

Investigating the Effect of the Geometric Shape of The Plan of Tall Buildings on the Comfort of the Residents Against the Wind

Houshyar Eimani Kalehsar^{1*}, Behnaz Niknam²

1- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Technical and Engineering Faculty, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

2- Master's degree in civil engineering-structure, Islamic Azad university, Germy, Iran

ABSTRACT

In this research, the effect of tall building plan shapes on their performance against the wind is discussed. For this purpose, three types tall buildings having round, regular hexagon, and triangle plans were placed against the wind and the comfort of the occupants was investigated. All buildings have the same height and bulk density and were analyzed for three average wind speeds of 36, 54 and 72 m/s. Alongwind response for the highest wind speed and acrosswind response is presented for all wind speeds. The reason for choosing the plan and dimensions of the buildings is the lack of a specific closed form for the acrosswind response of tall buildings. Following is an overview of the human response to vibration, which is referred to as performance-based design in wind engineering. The results show that the response of the buildings is sensitive to plan shape of buildings and the average wind speed and has an effect on the comfort of occupants. The response of the regular hexagonal building is 45% in the transverse direction and 43% in the longitudinal direction of the longitudinal response of the building with a triangular plan. The acrosswind response of the building with a round plan is 15% and its alongwind response is 50% of the alongwind response of the building with a triangular plan. The acrosswind response of round plan shape building is 34% of the acrosswind response of hexagonal plan shape building. The alongwind response of round plan shape is 116% of its alongwind response. In general, in the longitudinal direction, the regular hexagonal plan shape building performs better than the other two buildings. In the transverse direction, all three buildings perform well at low speeds, but at high speeds, the triangle plan building does not perform well compared to the other two buildings.

ARTICLE INFO

Receive Date: 14 May 2024

Revise Date: 25 July 2024

Accept Date: 06 November 2024

Keywords:

Performance Based Design, Human Response To Vibration, Tall Building, Wind and Structure Interaction, Wind Engineering, Triangular plan, regular hexagonal plan, round plan

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: [10.22065/jsce.2024.456956.3412](https://doi.org/10.22065/jsce.2024.456956.3412)

*Corresponding author: Houshyar Eimani Kalehsar
Email address: hek@uma.ac.ir

بررسی اثر شکل هندسی پلان ساختمان‌های بلند بر راحتی ساکنان در برابر باد

هوشیار ایمانی کله سر^{۱*}، بهناز نیکنام^۲

۱ - دانشیار، دانشکده فنی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲ - کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد گرمی، گرمی، ایران

چکیده

در این تحقیق به اثر نوع پلان ساختمان‌های بلند بر عملکرد آنها در برابر باد پرداخته می‌شود بدین منظور، سه ساختمان بلند با پلان گرد، شش‌ضلعی منتظم و مثلث در برابر باد قرار داده شده و راحتی ساکنان مورد بررسی قرار گرفته است. هر سه ساختمان دارای ارتفاع و جرم حجمی یکسان بوده و برای سه سرعت میانگین باد ۵۴،۳۶ و ۷۲ متر بر ثانیه تحلیل گردیده‌اند. در جهت طولی پاسخ ساختمان‌ها فقط برای بیشترین سرعت باد ولی برای پاسخ عرضی در هر سه سرعت فوق‌الذکر ارائه گشته‌اند. دلیل انتخاب پلان و ابعاد ساختمان‌ها، عدم وجود فرم بسته خاصی برای پاسخ عرضی ساختمان‌های بلند است. در ادامه یک بررسی اجمالی از پاسخ انسان به ارتعاش که در مهندسی باد از آن طراحی بر اساس عملکرد یاد می‌شود آورده شده است. پاسخ ساختمان‌ها به شکل پلان و سرعت میانگین باد حساس بوده و در راحتی ساکنان اثرگذار است. نتایج نشان می‌دهند پاسخ ساختمان شش‌ضلعی منتظم در جهت عرضی ۴۵٪ و در جهت طولی ۴۳٪ پاسخ طولی ساختمان با پلان مثلثی است. پاسخ عرضی ساختمان با پلان گرد ۱۵٪ و پاسخ طولی آن ۵۰٪ پاسخ طولی ساختمان با پلان مثلثی می‌باشد. پاسخ عرضی ساختمان با پلان گرد ۳۴٪ پاسخ عرضی ساختمان با پلان شش‌ضلعی و پاسخ طولی ساختمان با پلان گرد ۱۱۶٪ پاسخ طولی آن می‌باشد. در مجموع در جهت طولی، ساختمان با پلان شش‌ضلعی منتظم از دو ساختمان دیگر عملکرد بهتری دارد. در جهت عرضی هر سه ساختمان در سرعت‌های پایین خوب عمل کرده ولی در سرعت‌های بالا ساختمان با پلان مثلث نسبت به دو ساختمان دیگر عملکرد خوبی ندارد.

کلمات کلیدی: طراحی بر اساس عملکرد، پاسخ انسان به ارتعاش، ساختمان بلند، اندرکنش باد و سازه، مهندسی باد، پلان مثلثی، پلان شش‌ضلعی منتظم، پلان گرد

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2024.456956.3412	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	https://doi.org/10.22065/jsce.2024.456956.3412	۱۴۰۴/۰۳/۳۱	۱۴۰۳/۰۸/۱۶	۱۴۰۳/۰۸/۱۶	۱۴۰۳/۰۵/۰۴	۱۴۰۳/۰۲/۲۵
				*نویسنده مسئول:		
				هوشیار ایمانی کله سر		
				پست الکترونیکی:		
				hek@uma.ac.ir		

۱- مقدمه

حرکت دانش مهندسی سازه به سمتی است که با هزینه کمتر، سطح ایمنی بیشتر برای سیستم سازه‌ای تأمین کند. یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها در این زمینه، تأکید بر طراحی در حالت‌های حدی است که عموماً تحت عنوان طراحی بر اساس عملکرد شناخته می‌شود. طراحی بر اساس عملکرد، مستلزم انتخاب معیارهای طراحی صحیح، سیستم‌های سازه‌ای مناسب، تعیین محل قرارگیری سازه، تعیین هندسه اعضا، ارائه جزئیات برای سازه، اجزای سازه‌ای، محتویات ساختمان و اطمینان از کنترل کیفیت ساخت و نگهداری در درازمدت می‌باشد به طوری که سازه در برابر سطوح مشخص حرکت زمین و وزش بادهای شدید، با قابلیت اطمینان مشخص رفتار نماید.

۱-۲- مروری بر ادبیات فنی

اولین مطالعه سازمان‌یافته در مورد پاسخ انسان به ارتعاش توسط ریهر^۱ و میستر^۲ (به سال ۱۹۳۱) انجام گرفت. با رسم دامنه در برابر فرکانس و استفاده از علامت‌گذاری متفاوت برای هر دسته‌بندی، آن‌ها توانستند مرزهای سطح راحتی را بر اساس سیستم حسی انسان که با دامنه و فرکانس ارتعاش تغییر می‌کند به دست آورند [1].

(۱) نامحسوس

(۲) تقریباً محسوس

(۳) به راحتی قابل حس

(۴) آزاردهنده

(۵) زنده و ناخوشایند

(۶) غیرقابل تحمل

هانسن^۳، رید^۴ و وانمارک^۵ در سال ۱۹۷۳ در مصاحبه با ساکنین دو ساختمان بلند ۴۰ طبقه دریافتند که درصد توجه مردم به دامنه ارتعاش طوفان بخصوص، به دوره بازگشت طوفان که آن ارتعاش را ایجاد کرده، بستگی دارد. عادی‌ترین (دارای بیشترین احتمال رخ دادن یا فراوانی) طوفان بیشترین درصد توجه مردم را به خود جلب کرده بود [2].

آقایان اسمیت^۶ و ویل فورد^۷ (۲۰۰۸) دو ساختمان ۶۰ طبقه را در شهرمانیل فیلیپین بر اساس طراحی بر اساس عملکرد در مقابل باد و زلزله انجام دادند و دریافتند که نه تنها در این روش ساختمان عملکرد بهتری دارد بلکه از لحاظ اقتصادی نیز ارزان تمام می‌شود [9]. فرانچسکو پترینی (۲۰۱۱) یک روش احتمالی را برای طراحی مبتنی بر عملکرد ساختمان‌های بلند در معرض اعمال باد نشان دادند. هدف اصلی این روش، ارزیابی کفایت سازه از طریق توصیف احتمالی مجموعه‌ای از متغیرهای تصمیم (DVs) است [13]. هونگ^۸ و همکاران (۲۰۱۳) ارزیابی سیستم اصلی مقاومت نیروی باد (MWFRS) یک ساختمان موجود را ارائه کردند که در آن پیشنهاد شده بود ساختمان با دیوار پرده‌ای جدید پوشانده شود. سیستم دیوار ساختمان از حالت حد استحکامی که در قوانین فعلی مقرر شده بود، برخوردار نبود. یک رویکرد ارزیابی مبتنی بر عملکرد مطابق با چارچوب مشخص شده توسط گریفیس و همکاران مورد استفاده قرار گرفت [16]. فواد^۹ در سال ۲۰۱۷ با یک رویکرد طراحی مبتنی بر عملکرد برای ساختمان‌های بلند تحت بارگذاری باد به بررسی کاربرد مفهومی مشابه در مهندسی

¹ Reiher

² Meister

³ Hansen

⁴ Reed

⁵ Vanmarcke

⁶ Smith

⁷ Willford

⁸ Huang

⁹ Fouad

باد پرداختند. در طراحی لرزه ای، نیروهای الاستیک ناشی از یک رویداد شدید دوره بازگشت بالا با یک ضریب کاهش بار، کاهش می یابد. ضریب کاهش بار توسط طراح انتخاب می شود و بر این اساس باید ظرفیت شکل پذیری خاصی در سازه حاصل شود [17]. در سال ۲۰۲۲ علیپور، شفیعی و سرکار با هدف طراحی باد مبتنی بر عملکرد ساختمان های بلند با در نظر گرفتن غیرخطی بودن در پاسخ ساختمان را با مدلسازی یک ساختمان اسکلت فلزی ۴۴ طبقه تحت تأثیر بارهای باد و با استفاده از طراحی بر اساس عملکرد در برابر باد مورد تجزیه و تحلیل و ارزیابی قرار دادند [21]. آروندهاتی^{۱۰} (۲۰۲۲) تحلیل باد مبتنی بر عملکرد ساختمانهای بتنی و فولادی را بررسی نمود. [24]. ایمانی در سال 2023 یک ساختمان بلند با پلان بیضی شکل و با ارتفاع ۱۸۰ متر را تحلیل نموده و مشاهده کرد در کل ارتفاع ساختمان از نظر عملکرد طولی ساختمان بلند با پلان بیضی شکل در سرعت میانگین باد ۷۲ متر بر ثانیه در بالای ساختمان ارضا نشده و راحتی ساکنان را به خطر می اندازد. در جهت عرضی نیز ساختمان فوق در ارتفاع ۱۸۰ متری در سه سرعت ۵۴، ۳۶ و ۷۲ متر بر ثانیه به لحاظ عملکرد، راحتی ساکنان را به خطر می اندازد [22]. نظری در سال ۲۰۲۴ ساختمان بلند مستطیلی شکل را در محیطهای بادی مختلف تحلیل و نشان داد که راحتی ساکنان بستگی به محیط بادی، نوع پاسخ، سرعت میانگین باد و ارتفاع طبقه مورد نظر از ساختمان دارد [23]. جان^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۴) اثر غیرخطی رخدادهای لرزه ای با بزرگی زیاد را بر رفتار سازه ای ساختمان ارزیابی کرده و مدل سازی سازه مقاوم در برابر زلزله، تهیه رکوردهای لرزه ای و در نظر گرفتن جنبه هایی که کاربرد دقیق روش را محدود می کند در یک چارچوب تحلیل غیرالاستیک بررسی کردند [25].

۲-۲- طراحی براساس عملکرد

عملکرد ناشی از باد را می توان به پاسخهای دینامیکی ساختمانها تحت اثر باد ربط داد. پاسخهای ناشی از باد، از نظر نیروی داخلی، تغییر مکان جانبی، تغییر مکان نسبی طبقات و شتاب، به طور جامع برای توصیف رفتار سیستم ساختمان و یا عملکرد ساختمان تحت تحریکات باد استفاده می شود. واضح است که سطوح عملکرد به طور مستقیم با مفهوم طراحی حالت حدی، ارتباط دارد و در بسیاری از کدها و آیین نامه ها و استانداردهای طراحی مدرن به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع، مفهوم سطوح عملکرد نشان دهنده تکامل قوانین تجویزی برای طراحی حالت حدی است که با فهم رفتار ساختمانها در طی سالیان دراز تغییر کرده اند. علاوه بر این، یک گزینه طراحی بر اساس عملکرد، طراحی ساختمانها را به استانداردهای بالاتر، بدون توصیف صریح در کدها و استانداردها و آیین نامه های ساختمانی، تسهیل کرده و امکان استفاده از فناوری نوآورانه را فراهم ساخته است [16].

امروزه معلوم شده است که قابلیت خدمت پذیری ناشی از باد به نگرانی های عمده در طراحی ساختمانهای بلند تبدیل شده است، اما آن چنان که می بایست به تحقیق در طراحی سازه ای و بهینه سازی برای قابلیت خدمت پذیری پرداخته می شده تا حد زیادی مورد توجه قرار نگرفته و به آن پرداخته نشده است. در حقیقت، طراحی ساختمانهای بلند در اقلیمهای بادی عموماً تحت تأثیر ملاحظات خدمت پذیری از لحاظ تغییر شکل های ناشی از باد و ارتعاشات قرار می گیرد نه بر اساس نیازهای نیرویی اعضای آنها [9]. تغییر مکان یا تغییر شکل از هر نوع بار، نه تنها نباید سازه را خراب کند یا مقاومت و کارکرد مؤثر آن را تحت تأثیر قرار دهد؛ بلکه نباید به عناصر و اجزای تقسیم بندی (تیغه بندی و...) آن آسیبی برساند. برای سازه های معمولی، محدودیت های تغییر مکان یا تغییر شکل توسط کدها، استانداردها و آیین نامه های طراحی ساختمان های مختلف توصیه شده است [10].

اولین گام در ایجاد معیار طراحی خدمت پذیری، تعریف آن است که بارهای وارده تحت چه چیزی بررسی شود. برای مثال در آیین نامه چین، معیارهای بارگذاری باد برای هر دو حالت، حالت حدی مقاومت و حالت حدی خدمت پذیری یکسان بوده و معمولاً برای ساختمان های معمولی، باد بر اساس یک دوره بازگشت ۵۰ ساله و برای ساختمان های مهم یک دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در نظر گرفته شده

¹⁰ Arundhati

¹¹ Juan

است. فشار باد طراحی در آیین نامه باد هنگ کنگ نیز (HKCOP, 2004)، سرعت باد میانگین ساعتی و حداکثر سرعت وزش باد با دوره بازگشتی ۵۰ سال تعیین شده است. آیین نامه ها و مقررات ملی ایران فاقد همچون مواردی است [5].

روش بررسی برای احساس ارتعاش هم برای میزان تغییر مکان ناشی از ارتعاش باد و هم برای آستانه احساس ارتعاش (به اصطلاح معیارهای راحتی ساکنان) انجام شود. به طور اعم پذیرفته شده است که احساس حرکت ناشی از باد با شتاب حرکت ساختمانها ارتباط دارد. هر دو مورد اوج شتاب و انحراف استاندارد شتاب، در شرایط باد شدید و در دوره بازگشت ۱۰ ساله یا ۵ ساله معمولاً برای نشان دادن حرکت ساختمانها استفاده می شوند. سطوح طراحی مهندسی باد بر اساس عملکرد توصیه شده توسط مینق فنگ^{۱۲} در جدول ۱ آمده است. در جدول ۱، عمر طراحی یک ساختمان که نشان دهنده زمان قرار گرفتن ساختمان در معرض باد طراحی است، ۵۰ سال در نظر گرفته است [8].

جدول ۱: سطوح پیشنهادی طراحی بر اساس عملکرد در برابر باد [13] [Mingfeng Huang, 2017]

سطح شدت باد طراحی	دوره بازگشت میانگین (سال)	احتمال حدوث	سطوح عملکرد
خیلی مکرر	۱	۱۰۰٪ در ۵۰ سال	آستانه احساس
مکرر	۵	۹۹.۹٪ در ۵۰ سال	راحتی ساکنان
مکرر	۱۰	۹۹.۵٪ در ۵۰ سال	خطر جانی
گاه گاهی	۱۰۰	۶۴٪ در ۵۰ سال	تغییر مکان جانبی/مقاومت ایمنی
بندرت	۴۷۵	۱۰٪ در ۵۰ سال	ایمنی
خیلی بندرت	۱۰۰۰	۵٪ در ۵۰ سال	جلوگیری از خطر
سطح شدت باد طراحی	دوره بازگشت میانگین (سال)	احتمال حدوث	سطوح عملکرد

از لحاظ شناخت باد، ضروری است که طراحی سایت با طراحی سرعت باد مورد بررسی قرار گیرد که در آن جهت گیری برخورد باد با ساختمان و آثار توپوگرافی مورد توجه قرار گیرد.

۲- نرم افزار مورد استفاده برای تحقیق حاضر

باتوجه به اینکه تجهیزات و شرایط آزمایشگاهی تونل باد در داخل کشور ایران به وفور یافت نمی شود و آزمایش در تونل باد نیز نسبت به روش های تئوری گران تمام می شود و باتوجه به ظهور کامپیوترهای سریع و قوی می توان از نرم افزارها شرایط بحرانی و لازم را تخمین زده و به ادامه کار در تونل باد نزدیک شده و هزینه کمتری صرف نمود؛ لذا برای نیل به این اهداف، در تحقیق حاضر از روش تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی^{۱۳} CFD (که یکی از شاخه های مکانیک سیالات است) در نظر گرفته شد. برای این منظور شبیه سازی پژوهش حاضر در نرم افزار ANSYS انجام شده است.

۲-۱- اعتبار سنجی نتایج

برای صحت سنجی از مدل آقایان بارون^{۱۴} و آوروچ^{۱۵} [10] در سرعت های میانگین باد ۳۶، ۵۴ و ۷۲ متر بر ثانیه برای ساختمان با میرایی ۱٪ استفاده گردید. پس از مقایسه با مدل اصلی فوق الذکر انطباق بسیار خوبی مشاهده و در مرجع [22] آورده شده است. استفاده از این سرعت های میانگین باد نیز به همین دلیل است.

۳- شبیه سازی

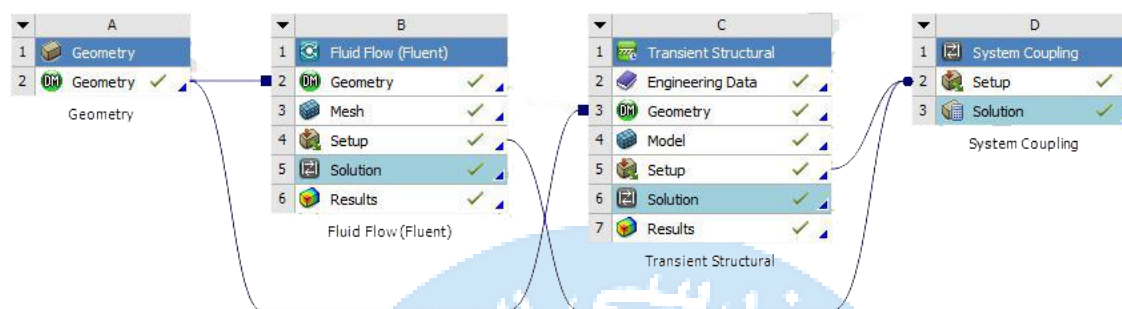
¹² Ming Feng

¹³ Computational fluid dynamics

¹⁴ Braun

¹⁵ Awruch

برای شبیه‌سازی، بایستی برخی موارد مانند ابعاد تونل باد، ابعاد ساختمان، شرایط مرزی، پروفیل باد در نرم‌افزار ایجاد گردند؛ ولی برخی شرایط همانند نوع مدل تلاطم، لزجت هوا، میرایی ساختمان، چگالی هوا و ابعاد ساختمان به صورت مقادیر در بخش فلوننت نرم‌افزار وارد می‌گردند. در این تحقیق با توجه به اینکه صحت سنجی با ساختمان CAARC انجام یافته بنابراین مشخصه‌های ساختمان مذکور همانند میرایی، چگالی و سایر مشخصات سازه‌ای و بادی مطابق با آن برای سایر مدل‌ها نیز در نظر گرفته شده است. چون مسئله اندرکنش باد و سازه یک فرایند کوپل مانند است برای حل این مسئله از نرم‌افزارهای Fluent و Transient Structure و System Coupling به صورت هم‌زمان مطابق شکل ۱ استفاده گردیده است.



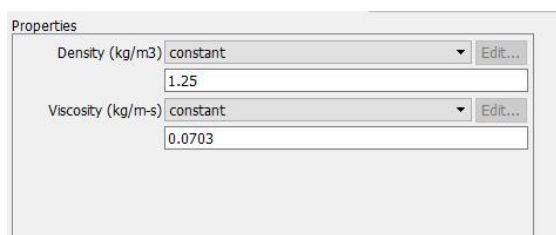
شکل ۱: نرم افزارهای مورد استفاده در ansys برای تحقیق حاضر

۳-۱- شبیه سازی تونل باد

برای شبیه‌سازی تونل باد لازم است لایه‌مرزی جوی، پارامترهای تلاطم و همچنین پروفایل سرعت باد که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر پاسخ سازه‌ها می‌باشد شبیه‌سازی گردند. بافت مورد استفاده در این تحلیل زمین‌باز اطراف شهرها می‌باشد. باد ورودی در شرط مرزی INLET و باد خروجی OUTLET به عنوان شرط مرزی خروجی تعریف می‌گردد. سطح برخورد باد با ساختمان به عنوان شرط مرزی FSI¹⁶ تعریف گردیده و بقیه سطوح متقارن می‌باشد. مدت تحلیل ۲۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است.

۳-۱-۱- شبیه‌سازی لایه‌مرزی جوی

لزجت سیال باعث می‌شود که هر لایه‌ای از سیال به لایه‌های نزدیک خود بچسبد و ذرات لایه‌های اطراف را با خود به حرکت درآورد. با چسبیدن ذرات سیال به سطح جسم جامد و وجود نیروهای لزج، هرچه فاصله از جسم جامد دورتر شود، لایه‌های بالاتر مقداری به لایه‌های نزدیک‌تر به سطح نیرو وارد می‌کنند و آن‌ها را با خود به حرکت درمی‌آورند. این کار تا جایی ادامه دارد که سیال در لایه‌مرزی از سرعت صفر، در لایه چسبیده به سطح جامد، به سرعت جریان آزاد، در لایه‌های انتهایی لایه‌مرزی، نزدیک می‌شود. بدین صورت، بین سطح جسم جامد و نقطه‌ای که سرعت سیال تقریباً برابر با سرعت جریان آزاد باشد، یک لایه‌ای از سیال با سرعت کمتر تشکیل می‌شود که به آن لایه‌مرزی سرعت گفته می‌شود [12]. مقادیر مربوط به باد یعنی چگالی و ویسکوزیته در جدول شماره ۳ آورده شده و به صورت شکل ۲ در نرم‌افزار تعریف گردیده است.



¹⁶ Fluid structure interaction

شکل ۲: مقادیر چگالی و ویسکوزیته در پروژه حاضر

۳-۱-۲- پارامترهای تلاطم

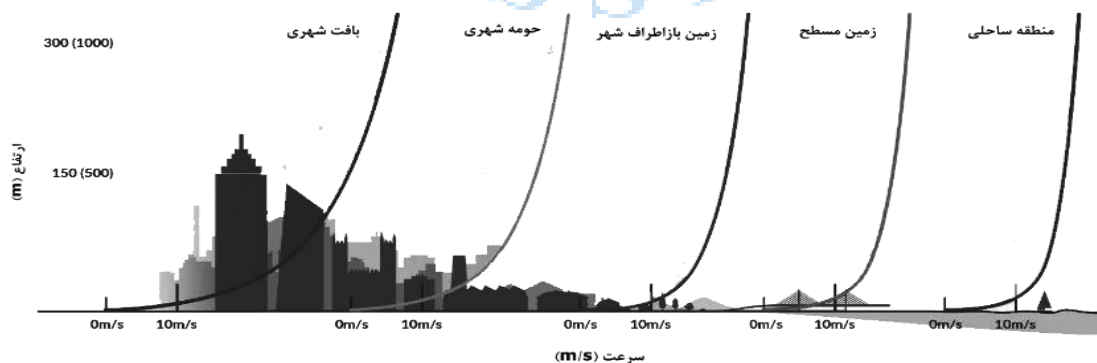
در حالت کلی، تغییر در سرعت باد، تلاطم نامیده می‌شود. تعریف کلی از تلاطم به زبان ریاضی قدری مشکل است، چون که تلاطم در وزش باد، ناشی از ناچیز بودن لزجت هوا بوده و چیزی در حدود $1/16$ لزجت آب می‌باشد. هر تکان با سرعتی بیش از ۲ تا ۳ مایل بر ساعت (0.9 تا 1.3 متر بر ثانیه) یک تلاطم محسوب شده و باعث می‌شود که ذرات هوا در هر جهتی حرکت کنند و این برخلاف جریان آرام در سیالات دارای لزجت بالا است؛ در جریان آرام حرکات ذرات، موازی با جهت جریان می‌باشند. نوسانی بودن تلاطم باد یک پدیده تصادفی است [3]. شبیه‌سازی شدت تلاطم بر طبق مطالعات مدل آقایان (2009) Braun و Awruch، مدل پیچک‌های بزرگ (LES^{17}) در نظر گرفته شده و در دینامیک سیالات محاسباتی کاربرد زیادی دارد. هزینه این روش نسبت به دیگر روش‌های شبیه‌سازی عددی مستقیم و شبیه‌سازی به روش میانگین‌گیری عدد رینولدز معادلات ناویر-استوکس خیلی کم بوده و دقت آن نیز بیشتر است.

۳-۳-۱- پروفیل سرعت میانگین باد

در تحقیق حاضر، ابتدا جهت شبیه‌سازی باد در تونل باد و در محیط FLUENT، برنامه‌ای در زبان C تدوین و برای معرفی محیط بادی یعنی نیمرخ تغییرات سرعت میانگین باد طبق رابطه (۱) در داخل نرم‌افزار وارد می‌شود. برنامه آن را در محیط FLUENT شبیه‌سازی کرده و تغییرات سرعت میانگین باد را در ارتفاع به دست آورده و به‌عنوان نیروی ورودی 18 به سازه اعمال می‌کند. تصاویر نیمرخ سرعت میانگین باد در شرایط طبیعی برای بافت‌های مختلف در شکل (۳) و شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار ANSYS در شکل (۴) آورده شده‌اند. در این پژوهش، جهت شبیه‌سازی $\alpha = 0.2$ (نمای رابطه توانی) در نظر گرفته شده است که نشان‌دهنده بافت نوع دو آیین‌نامه‌هاست.

$$\frac{V}{V_0} = \left[\frac{Z}{Z_0} \right]^\alpha \quad (1)$$

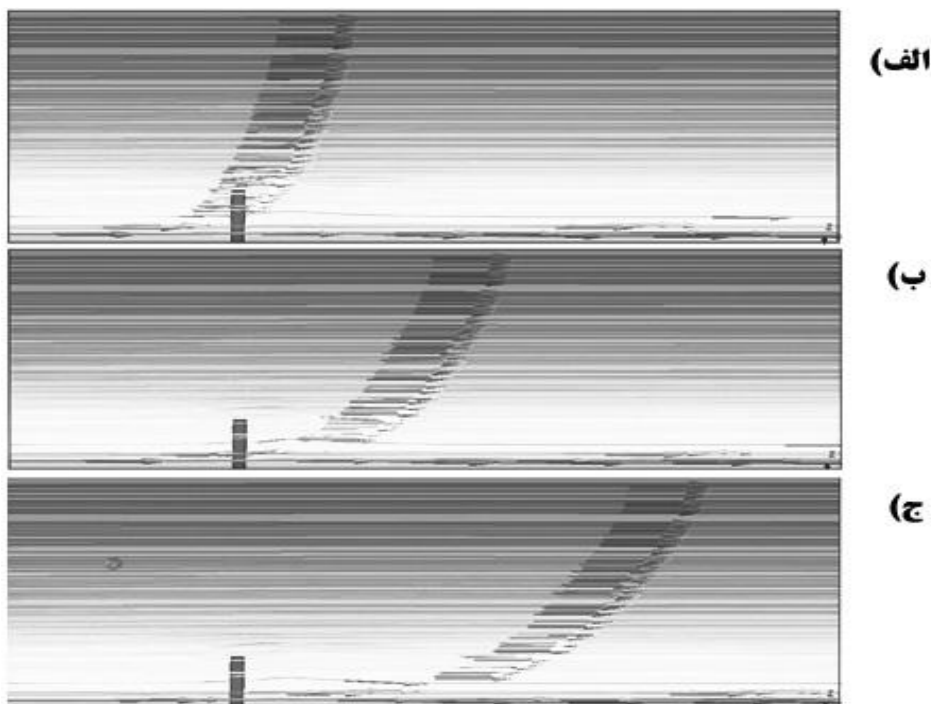
در رابطه (1)، Z_0 ارتفاع مرجع است که توسط هواشناسی محل، سرعت لحظه‌ای باد در آن ارتفاع اندازه گرفته می‌شود، V_0 سرعت میانگین مرجع باد و Z ارتفاعی است که سرعت میانگین باد در آن محاسبه می‌شود و V سرعت میانگین باد در ارتفاع موردنظر Z است [12].



شکل ۳: نیمرخ طبیعی سرعت میانگین باد در بافت‌های مختلف

¹⁷ Large Eddy Simulation

¹⁸ inlet



شکل ۴: نیمرخ شبیه سازی شده سرعت میانگین باد [پژوهش حاضر] (الف) در لحظه برخورد با ساختمان بلند (ب) بعد از برخورد با ساختمان بلند و در منطقه پشت (ج) در فاصله دور و بعد از برخورد با ساختمان بلند

۲-۳- شبیه سازی ساختمان

در پژوهش حاضر، از سه ساختمان بلند با پلان مثلث، شش ضلعی منتظم و گرد جهت بررسی رفتار آنها با فرض رفتار خطی، در برابر باد بهره جسته و به تحلیل گذاشته شده است. نحوه قرارگیری ساختمان‌ها به این صورت است که یکی از اضلاع ساختمان با پلان مثلثی که در جهت عمود بر باد قرار داده شده و یکی از وجوه ساختمان با پلان شش ضلعی رو به باد می‌باشد (شکل ۵). لازم به یادآوری است که در مهندسی زلزله اگر سیستم سازه و مشخصات دینامیکی ساختمان‌ها یکی باشند (یعنی همه شرایط، سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی، منطقه لرزه خیزی، اهمیت ساختمان، نوع خاک، ارتفاع و وزن ساختمان‌ها یکسان باشند) نیروی زلزله برای همه یکسان خواهد بود. در مهندسی باد این‌طور نبوده و با اشکال هندسی مختلف پاسخ‌های متفاوتی به دست می‌آید. مشخصات فیزیکی ساختمان‌های مورد مطالعه طبق جدول ۲ است.

جدول ۲: مشخصات فیزیکی ساختمان‌ها

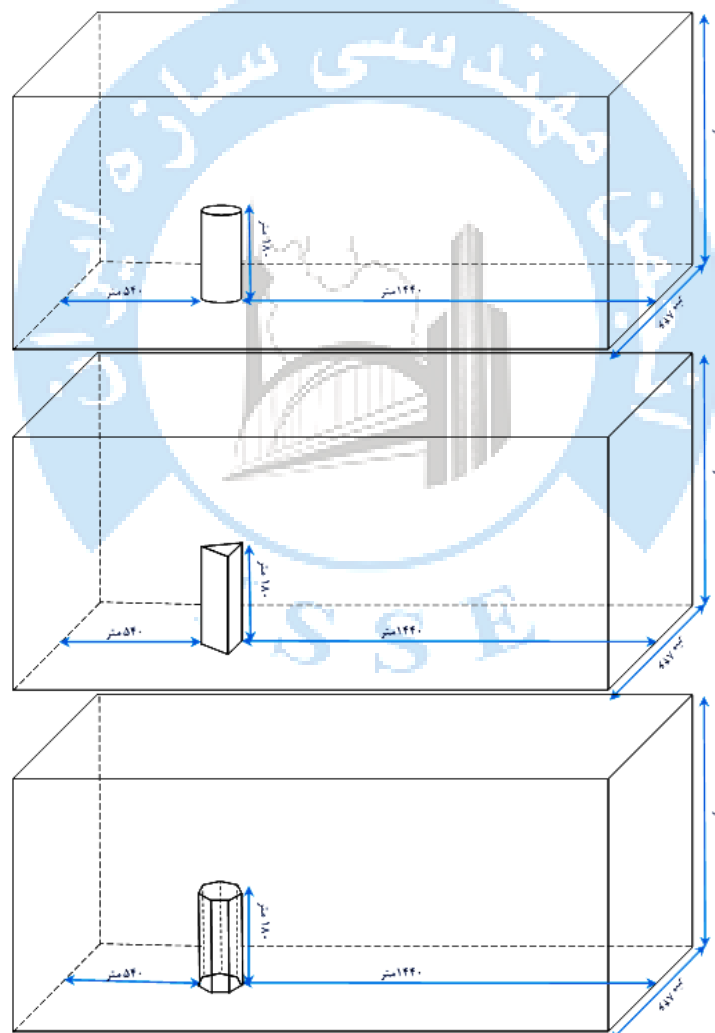
$\rho = 160(\text{kg/m}^3)$	چگالی ساختمان‌ها
$n_0 = 0.2 \text{ Hz}$	فرکانس طبیعی ساختمان‌ها
ضلع مثلث ۳۹.۵ متر	ابعاد ساختمان‌ها
طول یک وجه ۲۲/۵ متر	(ارتفاع ساختمان‌ها ۱۸۰ متر است)
قطر ۴۱/۴۷ متر	گرد
$E = 2/3 \times 10^8 (\text{N/m}^2)$	مدول الاستیسیته مصالح ساختمان‌ها
برای تمامی مدل‌ها یکسان می‌باشد.	جرم ساختمان
$\mu = 0.25$	ضریب پواسون مصالح ساختمان‌ها
۱٪	درصد میرایی ساختمان‌ها

۲-۳- مشخصات تونل باد

شبیه‌سازی ابعاد تونل باد مجازی در نرم‌افزار ANSYS با نسبت ابعاد 11:4/7:4/5 ارتفاع ساختمان در نظر می‌شود Awruch & [Braun, 2009] . جزئیات و ابعاد دقیق تونل باد برای هر سه پلان در شکل (۵) نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که ابعاد تونل باد مجازی در نرم‌افزار بر اساس ارتفاع ساختمان‌ها انجام می‌گیرد. چون در پژوهش حاضر ارتفاع ساختمان‌ها مساوی است؛ لذا ابعاد تونل باد مجازی برای همه ساختمان‌ها برابر خواهد بود. شبیه‌سازی تونل باد و مشخصات آن در نرم‌افزار ANSYS طبق کمیات و اعداد مندرج در جدول (۳) انجام گرفته است. دلیل انتخاب آن کمیات، استفاده از ادبیات فنی مربوطه و مقالات پژوهشی است.

جدول ۳: مشخصات فیزیکی باد [Awruch & Braun, 2009]

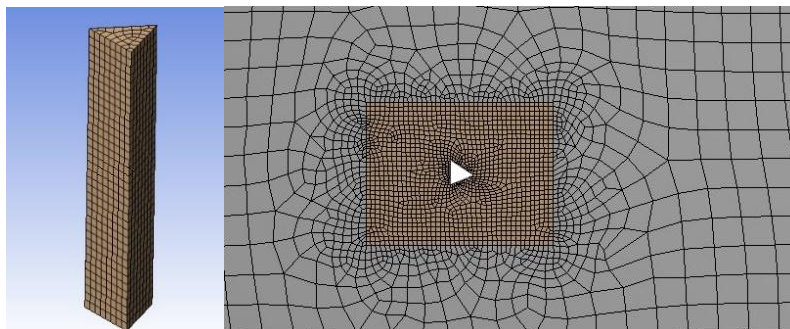
نوع خاصیت	مقدار خاصیت
چگالی هوا (باد)	$\rho = 1/25(\text{kg/m}^3)$
غلظت لزجت هوا (باد)	$\mu = 7/03 \times 10^{-2}(\text{N.s/m}^2)$
سرعت متوسط باد (سرعت جریان باد در ارتفاع ۱۸۰ متر)	V_0 m/s بسته به سرعت باد در ارتفاع مرجع متفاوت خواهد بود
قطر پلان گرد	20/73 متر
هر ضلع پلان مثلث متساوی‌الاضلاع	55/85 متر
ضلع پلان شش‌ضلعی منتظم	22/8 متر



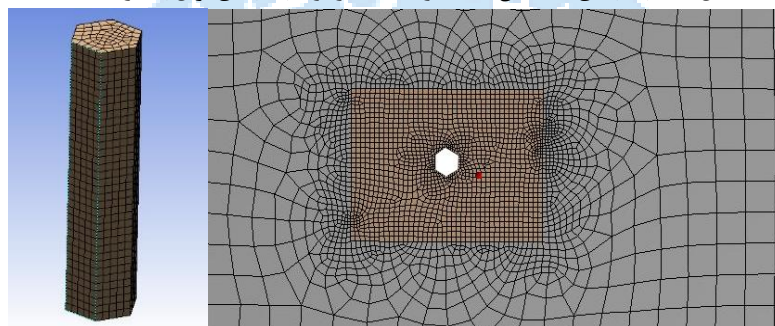
شکل ۵: ابعاد تونل باد و سازه جهت شبیه‌سازی در تحقیق حاضر برای پلانهای گرد، مثلث و شش‌ضلعی منتظم

۴-۳- شبکه‌بندی ساختمان‌ها و تونل باد

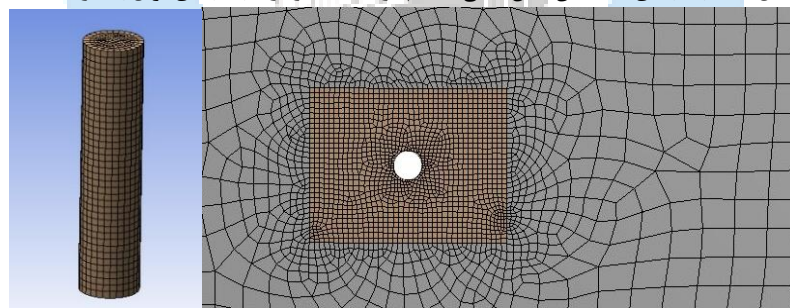
در این پژوهش، جهت شبکه‌بندی از المان Hex Dominate با ابعاد متفاوت استفاده شده است. این المان مکعبی در کتابخانه نرم‌افزار وجود داشته و دارای ۸ رأس و ۱۲ لبه و ۶ وجه است [11]. استفاده از این المان سبب کاهش تعداد المان‌ها، تسریع روند در همگرایی، باعث افزایش دقت محاسبات و کاهش خطای عددی می‌شود. شبکه‌بندی ساختمان‌ها و تونل باد در اطراف آنها در شکل‌های ۶ الی ۸ آورده شده است. به‌منظور منظم‌تر شدن مش‌بندی در اطراف ساختمان‌ها و همچنین کاهش زمان تحلیل و افزایش دقت از یک محیط کمکی به شکل مستطیل در اطراف ساختمان مورد تحلیل به ابعاد $300 \times 320 \times 245$ متر استفاده شده است.



شکل ۶: شبکه‌بندی ساختمان مثلث در محیط سازه و شبکه‌بندی تونل باد در محیط fluent



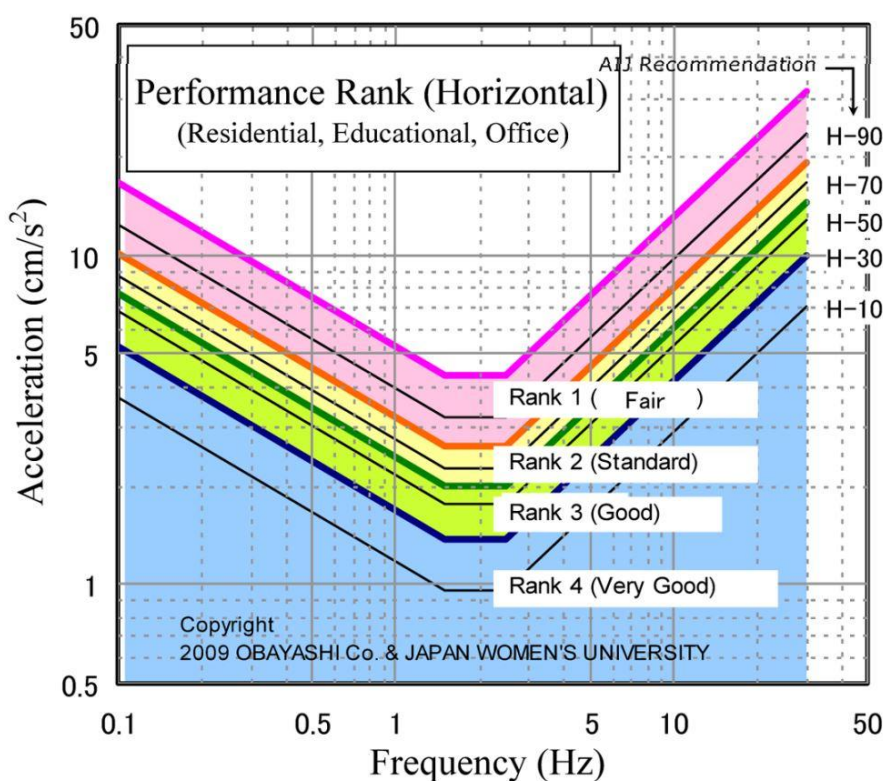
شکل ۷: شبکه‌بندی ساختمان شش ضلعی منتظم در محیط سازه و شبکه‌بندی تونل باد در محیط fluent



شکل ۸: شبکه‌بندی ساختمان گرد در محیط سازه و شبکه‌بندی تونل باد در محیط fluent

۴- پاسخ ساختمان‌ها بر اساس معیارهای طراحی بر اساس عملکرد

برای تعیین معیار طراحی در برابر عملکرد درجه قابل سکونت، از منحنی‌های [AIJ-GEHBV], [۲۰۰۴] AIJ استفاده شده است. نتایج آزمون حسی و بررسی هوشیاری نشان می‌دهد که درجه سکونت پذیری ارتعاش افقی را می‌توان بر اساس احتمال ادراک تنظیم کرد. شکل ۹ رتبه عملکرد ساختمان‌های بلند را بر اساس آیین‌نامه فوق‌الذکر نشان می‌دهد [6].



شکل ۹: درجه قابل سکونت در آیین نامه ۲۰۰۴ AIJ-GEHBV ژاپن [6]

۴-۱- محاسبه RMS (انحراف استاندارد) شتاب

چون ارتعاش ساختمان‌های بلند در برابر باد یک ارتعاش تصادفی است لذا نمی‌توان مشخصات دینامیکی آن را همچون مشخصات دینامیکی ارتعاشات متناوب بیان کرد برای این کار باید از مشخصات آماری استفاده نمود. برای طراحی ساختمان‌ها بیشینه بار طول عمر آن سازه‌ها لازم است در پژوهش حاضر باید برای محاسبه اثر بیشینه باد بر روی ساختمان‌ها جست. در علم آمار برای محاسبه پاسخ بیشینه از رابطه زیر استفاده می‌کنند.

$$A_{MAX} = A_{MEAN} + g \times \sigma \quad (2)$$

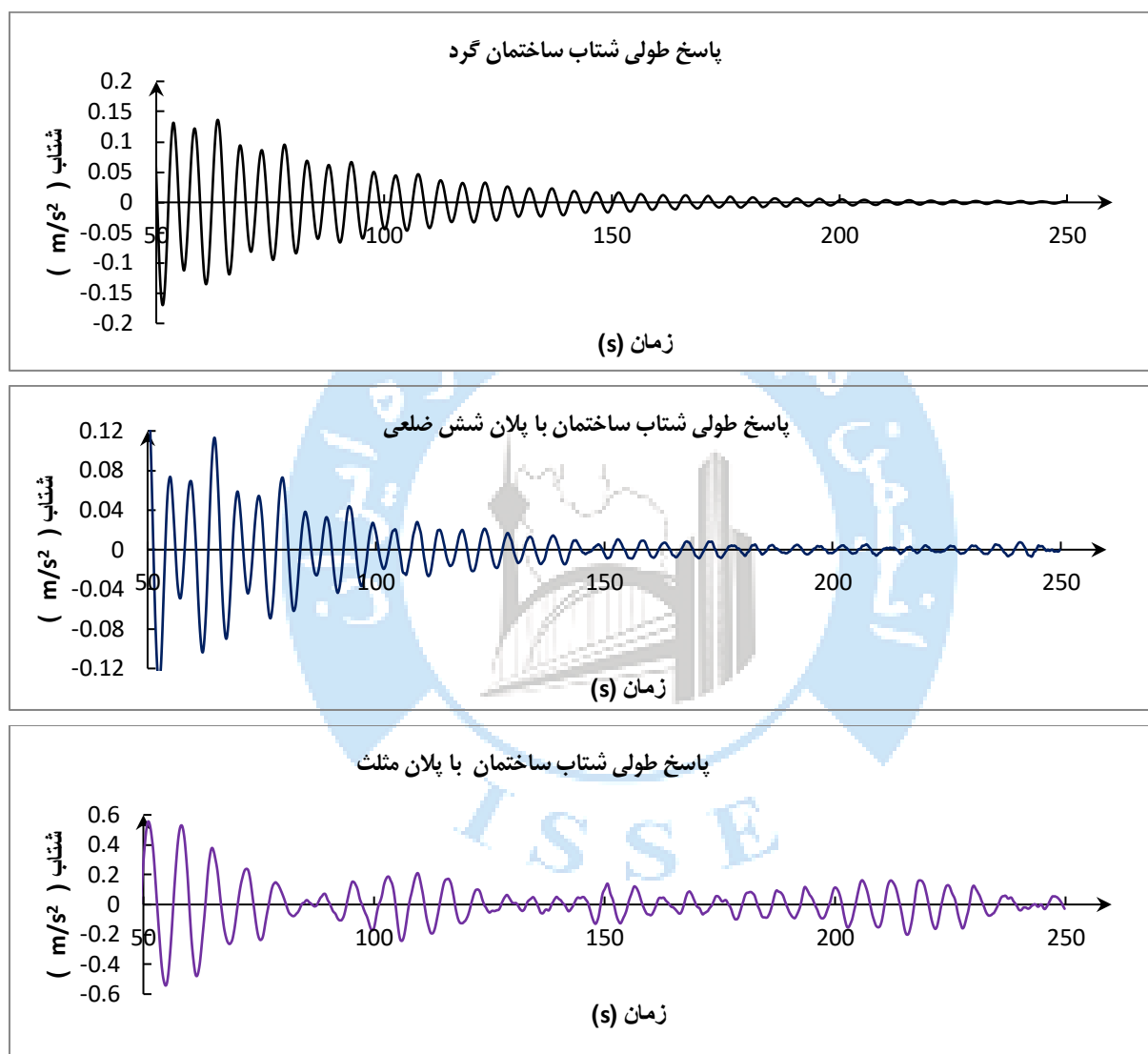
که در آن A_{MAX} پاسخ ماکزیمم، A_{MEAN} پاسخ میانگین، g ضریب اوج بین $3/5$ تا 4 و σ نیز واریانس پاسخ بوده و طبق رابطه (3) نوشته می‌شود. اگر داده‌های آماری میانگین داشته باشد از رابطه (2) استفاده می‌کنند و اگر مقدار میانگین نداشته باشد بجای مقدار میانگین صفر می‌گذارند لذا از رابطه اولی برای پاسخ طولی و از رابطه دومی برای پاسخ عرضی استفاده می‌کنند.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (A - \bar{A})^2}{N - 1}} \quad (3)$$

که در رابطه بالا A پاسخ در لحظه t ، \bar{A} مقدار میانگین پاسخ و N تعداد پاسخ‌های در زمان‌های t است که در این تحقیق ۲۵۰ ثانیه و گام زمانی در فواصل زمانی یک دهم ثانیه می‌باشد [19].

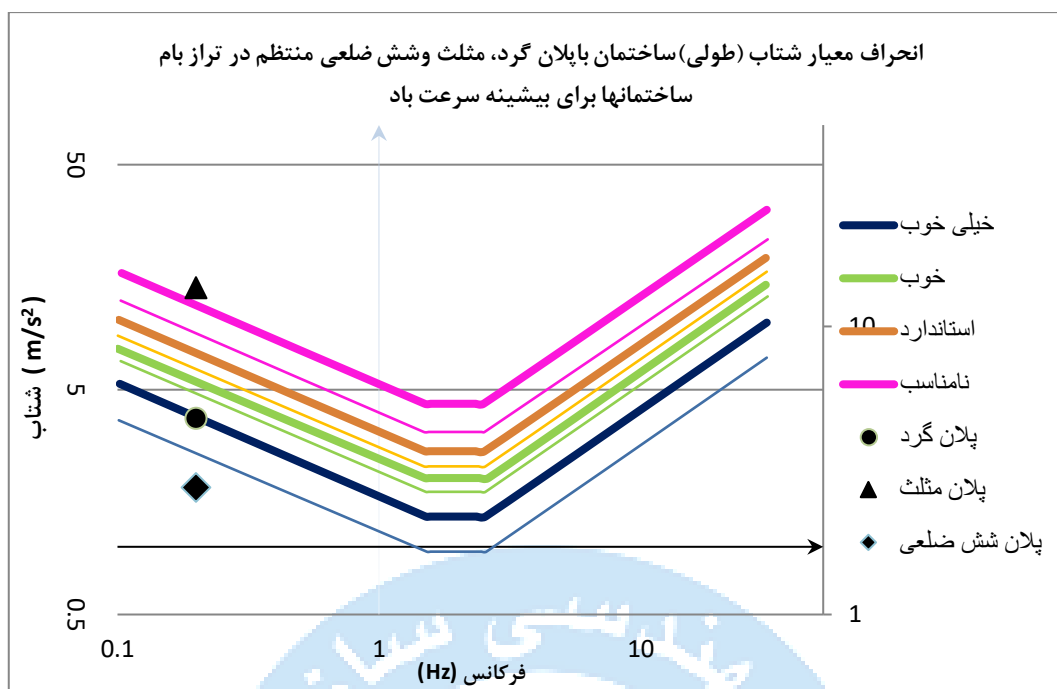
۱-۲-۴- تاریخچه زمانی شتاب طولی ساختمان های مورد مطالعه

تاریخچه زمانی شتاب در جهت طولی در شکل ۱۰ برای ساختمانهای با پلان گرد، مثلث و شش ضلعی منتظم در سرعت ۷۲ متربرثانیه در تراز بام ساختمان نمایش داده شده است. نمودارها نشان می دهد شتاب ساختمان ها با توجه به شکل پلان آنها متفاوت است.



شکل ۱۰: تاریخچه زمانی شتاب طولی ساختمان با پلان گرد، مثلث، شش ضلعی منتظم با سرعت میانگین باد برای سرعت ۷۲ متربرثانیه و در تراز بام ساختمانها

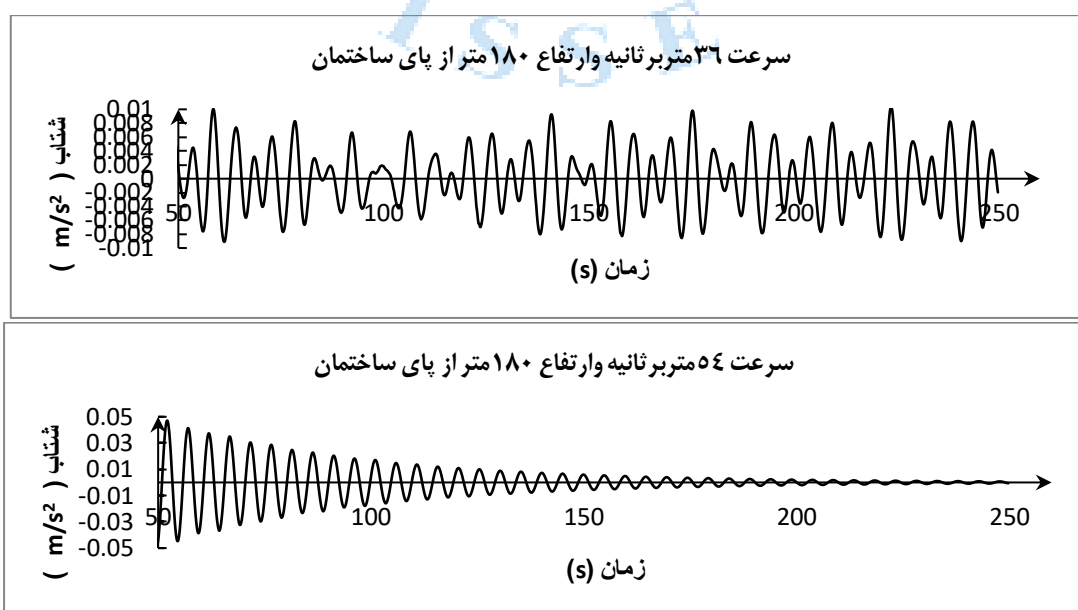
شکل ۱۱ انحراف معیار شتاب طولی تحلیل حاضر را در تراز بام ساختمان بلند با پلان گرد، مثلث و شش ضلعی منتظم در رده بندی آیین نامه AII-GEHBV، ۲۰۰۴ ژاپن نشان می دهد. مشاهده می گردد در جهت طولی عملکرد ساختمان با پلان مثلث در محدود عملکرد نامناسب بوده ولی ساختمان با پلان گرد و پلان شش ضلعی منتظم در منطقه خیلی خوب می باشد. حتی پلان شش ضلعی منتظم بهتر از پلان گرد عمل کرده است.

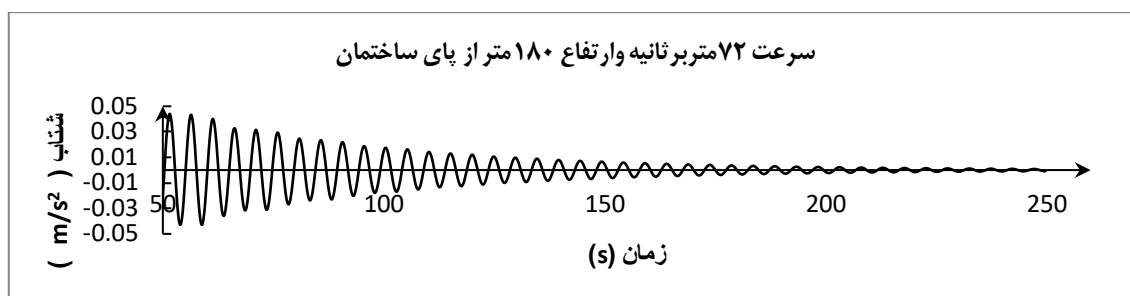


شکل ۱۱: نمایش تحلیل حاضر برای شتاب طولی تراز بام ساختمان بلند با پلان گرد، مثلث و شش ضلعی منتظم در رده بندی آیین نامه 2004, AIJ-GEHBV
ژاپن

۲-۲-۴- تاریخچه زمانی شتاب عرضی ساختمان با پلان گرد

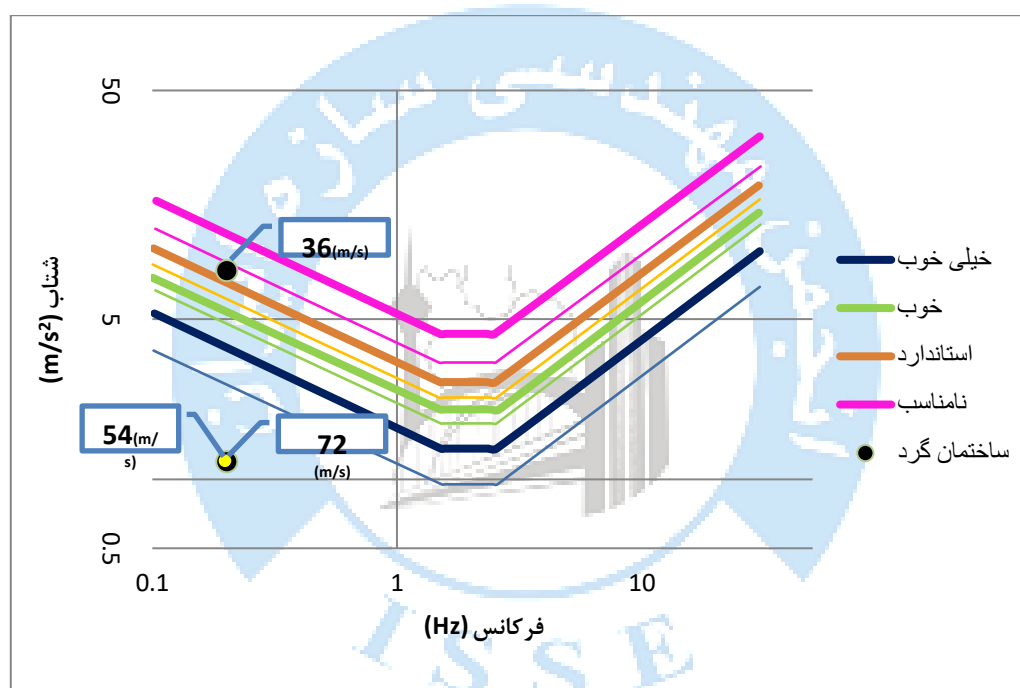
تاریخچه زمانی شتاب عرضی ساختمان بلند با پلان گرد برای سرعت های میانگین باد ۵۴،۳۶ و ۷۲ متر بر ثانیه و در تراز ارتفاعی بام ساختمان در شکل ۱۲ آورده شده است. در سرعت ۳۶ متر بر ثانیه بیشینه شتاب 0/01 متر بر مجذور ثانیه در کل مدت زمان تحلیل می باشد و در سرعت های ۷۲ و ۵۴ متر بر ثانیه مقادیر شتاب نزدیک به هم و حدود ۰/۰۵ متر بر مجذور ثانیه در زمان ابتدایی تحلیل بوده و در مدت زمان ۱۰۰ ثانیه اول تحلیل به 0/01 متر بر مجذور ثانیه کاهش یافته و در ۱۵۰ ثانیه آخر به صورت کاهشی به صفر میل نموده است.





شکل ۱۲: تاریخچه زمانی شتاب عرضی ساختمان با پلان گرد با سرعت میانگین باد برای سرعت‌های ۵۴،۳۶ و ۷۲ متر بر ثانیه و در تراز بام ساختمان

شکل ۱۳ انحراف معیار شتاب عرضی تحلیل حاضر را در تراز بام ساختمان بلند با پلان گرد در سه سرعت تحلیل شده در رده بندی آیین‌نامه AII-GEHBV، ۲۰۰۴ ژاپن نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که در سرعت ۳۶ متر بر ثانیه اندکی از منطقه استاندارد خارج شده و وارد منطقه نامناسب گشته است.



شکل ۱۳: نمایش تحلیل حاضر برای شتاب (عرضی) ساختمان با پلان گرد در تراز بام ساختمان برای سرعت‌های مختلف در رده بندی آیین‌نامه AII-GEHBV, 2004

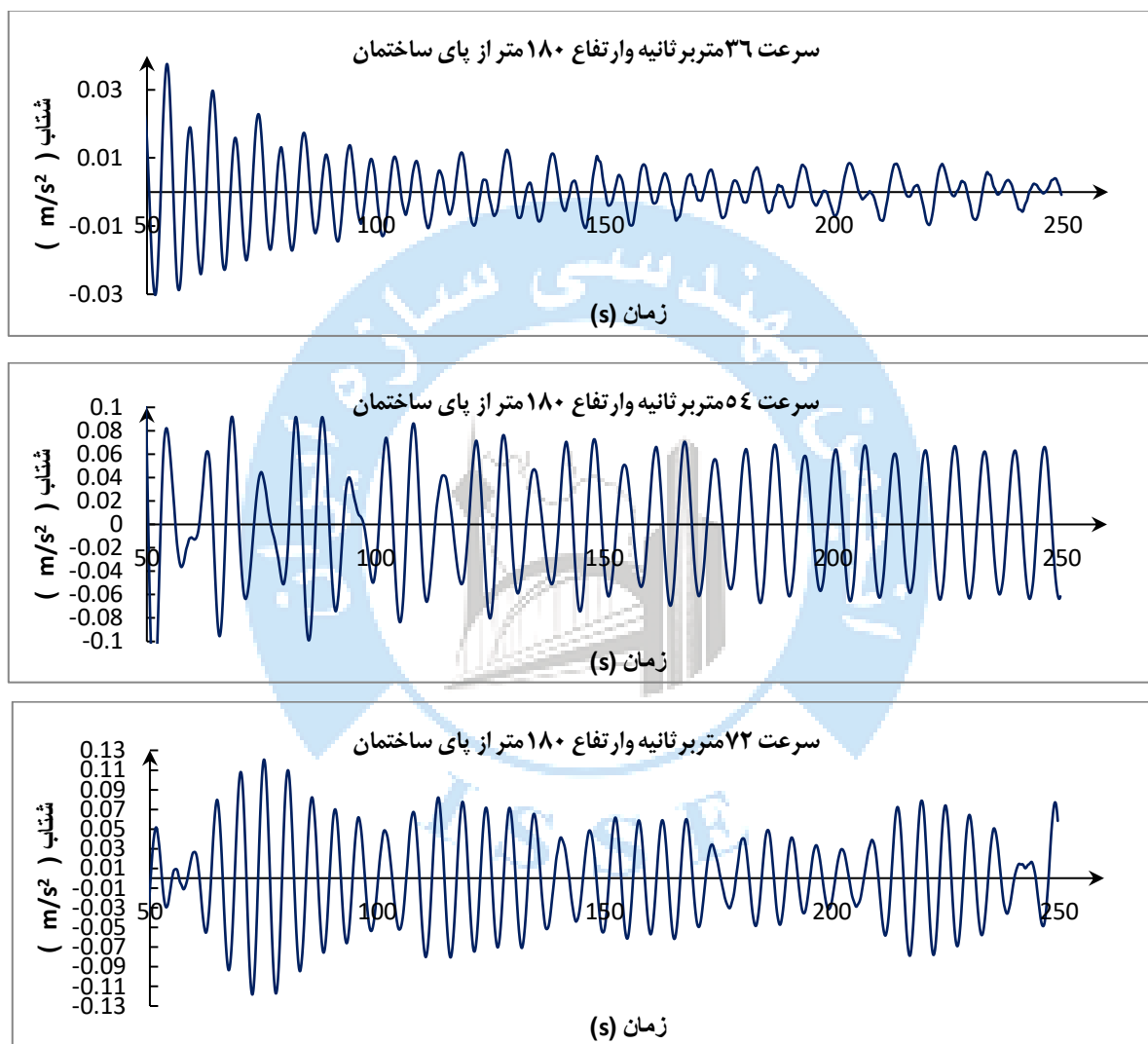
جدول ۴ مقادیر انحراف معیار شتاب عرضی را برای ارتفاع ۶۰ و ۱۲۰ متر از پای ساختمان با پلان گرد را برای سه سرعت تحلیل شده نشان می‌دهد همانند نتایج در تراز بام ساختمان برای سایر ارتفاعات در نظر گرفته شده نیز انحراف معیار شتاب عرضی در سرعت ۳۶ متر بر ثانیه دارای بالاترین مقدار عددی می‌باشد.

جدول ۴: مقادیر انحراف معیار برای ارتفاعهای ۶۰ و ۱۲۰ متر از پای ساختمان برای ساختمان با پلان گرد

ارتفاع	ارتفاع ۶۰	ارتفاع ۱۲۰
پاسخ عرضی	پاسخ عرضی	پاسخ عرضی
سرعت باد (متر بر ثانیه)		
36	0/041501944	0/06077672
54	0/002098601	0/00665329
72	0/00217599	0/00663884

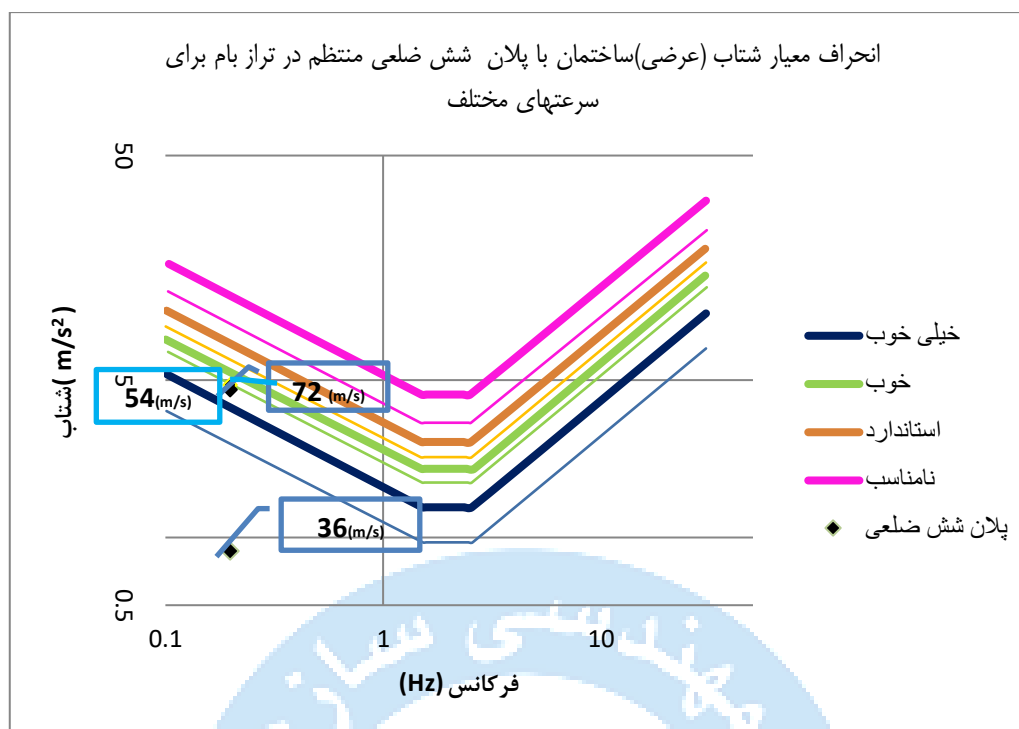
۳-۲-۴- تاریخچه زمانی شتاب عرضی ساختمان با پلان شش ضلعی منتظم

تاریخچه زمانی شتاب عرضی ساختمان بلند با پلان شش ضلعی منتظم برای سرعت‌های مختلف و در تراز بام ساختمان در شکل ۱۴ آورده شده‌اند. از اشکال فوق مشاهده می‌شود در سرعت ۳۶ متر بر ثانیه مقادیر بالای شتاب در حد 0/04 متر بر مجذورثانیه بوده و تا زمان ۱۰۰ ثانیه اول به صورت کاهشی به مقدار 0/015 متر بر مجذورثانیه کاهش یافته است. در سرعت ۵۴ متر بر ثانیه در تمام مدت تحلیل ساختمان در شتاب $\pm 0/1$ متر بر مجذورثانیه تقریباً با دامنه ثابت در نوسان بوده و در سرعت ۷۲ متر بر ثانیه این نوسان در تمام مدت تحلیل در به صورت متغیر مابین $\pm 0/13$ در نوسان می‌باشد.



شکل ۱۴: تاریخچه زمانی شتاب عرضی ساختمان با پلان شش ضلعی با سرعت میانگین باد ۳۶، ۵۴ و ۷۲ متر بر ثانیه و در تراز بام ساختمان

شکل ۱۵ انحراف معیار شتاب عرضی نمودارهای شکل ۱۴ را برای پلان شش ضلعی منتظم در تراز بام ساختمان برای سرعت‌های مختلف در رده بندی آیین‌نامه AII-GEHBV، ۲۰۰۴ ژاپن نشان می‌دهد که ساختمان با پلان شش ضلعی منتظم در جهت عرضی و در تراز بام ساختمان عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد؛ چون انحراف معیار شتاب در محدوده سطح خیلی خوب برای سرعت ۳۶ متر بر ثانیه و منطقه خوب برای سرعت‌های ۵۴ و ۷۲ متر بر ثانیه آیین‌نامه قرار می‌گیرد.



شکل ۱۵: نمایش تحلیل حاضر برای شتاب (عرضی) ساختمان با پلان شش ضلعی منتظم در تراز بام ساختمان برای سرعت‌های مختلف در رده بندی آیین‌نامه AIJ-GEHBV, 2004 ژاپن

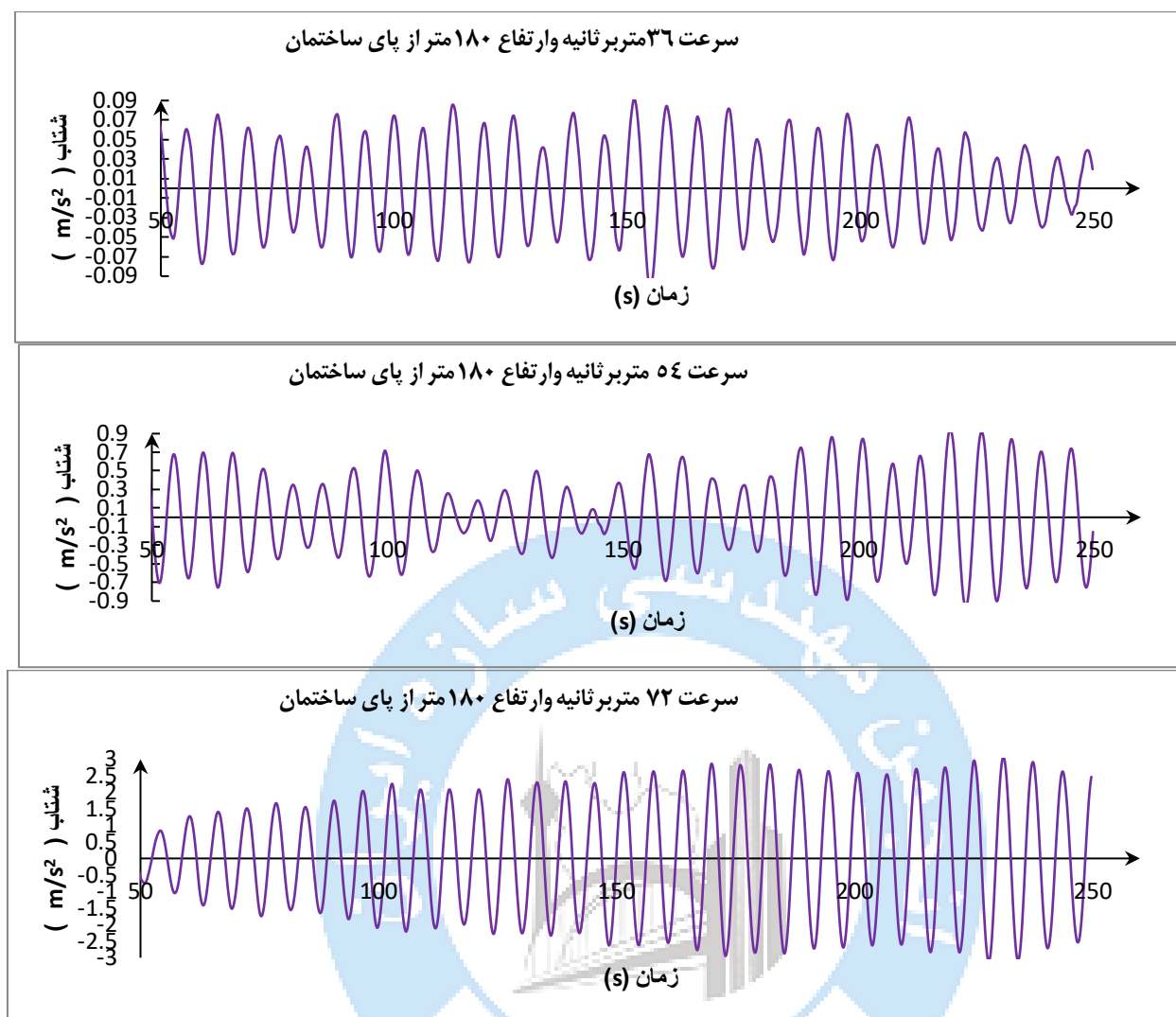
جدول ۵ مقادیر انحراف معیار شتاب عرضی را در ارتفاع ۶۰ و ۱۲۰ متر از پای ساختمان با پلان شش ضلعی منتظم را برای سه سرعت تحلیل شده نشان می‌دهد.

جدول ۵: مقادیر انحراف معیار میانگین برای ارتفاعهای ۶۰ و ۱۲۰ متر از پای ساختمان با پلان شش ضلعی منتظم

ارتفاع	ارتفاع ۶۰	ارتفاع ۱۲۰
سرعت باد	پاسخ عرضی	پاسخ عرضی
36	0/001494679	0/00486828
54	0/009026572	0/02717191
72	0/008057519	0/0254723

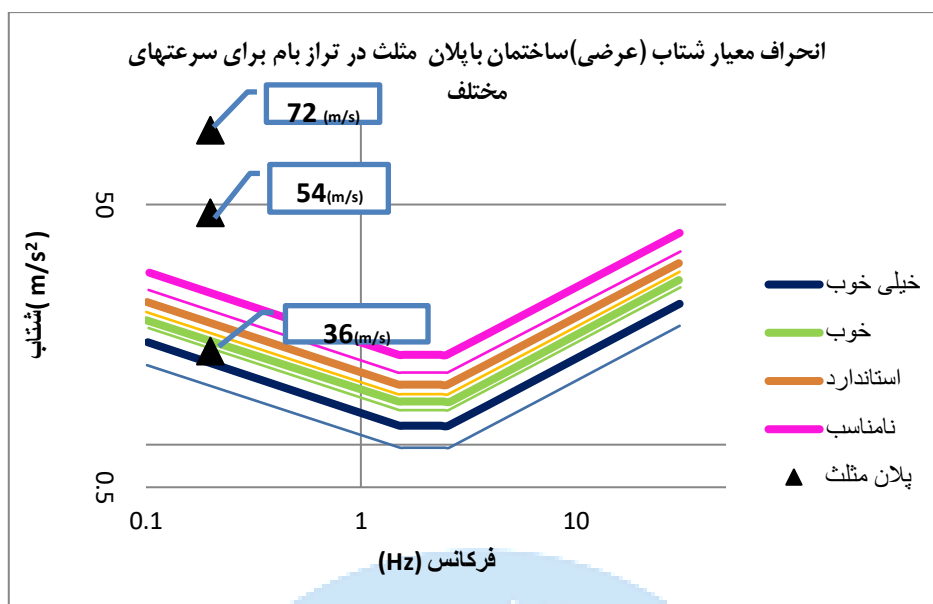
۳-۲-۴- تاریخچه زمانی شتاب عرضی ساختمان با پلان مثلث

تاریخچه زمانی شتاب عرضی ساختمان بلند با پلان مثلثی برای سرعت‌های مختلف و در تراز بام ساختمان در شکل ۱۶ آورده شده‌اند. طبق شکل مشاهده می‌شود در سرعت ۳۶ متر بر ثانیه مقادیر بالای شتاب در حد 0/09 متر بر مجذورثانیه بوده و تا زمان انتهایی تحلیل مابین $\pm 0/09$ متر بر مجذورثانیه در نوسان می‌باشد که این مقادیر بیشینه و کمینه شتاب برای سرعت ۵۴ متر بر ثانیه ۱۰ برابر افزایش یافته و ما بین شتاب $\pm 0/9$ متر بر مجذورثانیه در نوسان می‌باشد. در سرعت ۷۲ متر بر ثانیه رفتاری کاملاً متفاوت از تمامی تاریخچه‌های زمانی بالا مشاهده می‌گردد در زمانهای اولیه تحلیل تا ۱۰۰ ثانیه اول شتاب از صفر تا 2/5 متر بر مجذور ثانیه افزایش یافته و در ۱۵۰ ثانیه پایانی تحلیل مابین $\pm 2/5$ متر بر مجذور ثانیه نوسان می‌کند.



شکل ۱۶: تاریخچه زمانی شتاب عرضی ساختمان با پلان شش ضلعی با سرعت میانگین باد ۳۶، ۵۴ و ۷۲ متر بر ثانیه و در تراز بام ساختمان

شکل ۱۷ انحراف معیار شتاب عرضی نمودارهای شکل ۱۶ را برای پلان مثلث در تراز بام ساختمان برای سرعت‌های مختلف در رده بندی آیین نامه AIJ-GEHBV,2004 ژاپن نشان می‌دهد که ساختمان با پلان مثلث در جهت عرضی و در تراز بام ساختمان عملکرد خوبی از خود نشان نمی‌دهد؛ چون انحراف معیار شتاب در محدوده سطح نامناسب برای سرعت ۵۴ و ۷۲ متر بر ثانیه و سطح خوب برای سرعت ۳۶ متر بر ثانیه آیین نامه قرار می‌گیرد.



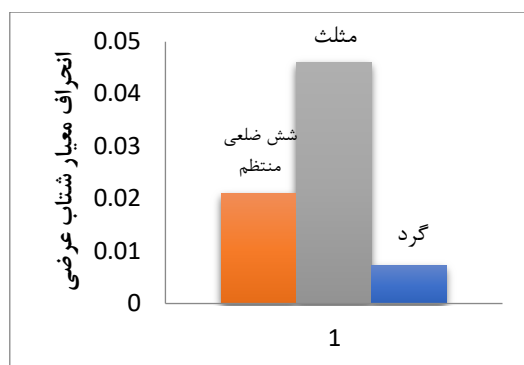
شکل ۱۷: نمایش تحلیل حاضر برای شتاب (عرضی) ساختمان با پلان مثلت در تراز بام ساختمان برای سرعت‌های مختلف در رده بندی آیین‌نامه-AII-GEHBV,2004 ژاپن

جدول ۶ نیز مقادیر انحراف استاندارد شتاب عرضی را برای ارتفاع ۶۰ و ۱۲۰ متر از پای ساختمان با پلان مثلتی را برای سه سرعت تحلیل شده نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد برای سایر ارتفاعات نیز با افزایش سرعت انحراف شتاب افزایش می‌یابد.

جدول ۶: مقادیر انحراف معیار میانگین برای ارتفاعهای ۶۰ و ۱۲۰ متر از پای ساختمان برای ساختمان با پلان مثلت

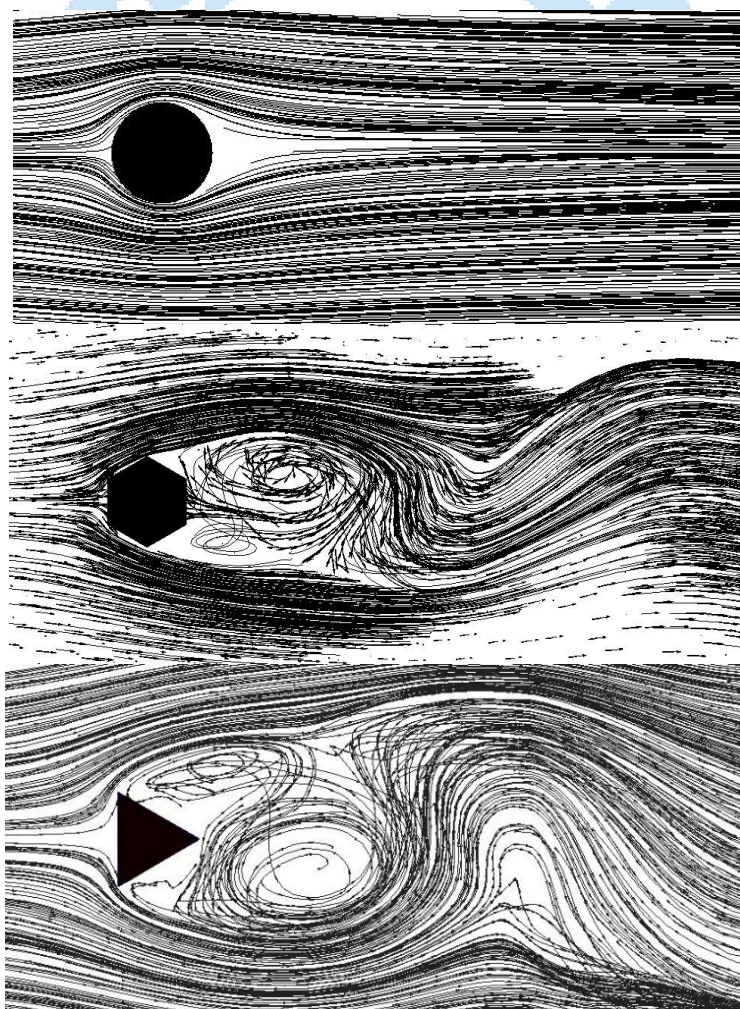
ارتفاع	ارتفاع ۶۰	ارتفاع ۱۲۰
سرعت باد	پاسخ عرضی	پاسخ عرضی
36	0/007770197	0/02517877
54	0/074126298	0/23968274
72	0/285954013	0/92869276

با مقایسه تاریخچه‌های زمانی وهم چنین ارزیابی انحراف معیار شتاب می‌توان دریافت که انحراف معیار شتاب ساختمان با پلان شش‌ضلعی منتظم بهترین حالت را از لحاظ امنیت روانی ساکنین دارد. ساختمان با پلان مثلت با اختلاف فاحش نسبت به سایر اشکال وضعیت بحرانی‌تری از خود در مواجهه با باد نشان داده است و بیشترین انحراف استاندارد شتاب عرضی را دارا می‌باشد و از لحاظ امنیت روانی برای ساکنین در حالت بحرانی قرار دارد. شکل (۱۸) به‌خوبی مقایسه انحراف معیار شتاب را در پلان‌های مختلف هندسی نشان می‌دهد.



شکل ۱۸: مقایسه انحراف استاندارد ساختمان با شکل پلان هندسی مختلف در بالاترین سرعت میانگین باد

نمایش خطوط جریان اطراف ساختمان نیز گویای وضعیت پاسخ ساختمان‌ها می‌تواند باشد شکل ۱۹ نمایش خطوط جریان را در سرعت ۳۶ متر بر ثانیه در تراز ارتفاعی ۱۰ متر از پای ساختمان‌ها را نمایش می‌دهد همانطور که مشاهده می‌گردد جریان‌ها در اطراف ساختمان گرد ملایم می‌باشد. در پلان شش ضلعی منتظم با توجه به اینکه خطوط جریان در دو مرحله شکسته می‌شود اندکی از نیروی باد می‌کاهد ولی در پلان مثلثی بلافاصله پس از برخورد باد به سطح ساختمان در دو گوشه اولی خطوط جریان جدا شده و شروع به تشکیل مناطق پشت ساختمان می‌نماید.



شکل ۱۹: نمایش گردبادهای تشکیل شده در پشت ساختمان‌های مدل شده در تحقیق حاضر

۵- نتیجه گیری

از تحلیل ساختمان‌های فوق‌الذکر می‌تواند یافت که پاسخ عرضی ساختمان‌های بلند در برابر باد از قاعده خاصی پیروی نمی‌کند و تابع سرعت میانگین باد، پلان ساختمان، نوع پاسخ می‌باشد؛ بنابراین بهتر است در تحلیل ساختمان‌های بلند در برابر باد به مسائل فوق توجه شود. خلاصه موارد مطالعه شده در تحقیق حاضر، می‌توان دریافت که:

- ۱- انحراف معیار شتاب عرضی ساختمان با پلان مثلث 2/19 برابر شش ضلعی منتظم و 6/36 برابر مقطع گرد می‌باشد. همچنین شتاب عرضی ساختمان با پلان شش ضلعی منتظم 2/9 برابر پاسخ ساختمان با پلان گرد می‌باشد.
- ۲- پاسخ انحراف معیار شتاب در جهت طولی ساختمان با شکل هندسی مثلث 2/29 برابر شش ضلعی منتظم و 1/97 برابر مقطع گرد می‌باشد. همچنین پاسخ طولی شتاب ساختمان با پلان شش ضلعی منتظم 0/85 برابر پاسخ ساختمان با پلان گرد می‌باشد.
- ۳- در سرعت ۷۲ متربرثانی در تراز بام ساختمان، نسبت شتاب طولی به پاسخ عرضی آن در پلانهای شش ضلعی منتظم ومثلثی به ترتیب 2/3 و 2/4 برابر بوده و در ساختمان با پلان گرد 7/8 برابر می‌باشد.
- ۴- ساختمان مثلث چه در جهت طولی و چه در جهت عرضی برای سرعت‌های ۵۴ و ۷۲ متربرثانیه عملکرد خوبی نداشته و راحتی ساکنان را به مخاطره می‌اندازد.

منابع:

- [1] Reiher H, Meister FJ. (1946). The effect of vibration on people. *Forsch Gebeite Ingenieurwes* 1931; 2:381-6 (in German) English Translation: Report No. F-TS-616-RE, Headquarters Air Material Command, Wright Field, Ohio.
- [۲] Robert J. hansen, John w. reed and Erik h. vanmarcke (1973). Human Response to Wind-Induced Motion of Buildings *Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 99, ST7, pp 66-74.*
- [3] Irwin, A. W. (1978). Human Response to Dynamic Motion of Structures. *The Structural Engineer. Vol. 56A, No. 9. 237-244.*
- [4] Griffis, L. G. (1993). Serviceability limit states under wind load. *AISC Engineering Journal, 30(1), 1-16*
- [5] Hong Kong Code of Practice. (2004). Code of practice on wind effects in Hong Kong. Hong Kong: Buildings Department.
- [6] Architectural Institute of Japan Recommendations. (2004). Guidelines for the evaluation of abitability to building vibration, AIJ-GEH-2004. Japan: Tokyo.
- [7] Kwok, K. C. S., Burton, M. D., & Hitchcock, P. A. (2007). Occupant comfort and perception of motion in wind-excited tall buildings. In *Proceedings of the 12th International Conference on Wind Engineering* (pp. 101-115). Cairns, Australia, 2-6 July, 2007.
- [8] Burton, M. D., Kwok, K. C. S., & Hitchcock, P. A. (2007). Occupant comfort criteria for wind-excited buildings: based on motion duration. In *Proceedings of the 12th International Conference on Wind Engineering* (pp. 1207-1214). Cairns, Australia, 2-6 July.
- [9] Willford, M.R & Smith, R.J. (2008). Performance based seismic and wind engineering for ۶۰ story twin towers in Manila. *The ۱۴th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China.*
- [10] AL Braun & AM Awruch (2009), Aerodynamic and aeroelastic analyses on the CAARC standard tall building model using numerical simulation, vol.87.issue, 9-10, pp 564-581. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2009.02.002>
- [11] ANSYS fluent 13.0 Theory Guide, ANSYS Inc., Canonsburg, PA, 2010.
- [12] Aboshosha, H. Alhefnawy, L. Fathelab, F. Shamel, A. (2010). Wind Induced Vibrations of Tall Buildings Using CFD. *The Fifth International Symposium on Computational Win Engineering (CWE2010), Chapel Hill, North Carolina, USA, May 23-27.*
- [13] Ciampoli, M., Petrini, F. and Augusti, G., (2011). Performance-based wind engineering: towards a general procedure. *Structural Safety, 33(6), pp.367-378.* <https://doi.org/10.1016/J.STRUSAFE.2011.07.001>
- [14] Shenghong Huang, Rong Li & Q.S.Li. (2012). Numerical Simulation on Fluid-structure Interaction of Wind around Supper-tall Building at High Reynolds Number Conditions, (ACEM' 12), pp 3875-3891.

- [15] Nakai, M. Hirakawa, K. Yamanaka, M. Okuda, H. Konishi ,A. (2013) Performance-based Wind-resistant Design for High-rise Structures in Japan
- [۱۶] M.F.Huang, QiangLi, C.M.Chan, W.J.Lou, K.C.S.Kwok, G.Li (2015) Performance -based design optimization of tall concrete framed structures subject to wind excitations
- [17] Fouad Y, E. (2017), A performance based design approach for tall buildings under wind loading, The University of Western Ontario, A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the Master of Science degree in Civil and Environmental Engineering
- [18] Mingfeng Huan (2017), High-Rise Buildings Under Multi-Hazard Environment, springer, china.
- [19] Rezapour, R. (2017). Evaluating the behavior of tall buildings (individual and group) in design based on performance against wind - Master's thesis, Ahar Azad University, Ahar, Iran
- [20] Eimani Kalehsar, H(2021). Estimating the response of tall buildings based on performance against wind, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
- [21] Alipour,A.Shafei, B . Sarkar ,P. (2022),Performance-Based Wind Design of Tall Buildings Considering the Nonlinearity in Building Response, 6th American Association for Wind Engineering Workshop (online) Clemson University, Clemson, SC, USA
- [22] Eimani Kalehsar, Houshyar. (2023). Performance Based Design of A Tall Building With Elliptic Plan shape Against The Wind, J. of Structure and Construction Engineering, Tehran, Iran.
- [23] Nazari, F., (2024). Estimating the Response of Tall Rectangular Buildings Based on Wind Performance, Master's Thesis, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran
- [24] Arundhati A. Ambekar1, P. M. Mohite. (2022). REVIEW ON PERFORMANCE BASED WIND ANALYSIS AND DESIGN. Dept . of Civil Engineering,Rajarambapu Institute of Technology, Islampur,Maharashtra,India,
- [25] Juan C. Vielma-Quintero, Jorge Carvallo and Juan C. Vielma. (2023). Comparative Assessment of Performance-Based Design Methodologies Applied to a R.C. Shear-Wall Building. Buildings2023, 13, 1492. <https://doi.org/10.3390/buildings13061492> Academic Editor

