



کنفرانس بین المللی سبک سازی و زلزله
جهاد دانشگاهی استان کرمان
1 تا 12 اردیبهشت 1389

پیش بینی اثر زلزله بر سقفهای فضا کار یک لایه تخت و بررسی کاهش خطاهای ناشی از آن

امیر حسین یوسفی¹، فرهاد کیانی²، محمود ارشدی نژاد³

1- مربی، عضو هیئت علمی تمام وقت دانشگاه آزاد اسلامی شاهین شهر، ایران

Yosoofi_ah@iaukhsh.ac.ir

2- مربی، عضو هیئت علمی تمام وقت دانشگاه آزاد اسلامی شاهین شهر، ایران

Kiyani_f@iaukhsh.ac.ir

3- استادیار و عضو هیئت علمی تمام وقت دانشگاه صنعتی مالک اشتر

Arshadinejad45i@yahoo.com

چکیده :

هدف از این مقاله معرفی روشی جهت پیش بینی اثر زلزله بر سازه های فضا کار یک لایه تخت و روشهایی جهت کاهش خطاهای ناشی از آن با استفاده از شبکه ایی با ترتیب و خصوصیات شبکه اصلی ولی با چگالی متفاوت در تعداد گره ها و المانها است. پاسخ به شبکه اصلی می تواند از حل شبکه کوچک شده تحت بارها، شرایط تکیه گاهی و شرایط مرزی مشابه به دست آید.

به طور کلی میتوان گفت مدل فیزیکی یک سازه می تواند با خواص سازه ای خیلی نزدیک به سازه اصلی و با تعداد کمتری عضو و گره در مقایسه با سازه واقعی ساخته شود. نتایج، ناشی از بررسیهای بعمل آمده امکان تفسیر پارامترهای سازه واقعی را با استفاده از سازه مدل می دهند.

واژه های کلیدی : سازه فضا کار، تاریخچه زمانی، آنالیز دینامیکی

1. مقدمه

با ابداع وسایل و تکنولوژی جدید و استفاده از مصالح و دانش مدرن امکان احداث دهانه هایی با چندین برابر ابعاد سازه های باستانی فراهم آمده است. امروز استفاده از این سازه ها نه فقط نشان دهنده عظمت نیروی انسانی بلکه یک نیاز اساسی نوع بشر است. عدم وجود اطلاعات کافی و دانش فنی مورد نیاز باعث گردیده که اجرای این سازه ها در ایران بصورت محدود و یکنواخت صورت پذیرد. مهمترین عملکرد سازه های فضا کار پوشش فضای بزرگ است بطوریکه انواع مختلفی از کاربرد این سازه عبارتند از: سقف استادیوم های ورزشی، آشیانه های تعمیر هواپیما، ساختمانهای صنعتی

و سالن نمایشگاه ها می باشد. در گذشته تعیین رفتار سازه های فضاکار بوسیله محاسبات با فرمولهای موجود مشکل بود زیرا حجم بزرگی از محاسبات را شامل می شد. اما امروزه بوسیله کامپیوتر امکان بررسی سازه ها، محاسبات نیروها و تغییر مکانهای تمام اعضا با یک روش مناسب وجود دارد.

در گذشته وقتی مجموعه سازه های فضاکار را از قبیل شبکه ها و گنبدها نیاز به آنالیز و بررسی داشتند. استفاده و بیان یک روش تقریبی طبیعی به نظر می رسید. عمومی ترین روش تقریبی در آن زمان استفاده از تئوری پوسته و صفحات بود و این در حالی بود که عقایدی مشابه این در ترها و نظریه های مربوط به شبکه های دو لایه و طاقهای چلیکی پذیرفته شده بودند. این روش امروزه نیز توسعه یافته و بنابراین پیشرفت بسیار خوبی در فرمولهای قدیمی و موضوعات مربوط به رفتار دینامیکی مشاهده میشود. با توجه به کاربرد فراگیر سازه های فضاکار چنین به نظر می رسد که به دلایل زیر پیش بینی رفتار دینامیکی سازه از اهمیت زیادی برخوردار است.

الف _ حجم زیاد داده های مورد نیاز در آنالیز سازه

ب _ حجم وسیع محاسبات در آنالیز سازه

ج _ بررسی رفتار سازه قبل از ساخت آن

د _ ساخت مدل های فیزیکی جهت بهتر بررسی کردن رفتار سازه

ه _ ایجاد دید مناسب برای طراحان

جهت پیش بینی رفتار دینامیکی سازه های فضاکار در این مقاله از روش رینکشن در شبکه ها استفاده شده است. که اساس این روش بر پایه تبدیل شبکه اصلی به شبکه مشابه ولی با تعداد کمتری عضوها و گره ها استوار است. پاسخ شبکه کوچک شده تحت بارها، شرایط تکیه گاهی، شرایط مرزی مشابه بدست می آید. در ادامه بحث برای درک بهتر این روش مثالهای گوناگونی با حالات متفاوت و شرایط تکیه گاهی مختلف بیان میشود. در ضمن تمام اتصالات صلب فرض شده و لذا دارای ممان خمشی نیروی برشی و پیچش می باشند.

2. اصول اولیه روش رینکشن در شبکه ها: [1,2]

شبکه نشان داده شده در بالای شکل 1 را مشاهده کنید. این شبکه با نام A بیان شده و به شکل مربع می باشد. اعضای موجود شامل تیرهایی هستند که بطور عمودی یکدیگر را قطع میکنند مقطع این اعضا دارای خواص هندسی یکسان می باشند. این شبکه در تمام گره های مرزی دارای تکیه گاه ساده بوده و تمام گره های غیر مرزی آن باری عمودی و یکسان را تحمل می کنند. شبکه B نشان داده شده در شکل 1 نیز با استفاده از حذف یک در میان تیرهای موازی در هر دو جهت در شکل A بدست می آید.

شرایط تکیه گاهی و بارگذاری شبکه B بدست مانند A بوده بطوریکه در مجموع، بار نهایی برابری ایجاد می نمایند. این شبکه کاهش یافته که دارای الگوی اتصالات، ابعاد کلی، خواص هندسی و خواص مادی مشابه شبکه A می باشد به نام یک رینکچر از A نامیده می شود.

تکیه گاههای غلطکی در کلیه نقاط مرزی بوده بطوریکه این گره ها فقط دارای یک درجه آزادی دورانی حول امتداد خطوط مرزی می باشند. در ضمن منظور از تکیه گاه ستونی داشتن دو درجه آزادی دورانی حول محورهای

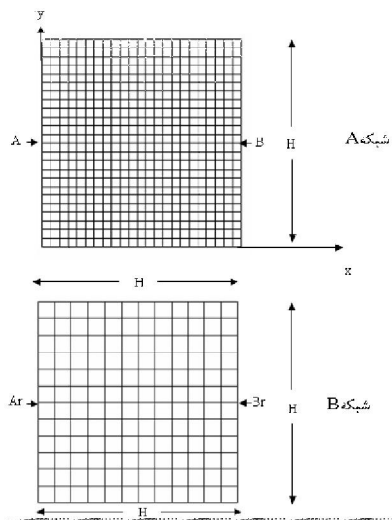
X و Y شکل می باشد.
www.SID.ir

با مراجعه به اشکال A و B در شکل 1 رفتار A و B بسیار مشابه تصور می شود. به این ترتیب که ممان خمشی، نیروی برشی، پیچش و تغییر مکانها دارای توزیع یکسانی در A و B می باشند. این بحث در ابتدا از این واقعیت ناشی می شود که شبکه ها دارای الگو، خواص هندسی، شکل مرزی، ترتیب تکیه گاهی و شرایط بارگذاری مشابهی می باشند بنابراین یک فرد می تواند انتظار داشته باشد که آنها یکسان رفتار کنند.

نتایج آزمایش نشان می دهد که نمودارهای لنگر خمشی، نیروی برشی، نیروی محوری، پیچش و تغییر مکان شکل B بسیار مشابه نمودارهای شکل A می باشند و ضریب تشابه نزدیک 2 بدست آمد. این معنادار است زیرا این انتظار معقول می باشد که اگر مواد مقاوم در برابر بارهای خارجی نصف شود تأثیر عوامل خارجی دو برابر می شود.

برای اثبات اعتبار نظریه ارتباط بین شبکه ها، تیر AB از شبکه A در شکل 1 را در نظر بگیرید. این تیر در شبکه B به وسیله ArBr نشان داده می شود. بعد از انجام آنالیزهای واقعی شبکه های A و B مقادیر لنگر خمشی، نیروی برشی و پیچش وسط اعضای AB و ArBr در شکل های 2 تا 5 ترسیم شده است. هر شکل شامل 2 منحنی است که اولی مربوط به تیر AB در شکل A و دومی مربوط به تیر ArBr در شکل B می باشد. مطالعه دقیق نشان می دهد که منحنی مربوط به تیر شبکه B متناسب با منحنی تیر شبکه A با ضریب نزدیک به 2 می باشد.

بنابراین به نظر می رسد که امکان پیش بینی لنگر خمشی، نیروی برشی، پیچش و غیره در یک نقطه از شبکه A به وسیله اطلاعات مربوط به شبکه B وجود دارد. در مورد مقادیر مصالح سازنده دوشبکه نیز چنین مطلبی صادق است. ارتباط یاد شده به صورت نسبت مقدار مواد در شبکه رینکچر، به مقدار شبکه اصلی وجود دارد



شکل (1): شبکه A و رینکچر آن B [1]

مشاهده شبکه های A و B نشان داده شده در شکل 1 بیان می کند که همانطور که شبکه B از تقسیم شبکه A بدست آمد امکان تقسیمات بیشتر شبکه A وجود دارد. برای تشریح این مطلب فرض کنید که n_a و n_b تعداد تقسیمات در هر امتداد از شبکه های A و B باشند همچنین شماره اعضا در هر امتداد از شبکه های A و B با m_a و m_b نشان داده شوند. ارتباط بین این اعداد بصورت زیر برقرار است.

$$m_a = 2(n_a + 1) \quad (1)$$

$$m_b = 2(n_b + 1) \quad (2)$$

$$n_a = 2n_b$$

$$(3)mb=2(0.5 n_a + 1)$$

(4)

$$\frac{n_{a+1}}{0.5n_{a+1}} = m_a / m_b \quad (5)$$

$$\text{Lim } m_a/m_b=2$$

6)

بطور کلی : به ، نسبت کل مواد رینکچر یک شبکه به مواد شبکه اصلی ، چگالی نسبی اطلاق می شود . در مورد شبکه های A و B موجود در شکل 1 مشاهده می شود که تعداد خطوط عضوی شبکه A دو برابر شبکه B است و این افزایش تقسیمات به طور مستمر می توانند ادامه یابد . این مبین آن است که میزان مواد موجود در شبکه A تقریباً 2 برابر B است . در چنین شرایطی شبکه های A و B دارای الگوی مشابه رفتاری و نسبتهای نیرویی و تغییر مکانی یکسان در یک نقطه انتخابی از شبکه A و نقطه معادل آن در شبکه B می باشند .

$$\approx \frac{M_A}{2} \quad M_B \quad \approx \frac{S_A}{2} \quad S_B \quad \approx \frac{T_A}{2} \quad T_B \quad (7)$$

$$\approx \frac{D_A}{2} \quad D_B \quad (8)$$

در فرمولهای فوق M_A , S_A , T_A , D_A به ترتیب ممان خمشی ، نیروی برشی ، پیچش و تغییر مکان یک نقطه انتخابی از شبکه A و M_B , S_B , T_B , D_B عوامل فوق در نقطه معادل نقطه انتخابی در شکل B می باشند . همان طور که در شبکه های A و B نشان داده شد چگالی نسبی عبارت است از :

$$f = \frac{\text{مقدار مواد رینکچر}}{B \times h} = \frac{B_r \times h_r}{B \times h} = \frac{N_r}{N}$$

مقدار مواد سازنده اصلی

در فرمول فوق :

B_r : تعداد عضوهای رینکچر	B : تعداد عضوهای سازه
L_r : طول عضو رینکچر می باشد	L : طول سازه
n_r : تعداد تقسیمات در طول یک لبه از شبکه	n : تعداد تقسیمات در طول یک لبه از شبکه
N_r : تعداد گره های شبکه	N : تعداد گره های شبکه

به عنوان نمونه چگالی نسبی شبکه B با توجه به روابط بالا به صورت زیر محاسبه می شود :

$$f = \frac{312 \times 21}{1200} = 0.52 \quad f = \frac{12}{24} = 0.5 \quad f = \sqrt{\frac{169}{625}} = 0.52$$

با مقایسه بین روابط بالا می توان نتیجه گرفت که روش نسبت تعداد گره ها تقریب بهتری از چگالی نسبی را در مقایسه با روش تعداد تقسیمات نشان می دهد . باید توجه داشت که کاهش چگالی ساختار شبکه شامل همه اعضای شبکه نیست ، زیرا اعضای مرزی عوض نشده اند . این ممکن است شباهت رفتاری بین یک شبکه و رینکچر آن را تغییر دهد . برای حفظ شباهت بهترین راه این است که چگالی اعضای مرزی نیز به نسبت f کاهش یابد بدین ترتیب برای رسیدن به

درجه تشابه، در شبکه می توان اعضای مرزی شبکه را به صورت ماده ای فرضی که نوع رقیق شده ای از ماده اصلی هستند فرض نمود. ضریب ارتجاعی این ماده رقیق، f مرتبه کمتر از ماده اصلی فرض می شود. می توان با استفاده از روابط تحلیل المان محدود اثبات نمود چگالی f ، برای ممان خمشی، نیروی برشی و پیچش و نیروی محوری و غیره در یک عضو مرزی می تواند تقریباً برابر یک محاسبه شود.

3. پیش بینی اثر زلزله بر سازه های فضا کار یک لایه: [3]

همان طور که توضیح داده شد می توان مقادیر لنگر خمشی، نیروی برشی، نیروی محوری، پیچش و تغییر مکان یک سازه فضا کار را از روی رینکچر آن که متفاوت در تعداد گره ها و المانها است پیش بینی نمود ولیکن این پیش بینی دارای درصدی، خطا می باشد.

در این قسمت با آنالیز، 12 طرح و مقایسه بین جوابها ضمن پیش بینی رفتار دینامیکی سازه های فضا کار، با استفاده از رینکچر های آن، اثر پارامترهای مختلف بر ایجاد خطاهای ناشی از استفاده از روش رینکشن در شبکه ها، که در شکل 5 نشان داده شده، نیز بررسی می شود.

4. طرح ونحوه آنالیز و بارگذاری نمونه های مورد آزمایش

در کلیه طرحهای ارائه شده، سازه اصلی 32 تایی و رینکچر اول آن، 16 تایی و رینکچر دوم آن 8 تایی می باشد. جزئیات مربوط به فواصل تکیه گاهی، شکل مقطع، طول ابعاد، نوع طیف، مطابق با مطالبی است که در جدول 1 ارائه شده، مگر آنکه در جداول 2 و 3، شکل مقطع یا فواصل تکیه گاهی و غیره قید شده باشد.

تمامی نمونه ها تحت بار وزن اسکلت سازه می باشند و طیف عکس العمل آن، طیف IBC 2000 می باشد جهت آنالیز مودال، 10 مود اول سازه و تعداد تکرار آنالیز P-DELTA، 5 مرتبه و با درصد خطای کمتر از 0/001 در نظر گرفته شده است. نیروی زلزله فقط در جهت X اعمال شده و ضریب استهلاک برابر 0/05 در نظر گرفته شده است. آنالیز دینامیکی نمونه ها توسط برنامه ETabs ver 8.43، انجام شده است [8،7،6،5،4]. که اساس کار آن استفاده از روش المان محدود می باشد.

جدول 1: مشخصات مربوط به شبکه ها و رینکچرها

طول ابعاد (m)	نوع طیف	فواصل تکیه گاهی (m)		مقاطع (mm)		طول اعضای مرزی (m)	ممان اینرسی	طرح
		ستونی (گیردار)	غلطکی	ستون	تیر			
16×16	IBC 2000	8	2	Pipe x 10 300	Pipe x 1 50	0.5	1	سازه
						1	1	رینکچر 1
						2	1	رینکچر 2

جدول 2: مشخصات مربوط به شبکه ها و رینکچرها

	چگالی نسبی	بار	تعداد اعضا	تعداد گره ها	طرح شبکه سازه	
1	_____	1	2112	1089	سازه	مربع
	0.5151	1.44	528	289	رینکچر 1	
	0.273	3.67	128	81	رینکچر 2	
2	_____	1	2112	1089	سازه	مربع بدون تأثیر $P - \Delta L$
	0.5151	1.44	544	289	رینکچر 1	
	0.273	3.67	144	81	رینکچر 2	
3	_____	1	2112	1089	سازه	مربع با مقطع قوطی
	0.5151	1.94	544	289	رینکچر 1	
	0.273	3.67	144	81	رینکچر 2	
4	_____	1	2108	1088	سازه	مربع با یک بازشو
	0.514	1.44	524	288	رینکچر 1	
	0.271	3.68	124	80	رینکچر 2	
5	_____	1	2096	1085	سازه	مربع با چهار بازشو
	0.513	1.95	528	285	رینکچر 1	
	0.269	3.71	128	77	رینکچر 2	
6	_____	1	4224	2113	سازه	مربع با شبکه قطری
	0.507	1.97	1088	545	رینکچر 1	
	0.262	3.82	288	145	رینکچر 2	

جدول 3: مشخصات مربوط به شبکه ها و رینکچرها

	طرح شبکه سازه		تعداد گره ها	تعداد اعضا	بار	چگالی نسبی
7	شبکه قطری با طیف Euro code	سازه	2113	4224	1	————
		رینکچر 1	545	1088	1.97	0.507
		رینکچر 2	145	228	3.82	0.262
8	شبکه قطری بدون تکیه گاه غلطکی	سازه	2113	4224	1	————
		رینکچر 1	545	1088	1.97	0.507
		رینکچر 2	145	228	3.82	0.262
9	شبکه قطری با ابعاد 32x32	سازه	2113	4224	1	————
		رینکچر 1	545	1088	1.97	0.507
		رینکچر 2	145	228	3.52	0.262
10	مستطیل با ابعاد 16x8	سازه	561	1072	1	————
		رینکچر 1	153	280	1.915	0.522
		رینکچر 2	45	76	3.53	0.283
11	مثلث متساوی الاضلاع با طول ضلع 16 m	سازه	561	1584	1	————
		رینکچر 1	153	408	1.915	0.522
		رینکچر 2	45	108	3.53	0.283
12	شش ضلعی منظم با طول ضلع 8 m	سازه	817	2352	1	————
		رینکچر 1	217	606	1.94	0.515
		رینکچر 2	61	156	3.66	0.273

5-1- مقایسه بین طرح‌های 1 , 2 :

هدف از این طرح نشان دادن اثر آنالیز بر ایجاد خطا می باشد . طرح شماره 1 با آنالیز Δ طرح شماره 2 بدون تأثیر اثر Δ طراحی شده اند . نتایج نشان می دهند که در صورت نظر گرفتن اثر خطاها کاهش می یابد .

5-2- مقایسه بین طرح‌های 1 , 3 :

هدف از این طرح نشان دادن اثر شکل مقطع اعضا بر ایجاد خطا می باشد . در طرح شماره 1 با مقطع لوله و طرح شماره 3 با مقطع قوطی می باشد . نتایج نشان می دهند که خطای مقطع دایره ای کمتر از مقطع قوطی می باشد .

5-3- مقایسه بین طرح‌های 1 , 4 :

هدف از این طرح نشان دادن اثر بازشوهای سقف ، بر ایجاد خطا می باشد ، زیرا به علل طرح‌های معماری ممکن است ، چنین چیزی اتفاق بیفتد طرح شماره 1 سقف بدون بازشو و در طرح شماره 4 سقف با یک بازشو در وسط می باشد و نتایج نشان می دهند که سقف ، بدون بازشو دارای خطای کمتری می باشد .

5-4- مقایسه بین طرح‌های 5 , 4 :

هدف از این طرح نشان دادن اثر تعداد بازشوهای سقف بر ایجاد خطا می باشد طرح شماره 4 سقف با یک بازشو و طرح شماره 5 سقف با چهار بازشو می باشد نتایج نشان می دهند که با کاهش تعداد بازشوها خطاها کاهش می یابد و تعداد بازشوها با میزان خطاها نسبت مستقیم دارند .

5-5- مقایسه بین طرح‌های 6 , 1 :

هدف از این طرح نشان دادن اثر طرح سازه بر ایجاد خطا می باشد . طرح شماره 1 ، شبکه مربعی با اعضای قائم و طرح شماره 6 ، شبکه مربعی با اعضای قطری می باشد . نتایج نشان می دهد که خطا در شبکه مربعی با اعضای قائم نسبت به قطری کمتر می باشد .

5-6- مقایسه بین طرح‌های 7 , 6 :

هدف از این طرح نشان دادن اثر نوع طیف بر ایجاد خطا می باشد. در طرح شماره 6 از طیف IBC 2000 و طرح شماره 7 از طیف Euro cod استفاده شده است. نتایج نشان می دهند که خطا در طیف IBC کمتر از طیف Euro cod شد.

5-7- مقایسه بین طرحهای 6, 8 :

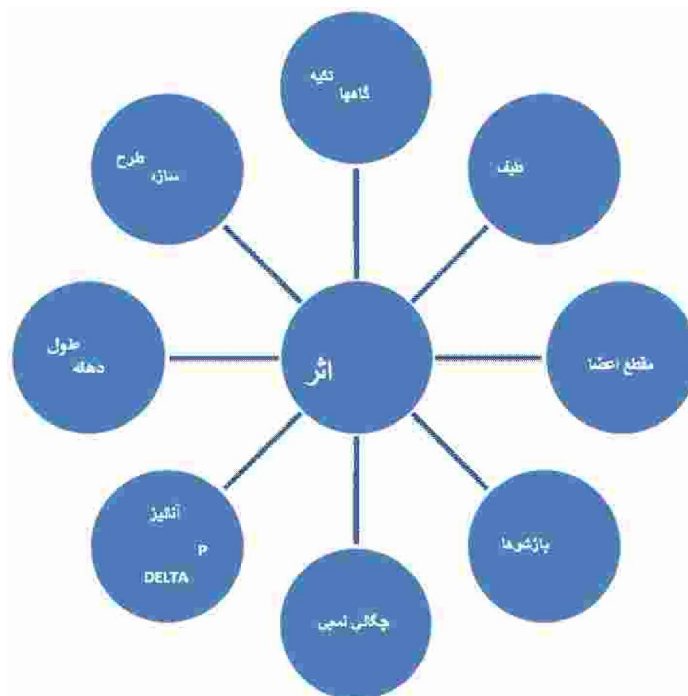
هدف از این طرح نشان دادن اثر تکیه گاههای مرزی بر ایجاد خطا می باشد. در طرح شماره 6 از 24 تکیه گاه غلطکی در چهار طرف سازه به فواصل (m) 2 به (m) 2 استفاده شده در طرح شماره 8 تکیه گاههای غلطکی حذف شده اند. نتایج نشان می دهد که وجود تکیه گاههای غلطکی در چهار طرف شبکه باعث کاهش خطا می شود.

5-8- مقایسه طرحهای 6, 9 :

هدف از این طرح نشان دادن اثر طول اعضا یا دهانه بر ایجاد خطا می باشد در طرح شماره 6 طول دهانه (m) 16*16 و در طرح شماره 9 طول دهانه (m) 32*32 می باشد. لازم به ذکر است که تعداد اعضا و گره ها در هر شبکه ثابت ولی طول اعضا افزایش پیدا کرده است نتایج نشان می دهد که خطا در شبکه، با طول دهانه کمتر، کاهش می یابد.

5-9- مقایسه بین طرحهای شماره 1,10,11,12:

هدف از این طرح نشان دادن اثر طرح سازه بر ایجاد خطا می باشد. و طرح شماره 1، شبکه مربعی و طرح شماره 10، شبکه مستطیلی و طرح شماره 11، شبکه مثلثی و طرح شماره 12، شبکه شش ضلعی منتظم می باشد. نتایج نشان می دهد که خطای مربع از مستطیل، مستطیل از مثلث و مثلث از شش ضلعی کمتر می باشد، به طور کلی هرچه طرح سازه به قطر متقارن تر باشد خطا کاهش می یابد.



شکل 2: اثر پارامترهای مختلف در ایجاد خطاهای ناشی از استفاده روش رینکشن در شبکه ها [3]

6. نتایج

با توجه به مقایسه های انجام شده نتایج به صورت ذیل جمع بندی می شوند :

- 1- می توان رفتار دینامیکی سازه های فضا کار را با تقریب خوبی پیش بینی نمود . هرچه چگالی نسبی کمتر کاهش پیدا کند ، درصد خطا نیز کاهش پیدا خواهد کرد یعنی هرچه از سازه اصلی دورتر می شویم و به سمت رینکچر 2 می رویم درصد خطا افزایش می یابد .
- 2- خطای شبکه قائم کمتر از شبکه قطری است .
- 3- خطای مربع از مستطیل ، مستطیل از مثلث و مثلث از شش ضلعی منتظم کمتر است .
- 4- با در نظر گرفتن اثر $P-\Delta$ خطاها کاهش می یابد .
- 5- خطا در شبکه ای با مقطع اعضای دایره ای ، از شبکه با مقطع اعضای قوطی کمتر است .
- 6- هرچه تعداد بازشو در سقف کمتر باشد خطا نیز کمتر است .
- 7- در صورت استفاده از طیف IBC به جای استفاده از طیف Euro code خطا کاهش پیدا می کند .
- 8- استفاده از تکیه گاههای غلطکی در نقاط مرزی باعث کاهش خطا می شود .
- 9- خطا در شبکه با دهانه و طول عضو کوچکتر کمتر است .
- 10- خطای نیروی برشی بیشتر از دیگر پارامترها مانند لنگر خمشی و نیروی محوری و غیره است .

- [1] Khabbazan M.M, 1989, The Renecture Method for Analysis of Space Frame, Ph.D, Thesis University of Surrey.
- [2] Anekwe C.M , 1984, Reducation Method of Analysis for Dense Space Structure, ph.D, Thesis , university of Surrey .
- [3] یوسفی، ا.، 1383، پیش بینی اثر زلزله بر سازه های فضا کاریک لایه تخت و بررسی کاهش خطاهای ناشی از آن، پایان نامه کارشناسی ارشد "سازه"، دانشگاه آزاد واحد نجف آباد، دانشکده عمران.
- [4] باجی، ح.، و هاشمی، ج.، 1380، تحلیل و طراحی سه بعدی سازه های ساختمانی، مرجع جامع نرم افزار ETABS2000، دانشگاه هرمزگان، مرکز خدمات فرهنگی سالکان
- [5] باجی، ح. و هاشمی، ج.، 1382، پروژه های کاربردی در تحلیل و طراحی کامپیوتری سازه ها
- [6] باجی، ح. و هاشمی، ج.، 1381، طراحی سازه های فولادی با استفاده از نرم افزار ETABS2000، دانشگاه زنجان، مرکز خدمات فرهنگی سالکان
- [7] فامورزاده، ف.، ۱۳۸۰، راهنمای فارسی SAP 2000 تحلیل استاتیکی و دینامیکی سازه ها
- [8] ویلسون، ا.، داوود نبی، م. و لاجوردی، م. و احمدی بیدگلی، ح.، 1380، برنامه عمومی تحلیل و طراحی سازه ها SAP2000، جلد یک