروه عمران، دانشکده فنی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

چکیدہ

سازههای فضاکار و بالاخص چلیکهای دو لایه در پوشش فضاهای بزرگ کاربرد بسیار وسیعی یافتهاند. در مورد رفتارهای مختلف استاتیکی و دینامیکی این سازهها تحقیقات قابل توجهی انجام یافته است. اما در زمینه بررسی رفتار این سازهها تحت اثر توأم مؤلفههای عمودی و افقی زلزلـه کار چندانی صورت نگرفته است. هدف از این تحقیق بررسی اثر توأم دو مؤلفه قائم و افقی زلزله بر روی چلیکهای دو لایه میباشد. برای ایـن کار چلیک-هایی با نسبت خیز به دهانه ۲۰، ۲۰، ۲۰، ۲۰، ۴/۰ و ۲۵، با نرمافزار SAP2000 طراحی شده و بعد از طراحی چلیکهای دو لایه میباشد. برای ایـن کار چلیک-استفاده از نرمافزار ANSYS این چلیکها تحلیل مقادیر ویژه و تحلیل غیر خطی دینامیکی شدهاند. در کلیه تحلیلهای غیر خطی شرایط غیر خطی هندسی و مصالح منظور شدهاند. برای منظور کردن اثر زلزله شتابنگاشت زلزلههای قوی نورث ریچ آمریکا، چی چی تایوان و نهانی کانادا در نظر گرفته شدهاند. از مشخصات بارز این شتابنگاشتها دارا بودن PGA بیش از 20.9 در جهت عمودی و نیز افقی میباشد. نموداره ای تغییر مکان گرهـی و کمانشی دینامیکی سازه تحت نیروی زلزلههای مذکور ابتدا جداگانه برای مؤلفههای افقی و عمودی رسم و بررسی شده است. و در آخر رفتار چلیکهای کمانشی دینامیکی سازه تحت نیروی زلزلههای مذکور ابتدا جداگانه برای مؤلفههای افقی و عمودی رسم و بررسی شده است. و در آخر رفتار چلیکهای

واژگان کلیدی: چلیکهای دو لایه، مؤلفه قائم و افقی زلزله، رفتار غیر خطی، شتابنگاشت.

۱– مقدمه

پس از زلزله کوبه ژاپن درسال ۱۹۹۵ تحقیقات متعددی توسط محققین ژاپنی انجام گرفت که بخشی از آنها مثـل کار Ishikawaو Ishikawa[۱، ۲]اساس مطالعات بعدی را تشکیل دادند.

علاوه بر این، مطالعاتی که توسط Kunieda [۳] انجام شده نشان میدهند که گنبدها و چلیکها در برخی نواحی از دامنه فرکانسها، دارای فرکانسهای طبیعی نزدیک به هم میباشند. Saka و همکاران [۴] نشان دادند که درجه آسیب به چلیکها و سازههای فضاکار بستگی به نوع تکیهگاهها و جهت وارد شدن زلزله دارد.

کاوه [۵] در مورد رفتار لرزهای سازههای چلیکی دو لایه و اثر ابعاد هندسی چلیکهای دو لایه بر روی مشخصات دینامیکی آنها مطالعاتی انجام داده و نشان داده است که افزایش نسبت خیز به دهانه سبب افزایش پریود مود اول می گردد.

در مطالعاتی که مقدم با تحلیل یک مدول از چلیکها و با شرایط تکیهگاهی مختلف انجام داده نتیجه گرفته است که در چلیکها تأثیر تاشه بر مقدار پریود اول قابل چشمپوشی است و در شرایط تکیهگاهی صلب، تعداد مودهای شرکت کننده در پاسخ لرزهای به مراتب بیشتر است و تاشه مدلها، در پاسخ لرزهای چنین سازههایی تأثیر ندارد [۶].

ای مطالعه تحلیلهای دینامیکی خطی و غیر خطی تعدادی چلیک تحت شتابنگاشتهای مختلفی، یک غیر خطی تعدادی چلیک تحت شتابنگاشتهای مختلفی، یک سری نیروهای معادل استاتیکی زلزله برای چلیکهای دو لایه در جهات افقی و قائم معرفی کرده است. چلیکها در برابر مؤلفه مودی زلزلههای متوسط آسیبپذیر نیستند؛ اما در مواجه با حرکات شدید زمین آسیب میبینند. وی همچنین ضریب رفتار چلیکها را یک به دست آورده است.

۲- مدلهای تحقیق حاضر

در این تحقیق چلیکهایی با نسبت خیز به دهانه ۰/۱، ۲/۱، ۰/۳، ۰/۴ و ۱/۵ با عمق مساوی ۱/۵ متر و دهانه ثابت ۳۰ متر و طول ۴۲ متر، با نرمافزار SAP2000 طراحی شده است و بعد از طراحی چلیکها برای بارهای مرده و زنده، با استفاده از نرمافزار ANSYS این چلیکها تحت تحلیل مقادیر ویژه و تحلیل غیر خطی دینامیکی قرار گرفتهاند که کلیه تحلیلهای انجام شده دارای شرایط غیر خطی هندسی و مصالح میباشند.

در این تحقیق از FORMIAN برای مدل سازی هندسی استفاده شده است. سپس خروجی حاصله به نرمافرار Mechanical Desktop معرفی گردیده و پس از آن مدل به دست آمده برای طراحی و تحلیلهای خطی به نرمافرار

SAP2000 و برای تحلیلهای غیر خطی و دینامیکی به نرمافزار ANSYS انتقال یافته است.

برای امکان تفکیک مدلها از هم، مدلهای هر تحلیل با یک علامت اختصاری نامگذاری شدهاند. به عنوان مثال علامت اختصاری H-B3 و B4-HV به شرح زیر میباشد: حرف اول (B) بیان کننده حرف اول چلیک میباشد. رقم دوم بیان کننده نسبت خیز به دهانه بدون ممیز میباشد. به عبارت دیگر برای نسبتهای خیز ۲۰،۱ ۲٬۰۰ ۲٬۰۰ ۲٬۰ و ۵/ ۲۰ به ترتیب ۲، ۲، ۳، ۴ منظور گردیده است (شکل (۱)). حروف بعد از خط تیره نشانگر جهت مؤلفه زلزله در نظر گرفته در تحلیل سازه میباشد. که در آن H نشان دهنده نیروی زلزله در جهت افقی، V نشان دهنده نیروی زلزله در جهت قائم و HV نشان دهنده نیروی زلزله در جهت افقی و قائم به صورت توأم میباشد.



شکل ۱- نمونهای از مدل هندسی ایجاد شده با برنامه FORMIAN

در نرمافزار ANSYS المانی که کششی و فشاری با قابلیت تحلیل غیر خطی هندسی و غیر خطی مصالح بوده و بتوان بر روی آن تحلیل دینامیکی انجام داد وجود ندارد و باید از چند المان به صورت ترکیبی استفاده کرد. در این تحقیق برای تعریف قابلیت غیر خطی هندسی و غیر خطی مصالح (رفتار کمانشی اجزا) برای تحلیل دینامیکی از COMBIN39 و MASS21 و برای تحلیل مقادیر ویژه از LINK180 استفاده شده است.

المان COMBIN39 دارای قابلیت وارد کردن منحنی تغییر مکان- نیرو (رفتار پس کمانشی) برای هر نوع تحلیلی (غیر خطی

هندسی- غیر خطی مصالح) میباشد (شکل (۲)). این عنصر دارای رفتار طولی و پیچشی در هر سه بعد (X، Y، Z) است و مشخصات طولی آن به صورت عنصر کشش- فشاری با ۳ درجه آزادی یا بیشتر در هر گره در امتدادهای X، Y، Z میباشد. جرم سازه در گرههای لایه فوقانی از طریق معرفی اجزای MASS21 در انجام گرفته است. مشخصات هندسی اجزای MASS21 در شکل (۳) مشاهده میشود.



شكل ۲- مشخصات هندسي المان COMBIN39



شكل ۳- مشخصات هندسي المان MASS21

مشخصات هندسی المان LINK180 نیز در شکل (۴) مشاهده میشود است. این المان می تواند برای مدل کردن خرپاها، کابلها، فنرها، ... استفاده شود. این عنصر سه بعدی، یک عنصر کششی و فشاری تک محوری با سه درجه آزادی در هر گره در راستای X، Y، X می باشد. این عنصر دارای سختی خمشی نیست.



شكل ۴- مشخصات هندسي المان LINK180

اعضای مدلهای سازه فضاکار چلیکی این تحقیق با ضرایب لاغری ۱۰۰ مورد بررسی قرار گرفتهاند و رفتار پس کمانشی آن-ها که توسط Ishikawa و Kato [۲] ارائه شده مورد استفاده قرار گرفته است (شکل (۵)). علت استفاده از این مقدار لاغری این است که لاغری اعضای سازههای فضاکار اغلب بین ۸۰ و این است که لاغری اعضای سازههای فضاکار اغلب بین ۲۰ و ۱۲۰ می باشد و این عدد در واقع حالت میانگین دارد. علت ثابت نگاه داشتن لاغری نیز این است که تعداد متغیرهای تحقیق کم باشد.



شکل ۵- نمودار ضرایب لاغری ۶۰–۸۰- ۱۰۰ توسط Ishikawa و Xato [1] Kato

۳- تحلیل استاتیکی جهت طراحی اولیه سازه

در انتخاب مقاطع سازه، نیاز به طراحی مناسب اعضا میباشد تا سازه بتواند با یک ضریب ایمنی مناسب بارهای وارده را تحمل نماید. روشن است که مقاومت هر عضو سازه باید بیش از ماکزیمم تنشهای ایجاد شده تحت اثر بارهای خارجی و عوامل

دیگر بر آن باشد. در طراحی اعضای چلیک از آئیننامه سازههای فولادی ایران مبحث دهم مقررات ملی ساختمان استفاده به عمل آمده است. همچنین لاغری اعضای فشاری ثابت و برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. لذا در این تحقیق فقط تأثیر هندسه سازه در رفتار آنها در برابر مؤلفههای افقی، قائم و توأم آنها مد نظر میباشد.

در یک سازه چلیکی دو لایه بار مرده حدوداً بین ۵۰۰ ۸/m² میباشد. همچنین بار برف مطابق آئیننامه ۵۱۹ برابر ۱۵۰۰ N/m² برای مناطق سردسیر منظور شده است. مدول الاستیک فولاد برابر 2.1x10¹¹ N/m² و تنش جاری شدن چلیک فولاد برابر گرفته شده است. همچنین بارگذاری چلیک طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان یعنی حداقل بارهای وارد بر ساختمانها میباشد که در آن بارگذاری برف برای سقفهای قوسی به دو صورت بارگذاری متقارن و بارگذاری نامتقارن است.

به دو دلیل در طراحی اولیه این سازهها اثر زلزله منظور نشده است. اول این که بار استاتیکی معادل مشخص که معمولاً در طراحی سازهها در نظر گرفته میشود برای این سازهها در آئین نامههای رایج تعریف نشده است. دوم این که چون هدف اصلی این تحقیق بررسی نسبی اثر مؤلفههای مختلف زلزله بر روی چلیکها میباشد نه اثر مطلق آنها، در نظر گرفتن عامل زلزله (که در طراحی خطی اثر تقریباً یکسانی در سختی سازهها دارند) یا هر عامل دیگری در طرح اولیه همه چلیکها تأثیر در جوابهای نسبی به دست آمده از تحلیلها نخواهد داشت.

۴- زلزلههای انتخاب شده

در این تحقیق سه زلزله ۱۹۹۹ چیچی تایوان، زلزلـه ۱۹۸۵ نهانی کانادا و زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج آمریکا در ایستگاههائی کـه دارای شتاب قائم حداکثر بودهاند انتخاب شدهاند. این سه زلزله از بین زلزلههایی انتخاب شدهاند که دارای مؤلفههای قـائم و افقی با PGA بیش از نیم هستند.

جـدول (۱) اطلاعـات مربـوط بـه زلزلـهـای انتخـاب شـده وشتابنگاشتهای آنها را که در تحلیل لرزهای از آنهـا اسـتفاده شده است نشان میدهد.

نی و	چیچی، نہا	لزلەھاى	ی ز	بنگاشتها	ات شتا	۱– اطلاعا	جدول
------	-----------	---------	-----	----------	--------	-----------	------

نورتريج									
		منبع دادەھا	ایستگاه						
		CWB	CHY080						
Chi-Chi,	; لزله	Chi-Chi,	; ل; له						
Taiwan	,,,	Taiwan	,,,						
1999/09/20		1999/09/20							
(H)		(V)							
CHICHI/C	مؤلفه زلزله	CHICHI/CH	مؤلفه زلزله						
HY080-W		Y080-V							
0.968	PGA (g)	0.724	PGA (g)						
107.5	PGV (cm/s)	49	PGV						
			(cm/s)						
18.6	PGD (cm)	27.82	PGD (cm)						
			ایستگاه						
			6069 site						
			1						
Nahanni,	زلزله	Nahanni,	زلزله						
Canada		Canada							
1985/12/23		1985/12/23							
(H)		(V)							
NAHANNI	مؤلفه زلزله	NAHANNI/S	مؤلفه زلزله						
/S1280		1-UP							
1.096	PGA (g)	2.086	PGA (g)						
46.1	PGV (cm/s)	40.5	PGV						
14.50		10.10	(cm/s)						
14.58	PGD (cm)	12.12	PGD (cm)						
		منبع دادهها	ایستگاه						
		CDMG	24207						
			Pacoima						
			Dam						
Northridge	زلزله	Northridge	زلزله						
1994/01/17		1994/01/17							
(H)		(V)							
NORTHR/	مؤلفه زلزله	NORTHR/PU	مؤلفه زلزله V						
PUL 104		L-UP							
1.58	PGA (g)	1.229	PGA (g)						
55.7	PGV (cm/s)	49.6	PGV						
6.06		11.75	(cm/s)						
0.06	PGD (cm)	11./5 Data Samu	PGD (cm)						
	Station:CHY0	Data Source:							
Forthqualic	OU Chi Chi	Earthquaka	Chi Chi						
Багиіциаке	Taiwan	Багиіциаке	Taiwan						
	1000/00/20		1000/00/2						
	(H)		0 (V)						

شکل ۶- تقسیم چلیک به چهار ناحیه مساوی

۵-۱- بررسی رفتار چلیک با نسبت خیز به دهانه ۰/۱ تحت
اثر مؤلفههای افقی، قائم و توأم زلزله Nahanni

برای این مدل که نسبت خیز به دهانه آن ۰/۱ است، تحت زلزله Nahanni تحلیل دینامیکی غیر خطی انجام و نتایج آنها بررسی میشود. همان طوری که از شکل (۲) مشاهده میشود، بزرگترین تغییر مکانهای گرهی برای هر یک از تحلیلها متفاوت بوده وبزرگترین تغییر مکانهای ایجاد شده در جهت متفاوت بوده وبزرگترین تغییر مکانهای ایجاد شده در جهت (X) به مقدار ۲۰۰۵۳، ۲۰۱۹ و ۲۰۰۷/۹ به ترتیب برای شکل (۸) مشاهده میشود که بزرگترین تغییر مکانهای گرهی برای هر یک از مدلها در جهت (Y) تحت اثر زلزله Nahanni برای هر یک از مدلها در جهت (Y) تحت اثر زلزله Nahanni برای مقدار ۲۰۱۳۴۳ و ۲۰۱۹۳۳ میباشد. همان طوری تحلیلهای H-IB میاشد. همان طوری که از شکل مشخص است، در هیچ یک ازمدلها، تغییر مکان ناگهانی که نشانگر کمانش احتمالی اعضا میباشد، اتفاق نیفتاده



B1- نمودار تغییر مکان-زمان جهت (X) در تحلیلهای Nahanni و B1-Η تحت زلزله B1-V JH

۵- بررسی رفتار چلیکهای دو لایه تحت زلزلههای متفاوت

برای آن که مشخص شود اعضایی که کمانش در آنها رخ داده در کدام قسمت از چلیکهای مورد نظر میباشند، مطابق شکل (۶) چلیکها به چهار قسمت مساوی تقسیم کرده و هر قسمت شماره گذاری شده است. با توجه به تعداد مدلها و این که بر روی هر مدل سه زلزله نورثریج، چیچی و نهانی با سه حالت مختلف مؤلفههای افقی، قائم و نیز توأم این دو مؤلفه اعمال شده است، حجم نتایج به دست آمده بسیار زیاد میباشد. لذا برای نمونه فقط اثر زلزله نهانی کانادا بر مدلهای چلیکهای انتخاب شده ارائه و مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.



شکل ۸- نمودار تغییر مکان-زمان جهت (Y) در تحلیلهای B1-W ،B1-H تحت زلزله Nahanni

۰/۲ بررسی رفتار چلیک با نسبت خیز به دهانه ۰/۲
۲-۵ تحت اثر مؤلفههای افقی، قائم و توأم زلزله Nahanni

برای این مدل که نسبت خیز به دهانه آن ۱/۲ است، تحت زلزله Nahanni تحلیل و بررسی لازم انجام شده است. همان-طوری که از شکل (۹) مشاهده میشود، بزرگترین تغییر مکان-های گرهی برای هر یک از مدلها متفاوت بوده و بزرگترین تغییر مکانهای ایجاد شده در جهت (X) به مقدار ۲۰۲۴۶m تحت تغییر مکانهای ایجاد شده در جهت (X) به مقدار ۲۰۶۳m اثر مؤلفه افقی ۷-18 تحت اثر مؤلفه قائم و H2-HV تحت اثر اثر مؤلفه افقی ۷-82 تحت اثر مؤلفه قائم و H2-HV تحت اثر مشاهده میشود که بزرگترین تغییر مکانهای گرهی برای هر مشاهده میشود که بزرگترین تغییر مکانهای گرهی برای هر یک ازمدلها در جهت (Y) تحت اثر زلزله Nahanni برابر مقدار یک ازمدلها در جهت (Y) تحت اثر زلزله Nahanni برابر مقدار مداره میاهد. میاشد.

همان طوری که از شکلهای (۹) و (۱۰) مشاهده می شود، در مدلهای تحت مؤلفههای قائم و افقی- قائم توأم، به علت کمانش اعضا، تغییر مکان ناگهانی در سازه به وجود می آید که در مدل تحت مؤلفه افقی به علت این که کمانشی رخ نداده است، تغییر مکان ناگهانی دیده نمی شود. اولین کمانش برای هر دو مدل تحت مؤلفه قائم و افقی-قائم توأم در ناحیه ۳ (شکل (۶)) در اعضای لایه پایینی و زمان ۸/۴۲ ثانیه رخ می دهد.

بعد از اولین کمانش تعداد اعضای کمانش یافته بیشتر می-شود که در نهایت تعداد اعضای کمانش یافته به ترتیب ۸ و ۱۲ برای مدلهای تحت مؤلفههای قائم تنها و افقی- قائم توأم می-رسد.

از بررسی رفتار اولین عضو کمانش کرده با لاغری ۱۰۰ مطابق شکل (۱۱) مشاهده می شود که در نقاط a و d بزرگترین تغییر طول عضو برای مدل V-B2، در ثانیه ای که عضو دچار

کمانش شده است اتفاق افتاده است. این نقاط با نقاطی که بر روی نمودار پس کمانشی شکل (۱۲) است متناظر هستند. در شکل (۱۳) نیز نقاط a و b بزرگترین تغییر طول عضو برای تحلیل B2-HV، در ثانیهای که عضو دچار کمانش شده است را نشان میدهد و این نقاط با نقاطی که بر روی نمودار پس کمانشی شکل (۱۴) است متناظر میباشند.



شکل ۹- نمودار تغییر مکان-زمان جهت (X) برای تحلیلهای B2-W ،B2-H و B2-HV تحت زلزله Nahanni



شکل ۱۰- نمودار تغییر مکان- زمان جهت (Y) برای تحلیلهای B2-W ،B2-H و B2-HV تحت زلزله Nahanni



شکل ۱۱- نمودار تغییر طول- زمان برای اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B2-V تحت زلزله Nahanni



شکل ۱۲- نمودار پس کمانشی اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B2-V تحت زلزله Nahanni



شکل ۱۳- نمودار تغییر طول-زمان برای اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B2-HV تحت زلزله Nahanni



شکل ۱۴- نمودار پسمانشی اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B2-HV تحت زلزله Nahanni

۵-۳- بررسی رفتار چلیکهای با نسبت خیز به دهانه ۰/۳
محت اثر مؤلفههای افقی، قائم و توأم زلزله Nahanni

برای این مدلها که دارای نسبت خیز به دهانه ۰/۳ می-باشند تحت زلزله Nahanni تحلیلهای لازم انجام و نتایج آنها مورد بررسی قرار میگیرد. همان طوری که از شکل (۱۵) مشاهده میشود بزرگترین تغییر مکانهای گرهی برای هر یک

از مدلها متفاوت بوده و بزرگترین تغییر مکانهای ایجاد شده در جهت (X) به مقدار ۰/۰۰۸۳۱ متر، ۸۶۴۶ و V۱۰۶۱ متر و ۰/۱۰۶۱ متر به ترتیب برای تحلیلهای H3-H و B3-W و B3-HV می-باشد و همچنین از شکل (۱۶) مشاهده میشود که بزرگترین باشد و همچنین از شکل (۱۶) مشاهده میشود که بزرگترین باشد و همچنین از شکل (۱۶) مشاهده میشود که بزرگترین و تحت اثر زلزلهای گرهی برای هر یک از مدلها در جهت (Y) تحت اثر زلزلهای Nahanni برابر مقدار ۰/۰۴۴۹ متر، ۱۹۳۰ متر و ۲۰۵۶ متر به ترتیب برای تحلیلهای H3-HV هی-B3-W

شکلهای (۱۵) و (۱۶) نشان میدهند که در تحلیلهای B3-H و B3-HV به علت کمانش اعضا، تغییر شکل ناگهانی در سازه به وجود میآید. ولی در مدل B3-V به علت این که کمانشی رخ نداده است، تغییر مکان ناگهانی دیده نمیشود. اولین کمانش در ناحیه یک شکل (۶) در اعضای لایه بالایی برای هر دو تحلیل B3-H و B3-HV رخ میدهد که زمان این کمانشها ۲/۳۲ ثانیه میباشد.



شکل ۱۵– نمودار تغییر مکان – زمان جهت (X) برای تحلیلهای B3-H و B3-H و S3-HV تحت زلزله Nahanni



شکل ۱۶- نمودار تغییر مکان-زمان جهت (Y) برای تحلیلهای B3-H و B3-W و B3-H تحت زلزله Nahanni

بعد از اولین کمانش تعداد اعضای کمانش یافته بیشتر می-شود که در نهایت تعداد اعضای کمانش یافته به ترتیب ۵۸ و ۷۷ برای تحلیلهای H-B3 و B3-HV می باشد.

حال در این مدلها به رفتار پس کمانشی اولین عضو کمانش کرده با لاغری ۱۰۰ پرداخته میشود. همان طوری که در شکل (۱۷) مشاهده میشود، نقاط a، d، c و b بزرگترین تغییر طول عضو برای تحلیل H-B3، در زمانی که عضو دچار کمانش شده است را نشان میدهند و این نقاط با نقاطی که برروی نمودار پس کمانشی شکل (۱۸) است متناظر میباشند. همچنین شکل (۱۹) مشخص می کند که در نقاط a، d، c و b بزرگترین تغییر طول عضو برای تحلیل H3-HV، در ثانیهای که عضو دچار کمانش شده است اتفاق میافتد و این نقاط با نقاطی که برروی



شکل ۱۷- نمودار تغییر طول (عضو)-زمان، اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B3-H تحت زلزله Nahanni



شکل ۱۸- نمودار پس کمانشی اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B3-H تحت زلزله Nahanni



شکل ۱۹– نمودار تغییر طول (عضو)-زمان، اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B3-HV تحت زلزله Nahanni



شکل ۲۰- نمودار پس کمانشی اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B3-HV تحت زلزله Nahanni

۴-۵- بررسی رفتار چلیکها با نسبت خیز به دهانه ۴/۴
۲۰۶۰ اثر مؤلفههای افقی، قائم و توأم زلزله Nahanni

برای این مدلها که نسبت خیز به دهانه آنها ۲۰٬ متر است، تحت زلزله Nahanni تحلیلهای لازم انجام و نتایج آنها مورد بررسی قرار داده میشود. همان طوری که از شکل (۲۱) مشاهده میشود بزرگترین تغییر مکانهای گرهی برای هر یک از مدلها متفاوت بوده و بزرگترین تغییر مکانهای ایجاد شده در جهت (X) به مقدار ۲۰۵۴٬۰ متر، ۲۵۴٬۰ متر و ۲۰۶۹۵ میباشد و به ترتیب برای تحلیلهای H-H، V-H و VH-H میباشد و همچنین از شکل (۲۲) مشاهده میشود که بزرگترین تغییر مکانهای گرهی برای هر یک ازمدلها در جهت (Y) تحت اثر زلزله Nahanni برابر مقدار ۲۰۳۵٬۰ متر، ۲۰۲۵٬۰ متر و ۲۰۴۵۸ و V-۴۵۸ و V-۴۵۸ متر، ۱۵۲٬۰ متر و ۲۰۲۵۸٬۰ متر و ۲۰۲۵۸ متر به ترتیب برای تحلیلهای H-H، V-B4 و V-۱۰۲۵۰ متر و ۲۰

همان طوری که از شکلهای (۲۱) و (۲۲) مشاهده می شود، در تحلیلهای B4-H و B4-HV به علت کمانش اعضا، تغییر مکان ناگهانی در سازه به وجود می آید که در مدل B4-V به علت این که کمانشی رخ نداده است، تغییر مکان ناگهانی دیده

نمی شود. اولین کمانش در ناحیه ۴ شکل (۶) در اعضای لایه بالایی برای هر دو تحلیل B4-HV و B4-HV رخ می دهد که زمان این کمانش ها ۵/۶۳ ثانیه می باشد.

بعد از اولین کمانش، تعداد اعضای کمانش یافته بیشتر می-شود که در نهایت تعداد اعضای کمانش یافته به ترتیب ۱۲ و ۲۷ برای تحلیلهای H-H4 و B4-HV می،اشد.

حال در این مدل ها به رفتار پس کمانشی اولین عضو کمانش کرده با لاغری ۱۰۰ پرداخته میشود. همان طوری که در شکل (۲۳) مشاهده میشود، در نقطه a بزرگترین تغییر طول عضو برای تحلیل B4-H، در ثانیهای که عضو دچار کمانش شده است اتفاق میافتد و این نقطه با نقطهای که بر روی نمودار پس-کمانشی شکل (۲۴) است متناظر میباشد و همان طوری که در شکل (۲۵) مشخص است، نقطه a بزرگترین تغییر طول عضو برای تحلیل HV-B4، در ثانیهای که عضو دچار کمانش شده است را نشان میدهد و این نقطه با نقطهای که بر روی نمودار پس کمانشی شکل (۲۶) است متناظر میباشد.



شکل ۲۱– نمودار تغییر مکان-زمان جهت (X) برای تحلیلهای B4-W ،B4-H و B4-HV تحت زلزله Nahanni



شکل ۲۲- نمودار تغییر مکان-زمان جهت (Y) برای تحلیلهای B4-W ،B4-H تحت زلزله Nahanni



شکل ۲۳- نمودار تغییر طول (عضو)-زمان، اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B4-H تحت زلزله Nahanni



شکل ۲۴- نمودار پس کمانشی اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B4-H تحت زلزله Nahanni



شکل ۲۵- نمودار تغییر طول (عضو)-زمان، اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B4-HV تحت زلزله Nahanni



شکل ۲۶- نمودار پسکمانشی اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B4-HV تحت زلزله Nahanni

۵-۵- بررسی رفتار چلیکها با نسبت خیز به دهانه ۰/۵
محت اثر مؤلفههای افقی، قائم و توأم زلزله Nahanni

برای این مدلها که نسبت خیز به دهانه آنها ۵/۰۶ می-باشد تحت زلزله Nahanni تحلیلهای لازم انجام و نتایج آنها مورد بررسی قرار داده میشود. همان طوری که از شکل (۲۷) مشاهده میشود بزرگترین تغییر مکانهای گرهی برای هر یک از مدلها متفاوت بوده و بزرگترین تغییر مکانهای ایجاد شده در جهت (X) به مقدار ۱۱۲۵ متر، ۱۶۴۰/۰ متر و ۲۰۱۴ متر به ترتیب برای تحلیلهای H-B5. V-B5 و VH-B5 میباشد و مکانهای گرهی برای هر یک ازمدلها در جهت (Y) تحت اثر زلزله Nahanni برابر مقدار ۱۱۷۶۵ متر، ۱۷۶۴ متر، ۲۰۳۱۳ زلزله Nahanni برای تحلیلهای H-B5. V-B5 و VI-95 می اثر مکانهای گرهی برای هر یک ازمدلها در جهت (Y) تحت اثر مکانهای گرهی برای هر یک ازمدلها در جهت (Y) تحت اثر مکانهای گرهی برای مقدار ۱۷۶۵ متر، ۲۰۳۱۳ متر و مکانهای مقدار ۱۹۶۵ میباشد

همچنین شکلهای (۲۷) و (۲۸) نشان میدهند که در تحلیلهای B5-H و B5-HV به علت کمانش اعضاء، تغییر مکان ناگهانی در سازه به وجود میآید ولی در تحلیل V-B5 به علت این که کمانشی رخ نداده است، تغییر مکان ناگهانی دیده نمی شود. اولین کمانش در ناحیه ۴ شکل (۶) در اعضای لایه بالایی برای هر دو تحلیل H-B5 و HS-H رخ میدهدکه زمان این کمانشها ۱/۲۹ ثانیه می باشد.

بعد از اولین کمانش، تعداد اعضای کمانش یافته بیشتر می-شود که در نهایت تعداد اعضای کمانش یافته به ترتیب ۴۴ و ۴۴ برای تحلیلهای H-H4 و B4-HV می،اشد.

حال در این مدلها به رفتار پس کمانشی اولین عضو کمانش کرده با لاغری ۱۰۰ می پردازیم. همان طوری که در شکل (۲۹) مشاهده می شود نقاط a، d، c ،b و e بزرگ ترین تغییر طول عضو برای تحلیل H-B5، در ثانیه ای که عضو دچار کمانش شده است کمانشی شکل (۳۰) است متناظر می باشد و همان طوری که در شکل (۳۱) مشخص است نقاط a، d و c بزرگ ترین تغییر طول عضو برای تحلیل HS-H۷، در ثانیه ای که عضو دچار کمانش شده است را نشان می دهد و این نقاط با نقاطی که بر روی نمودار پس کمانشی شکل (۳۲) است متناظر می باشد.



شکل ۲۷- نمودار تغییر مکان-زمان جهت (X) برای تحلیلهای B5-H و B5-HV و B5-H تحت زلزله Nahanni



شکل ۲۸– نمودار تغییر مکان-زمان جهت (Y) برای تحلیلهای B5-H و B5-HV و B5-H تحت زلزله Nahanni



شکل ۲۹- نمودار تغییر طول (عضو)-زمان، اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B5-H تحت زلزله Nahanni



شکل ۳۰- نمودار پسکمانشی اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B5-H تحت زلزله Nahanni



شکل ۳۱– نمودار تغییر طول (عضو)– زمان، اولین عضو کمانش کرده برای تحلیل B5-HVتحت زلزله Nahanni





۶- نتیجهگیری

با توجه به تحلیل های انجام گرفته در این تحقیق، می توان به طور اجمال نتایج زیر را ذکر نمود:

الف) تغییر مکان کل سازه در ۷۳ درصد مدلهایی که زلزلـه افقی- قائم توأم وارد شده است نسبت به مدلهایی که فقط زلزله

افقی قرار گرفتهاند بیشتر است و در ۲۷ درصد مدلها این مقادیر کاهش یافته است. تغییر مکان کل سازه در کل مدلهایی که تحت اثر زلزله افقی- قائم توأم قرار گرفتهاند نسبت به مدلهایی که فقط تحت اثر زلزله قائم قرار گرفتهاند بیشتر است. این نشان میدهد که اثر مؤلفه افقی در مجموع بیشتر از مؤلفه قائم می-باشد. به هر حال در نظر گرفتن اثر توأم مؤلفه افقی-قائم بحرانی-تر میباشد.

ب) تعداد عضوهای کمانش کرده در ۵۳ درصد مدلهایی که
تحت اثر زلزله افقی – قائم توأم وارد شده است نسبت به مدل –
هایی که فقط زلزله افقی یا قائم قرار گرفتهاند کاهش یافته است
و در ۱۳/۵ درصد مدلها این مقادیر مساوی بوده و در ۲۰ درصد
مدلها کمانش رخ نداده است.

ج) زمان وقوع اولین کمانش در مدلهای با زلزله افقی و قائم و یا توأم چندان فرقی نداشته است.

د) با افزایش نسبت خیز به دهانه چلیکها، در ازای زلزلـه-های بررسی شده، زمان وقوع اولین کمانش زودتر شده است.

و) مؤلفه قائم زلزله فقط در چلیک با نسبت خیز به دهانه ۰۰/۲۰، باعث کمانش شده است؛ ولی در بقیه مدلها باعث ایجاد کمانش در اعضای چلیکها نشده است ولی باعث تشدید تغییر شکلهای چلیکها در هنگام اعمال مؤلفه افقی می شود.

ح) چلیک با نسبت خیز به دهانه ۲/۳ از لحاظ فولاد مصرفی
و تعداد مقاطع مصرفی بهینهترین مدل و مدل نسبت خیز به
دهانه ۲/۱ مقاومترین مدل در برابر زلزله میباشد؛ ولی از لحاظ
فولاد مصرفی بیشترین فولاد مصرفی را دارد.

۷– تقدیر و تشکر

نتایج ارائه شده در این مقاله حاصل یک طرح پژوهشی انجام یافته به شماره ۴۰۱/۱۳۹ در دانشگاه شهید مدنی آذربایجان میباشد. لذا وظیفه خود میداند که از کلیه کارکنان معاونت پژوهشی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان به خصوص معاونت محترم پژوهشی که بدون حمایتهای مالی و معنوی آنان اتمام این طرح مقدور نبود تشکر و تقدیر نماید.

۸- مراجع

- Ishikawa, K., Kato, S., "Elastic-Plastic Dynamic Buckling Analysis of Reticular Domes Subjected to Earthquake Motion", International Journal of Space Structures, 1997, 12 (3-4), 205-216.
- [2] Ishikawa, K., Kato, S., "Dynamic Buckling Behaviourof Single and Double Layer Latticed

Domes due to Vertical Earthquake Motions", the 4th International Conference of Space Structures, 1993, pp 466-475.

- [3] Kunieda, H. J., "Earthquake Response of Roof Shells", International Journa of Space Structures, 1997, 12 (3-4), 149-160.
- [4] Saka, T., Hirano, A., Tei, Y., Taniguchi, Y., "Effect of Joints and Member Slenderness Ratios on Collapse Behavior of Double-Layer Space Grids", New Shell and Spatial Structures, Beijing, Octobre 16-19, 2006.

- [6] Moghaddam, H. A., "Siesmic Behaviour of Space Structures", International Journa of Space Structures, 2000, 15 (2), 119-135.
- [7] Sadeghi, A., "Horizontal Earthquake Loading and Linear-Nonlinear Seismic Behaviour of Double Layer Barrel Vaults", International Journal of Space Structures, 2004, 19 (1), 21-37.
- [8] Sadeghi, A., "Vertical Effects of Earthquakes on the Double Layer Barrel Vaults", IASS Symposium, Shell and Spatial Structures from Models to Realization, Montpollier, France, 2004.
- [9] Zhang, F., Taniguchi, Y., Saka, T., Ogawa, T., "Elastic Buckling and Elasto-Plastic Behavior of Double Layer Latticed Structures with Various Forms and Mesh Patterns", New Shell and Spatial Structures, Beijing, China, October 16-19, 2006.
- [10] Ishikawa, K., Okubo, S., Hiyama, Y., Kato, S., "Evaluation Method for Predicting Dynamic Collapse of Double Layer Latticed Space Truss Structures due to Earthquake Motion" International Journa of Space Structures, 2000, 15 (2), 249-257.
- [11] Nooshin, H., "Course on Space Strucures", Kerman, Iran, 2003.

[13] "ANSYS Theory Reference", 1 7.7, Spectrum Analysis.

EXTENDED ABSTRACT

Assessing the Simultaneous Effects of Horizontal and Vertical Components of Earthquakes on the Double Layer Barrel Vaults

Arjang Sadeghi *

Faculty of Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

Received: 29 July 2013; Accepted: 13 March 2014

Keywords:

Horizontal and vertical components, Double layer barrel vaults, Nonlinear behavior, Accellerogram, seismic response

1. Introduction

The earthquake of Kobe of Japan in 1995 had great effect on structural engineering research especially on space structures. Thereafter, a huge effort started to investigate more deeply on the seismic behavior of the space structures. This earthquake happened in a region that there were plenty of space structures and the real behavior of them were studied readily. The Kobe earthquake showed that although the vulnerability of the space structures is not as high as the ordinary buildings, but they are not aseismic.

Although there are at the present considerable amount of research on the seismic behavior of the double layer barrel vaults, the available documents on the simultaneous action of the double and triple components of the earthquakes are rare and it is necessary to execute more research to assess the one or multi-directional earthquake effects on these structures.

In the current research, the effects of horizontal and vertical components of some earthquakes are imposed separately on some models of double layer barrel vaults. In the following, the simultaneous action of both the horizontal and vertical components are considered. In all of analysis, the dynamic responses of the structures are pursued considering the both material and geometrical nonlinearity. It is shown that the double layer barrel vaults behave differently against horizontal and vertical components of earthquakes. In fact, the horizontal earthquakes are more effective. However, the vertical action by itself increases the action of the horizontal component.

In this research, to assess the behavior of the double layer barrel vaults against one and two dimensional effects of earthquakes, five models of double layer barrel vaults are selected. These models have different rise-to-spans of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5; but their depths, spans and lengths are kept fixed as 1.5, 30 and 42 m respectively. All the models were designed against dead and snow loading of 500 and 1,500 N/m² respectively. The snow loading was considered in both symmetric and asymmetric patterns according to the sixth volume of the National Codes of Buildings of Iran. The elements were chosen to be tubular and were designed with the LRFD method, Section 10 of the National Codes of Buildings of Iran. The material used was mild steel with characteristic physical properties such as, $F_y=2.4\text{E8}$ Pa, E=2.1e11 Pa and $\mu = 0.3$.

The slenderness of the elements was taken to be equal to 100 and its post-buckling behavior was adapted from Ishikawa and Kato [1].

The geometrical configuration of each models was produced by FORMIAN [2] and the output was introduced to Mechanical Desktop which its output can be used by design or analysis packages like SAP2000 and ANSYS [3].

In this research, the design procedure was carried out using SAP2000 and Eigen value analysis, while the nonlinear dynamic analyses were carried out using ANSYS.

To analyze the models, element COMBIN39 in ANSYS was selected. However, for linear analysis LINK180 element was utilized. Elements COMBIN39, is a three-dimensional longitudinal high torsion-resistant element, which has the ability to carry post-buckling behavior along with large deflections. Element LINK180, is a three-dimensional element which can withstand tension and compression, but lacks rotational stiffness. For introduction of the masses of the structures, element MASS21 was adapted as lumped mass and applied in the upper chord nodes of the barrel vaults. Each of the selected models was analyzed three times as following: once for the

E-mail address: a.sadeghi@azaruniv.ac.ir (Arjang Sadeghi)

horizontal component of an earthquake; second for the vertical component of the earthquake; and finally for the combined horizontal and vertical components of the earthquakes.

2. Selected earthquakes

For the purpose of the dynamic analyses, three strong ground motions of Nahanni of Canada 1985, Northridge of USA 1994 and Chi-Chi of Taiwan 1999 were selected. The common characteristics of these three earthquakes are the fact that they all have big horizontal and vertical PGA's2.2.

3. Behavior of double layer barrel vaults under different earthquakes

One of the most important aspects of the behavior of the barrel vaults is the consideration of buckling or yield of the members and the locations of these members in the structure. All of the models were analyzed dynamically considering both material and geometrical nonlinearity with the three aforementioned earthquakes which led to the generation of many results. However, for brevity, only result of the 1985 Nahanni earthquake of Canada is discussed noting that other results are more or less similar.

The first model to be discussed is the double layer barrel vault with rise-to-span ratio of 0.1. It was seen that the largest horizontal deflections in the joints of this barrel vault are 0.005, 0.002 and 0.006 m under horizontal component, under vertical component and under the simultaneous action of horizontal and vertical components, respectively. The results imply that there has been no buckling or yield in members, since there is no jump in the joints deflections time histories of the structures.

The second model is the double layer barrel vault with rise-to-span ratio of 0.2, which its behavior was studied under different components of the 1985 Nahanni earthquake. Results show that the maximum horizontal deflection in the joints of the structure are 0.012, 0.002 and 0.013 m under horizontal component, under vertical component and under horizontal and vertical components simultaneously, respectively. On the other hand, the results show that the maximum vertical deflections in the model are 0.017, 0.014 and 0.013 m for the analyses of the aforementioned structures. Results show that there are some jumps in the deflections time histories of the barrel vault under the vertical component alone, and simultaneous action of horizontal and vertical components.

This means that some members of the structure have buckled and experienced post-buckling behavior.

The first member buckling for both analyses occurred in the lower section of middle region at approximately 8.42 s. After some time, more elements buckled and the number of buckled members rose increased to 8 and 12 for the structure under the vertical component, and simultaneous action of horizontal and vertical components, respectively. This indicates that though the horizontal accellerogram could not make the structural elements buckle; but its presence aside of vertical component had an intensifying effect and increased the buckled members and made the barrel vault closer to total collapse.

Investigations on the first buckled member's response reveal that it has experienced the largest deflection at point (a) which corresponds to the jump in the deflection of the critical joint. On the other hand, these points coincide with the buckling stress of the element for the barrel vault with rise to span ratio of 0.2 under vertical component and simultaneous action of vertical and horizontal components of the earthquake, respectively.

The other model is a double layer barrel vault with rise-to-span ratio of 0.3. The maximum horizontal deflections of the model under horizontal, vertical, and behavior of the first buckled member in analysis the barrel vault with rise to span ratio of 0.2 under Nahanni earthquake horizontal and vertical components simultaneous are 0.008, 0.009 and 0.011 m, respectively. The results show the maximum vertical deflections of the structures under similar earthquake components as 0.045, 0.019 and 0.057 m.

4. Conclusions

a) The deflections of the models when undergo simultaneous action of horizontal and vertical components of earthquake in 73% of cases are larger than when the structures are under only horizontal component of earthquake, and in 27% of cases are larger than deflections of the structures under the vertical components of earthquake.

b) The number of buckled members in the barrel vaults under the two component analyses, in 53% of the analyses is more than the barrel vaults under only one component of earthquake.

c) The buckling time of the first element does not differ significantly, in all analyses.

5. References

- [1] Ishikawa, K., Kato, S., "Elastic-Plastic Dynamic Buckling Analysis of Reticular Domes Subjected to Earthquake Motion", International Journal of Space Structures, 1997, 12 (3-4), 205-216.
- [2] Nooshin, H., Disney, P., Yamamoto, C., "Formian", UK, Multi-Science Publishers, 1993.
- [3] "ANSYS Theory Reference", 17.7, Spectrum Analysis.