



Kardan Research Journal (KRJ)

Recognized by the Ministry of Higher Education, Afghanistan.
Journal homepage: krj.kardan.edu.af

تأثيرات نامنظمی های هندسی در ساختمان های آهن کانکریتی به اساس پاسخ لرزه ای

Zabihullah Dalil Shinwari
Sayed Dawood Karimi

To cite this article: . Z. D. Shinwari and S. D. Karimi, "تأثيرات نامنظمی های هندسی در " ساختمان های آهن کانکریتی به اساس پاسخ لرزه ای", *Kardan Research Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 166–182, 2024.



© 2024 The Author(s). This open access
Article is distributed under a Creative
Commons Attribution (CC-BY) 4.0 license.



Published online: 31 December 2024



Submit your article to this journal

تأثیرات نامنظمی های هندسی در ساختمان های آهن کانکریتی به اساس پاسخ لرزه ای

Kardan Research Journal
1 (1) 166 – 182
©2024 Kardan University
Kardan Publications
Kabul, Afghanistan

Received: 24 Sep 24
Revised: 25 Oct 24
Accepted: 28 Nov 24
Published: 31 Dec 24

Zabihullah Dalil Shinwari
Sayed Dawood Karimi

چکیده

تحلیل نامنظمی های هندسی در ساختمان در برابر زلزله به همان اندازه مهم هست که نوع اسکلیت آن مهم هست. با این حساب، عدم در نظر گرفتن این موضوع بطور دقیق در تحلیل و دیزاین یک ساختمان به ویژه آنهایی که در یک منطقه لرزه خیز شدید قرار دارند، به یک موضوع نگران کننده تبدیل می شوند. اکثراً ساختمان ها دارای ترکیبی از بی نظمی ها میباشند، بنابراین، در نظر گرفتن یک بی نظمی خاص (منفرد) ممکن است پیش بینی معقولی از عملکرد لرزه ای یک ساختمان را ارائه ندهد. این تحقیق به بررسی پاسخ لرزه ای ساختمانهای کانکریتی با انواع بی نظمی های هندسی فردی و ترکیبی می پردازد، که برای این هدف یک فریم ساختمانی منظم $G+7$ طبقه با ادغام بی نظمی های مختلف هندسی در مستوی افقی و/یا عمودی آن تغییر داده شده است. با در نظر داشت شرایط که کود برای این نوع ساختمانها پیشنهاد می کند، در این تحقیق علاوه با یک ترتیب منظم، شش ترتیب نامنظم در ساختمان تجزیه و تحلیل گردیده و با مقایسه آنها طیف پاسخ ساختمان مشخص گردیده است. مقایسه بین همه مودل ها بر اساس برش پایه، پیوند، سختی طبقه، جابجایی جانی، دررفت های منازل، خروج از مرکز و نامنظمی پیچشی صورت گرفته است. نتایج نشان می دهد که در میان مودل های با بی نظمی های فردی، مودل نامنظم افقی (مودل ۷) در هنگام زلزله آسیب پذیرترین است، در حالی که مودل نامنظم عمودی (مودل III) عملکرد لرزه ای بهتری نشان می دهد. علاوه بر این، مودل با بی نظمی های ترکیبی (مودل VII) مقاومت لرزه ای کلی بهتری را نشان داده است، که نشان می دهد ترکیب های خاصی از بی نظمی ها ممکن است اثرات منفی لرزه ای را کاهش دهند. بر اساس این یافته ها، توصیه می شود که طراحان به دقت نوع، درجه و محل بی نظمی ها را برای بهینه سازی عملکرد ساختمان و اطمینان از مقاومت لرزه ای در نظر بگیرند. اقدامات تقویتی باید برای ساختمان های نامنظم افقی اولویت بندی شوند، در حالی که عقب نشینی های عمودی باید با سختی کافی طراحی شوند تا از کاهش ناگهانی سختی و تغییر مکان بیش از حد جلوگیری شود.

کلمات کلیدی: بی نظمی های هندسی، جابجایی افقی، جابجایی نسبی افقی، سختی طبقات، بی نظمی پیچشی

مقدمه

چگونگی ترتیب فریم های که ساختمان را تشکیل میدهد به اندازه قابل ملاحظه درمقاومت ساختمان تأثیر می گذارد. تجارب که از زلزله های قبلی بدست آمده است، نشان می دهد که ساختمان های ساده و یکنواخت درمقابل زلزله آسیب کمتری متبقل می شوند نظریه ساختمانهای که ازیک ترتیب پیچیده و غیرمنظم برخوردار میباشند [1].

هنگامی که یک ساختمان در معرض بار دینامیکی زلزله قرار می گیرد، نیروهای اینرشیایی در آن ایجاد می شوند که در مرکز کتله ساختمان متمرکز می گردند. نیروهای مقاوم جانبی عناصر ساختمانی مانند ستون ها و دیوارهای برشی، در برابر نیروهای اینرشیایی زلزله مقاومت می کنند و محصله آن ها در نقطه ای که به عنوان مرکز سختی ساختمان شناخته می شود، متمرکز می گردد [2]. در صورتی که مرکز سختی با مرکز کتله مطابقت نداشته باشد، باعث ایجاد خروج از مرکزیت در ساختمان می شود [6] - [3]. این خروج یا دوری از مرکز در یک ساختمان به دلیل ترتیب نامنظم آن رخ می دهد که باعث ایجاد پیچش در ساختمان می شود. بنابراین، موقعیت، اندازه و جهت گیری عناصر ساختمانی تأثیر قابل توجهی بر پیچش دارند، که در نتیجه آن ساختمان دچار آسیب می گردد [7].

ساختمان های منظم هیچ ناپیوستگی قابل توجهی درکتله و سختی در مستوی های عمودی و افقی ندارند، و به همین دلیل تغییرشکل های که از اثر ناپیوستگی های ساختمان ناشی می شوند در ساختمان های منظم خیلی اندک است [11]- [8]. از جاییکه ما درعصر حاضر در شرایط زندگی می کنیم که رشد نفوس به شکل سرسام آوری درحال افزایش است واز طرف دیگر، یک خواست که بین تمام استفاده کننده های ساختمان مشترک به نظر می رسد، زیبایی داخلی وخارجی ساختمان هست. اکثراً، این خواست در ایجاد نامنظمی ها به شکل عمودی در ارتفاع و به شکل افقی در پلان ساختمان محقق می شود، پس بنظر میرسد اینکه ایجاد نامنظمی درساختمان بدلیل مهندسی در اکثر مواقع بخاطر ارضاء خواست استفادکننده های ساختمان یک امر حتی می باشد [13]، [12]. بنابراین، نظریه مشکلات که نامنظمی های عمودی وافقی درساختمان ایجاد می کنند، باید این فکتور مهم را مثل تمامی فکتورهای مهم ساختمان درنظر گرفت وبا درنظرداشت این فکتور مهم ساختمان را تحلیل و دیزاین کرد [14].

مطالعات متعددی قبلی تأثیر بی نظمی های هندسی بر عملکرد لرزه ای را بررسی کرده اند. ناوین و همکاران [1] ساختمانهای نامنظم را تحت بارهای زلزله تحلیل کرده و آسیب پذیری طرح های غیر یکنواخت را برجسته کردند. علوی و راو [2] بی نظمی های پلان را در مناطق با لرزه خیزی بالا مطالعه کرده و نشان دادند که کنج های جانبی در پلان ساختمان به طور قابل توجهی تقاضای ساختمانی را افزایش می دهند. سرکار و همکاران [3] بر بی نظمی های عمودی در ساختمانهای با عقب نشینی های عمودی تمرکز کرده و بر نیاز به استراتژی های طراحی بهبود یافته تأکید کردند. مومن و همکاران [4] ساختمانهای چند طبقه L شکل را بررسی کرده و نشان دادند که ناپیوستگی های کتله و سختی منجر به پاسخ های لرزه ای تقویت شده می شوند. در حالی که این مطالعات بینش های ارزشمندی ارائه می دهند، آنها عمدتاً بر انواع خاصی از بی نظمی ها (بی نظمی های منفرد) تمرکز دارند به جای یک رویکرد ترکیبی (بی نظمی های ترکیبی). تحقیق حاضر با تحلیل هر دو بی نظمی هندسی (عمودی و افقی) بر اساس یافته ها، به درک جامع تری از عملکرد لرزه ای در ساختمانهای کانکریکی نامنظم کمک می کند.

۲. اهمیت تحقیق

مطالعه که دراین تحقیق صورت گرفته روی پاسخ لرزه ای می پردازد که ساختمان های کانکریکی اکثراً با آن مواجه است. مثل نامنظمی های هندسی منفرد، ترکیبی و پیچیده که در پلان های عمودی وافقی ساختمان اتفاق می افتد. هدف از

این مطالعه دریافت نمودن بحرانی ترین وضعیت است که از اثر بی نظمی هندسی بوجود می آید. ساختمان های کانکریتی دارای انواع مختلف نامنظمی های پیچیده هندسی منفرد و ترکیبی هستند که باید در تحلیل و دیزاین در پلان های عمودی و افقی ساختمان در نظر گرفته شوند. هدف اصلی این تحقیق هم این است که از بین تمام نامنظمی های افقی و عمودی که در موقع زلزله در ساختمان ایجاد می شود بحرانی ترین آنها تشخیص و انتخاب گردد سپس نظریه شرایط که این وضعیت بالای ساختمان ایجاد می کند با در نظر داشت آن تحلیل و دیزاین ساختمان صورت گیرد.

با وجود مطالعات گسترده در مورد رفتار لرزه ای ساختمان های آهن کانکریتی، تحقیقات محدودی در مورد تأثیر ترکیبی بی نظمی های هندسی عمودی و افقی در ساختمان های تحت بارهای زلزله انجام شده است. مطالعات موجود عمدتاً بر بی نظمی های فردی تمرکز دارند و اثرات تعاملی را که ممکن است به طور قابل توجهی پاسخ لرزه ای ساختمان را تغییر دهند، نادیده می گیرند. این مطالعه هدف دارد تا این خلا تحقیقی را با تحلیل ترتیب های مختلف بی نظمی، هم به صورت فردی و هم به صورت ترکیبی، پر کند تا درک جامع تری از تأثیر آنها بر عملکرد لرزه ای ارائه دهد. با ارزیابی پارامترهای لرزه ای مانند برش پایه، جابجایی جانبی، تغییر مکان طبقه و بی نظمی پیچشی، این تحقیق بینش هایی ارائه می دهد که می تواند به توسعه رهنمود های (کود ها) طراحی بهبود یافته برای ساختمان های نامنظم در مناطق زلزله خیز کمک کند.

۳. بیان چالش

از آنجایی که ما در شرایط زندگی می کنیم که استفاده کننده های ساختمان اهمیت ویژه به ظاهر ساختمان به لحاظ زیبایی آن میدهند، ولی این زیبایی اکثراً بدون تغییر در پلان های عمودی و افقی ساختمان محقق نمی شود. در صورت ایجاد این تغییرات بی نظمی های هندسی در سطوح افقی و عمودی ساختمان ایجاد می گردد که این بی نظمی ها منتج به ضعف در رفتار ساختمان در برابر قوای جانبی که عموماً عامل آن زلزله می باشد می گردد. در صورتیکه این بی نظمی ها با دقت کامل با در نظر داشت موقعیت و شرایط هندسی ساختمان بطور دقیق و همه جانبه لحاظ نگردد، ممکن باعث وضعیت نامتقارن در مقاومت ساختمان گردد که شکست ساختمان را قبل از مقاومت نارمل آن حتی میسازد.

۴. روش تحقیق

الف. روش تحلیل لرزه ای

روش های مختلفی برای تحلیل ساختمان در برابر زلزله با درجات مختلف دقت و مؤثریت وجود دارند. اینکه از کدام روش تحلیل برای ساختمان استفاده کرد، معمولاً به عواملی مانند نوع بارهای خارجی (ستاتیکی و دینامیکی)، رفتار لرزه ای ساختمان، خواص الاستیکی و پلاستیکی مواد ساختمانی که استفاده شده و نوع مدل که برای ساختمان انتخاب شده (1D، 2D، یا 3D) بستگی دارد [14]. روش تحلیل که در این تحقیق ترجیح داده شده با در نظر داشت پارامترهای که در فوق ذکر گردیده است دو روش هست: روش تحلیل خطی ستاتیکی و دینامیکی.

i). **تحلیل ستاتیکی خطی:** این روش که یکی از ساده ترین روش های تحلیل لرزه ای ساختمان به حساب می آید زیاد مورد استفاده می باشد. در این روش مقدار قوه های جانبی به اساس پیروید ساختمان در نظر گرفته می شود که فارمول های مورد نیاز آن از کدها گرفته می شود. اساس و پایه این نوع تحلیل که قسماً ستاتیکی و قسماً دینامیکی می باشد بر بنیاد مود منفرد سترکچر ساختمان می باشد [14]. این نوع تحلیل بیشتر در ساختمان های با ارتفاع نسبتاً کمتر که در زون زلزله نه چندان شدید باشد و از لحاظ شکل ساختمان در نامنظمی پیچیده قرار نداشته باشد بیشتر استفاده می گردد.

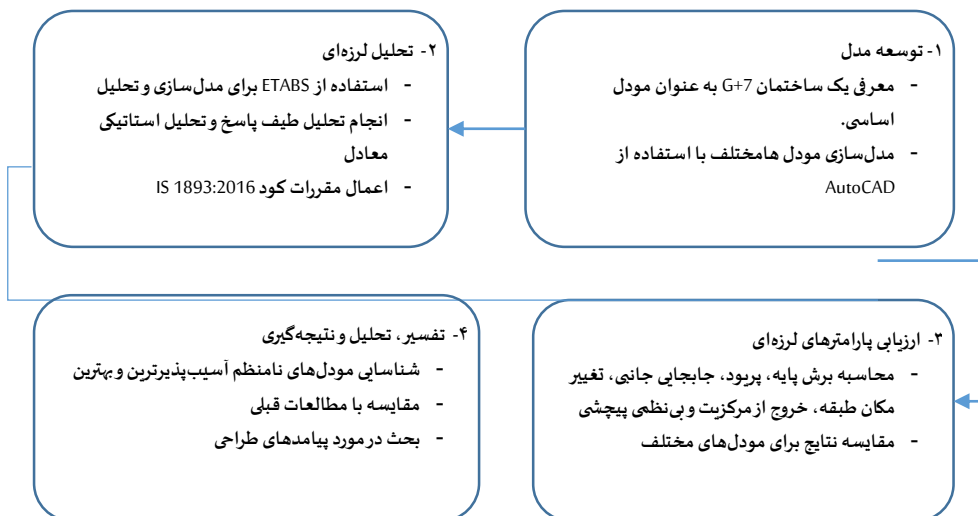
ii). تحلیل دینامیکی خطی: روش تحلیل دینامیکی خطی به نام روش تحلیل چندین مود نیز یاد میشود. در این روش پاسخ ساختمان تحت زلزله در ضرایبی ضرب می شوند تا حداکثر تغییر شکل در ساختمان لحاظ شود و قوه های داخلی در ساختمان های با رفتار غیرخطی و شکل پذیر بزرگتر از قوه های قابل تحمل ساختمان برآورده شوند [14]. این روش بیشتر در ساختمانهای با ارتفاع بلند در زون زلزله شدید پیشنها می گردد. در صورت موجودیت نامنظمی در پلانهای ساختمان این روش نظریه روش تحلیل استاتیکی خطی موثریت ودقت بیشتر دارد.

ب. ترکیبات بارها

تمام استانداردهای بین المللی توصیه می کنند که بارها باید توسط فکتورهای که بار را افزایش میدهند ترکیب شوند تا اطمینان حاصل گردد از اینکه مقاومت ساختمان از بزرگترین باری که از اثر ترکیبات قوه بدست آمده باشد بیشتر گردد [16]. ترکیبات حاوی بار مرده، بار زنده و بار لرزه ای بر اساس تحلیل استاتیکی معادل و تحلیل طیف پاسخ، به شرح زیر است.

- i. $1.4D$
- ii. $1.2D + 1.6L + 0.5Lr$
- iii. $1.2D + 1.0L + 1.6Lr$
- iv. $1.2D + 1.6(0.75 PL) + 0.5Lr$
- v. $1.2D + 1.6L + 0.5S$
- vi. $1.2D + 1.0L + 1.6S$
- vii. $0.9D \pm 1.0W$
- viii. $1.2D + 1.0L + 0.5Lr \pm 1.0W$
- ix. $1.2D + 1.6Lr \pm 0.5W$
- x. $1.2D + 1.6S \pm 0.5W$
- xi. $1.2D + 1.0L + 0.5S \pm 1.0W$
- xii. $0.9D \pm 1.0E$
- xiii. $1.2D + 1.0L + 0.2S \pm 1.0E$

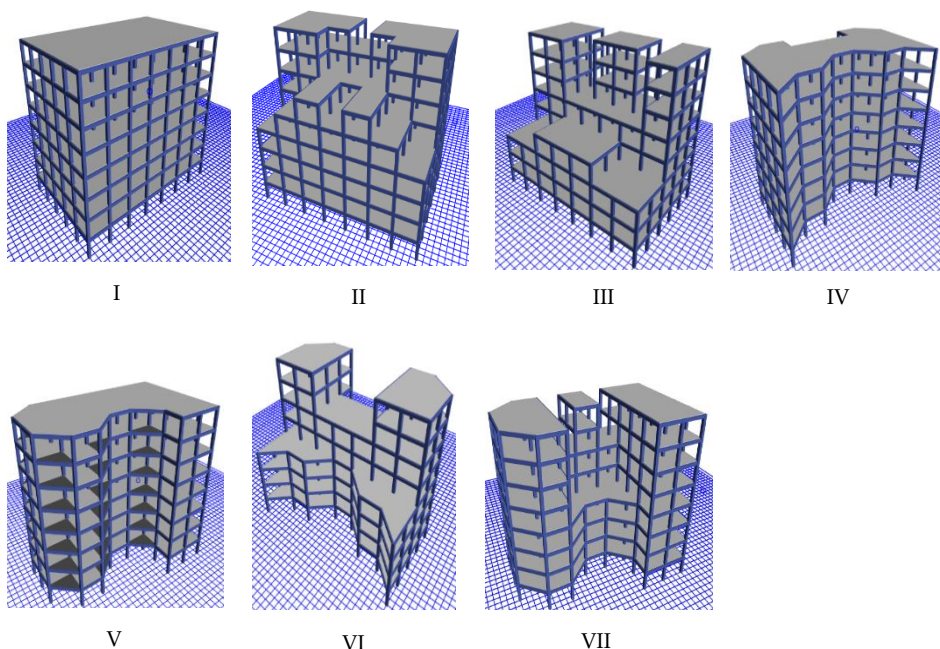
ج. چارت جریان روش تحقیق



شکل-۱: چارت جریان روش تحقیق

د. مودلهای در نظر گرفته شده

ساختمان که به شکل منظم به تعداد منازل G+7 مدل گردیده است (مودل I) با ترکیب بی نظمی های هندسی مختلف برای شش مودل (مودل II الی مودل VII) با نامنظمی های هندسی دیگر اصلاح گردیده است. می شود گفت اینکه از بین شش مودل مورد مطالعه چهار مودل دارای بی نظمی هندسی منفرد و دو مودل دیگر آن دارای بی نظمی ترکیبی و پیچیده می باشد. هدف اصلی این است که تمام مودل ها با در نظر داشت قوای جانبی (زلزله) مورد مطالعه قرار گیرد سپس همه آنها بر اساس پارامترهای مثل برش پایه، جابجایی جانبی، بافت طبقات، دوری از مرکز، زمان تناوب و نامنظمی پیچشی مقایسه شوند.



شکل-۲: مودل های در نظر گرفته شده (I-VII)

۵. تحلیل نتایج

مقایسه همه مودل ها بیشتر با در نظر داشت جهت کوتاه (Y) ساختمان صورت گرفته است.

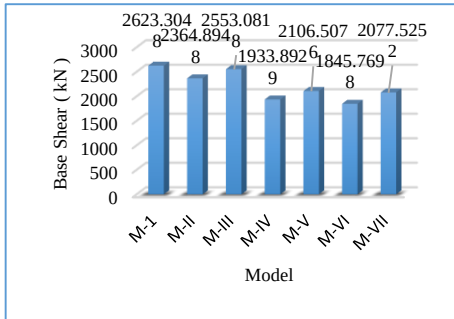
الف. برش پایه (Base Shear)

جدول-۱: وزن لرزه ای (Seismic Weight) و برش پایه (Base Shear)

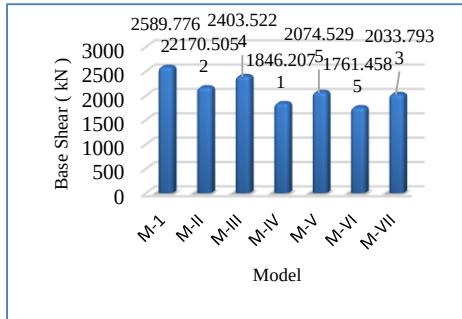
Model		I	II	III	IV	V	VI	VII
Seismic Weight (kN)		56842.1	42036.53	47822.57	42091.94	46000.95	34202.76	42515.87
Base Shear (kN)	X	2589.776	2170.505	2403.522	1846.207	2074.53	1761.459	2033.793
	Y	2623.305	2364.895	2553.082	1933.893	2106.508	1845.77	2077.525

جدول ۲: Seismic Weight و Base Shear به فیصد

Model		I	II	III	IV	V	VI	VII
Seismic Weight (%)		100	73.953	84.132	74.050	80.927	60.171	74.796
Base Shear (%)	X	100	83.810	92.808	71.288	80.104	68.015	78.531
	Y	100	90.149	97.323	73.719	80.299	70.360	79.194



(ب)



(الف)

شکل ۳: الف. Base Shear در جهت X، ب. Base Shear در جهت Y

شکل ۳ (ب) نشان می‌دهد که با تغییر درجه و موقعیت بی‌نظمی در (پلان، ارتفاع یا هر دو)، برش پایه ساختمان تغییر می‌کند. مدل II و III از نظر هندسی عمودی نامنظم هستند و تقریباً نسبت عقب‌نشینی یکسانی دارند که از طبقه سوم در مدل II و از طبقه چهارم در مدل III اختصاص داده شده است. برش پایه مدل‌های II و III به ترتیب 9.85% و 2.68% کمتر از مدل منظم است. این تغییر به دلیل تغییر موقعیت بی‌نظمی هر مدل است.

مدل IV و V از نظر هندسی افقی نامنظم هستند و فیصدی های مختلف کنج های جانبی دارند. مدل IV دارای 34.28% کنج های جانبی است در حالی که در مدل V این مقدار 22.85% است. برش پایه مدل‌های IV و V به ترتیب 26.28% و 19.7% کمتر از مدل منظم است. این تفاوت به دلیل تغییر در مقدار کنج های جانبی هر مدل است. مدل‌های VI و VII دارای ترکیبی از بی‌نظمی های هندسی عمودی و افقی هستند و فیصدی کنج های جانبی برای هر دو مدل همانند مدل های IV و V است. نسبت عقب‌نشینی عمودی در مدل VI بیشتر از مدل VII است که از طبقه چهارم در هر دو مدل اختصاص داده شده است. برش پایه های مدل VI و VII به ترتیب 29.64% و 20.8% کمتر از مدل منظم است. این تغییر به دلیل تغییر در مقدار کنج های جانبی و عقب نشینی عمودی هر مدل است. برش پایه برای مدل ساختمان منظم (مدل I) حداکثر (2623.305 kN) و برای مدل ساختمان نامنظم (مدل VI) که دارای بی‌نظمی هندسی ترکیبی است حداقل (1845.77 kN) است.

ب. پریود زمانی (Period)

جدول ۳: Period محاسبه شده با استفاده از فورمول تجربی کود ($T_a = 0.09h/\sqrt{d}$)

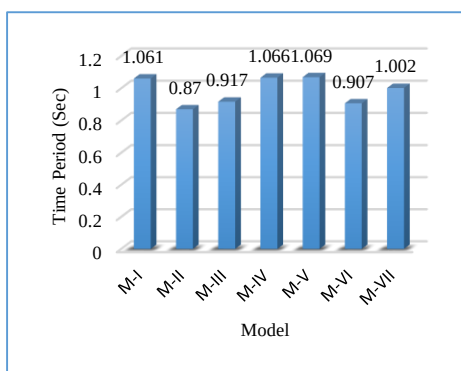
Model		I	II	III	IV	V	VI	VII
Period (sec)	X	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
	Y	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51

جدول ۴: Period محاسبه شده توسط سافتویر

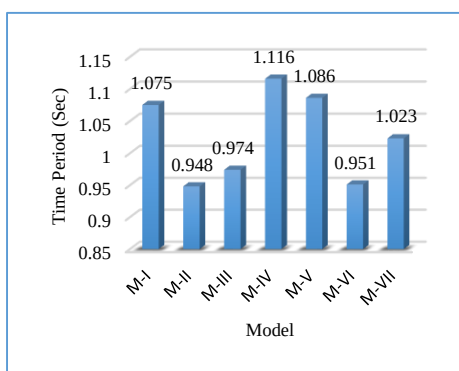
Model	I	II	III	IV	V	VI	VII
Period (sec)							
X	1.075	0.948	0.974	1.116	1.086	0.951	1.023
Y	1.061	0.87	0.917	1.066	1.069	0.907	1.002

در جدول ۳ و ۴ مشاهده میشود، ازجایکه ابعاد جانبی تمام مدل ها مشابه می باشد برای همین پریود زمانی برای تمام آنها با استفاده از فورمول مساوی می باشد. درحالیکه محاسبه پریود زمانی توسط سافتویر نشاندهنده نوسانات برای هرمدل بوده که این موضوع گویایی این است که زمان اساسی تناوب برای فریم های نامنظم هندسی تنها وابسته به ارتفاع و وسعت ساختمان نیست، بلکه به اندازه درجه نامنظمی و موقعیت که ساختمان اعماری گردد نیز بستگی دارند.

به اساس شکل-۴، بزرگترین قیمت پریود برای مدل نامنظم هندسی افقی (مدل V) بوده و کمترین قیمت برای مدل نامنظم هندسی عمودی (مدل II) بوده است. درزمان تناوب بعضی از مدلها یک تغییرات اتفاق افتاد که بدون دقت درتحلیل تقریباً خیلی مشکل بود تامتوجه آن شویم که این وضعیت ناشی بوده از تغییرات نامنظم درسختی وکثله ساختمان. همچنان سختی طبقه درمدل ساختمان نامنظم کاهش پیدا کرده نظریه مدل ساختمان منظم که این خود می تواند توجیه کننده یکی از دلایل نامنظمی باشد.



(ب)



(الف)

شکل ۴: الف. Period درجهت X، ب. Period درجهت Y

ج. سختی طبقات (Storey Stiffness)

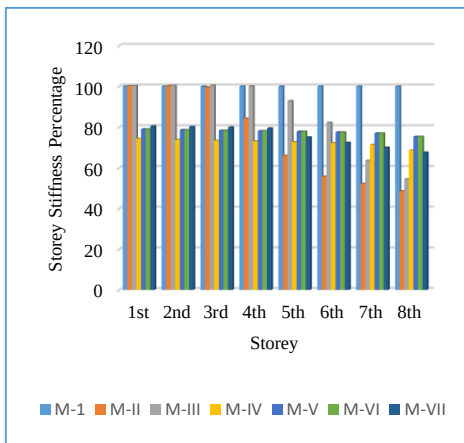
سختی طبقاتی مدل های نامنظم نسبت به نمونه منظم کاهش یافته است. این به دلیل بی نظمی آنها است که تعداد ستون ها و سختی مربوطه آنها را در جایی که وجود دارند کاهش داده است. قسمی که در شکل-۵ (ب) مشاهده می شود سختی هر دو مدل نامنظم افقی کاهش پیدا کرده نظریه مقایسه که با مدل منظم صورت گرفته است ولی در ارتفاع ساختمان ثابت باقی می ماند. برعکس نامنظمی های هندسی عمودی تغییرات سختی را در ارتفاع ساختمان شاهده است که از جمله مدل های که دارای نامنظمی هندسی عمودی هست مدل II کمترین سختی را در منازل بالا داشته است.

د. جابجایی افقی طبقات (Storey Lateral Displacement)

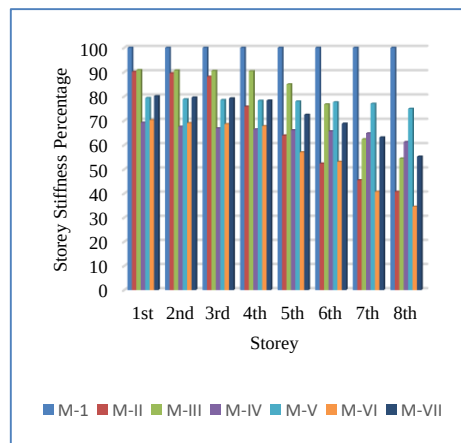
جدول-۵: جابجایی افقی طبقه نهایی به فیصد

Model		I	II	III	IV	V	VI	VII
Top-Storey Lateral Displacement (%)	X	100	116.210	115.644	119.669	108.160	109.027	103.604
	Y	100	106.153	95.687	101.085	110.430	98.741	100.040

به اساس شکل-۶ (ب) می توان گفت بی نظمی عمودی درمادل III نظریه دیگر مادل ها نشاندهنده کمترین حد ممکن جابجایی جانبی با مقدار (18.862 mm) بوده درحالیکه بی نظمی افقی درمادل V نشاندهنده بحرانی ترین جابجایی درقسمت بالای بامقدار (21.768mm) را دارا می باشد. این در حالی است که بیشترین جابجایی جانبی درحد مجاز که بواسطه کود تعیین می شود باید بیشتر از 0.004H نگردد که درمحاسبات ما 96mm میشود.

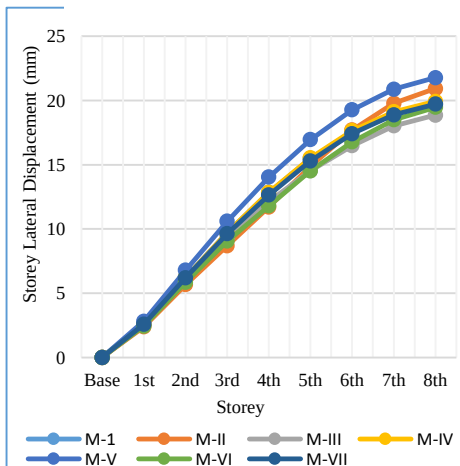


(ب)

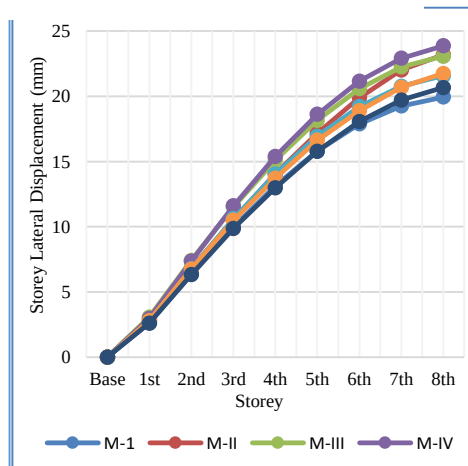


(الف)

شکل-۵: الف. Storey Stiffness درجهت X، ب. Storey Stiffness درجهت Y



(ب)

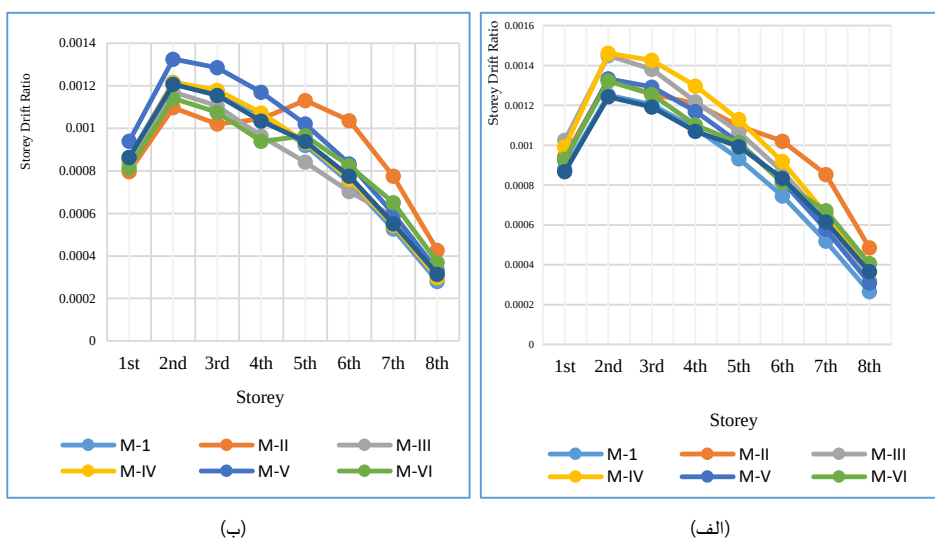


(الف)

شکل-۶: الف. Lateral Displacement درجهت X، ب. Lateral Displacement درجهت Y

ه. جابجایی نسبی افقی طبقات (Storey Drift)

قسمت که در شکل ۷-ب) دیده می شود پی نظمی عمودی در مودل III نشاندهنده بهترین عملکرد و پی نظمی افقی در مودل ۷ نشاندهنده بدترین عملکرد در برابر جابجایی ها به شکل کلی آن می باشد. تمام مودل ها به استثنای مودل II بیشترین جابجایی در منزل دوم شان دارند. همچنان یک جهش در جابجایی های جانبی نیز در مودل VI و II بوجود آمده که این جهش در منزل چهارم و پنجم مودل VI و در منزل سوم و پنجم II دیده می شود. این وضعیت می تواند گویایی تغییر آمدن در سختی مودل از اثر نامنظمی در پلان ساختمان باشد.

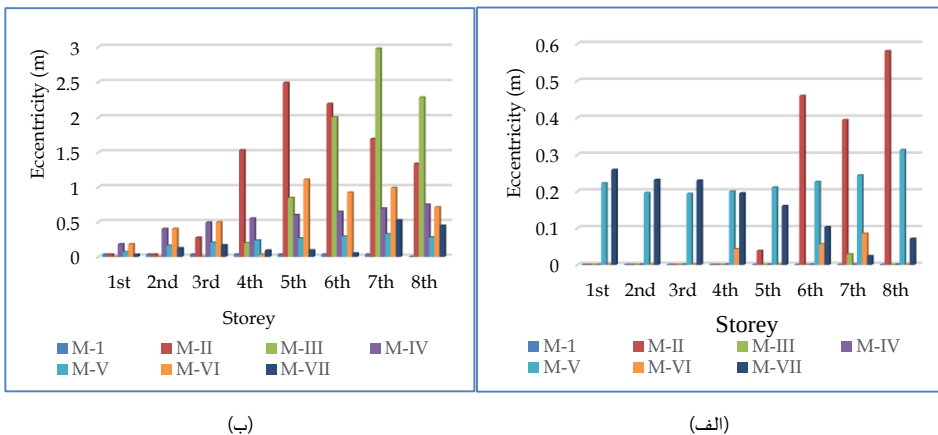


شکل ۷: الف. Storey Drift در جهت X، ب. Storey Drift در جهت Y

ارتباط بین پی نظمی های هندسی و عملکرد لرزه ای از تغییرات در برش پایه، جابجایی جانبی و تغییر مکان طبقه در مودل های مختلف مشهود است. نتایج نشان می دهد که ساختمان های نامنظم افقی مانند مودل ۷ بیشترین جابجایی جانبی و تغییر مکان طبقه را دارند و آنها را در برابر نیروهای لرزه ای آسیب پذیرتر می کند. این به دلیل توزیع نابرابر کتله و سختی است که منجر به تغییر شکل بیش از حد و اثرات پیچشی می شود. در مقابل، مودل های نامنظم عمودی مانند مودل III عملکرد لرزه ای برتری را نشان می دهند، با مقادیر جابجایی کمتر و توزیع سختی بهتر، زیرا عقب نشینی ها به کاهش پاسخ های دینامیکی کمک می کنند. با این حال، هنگامی که پی نظمی های افقی و عمودی ترکیب می شوند مانند مودل VII، تعامل آنها عملکرد لرزه ای را به طور متفاوتی تحت تأثیر قرار می دهد یعنی ترکیبات خاص با تعادل سختی، پاسخ ساختمانی را بهبود می بخشد، در حالی که برخی از ترکیبات دیگر ناپایداری را تشدید می کنند. این یافته ها تأیید می کنند که نوع، بزرگی و توزیع پی نظمی به طور قابل توجهی بر رفتار لرزه ای تأثیر می گذارد و باید در طراحی مقاوم در برابر زلزله به دقت مورد توجه قرار گیرد.

و. دوری از مرکز (Eccentricity)

معمولاً در ساختمان های با نامنظمی های هندسی مراکز سختی و کتله در یک نقطه نمی باشند و از هم فاصله دارند. این اختلاف فاصله بین مراکز باعث می شود تا ساختمان در موقع زلزله در اطراف محور عمودی آن پیچش (چرخش) غیر متوجه داشته باشد که بلاخره باعث کاهش قابل توجهی مقاومت ساختمان میشود.



شکل ۸: الف. Eccentricity در جهت X، ب. Eccentricity در جهت Y

طبق شکل ۸-، مدل ۷ و ۷II که در هر دو جهت افقی نامتقارن هستند، در جهت X نسبت به جهت Y بی مرکزیتی بیشتری نشان داده اند.

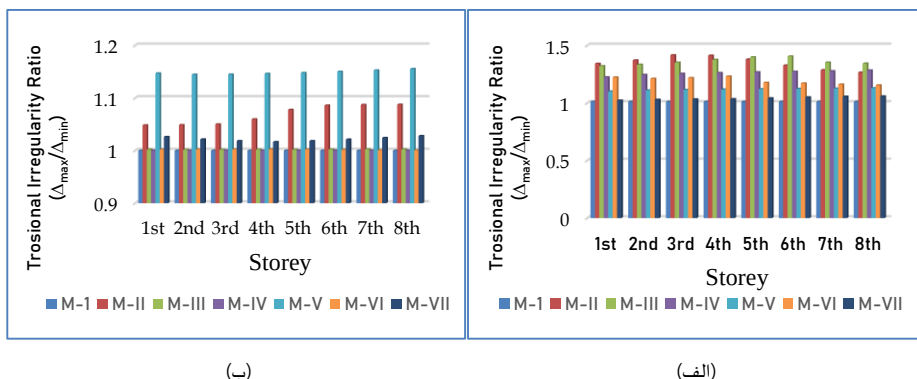
مدل II با طبقات بالایی نامتقارن، در هر دو جهت افقی برای طبقات بالایی بی مرکزیتی بیشتری نشان داده است.

مدل III با طبقات بالایی نامتقارن فقط در جهت X، بیشترین بی مرکزیتی را برای طبقه هفتم در جهت Y نشان داده است. مدل IV و VI که در جهت X نامتقارن هستند، فقط در جهت Y بی مرکزیتی نشان داده اند.

ز. نامنظمی پیچشی (Torsional Irregularity)

یک ساختمان زمانی دارای نامنظمی پیچشی می باشد که نسبت بزرگترین جابجایی جانبی یک انجام بر کمترین جابجایی جانبی انجام دیگر آن ($\Delta_{max}/\Delta_{min}$) برای هرپوشش درجهت قوای جانبی بزرگتر از 1.5 باشد. تحلیل که درمادل ها صورت گرفت که نتایج آنها در قالب گرافیکی ارائه گردیده است، نشان میدهد که نامنظمی پیچشی برای تمام مدل ها نظریه محدودیت های که کودها پیشنهاد می کند در حد مجاز هست. باوجود اینکه میدانیم این نسبت از حدمجاز خارج نیست بازم این نسبت را درین تمام مدل ها مقایسه می کنیم. ساختمانهای که بدون خروج از مرکز در نظر گرفته می شود باید نسبت نامنظمی پیچشی آن 1 و یا نزدیک به عدد 1 باشد [14],[16].

نامنظمی پیچشی ارتباط مستقیم با خروج از مرکز دارد البته با تفاوت محور، یعنی اگر ساختمان خروج از مرکز درجهت X داشته باشد نامنظمی پیچشی آن درجهت Y می باشد و برعکس. مطابق شکل ۹- (ب) مدل های IV، III، I و VI خروج از مرکز درجهت X ندارند بنابراین می توان گفت نامنظمی پیچشی درجهت Y هم ندارند.



شکل ۹: الف. Torsional Irregularity در جهت X، ب. Torsional Irregularity در جهت Y

مودل II که در هر دو جهت افقی دارای خروج از مرکز زیاد می باشد نشان دهنده اینست که دارای نسبت نامنتظمی پیچشی زیاد نیز در این دو جهت افقی می باشد. مودل III که خروج از مرکز بیشتر روی محور Y دارد دیده می شود که نسبت نامنتظمی پیچشی بیشتر روی محور X دارد.

مودل VII و VII که خروج از مرکزیت بیشتری در جهت X نسبت به جهت Y دارند، نسبت بی نظمی پیچشی بیشتری را در جهت Y در مقایسه با جهت X نشان می دهند.

مودل VII که ترتیب پلان مشابه با مودل V دارد، در طبقات بالایی در جهت Y خروج از مرکزیت بیشتری نسبت به مودل V دارد، اما نسبت بی نظمی پیچشی کمتری را در مقایسه با مودل V در جهت X نشان می دهد. این ممکن است نتیجه بی نظمی هندسی ترکیبی در مودل VII باشد که نشان می دهد ترکیب خاصی از بی نظمی ها می تواند پاسخ لرزه ای یک ساختمان را کاهش دهد.

جدول ۷-: پریود تناوب سه مود اول

Mode	Period (sec)						
	Model						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
1	1.075	0.948	0.974	1.116	1.086	0.951	1.023
2	1.061	0.87	0.917	1.066	1.069	0.907	1.002
3	1.007	0.765	0.809	1.021	1.014	0.862	0.993

جدول ۷- نشان دهنده دوره تناوب سه مود اول برای تمام مودل هاست. برای تمام حالت ها، قسم که دیده می شود دوره تناوب مود سوم پیچش کمتر است نسبت به دوم و انتقالی اول. به اساس شرایط که کود برای بی نظمی پیچشی تعریف می کند وقت چک صورت گرفت، هیچکدام از مودل ها دارای نامنتظمی پیچشی نیست.

جدول ۸-: نسبت سیمگبری کتله در موده های مختلف

Mass Participation Ratio in Different Modes												
Mo de	Model											
	I			II			III			IV		
	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ
1	0.82 34	0	0.00 03	0.51 9	0.00 56	0.26 33	0.60 12	4.49 E-06	0.213 1	0.71 79	6.88 E-07	0.10 01
2	0	0.82 23	0	0.01 12	0.73 82	0.00 03	7.45 E-06	0.80 69	0	1.17 E-06	0.81 98	0
3	0.00 03	0	0.82 45	0.21 84	0.00 66	0.45 26	0.21 14	3.21 E-06	0.585 8	0.10 21	7.60 E-07	0.72 05
4	0.09 86	0	3.75 E-05	0.14 29	0.00 05	0.02 8	0.07 91	8.76 E-06	0.022 6	0.09 04	0	0.01 16
5	0	0.10 1	0	0.00 06	0.14 73	0.00 07	1.37 E-05	0.10 29	1.11E -06	0	0.10 3	0
6	3.76 E-05	0	0.09 81	0.00 34	0.00 1	0.15 22	0.01 8	6.71 E-06	0.083 3	0.01 05	0	0.08 97
7	0.03 66	0	1.44 E-05	0.04 69	5.81 E-07	0.00 06	0.04 2	0	0.001 2	0.03 44	0	0.00 29
8	0	0.03 65	0	0	0.04 68	1.28 E-05	0	0.04 27	0	0	0.03 68	0
9	1.44 E-05	0	0.03 65	0.00 16	0.00 01	0.04 28	0.00 02	0	0.044 5	0.00 28	0	0.03 4
10	0.01 93	0	7.68 E-06	0.02 74	0.00 01	0.00 07	0.02 29	0	0.000 9	0.01 85	0	0.00 12

11	0	0.01 91	0	0.00 01	0.02 65	0.00 03	0	0.02 32	0	0	0.01 92	0
12	7.74 E-06	0	0.01 91	8.70 E-06	0.00 05	0.02 88	0.00 02	0	0.022 8	0.00 11	0	0.01 81
SU M	0.97 83	0.97 88	0.97 86	0.97 14	0.97 31	0.97 04	0.97 5	0.97 57	0.974 2	0.97 76	0.97 88	0.97 82
%	97.8 3	97.8 8	97.8 6	97.1 4	97.3 1	97.0 4	97.5	97.5 7	97.42 01	97.7 6	97.8 8	97.8 2
Cont....												
Mode	Model											
	V			VI			VII					
	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ			
1	0.76	0.02	0.0431	0.6526	0	0.1498	0.6941	0.0049	0.107			
2	0.03	0.76	0.0241	0	0.7866	5.49E-07	0.0518	0.5892	0.1714			
3	0.03	0.04	0.7559	0.1394	0	0.6207	0.0624	0.2165	0.5415			
4	0.09	0	0.0046	0.0718	4.49E-06	0.0583	0.1015	0.0006	0.0066			
5	0	0.1	0.0033	1.03E-05	0.1192	2.67E-06	0.0016	0.1013	0.0049			
6	0	0	0.0917	0.0407	7.95E-06	0.0738	0.004	0.0059	0.0899			
7	0.04	0	0.0009	0.0424	0	0.0001	0.0394	7.96E-06	0.0001			
8	0	0.03	0.0014	0	0.0432	1.05E-06	1.62E-05	0.0353	0.0037			
9	0	0	0.0343	1.56E-05	1.34E-06	0.0452	1.17E-05	0.0037	0.0335			
10	0.02	0	0.0003	0.0246	3.22E-06	0.0022	0.0218	2.27E-06	1.58E-05			
11	0	0.02	0.0008	8.01E-06	0.0251	1.39E-05	5.14E-06	0.019	0.0016			
12	0	0	0.0181	0.0013	2.22E-05	0.0224	5.18E-06	0.0016	0.0182			
SUM	0.98	0.98	0.9786	0.9729	0.9742	0.9725	0.9766	0.9781	0.9784			
%	97.8	97.9	97.86	97.29	97.42	97.25	97.66	97.81	97.84			

به اساس جدول ۸- می شود قضاوت کرد اینکه تعداد مود های انتخاب شده برای تمام مودل ها درست بوده چون حاصل جمع کتلوی مجموعی مود های مورد نظربیشتر گردیده از 97% کتله مجموعی که در برابر زلزله مورد نظربوده، درحالیکه کودها حاصل جمع کتلوی بیشتر از 90% را مجاز میداند برای تعیین تعداد مودها.

معمولاً درساختمان های منظم دومود اولی باید دارای نوسان خالص انتقالی وسومی پیچشی باشد، که این میکانیزم بطورکی برای ساختمان های نامنظم اجرایی نیست بدلیل تفاوت تغییرنوسانات که درسه مودل اولی ایجادمی شود [19]

- [17].

جدول-۹: تجزیه کتله مود در سه مود اول

Modal Mass distribution in %												
Mo de	Model											
	I			II			III			IV		
	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ	UX	UY	R Z
1	99.9636	0	0.036421	65.8713	0.71075	33.41795	73.829876	0.000552	26.1696	87.7628	8.41E-05	12.237
2	0	100	0	1.493931	98.46605	0.040016	9.23E-04	99.99908	0	1.43E-04	99.99986	0
3	0.03637	0	99.96363	32.2314	0.974026	66.79457	26.517706	0.000402	73.4819	12.4119	9.23E-05	87.588
Cont....												
M od e	Model											
	V			VI			VII					
	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ	UX	UY	RZ			
1	92.3	2.47	5.24714	81.33101	0	18.66899	86.11663	0.60794	13.27543			
2	3.97	93.1	2.93652	0	99.99993	6.98E-05	6.376169	72.5258	21.09798			
3	3.84	4.42	91.7466	18.33969	0	81.66031	7.606046	26.3896	66.00439			

مطابق جدول ۹- تقریباً در تمام مودل های نامنظم، مقدارازکته دومود انتقالی اولی شان صرف پیچیش شده بجای کته انتقالی خالص ویا جابجایی دریک جهت مشخص. این میکانیزمنتج به کاهش جابجایی جانی شده لاکن باعث تمرکز فشاردر بعضی اعضای وزن بردار و غیر وزن بردار نیز در ساختمان گردیده است. در اینجا خواست ما اینست تا تمام مودل ها را مقایسه کنیم به اساس فیصدی مقدار کته غیر متوقع که در مودل اول صرف پیچیش شده.

در مودل های نامنظم هندسی عمودی II و III بیشتر کتله های مودل شان صرف پیچش شده نظریه مقایسه که برای تمام مودل های نامنظم درمود اول صورت گرفته است. این بدان معنی هست که این مودل ها درمود اولی دربرابر پیچش خیل، آسیب پذیر هستند.

مودل IV و VI دارای یک ترتیب پلان یکسان هستند، اما مودل VI علاوه بر آن، دارای یک عقب گرد عمودی نیز می باشد. بنابراین، در مود اول، فیصدی بیشتری از کتله را از طریق پیچش نسبت به مودل IV صرف کرده است. همین وضعیت در مورد مودل V و VII نیز مشاهده می شود.

نمودل ۷ و ۷۱ در مود دوم و سوم خود نوعی نوسان ترکیبی را نشان داده‌اند که ممکن است به دلیل نامتقارن بودن آن‌ها نسبت به هر دو محور افقی باشد.

مشاهدات کلی نشان می‌دهد که ساختمان‌هایی که دارای بی‌نظمی هندسی عمودی یا عقب‌گرد های عمودی هستند، به‌ویژه در مود اول نوسان، در برابر پیکش آسیب‌پذیرتر می‌باشند.

یافته‌های این مطالعه با تحقیقات قبلی در مورد رفتار لرزهای در ساختمانهای نامنظم همخوانی دارد. [1] و [2] دریافتند که بی‌نظمی‌های پلان آسیب‌پذیری لرزهای را افزایش می‌دهند که با جابجایی جانی بالا و تغییر مکان طبقه مشاهده شده در مودل ۷ سازگار است. به طور مشابه، [3] گزارش دادند که عقب‌نشینی‌های عمودی بر سختی تأثیر می‌گذارد و نتایج مودل ۱۱ را تأیید می‌کند. با این حال، برخلاف مطالعات قبلی، این تحقیق بی‌نظمی‌های هندسی ترکیبی را بررسی می‌کند و

نشان می دهد که ترتیب های خاصی مانند مودل VII ممکن است عملکرد لرزه ای را بهبود بخشند. این بینش ها به درک جامع تری از رفتار ساختمان های نامنظم کمک می کند و می تواند راهنمایی های طراحی آینده را اطلاع رسانی کند.

نتیجه گیری:

بعد از ارزیابی که از جداول و نتایج گرافیکی مودل ها صورت گرفت، نتایج ذیل از این تحقیق بدست آمد.

- وزن ساختمان که در لرزه نقش اساسی دارد (وزن لرزه ای) مختلف بوده می تواند در صورتیکه درجه و موقعیت بی نظمی لحاظ گردد، که این موضوع تأثیر مستقیم بالای برش پایه ساختمان دارد.
- زمان تناوب یک چوکات غیر منظم تنها به ارتفاع و بزرگی زیربنای ساختمان بستگی ندارد قسمی که درکود توصیه شده، بلکه به درجه نامنظمی و موقعیت که منشأ این نامنظمی هست نیز بستگی دارد. بنا براین، تأثیری بی نظمی باید در محاسبات زمان تناوب ساختمان های غیر منظم در نظر گرفته شوند.
- بدلیل موجودیت بی نظمی هندسی در یک ساختمان سختی و کتله ساختمان کاهش پیدای می کند نظریه یک ساختمانی که دارای یک شکل منظم و ابعاد جانبی مساوی به همین ساختمان باشد. در صورتیکه فیصدی کاهش کتله در یک ساختمان غیر منظم بیشتر از فیصدی کاهش سختی آن باشد، این ساختمان نسبت به ساختمان منظم زمان تناوب کمتر خواهد داشت. بنابراین، در قسمت کاهش کتله نظریه سختی باید توجه خاص صورت گیرد.
- جابجای جانبی ساختمان اساساً بستگی دارد به سختی جانبی و قوای افقی که بالای آن وارد میگردند، ولی بعضی اوقات در یک ساختمان با ترتیب غیر منظم دموداولی به شکل خالص انتقالی نیستند، بدلیل اینکه این هم به نامنظمی پیچشی وابسته می باشد. برای همین، کتله بعضی از مودل ها در دموداولی در یک حالت غیر منتظره صرف پیچش شده که منتج به قطع ادامه جابجایی جانبی می گردد.
- هر چند میزان نامتقارن بودن در یک ساختمان بیشتر باشد به همان اندازه جابجای جانبی و دررفت جانبی طبقات بیشتر خواهد بود.
- افزایش ناگهانی دررفت طبقات ساختمان از عقب گرایی عمودی ساختمان اطلاع میدهد، بخاطر اینکه موجودیت یک عقب گرایی عمودی منتج به کاهش ناگهانی سختی ساختمان گردیده که این خود در میزان افزایش دررفت طبقه نقشی اساسی دارد. سپس، همین نقطه که شروع عقب گرایی عمودی در ساختمان هست باید بیشتر تقویت گردد.
- در ساختمان که دارای نامتقارنی بیشتر باشد میزان خروج از مرکز وی بی نظمی پیچشی نیز به همان اندازه ازدیاد پیدا میکند. دلیل اصلی اینست که فاصله که باعث دوری از مرکز شده یک بازوی برای مومنت پیچشی ایجاد می کند.
- بی نظمی ها همیشه پاسخ لرزه ای را افزایش نمی دهد، ولی ترکیب از بی نظمی ها یقیناً در کاهش پاسخ لرزه ای ساختمان نقش دارد.
- در ساختمان های نامنظم کتله بعضی از مودل ها در دموداول صرف پیچش شده به عوض جابجای و انتقال خالص در یک جهت مشخص که در کاهش جابجایی جانبی مؤثر بوده ولی در تمرکز فشار در بعضی اعضای وزن بردار و غیر وزن بردار نقش مهم داشته است.
- بر اساس یافته ها و مقایسه کلی از روی تحلیل نتایج، مودل ۷ در بین تمام مودل های نامنظم منحنی آسیب پذیرترین مودل و مودل III به عنوان خوبترین مودل در عملکرد لرزه ای شناخته شد. ولی به هیچ وجه این

موضوع به این معنی نیست که مودل III کاملاً در برابر زلزله مدنظر محفوظ هست، بلکه نامنظمی های دیگر نیز رول دارند تا مشخص کنند که این بهترین مودل هست یا خیر.

پیامدهای عملی یافته‌ها:

یافته‌های این مطالعه بینش‌های ارزشمندی برای انجمنیان ساختمانی، مهندسان و برنامه‌ریزان شهری که بر روی طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله کار می‌کنند، فراهم می‌کند. درک تأثیر بی‌نظمی‌های هندسی بر عملکرد لرزه‌ای به انجمنیان اجازه می‌دهد تا ترتیب‌های ساختمان را بهینه کنند تا آسیب‌ها در جریان زلزله به حداقل برسد. به عنوان مثال، اصلاحات طراحی در ساختمان‌های نامنظم افقی می‌تواند جابجایی جانبی بیش از حد را کاهش دهد، در حالی که قرار دادن استراتژیک عقب‌گردهای عمودی می‌تواند توزیع سختی را بهبود بخشد. این نتایج می‌تواند اصلاحات کودهای ساختمانی و رهنمودهای نظارتی برای ساخت ساختمانها در مناطق زلزله‌خیز را اطلاع‌رسانی کند. علاوه بر این، یافته‌ها برای استراتژی‌های بازسازی مفید هستند و به انجمنیان کمک می‌کنند تا آسیب‌پذیرترین ساختمانها را شناسایی کرده و تقویت‌های لازم را اعمال کنند. برنامه‌ریزان شهری نیز می‌توانند از این داده‌ها برای ارزیابی خطرات لرزه‌ای در مناطق شهری موجود و پیشنهاد پالیسی‌های لازم در زمینه زون‌بندی و استفاده از زمین استفاده کنند.

پیشنهادهای:

1. از آنجای که زلزله منحنی یک عامل اساسی قوای جانبی بالای ساختمان وارد می‌گردد که در این حالت تأثیر نامنظمی بر مقاومت ساختمان ازدیاد پیدا کرده و مشکلات مضاعف در مقاومت ساختمان بوجود می‌آید، سپس، عدم در نظر گرفتن آن قطعاً در درازمدت منتج به شکست ساختمان می‌گردد. بناءً تأثیر نامنظمی بالای ساختمان‌های که از چوکات منظم هندسی برخوردار نیست اگر کم هم باشد باید در نظر گرفته شود.
2. مهندسی ساختمان باید قسم در نظر گرفته شود که تا حد امکان همزمان باعث نامنظمی‌های هندسی در پلان و ارتفاع ساختمان نگردد.
3. ساختمان‌های که دارای نامنظمی‌های هندسی باشد اگر ارتفاع آن تا حد کم باشد که به تحلیل ستاتیکی خطی توسط محاسبه دستی هم امکان پذیر باشد باز هم باید توسط برنامه‌های انجمنی مودل، تحلیل و دیزاین گردد.
4. در صورتیکه ساختمان دارای نامنظمی‌های هندسی باشد باید تلاش صورت گیرد تا در بین طبقات تفاوت سختی افزایش پیدا نکند.

فهرست منابع:

- [1] E. S. Naveen, N. M. Abraham, and S. D. A. Kumari, "Analysis of irregular structures under earthquake loads," in *Proc. 2nd Int. Conf. Structural Integrity and Exhibition*, Procedia Struct. Integr., vol. 14, pp. 806–819, 2019.
- [2] A. Alavi and P. S. Rao, "Effect of plan irregular RC buildings in high seismic zone," *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 7, no. 13, pp. 1–6, Nov. 2013.
- [3] P. Sarkar, A. M. Prasad, and D. Menon, "A study on the vertical geometric irregularity in stepped building frames," *Eng. Struct.*, vol. 32, pp. 2175–2182, 2010.
- [4] M. M. Momen, E. A. Shehata, M. M. Mohamed, and G. A. A. Aly, "Irregularity effects on the seismic performance of L-shaped multi-story buildings," *J. Eng. Sci.*, vol. 44, no. 5, pp. 513–536, 2016.
- [5] S. S. Patil, G. A. Mujawar, and M. K. Priritam, "A study of torsional effect on multi-storied building with plan irregularity," *Int. J. Adv. Res.*, vol. 5, no. 1, pp. 1625–1632, 2017.
- [6] C. M. Ravikumar, K. S. Babu Narayan, B. V. Sujith, and D. Venkat Reddy, "Effect of irregular configurations on seismic vulnerability of RC buildings," *Archit. Res.*, vol. 2, no. 3, pp. 20–26, 2012.
- [7] A. T. James and A. P. Khatri, "Seismic assessment of vertical irregular buildings," *J. Basic Appl. Eng. Res.*, Krishi Sanskriti Publ., 2015.
- [8] A. Habibi and K. Asadi, "Seismic performance of RC frames irregular in elevation designed based on Iranian seismic code," *J. Rehabil. Civ. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 40–55, 2013.
- [9] M. V. Mohod, "Pushover analysis of structures with plan irregularity," *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, vol. 12, no. 4, pp. 46–55, Jul.–Aug. 2015.
- [10] R. N. Shelke and U. S. Ansari, "Seismic analysis of vertically irregular RC building frames," *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. [Article ID: IJCIET_08_01_017], 2017.
- [11] S. Hirde and R. Aher, "Seismic evaluation of irregular structures," *Int. J. Eng. Res.*, vol. 5, Special Issue 3, pp. 750–755, 2016.
- [12] P. Musale, S. Hallale, V. Mahajan, T. Mahajan, S. Barapatre, and R. Shinde, "Seismic analysis of plan and vertical irregularity of building with and without infill action using ETABS," *Int. J. Adv. Res. Ideas Innov. Technol.*, vol. 4, no. 3, 2018.
- [13] N. Nonika and D. Gargi Dande, "Seismic analysis of vertical irregular multi-storeyed building," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 9, 2015.
- [14] American Society of Civil Engineers (ASCE-7), "Minimum design loads for buildings and other structures," *By Authority of the United States of America*, legally binding document.
- [15] American Concrete Institute, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-19)*, Farmington Hills, MI, USA, 2019, doi: 10.14359/51716937.
- [16] Washington State Building Code Council, *International Building Code, 2018 Ed.*, including adoption of the 2018 International Existing Building Code and ICC/ANSI A117.1-2009. [Online]. Available: www.wabobookstore.org

- [17] P. Agarwal and M. Shrikhande, *Earthquake Resistant Design of Structures*, Delhi, India: PHI Learning Pvt. Ltd., 2006.
- [18] A. K. Chopra, *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 4th ed., Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Prentice Hall, 2008.
- [19] C. V. R. Murty, R. A. Rupen Goswami, and M. V. Vipul, "Some concepts in earthquake behaviour of buildings," Gujarat State Disaster Management Authority, Government of Gujarat, 2013.

About the Author

Mr. Zabihullah Dalil Shinwari, Assistant Professor, Department of Engineering, Kardan University, Kabul, Afghanistan. <z.shinwari@kardan.edu.af>

Mr. Sayed Dawood Karimi, Assistant Professor, Department of Engineering, Kardan University, Kabul, Afghanistan. <d.karimi@kardan.edu.af>