

Effect of window width on the fire speed spread in high-rise buildings

Eng. Raya Haqqi Ismail*¹, Dr. Omar Hazim Kharufa¹

¹ College of Engineering | University of Mosul | Iraq

Received:
15/06/2023

Revised:
27/06/2023

Accepted:
18/09/2023

Published:
30/12/2023

* Corresponding author:
rayahaqqi@gmail.com

Citation: Ismail, R. H., & Kharufa, O. H. (2023). Effect of window width on the fire speed spread in high-rise buildings. *Journal of engineering sciences and information technology*, 7(4), 11 – 24. <https://doi.org/10.26389/AJSRP.Y150623>

2023 © AISRP • Arab Institute of Sciences & Research Publishing (AISRP), Palestine, all rights reserved.

• Open Access



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) [license](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Abstract: To improve and develop methods of design, and fire protection, architects, and engineers in the fields of protection face great challenges to reduce the loss of life, and property resulting from the outbreak of fires in buildings, especially high-rise buildings. Therefore, this study presented an explanation of the effect of window width, which could be an effective factor in the spread of fire, and its speed of transmission in high-rise buildings. The fire spread vertically by simulating its propagation characteristics in a 12-story building systematically by using the pyrosim program. Simulation results showed that the lowest speed of fire spread was 2 floors per minute in the model with windows 1.75 m wide. The risk of fire spreading in high-rise buildings decreases as the window width decreases, and vice versa. The study can contribute to choosing the optimal design alternative in terms of the speed of fire spread according to the width of the windows.

Keywords: Multi-storey, Hazard, Pyrosim, Fire Simulation, Safe Design, Façades openings.

تأثير عرض النوافذ على سرعة انتشار الحريق في المباني العالية

المهندسة / ربا حقي إسماعيل*¹، الدكتور / عمر حازم خروفه¹

¹ كلية الهندسة | جامعة الموصل | العراق

المستخلص: لتحسين وتطوير طرق التصميم والحماية من الحرائق، يواجه المعمارون والعاملين في مجالات الحماية تحديات كبيرة لتقليل الخسائر في الارواح والممتلكات الناتجة عن اندلاع الحرائق في المباني، وبالذات العالية منها. لذلك، قدمت هذه الدراسة توضيح لتأثير عرض النوافذ والتي يمكن أن تكون عاملاً مؤثراً في انتشار الحريق وسرعة انتقاله في المباني العالية. تمت متابعة انتشار الحريق عمودياً بمحاكاة خصائص انتشاره في مبنى مكون من 12 طابقاً وبشكل منهجي باستخدام برنامج pyrosim. بينت نتائج المحاكاة أن اقل سرعة لانتشار الحريق كانت 2 طابق/دقيقة في النموذج ذات النوافذ بعرض 1.75 م. أن خطر انتشار الحريق في المباني العالية يقل كلما قل عرض النافذة، والعكس صحيح. يمكن للدراسة أن تساهم في اختيار بديل التصميم الأمثل من حيث سرعة انتشار الحريق طبقاً لعرض النوافذ. الكلمات المفتاحية: متعدد الطوابق، المخاطر، بيروسيم، محاكاة الحريق، التصميم الآمن، فتحات الواجهة.

1. المقدمة

في السنوات الأخيرة ، لوحظ أن المباني العالية تتزايد بسرعة نتيجة للنمو السكاني والتحضر السريع بفضل التطورات في مجال مواد البناء والتكنولوجيا، وأصبح تصميم المباني العالية وتشييدها أسهل، فاليوم يتم بناء تلك المباني في جميع مدن العالم تقريباً [Hamouda,2012]. ان المخاطر يمكن أن تحدث نتيجة لعوامل الإهمال البشري أو سوء تنفيذ بعض الأعمال وعدم مطابقتها للمواصفات الفنية، ويجب تلافي تلك المخاطر التي يمكن أن تهدد سلامة المبنى وشاغليه، ويأتي نشوب الحريق في الابنية العالية على رأس هذه المخاطر والتي غالباً ما تؤدي إلى مآسي مفعجة وخسائر بشرية ومادية كبيرة [Yazdanfar, et al.,2015]. ان عدد الحرائق في المباني العالية يزداد بالتزامن مع زيادة عدد المباني، وهذا يسبب خسائر كبيرة في الارواح والممتلكات خاصةً اذا كان نشوب الحريق في الطوابق السفلية للمبنى [Mammoser & Battaglia,2004] و [Omar, et al.,2023]. يصعب السيطرة على الحريق الذي ينشب في تلك المباني، وكلما زاد الارتفاع زاد خطر الحريق، وقلت فرص الانقاذ، لذا تعتبر تدابير الامان خاصة في المباني التي يستخدمها الناس بكثافة ذو أهمية كبيرة في منع مخاطر نشوب الحريق [Haitao, et al.,2012]. تعتبر واجهات المباني وعلى وجه الخصوص عناصرها محفوفة بالمخاطر من حيث الامان من الحرائق وذلك لأنها تشكل صلة بين الداخل والخارج، لذا يجب أن تكون الواجهات كعناصر أساسية محمية من انتشار الحريق إلى المبنى وانتشاره في الاتجاهين الأفقي والرأسي، ومجهزة ببعض احتياطات الامان في مرحلة التصميم [Mazzucchelli, et al., 2020]. يتضمن البحث المقدمة ، ثم مراجعة الأدبيات ذات العلاقة بمشكلة البحث، بعد ذلك وصف لمنهجية البحث. فالتائج ومناقشتها ، ثم اختتام البحث بالاستنتاجات. لم تحدد الدراسات المتاحة تأثير عرض النوافذ في السيطرة على انتشار الحريق عمودياً بصورة دقيقة في مبنى عالي ، فمن الضروري إجراء أبحاث عن تأثير عرض النوافذ على الانتشار العمودي للحريق والتي يمكن أن تقدم اقتراحات مفيدة لتصميم الحماية والامان من الحرائق للمباني العالية.

2. الدراسات السابقة

درس [AbdRabbo, et al.,2013] تأثير النوافذ على انتشار الحريق في المباني عن طريق المحاكاة العددية باستخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية Fire Dynamics Simulator (FDS) ، تم دراسة مساحة النوافذ المختلفة وتأثير نسبة العرض الى ارتفاع النافذة على تدفق الحرارة الى الجدار الخارجي باختبار نوافذ مختلفة الشكل ذات مساحات متساوية ، نافذة مستطيلة عريضة ونافذة مستطيلة طويلة ونافذة مربعة اضافة الى نافذة مربعة بمساحة اصغر، وبينت النتائج ان مسار اللهب خلال النوافذ العريضة لا يبرز بعيداً عن الواجهة ولكنه يتشبث بالجدار، بينما لايميل إلى ذلك مع النوافذ الطويلة اي ان نسبة بعدي النافذة لها تأثير على النار الخارجة والدخان الى الطوابق العليا، وان تدفق الحرارة يزداد مع تناقص مساحة النافذة فالنوافذ ذات المساحة الاقل تساعد على سرعة انتشار الحريق بين الطوابق. قيم [Giraldo, et al., 2014] تأثير مساحة النافذة على انتشار الحريق باستخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS لحل النماذج ولرسم النماذج بواسطة PyroSim وعرض النتائج بواسطة Smokeview حيث تم متابعة سلوك اللهب المنبعث من النوافذ على الواجهات، وقد تم دراسة حالات مختلفة من مساحة النوافذ وفي غرفة بثلاثة طوابق، بينت النتائج ان مساحة النوافذ عاملاً مهمًا يجب مراعاته في التحكم في انتشار الحريق عبر الواجهة و يتناسب حجم اللهب ومقدار تدفق الحرارة المنبعث مع مساحة النوافذ حيث تقلل النوافذ الصغيرة من خطر الانتشار لأن تدفق الحرارة المنبعث أقل مقارنة بالنوافذ الكبيرة وبذلك يكون من الضروري استخدام البروزات الأفقية الأكبر عندما تكون النوافذ كبيرة للحماية من انتشار الحريق الى الطوابق العليا. استخدم [Nilsson, et al.,2016] تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS وتم بناء شقة مع تكوينين للفتحات: باب ونافذة لبيان تأثير اللهب الخارجي على واجهة المبنى وبينت النتائج ان عمود النار المنبعث من خلال نوع الباب الضيق يتسبب في زيادة سرعات الغاز خلال الفتحة، مما يؤدي إلى خروج عمود الحريق بعيداً عن الواجهة من ناحية أخرى ، فإن نتيجة نوع النافذة الأوسع هي سرعات منخفضة ، وبالتالي ينطلق عمود الحريق بالقرب من السطح الخارجي للمبنى. درس [Iringová & Vandlíčková.,2021] تأثير معامل التهوية على سرعة انتشار الحريق في نموذج لمبنى سكني مكون من خمسة طوابق باستخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق FDS وحيث ان المحاكاة العددية تستغرق وقتاً طويلاً لذلك اقتصرتم الدراسة على وحدة سكنية واحدة تمثل شقة من خمسة غرف تقع في الطابق الثاني في مبنى من هياكل خشبية محمية من الداخل بالتغليف من اللوح الجصي المقاوم للحريق، وتأخذ محاكاة الحريق في الاعتبار معامل التهوية متغير حسب مساحة النافذة في الجدران الخارجية بحالتين الأولى تمثل 30% والثانية حوالي 60% من المساحة الكلية للجدران المحيطة، وظهرت النتائج في محاكاة الكمبيوتر التي تم إجراؤها ، أن ديناميكية الحريق تختلف اعتماداً على معامل التهوية، مع زيادة معامل التهوية، ينخفض معدل إطلاق الحرارة واختزال عملية الاحتراق بأكملها، يتم تقليل وقت تحميل الحرارة وكذلك درجة حرارة سطح الهياكل الحاملة للحريق وانتشار الحريق. مع تناقص مساحة النافذة في جدار الغلاف، مما يؤثر على معامل التهوية والحمل الحراري على هياكل المبنى. قدم [Chen, et al.,2001] دراسة عددية لمساحات واشكال مختلفة للنوافذ ومدى تأثيرها على انتشار الدخان والحرارة

في المباني المتعددة الطوابق، تم تنفيذ ثلاثة سيناريوهات مستطيل بعرض 2.24 م وارتفاع 0.96 م ومساحة 2.1504 م²، ومستطيل بعرض 0.96 م وارتفاع 2.24 م ومساحة 2.1504 م²، ومربع بعرض 0.96 م وارتفاع 0.96 م ومساحة 0.9216 م². وجد تحليل النتائج الحسابية أن شكل النوافذ والمساحة تؤثر على نمط الحرارة والدخان وسلامة الشاغلين في الطوابق العليا. عند اعتماد فتحة الحريق بالشكل ذاته، فإن خطر الحرارة والدخان عند الطوابق العليا يكون كبيراً كلما كان ارتفاع الفتحة صغيراً. أي ممكن للنوافذ قليلة الارتفاع أن تسبب في انتشار تيار ساخن ودخان إلى مستويات أعلى. ويكون خطر الحرارة والدخان عند الطوابق العليا أكبر عندما يكون عرض الفتحة كبيراً، وبالنسبة لمساحة النافذة فالنافذة ذات المساحة الصغيرة ممكن أن تسبب درجات حرارة عالية وتركيز دخان في غرفة الحريق. أي أن حجم فتح النافذة قد يكون له تأثير على مستوى خطر الحريق في الغرفة وبذلك ينبغي النظر بعناية في تصميم النوافذ للمباني متعددة الطوابق من حيث الأمان. كما تناولت دراسة [Oleszkiewicz, 1989] تأثير ابعاد النوافذ على معدل انتشار الحريق عمودياً في واجهة المبنى، تم اجراء خمسة تجارب لابعاد مختلفة من النوافذ، (العرض*الارتفاع) للحالات الخمسة كانت كالتالي: الحالة الاولى 0.94 م* 2.00 م، الحالة الثانية 0.49 م* 2.70 م، الحالة الثالثة 2.60 م* 1.37 م، الحالة الرابعة 2.6 م* 2.00 م، والحالة الخامسة 2.6 م* 2.7 م. تعد ابعاد النوافذ عامل مهم يؤثر على مستوى التعرض الحراري للجدار الخارجي، ان حرق الوقود داخل غرفة الحريق تكون في النوافذ الكبيرة أكبر من النوافذ الصغيرة، وبالتالي فان كل من درجة حرارة عمود النار الخارجي وارتفاع الجزء المشتعل منه يكونان قليلان. تتحكم نسبة ارتفاع فتحة النافذة إلى عرضها في شكل عمود النار، وتميل النوافذ الطويلة إلى إخراج اللهب بعيداً عن الواجهة، مما يقلل من الاقتران الحراري بين اللهب والواجهة ويسبب تعرضاً حرارياً منخفضاً نسبياً لها. قدم [peng & Ni., 2016] دراسة تجريبية للتحقق من أداء الجدران الستارية الزجاجية المعرضة للهب الخارجي والعمود المنبعث من النوافذ. تم إنشاء مرفق اختبار بارتفاع 3 طوابق باستخدام إطار فولاذي لإجراء اختبارات كاملة لتوصيف التهديدات المحتملة من اللهب المنبعث من النافذة إلى جدران الستارة الزجاجية في الطوابق العليا، تم قياس درجة الحرارة وسرعة الهواء على ارتفاعات مختلفة فوق الفتحة على الجدران الستارية أثناء كل اختبار وتمت دراسة تأثير نسبة أبعاد النافذة. بينت النتائج أن النافذة ذات نسبة العرض إلى الارتفاع الكبيرة تشكل تهديداً أكبر للحوائط الستارة في الطوابق العليا وسيؤدي ذلك إلى ارتفاع درجات حرارة السطح وتدفق الحرارة وسرعة الغاز العمودي على الواجهة. وتم إجراء مجموعة من التجارب من قبل [Shi, et al., 2014] لدراسة آليات حركة الدخان في سلم الطوارئ لمبنى عالي عن طريق تغيير ارتفاع النافذة المفتوحة في نموذج بناء مكون من 12 طابقاً، أبعاد النموذج 12.2 مترًا ارتفاعاً و 2.6 مترًا طولاً و 1.5 مترًا عرضاً. يبلغ ارتفاع الطابق الأرضي 1.2 متر والطوابق الأخرى بارتفاع 1.0 متر، مساحة النافذة في كل طابق 0.9 م (ارتفاع) * 0.7 م (عرض)، تم تركيب اثني عشر مزدوجاً حرارياً في منتصف السلالم لقياس التغير في درجة الحرارة، وان موقع النافذة يؤثر على آليات حركة الدخان في السلم، يتم فتح نوافذ الطابق العلوي (12)، والطابق العلوي (9)، والطابق الأوسط (6) والطابق السفلي (3) بينما النوافذ الأخرى تظل مغلقة. بينت النتائج ان مصدر النار وارتفاع النافذة المفتوحة يؤثر بشكل كبير على معدل اطلاق الحرارة. ويمكن ان يستفاد المهندسين من النتائج في تصميم نظام التحكم لانتشار الدخان في سلم الطوارئ للابنية العالية. لا يوجد دراسة لتأثير عرض النوافذ على انتشار الحريق العمودي بشكل خاص في الدراسات المتاحة.

3. المنهجية

لغرض مقارنة تأثير نماذج بنوافذ مختلفة العرض للمباني العالية على سرعة انتشار الحريق، تم استخدام تقنيات محاكاة الكمبيوتر (FDS) Fire Dynamics Simulator، حيث يمكن لنماذج FDS التنبؤ بالحرارة وأول أكسيد الكربون والمواد الأخرى أثناء الحرائق، مع برنامج PyroSim الذي يمثل واجهة مستخدم رسومية لـ FDS ويتم رسم النماذج بواسطته، ويتم عرض النتائج بواسطة برنامج Smokeview [Grattan, et al., 2022] و [Eng.thunderhead, 2022] و [Ahmed, et al., 2020]. تم دمج كل من برامج التصوير FDS و Smokeview بشكل وثيق في PyroSim. توفر واجهة PyroSim ملاحظات إدخال فورية وتضمن التنسيق الصحيح للملف إدخال FDS [Pyrosim, 2020] تعد محاكاة النار من أدوات النمذجة الحاسوبية القوية التي يمكن استخدامها لتقديم إجابات للأسئلة التي قد لا توفرها طرق التحليل التقليدية [D'Orazio, et al., 2020] و [Trulli, et al., 2018] وتمثل هذه الأيام أداة فعالة من حيث التكلفة والوقت [Mazzucchelli, 2020]. يمكن استخدام المحاكاة لتقديم توصيات لتعليم الناس ما يجب القيام به في حالة نشوب حريق من أجل الامان [D'Orazio, et al., 2020].

1.3 تصميم المبنى بنماذج ذات نوافذ مختلفة العرض

تم متابعة المحاكاة الحاسوبية لتطور الحريق لثمانية نماذج بنوافذ مختلفة العرض، والجدول (1) يوضح متغيرات البحث والمعلومات الثابتة. والشكل (1) يوضح المخططات الأفقية وثلاثية الابعاد للنماذج ذات النوافذ مختلفة العرض [A و B و C و D و E و F و G و H].

الجدول 1: متغيرات البحث والمعلومات الثابتة

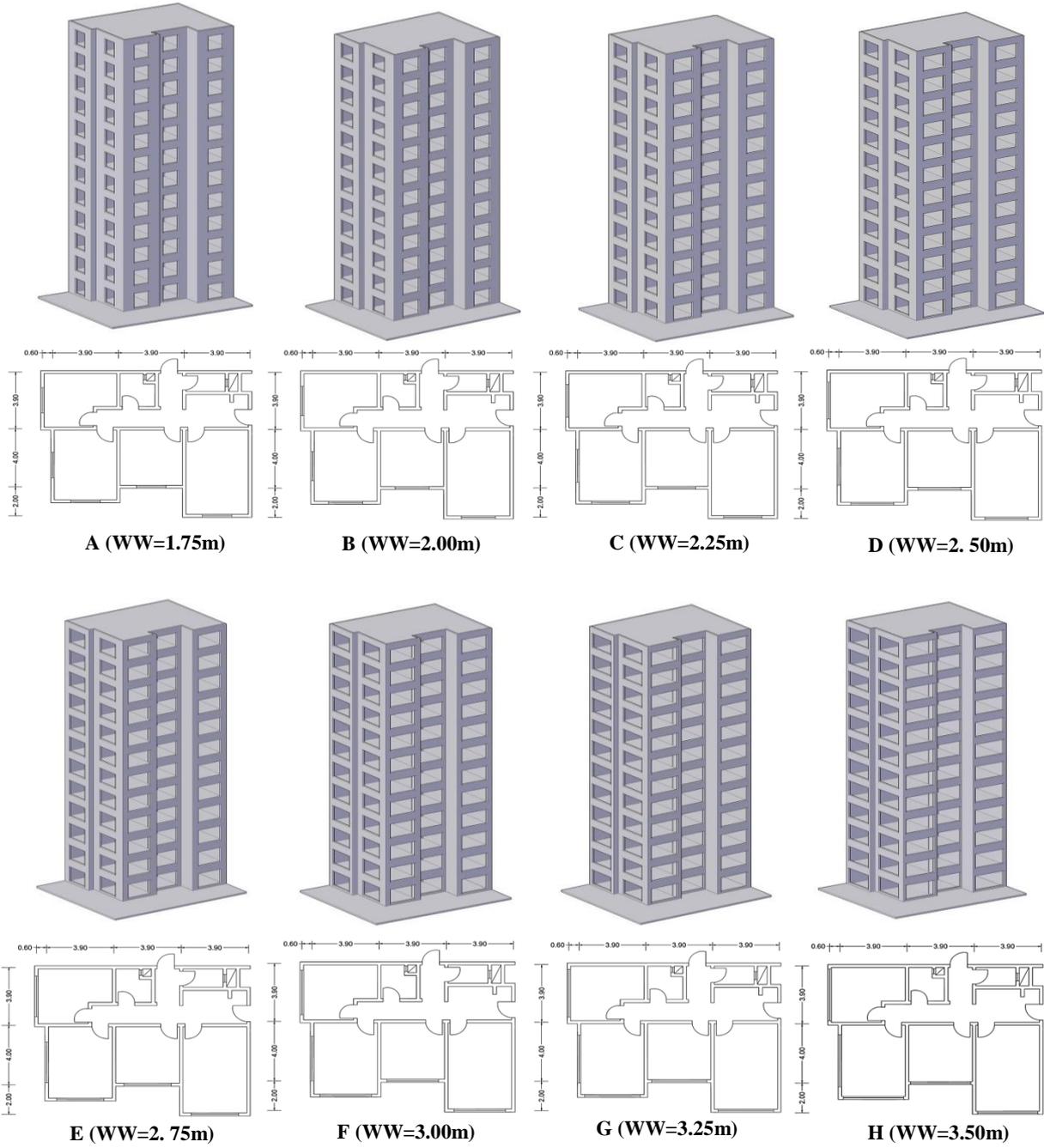
المتغير المستقل	عرض النوافذ: في النماذج A 1.75 م و B 2.00 م و C 2.25 م و D 2.50 م و E 2.75 م و F 3.00 م و G 3.25 م و H 3.50 م.
المتغير التابع	سرعة انتشار الحريق
المعلومات الثابتة	مساحة المبنى (117 م ²) - موقع مصدر الحريق (الطابق الثاني) - معدل إطلاق الحرارة (1000 كيلوواط/م ²)- تصميم الأثاث - مواد البناء - ارتفاع النوافذ (2 م) - البعد ثابت بين الأثاث وفتحات النوافذ .

2.3 تصميم مشهد الحريق

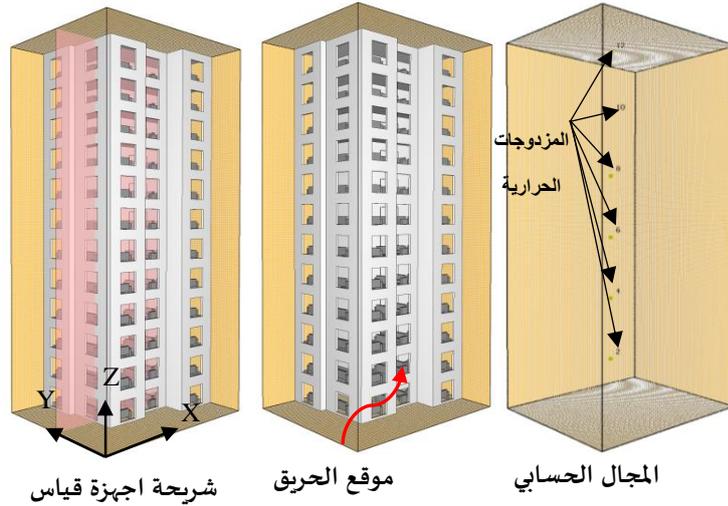
نطقة مصدر الحريق بأبعاد 0.5 × 0.5 م ، وشبكة كائن المحاكاة في المجال الحسابي مقسمة إلى 64*54*144، وحجم الخلية 0.25 م* 0.25 م* 0.25 م، ليكون عدد الخلايا الإجمالي 497664. زمن المحاكاة بحدود 300 ثانية، وان مادة تفاعل الاحتراق عبارة عن رغوة البولي يوريثان. ان درجات الحرارة الأولية 44 °C والرطوبة النسبية 24% في نموذج المحاكاة. ويعرض الجدول (2) الخصائص الحرارية للمواد المستخدمة في المحاكاة.

الجدول 2: الخصائص الحرارية للمواد المستخدمة في المحاكاة

المادة	السمك (ملم)	الكثافة (كغم/م ³)	الحرارة النوعية (كيلوجول/ كغم. كلفن)	التوصيل (واط / م.كلفن)
هيكل خرساني	200	2280	1.04	1.8
قماش التجنيد	2	100	1	0.1
الاسفنج	100	40	1	0.05



تم وضع مزدوجات حرارية في الطوابق الثاني والرابع والسادس والثامن والعاشر والثاني عشر وذلك لقياس تغير درجة الحرارة مع الزمن. وقد تم استخدام شريحة على بعد 6.0 م عن واجهة المبنى لمشاهدة التغير في درجة الحرارة كما موضح في الشكل (2).



الشكل 2: المجال الحسابي وشريحة اجهزة القياس

4. النتائج ومناقشتها

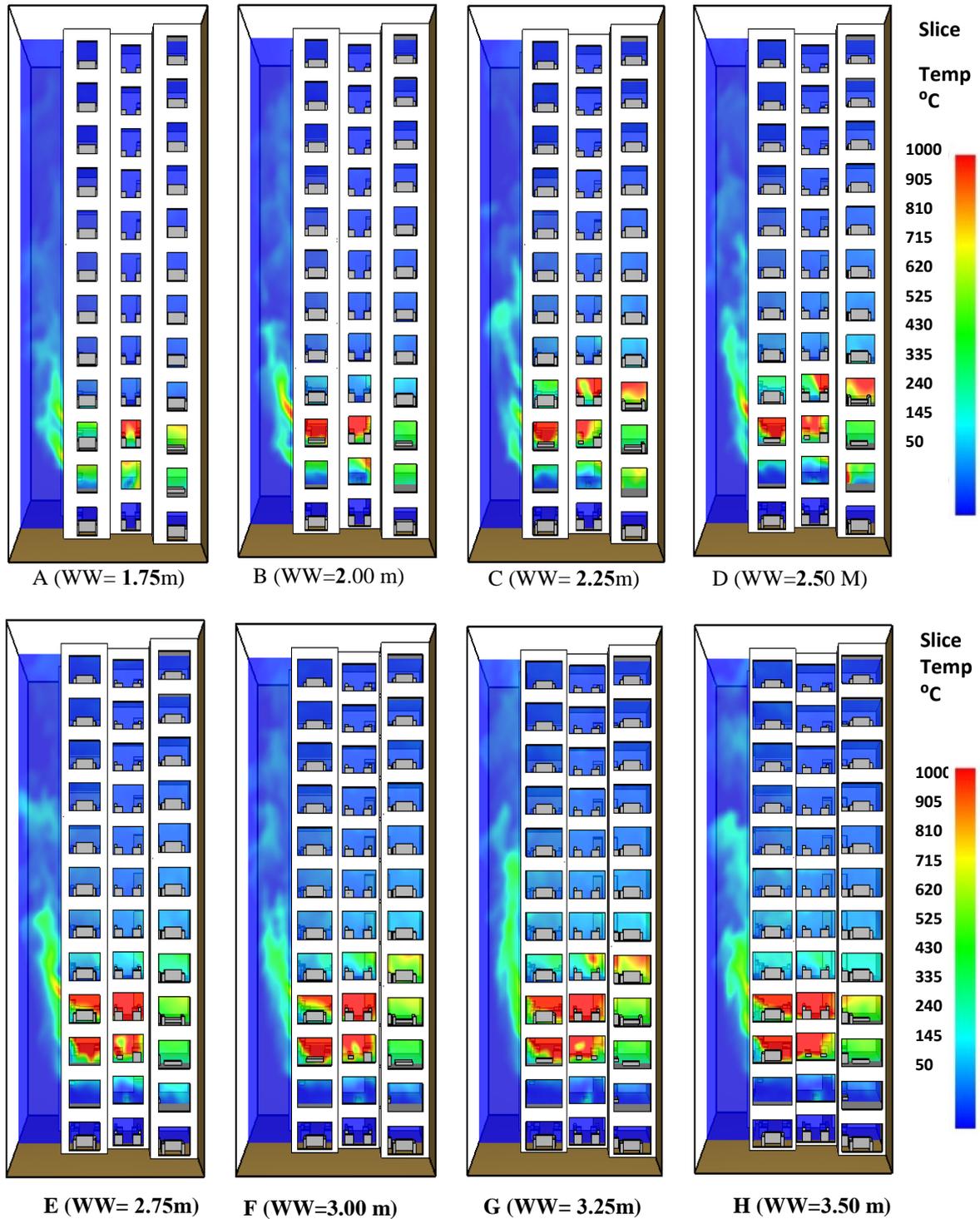
استغرقت المحاكاة بحدود 60 ساعة لكل من النماذج ذات النوافذ مختلفة العرض [A و B و C و D و E و F و G و H] وذلك لتأمين زمن محاكاة بحدود 300 ثانية.

1.4 نمط توزيع درجات الحرارة عند زمن محاكاة مقداره 80 ثانية

الشكل (3) يعرض نمط توزيع درجات الحرارة عمودياً في المشهد الامامي لمجموعة من النماذج ذات نوافذ مختلفة العرض [A و B و C و D و E و F و G و H] عند زمن محاكاة 80 ثانية، ويتبين من الشكل ان تقدم انتشار الحريق شمل الطابقين الثاني والثالث في حالة النموذج A ذو نوافذ بعرض 1.75 م، وان تقدم انتشار الحريق شمل الطابقين الثاني والثالث وهنالك ارتفاع طفيف في درجات الحرارة في الطابق الرابع في حالة النموذج B ذو نوافذ بعرض 2.00 م، كما ان تقدم انتشار الحريق شمل الطوابق الثاني والثالث والرابع وهنالك ارتفاع طفيف في درجات الحرارة في الطابق الخامس وابتداء تلاشي الحريق في الطابق الثاني وذلك في حالة كل من النموذج C ذو نوافذ بعرض 2.25 م والنموذج D ذو نوافذ بعرض 2.50 م، تقدم انتشار الحريق شمل الطوابق الثاني والثالث والرابع وهنالك ارتفاع في درجات الحرارة وبداية نشوب للحريق في الطابق الخامس مع تلاشي تماماً للحريق في الطابق الثاني وذلك في حالة كل من النموذج E ذو نوافذ بعرض 2.75 م والنموذج F ذو نوافذ بعرض 3.00 م والنموذج G ذو نوافذ بعرض 3.25 م والنموذج H ذو نوافذ بعرض 3.50 م.

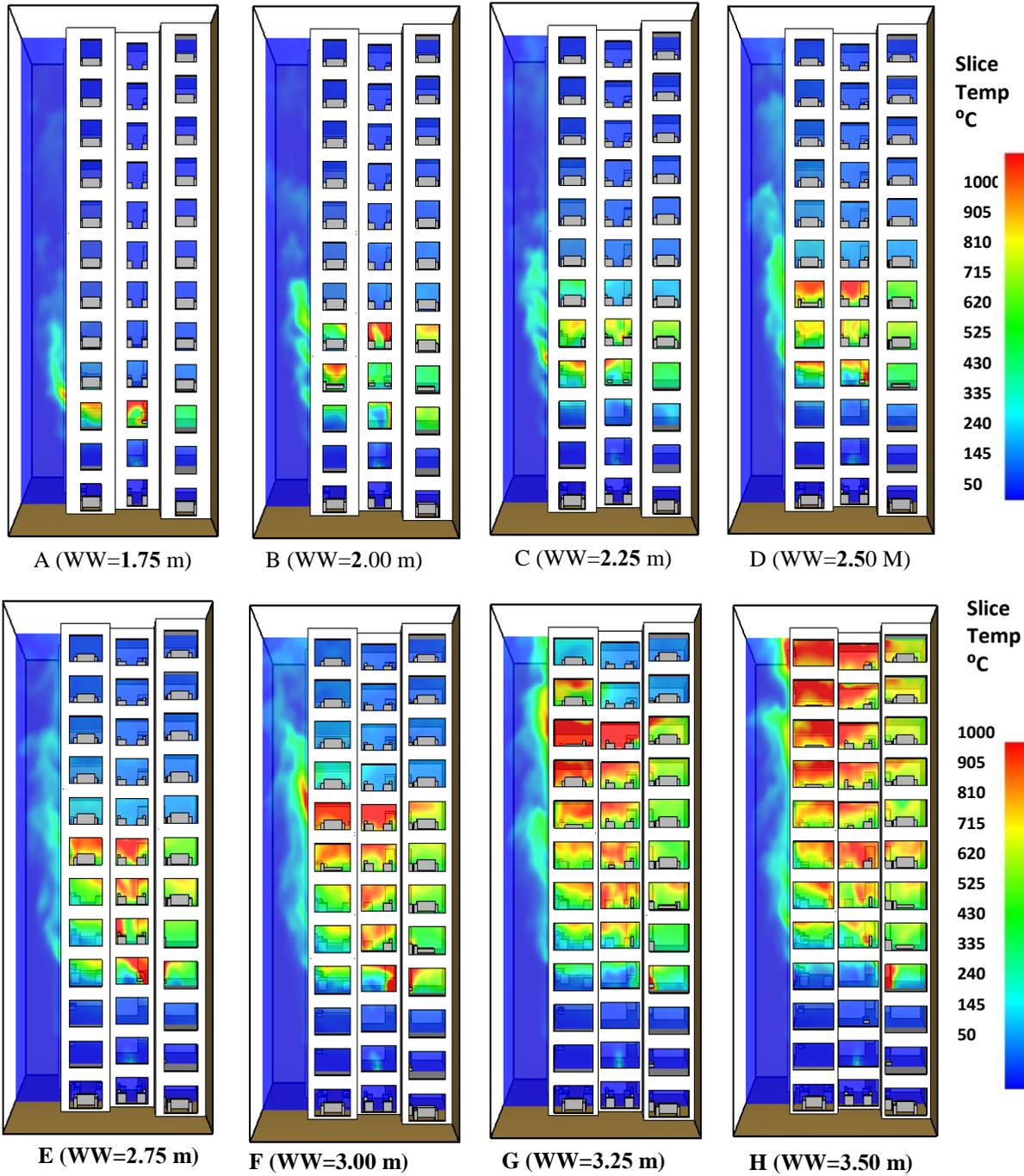
2.4 نمط توزيع درجات الحرارة عند زمن محاكاة مقداره 160 ثانية

الشكل (4) يعرض نمط توزيع درجات الحرارة عمودياً في المشهد الامامي لمجموعة من النماذج ذات نوافذ مختلفة العرض [A و B و C و D و E و F و G و H] عند زمن محاكاة 160 ثانية، ويتبين من الشكل ان تقدم انتشار الحريق توقف عند الطابق الثالث وان الحريق تلاشى تماماً في الطابق الثاني في حالة النموذج A، وان تقدم انتشار الحريق غطى الطابق الخامس



الشكل 3: نمط توزيع درجات الحرارة عمودياً عند زمن محاكاة 80 ثانية في الواجهة الامامية لنماذج بنوافذ مختلفة العرض [A و B و C و D و E و F و G و H].

وتلاشى تماماً في الطابق الثاني في حالة النموذج B ، كما ان تقدم انتشار الحريق غطى الطابق الخامس وبدأ في الانتشار في الطابق السادس وتلاشى تماماً في الطابقين الثاني والثالث في حالة النموذج C ، وان تقدم انتشار الحريق غطى الطابق السادس وتلاشى تماماً في الطابقين الثاني والثالث في حالة النموذج D ، وان تقدم انتشار الحريق غطى الطابق السابع وارتفاع طفيف في درجات الحرارة في الطابق الثامن وتلاشى تماماً في الطابقين الثاني والثالث في حالة النموذج E. وان تقدم انتشار الحريق غطى الطابق الثامن وبدأ بالانتشار في الطابق التاسع وتلاشى تماماً في الطابقين الثاني والثالث في حالة النموذج



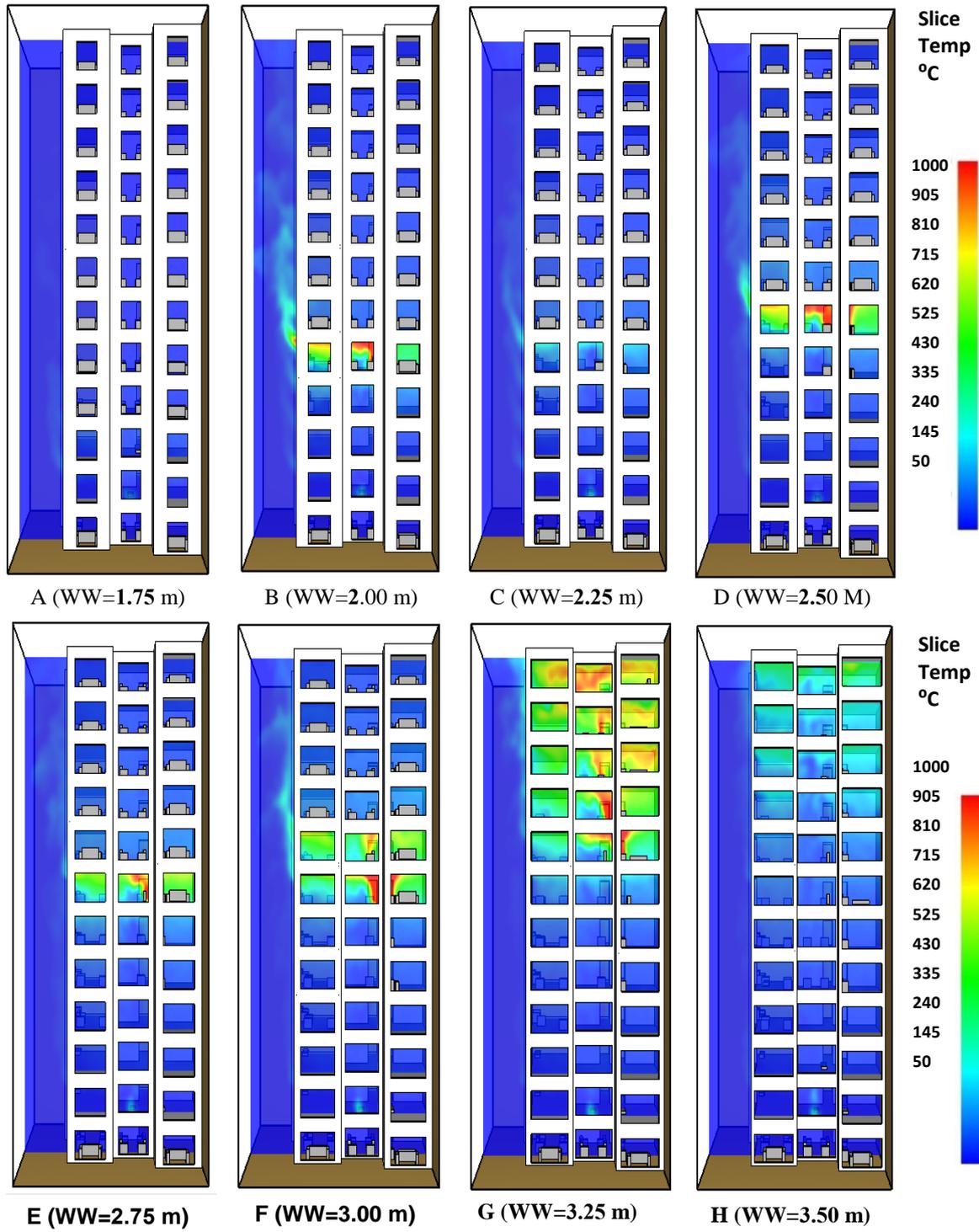
الشكل 4: نمط توزيع درجات الحرارة عمودياً عند زمن محاكاة 160 ثانية في الواجهة الامامية لنماذج بنوافذ مختلفة العرض [A و B و C و D و E و F و G و H].

F ، وان تقدم انتشار الحريق غطى الطابق العاشر وبدأ بالانتشار في الطابق الحادي عشر وتلاشى تماماً في الطابقين الثاني والثالث وبدأ في التلاشي في الطابق الرابع في حالة النموذج G ، كما ان تقدم انتشار الحريق غطى الطابق الثاني عشر وتلاشى تماماً في الطابقين الثاني والثالث وبدأ التلاشي عند الطابق الرابع في حالة النموذج H.

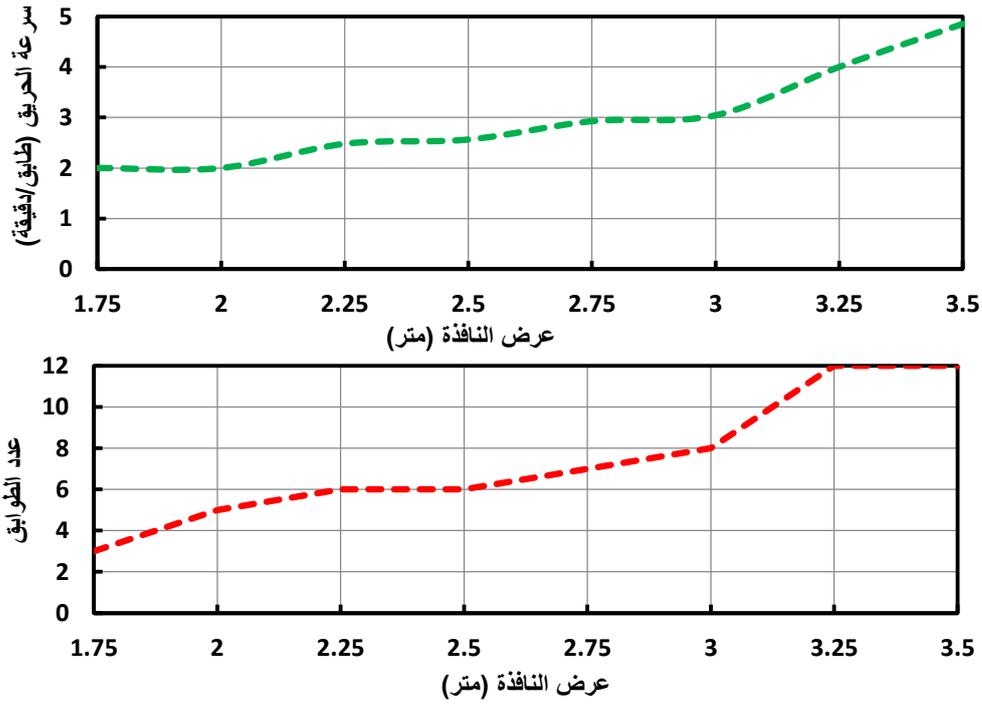
3.4 نمط توزيع درجات الحرارة عند زمن محاكاة مقداره 240 ثانية

الشكل (5) يعرض نمط توزيع درجات الحرارة عمودياً في المشهد الامامي لمجموعة من النماذج ذات نوافذ مختلفة العرض [A و B و C و D و E و F و G و H] عند زمن محاكاة 240 ثانية. ويتبين من الشكل ان الحريق تلاشى تماماً في حالة النموذج A، وان تقدم انتشار الحريق توقف عند الطابق الخامس واستمر تلاشى الحريق حتى الطابق الرابع في حالة النموذج B ، كما الحريق تلاشى تماماً حتى

الطابق الرابع وكذلك من الطابق السادس وتلاشى تقريبا من الطابق الخامس في حالة النموذج C ، و ان الحريق تلاشى تماما حتى الطابق الخامس وبدأت شدته بالانخفاض في الطابق السادس في حالة النموذج D ، و ان الحريق تلاشى تماما حتى الطابق السادس وبدأت شدته بالانخفاض في الطابق السابع في حالة النموذج E ، و ان الحريق تلاشى تماما حتى الطابق السادس وبدأت شدته بالانخفاض في الطابقين السابع والثامن في حالة النموذج F ، و ان تقدم انتشار الحريق غطى الطابق الثاني عشر وتلاشى تماما حتى الطابق السابع وبدأ في التلاشي في الطابقين الثامن والتاسع في حالة النموذج G ، كما ان الحريق تلاشى تماما حتى الطابق التاسع وبدأ التلاشي عند الطوابق الاخرى في حالة النموذج H. من متابعة المحاكاة لجميع النماذج ذات نوافذ مختلفة العرض حتى اعلى طابق يصله الحريق فان وصول الحريق الى الطابق الثاني عشر كان عند زمن محاكاة 136 ثانية و165 ثانية في النموذج H و G على التوالي، و ان الحريق وصل الطابق الثامن عند زمن 138 ثانية في النموذج F ، ووصل الطابق السابع عند زمن 123 ثانية في النموذج E ، ووصل الطابق السادس عند زمن 117 ثانية في النموذج D. ووصل الطابق السادس عند زمن 121 ثانية في النموذج C ، ووصل الطابق الخامس عند زمن 120 ثانية في النموذج B و وصل الطابق الثالث عند زمن 60 ثانية في النموذج A وبذلك يكون معدل الزمن المستغرق لانتشار الحريق في الطابق الواحد كان بحدود 12.0 ثانية في النموذج H، و 15 ثانية في النموذج G، و 20 ثانية في كل من النموذج E و F ، و 24 ثانية في كل من النموذجين D و C ، ثم 30 ثانية في النموذجين B و A، اي ان سرعة انتشار الحريق تناسب طرديا مع عرض النافذة وعكسيا مع الزمن اللازم لانتشار الحريق في الطابق الواحد. الشكل (6) يوضح تغير سرعة انتشار الحريق وعدد طوابق الحريق مع عرض النوافذ وعلى التوالي والنتائج من المحاكاة اعلاه ويتبين منهما ان هنالك زيادة في سرعة انتشار الحريق من 2 طابق /دقيقة الى 5 طابق /دقيقة تقريبا نتيجة مضاعفة عرض النوافذ وبتغير عرض النافذة الى الضعف فان عدد طوابق الحريق يزداد من 3 الى 12.



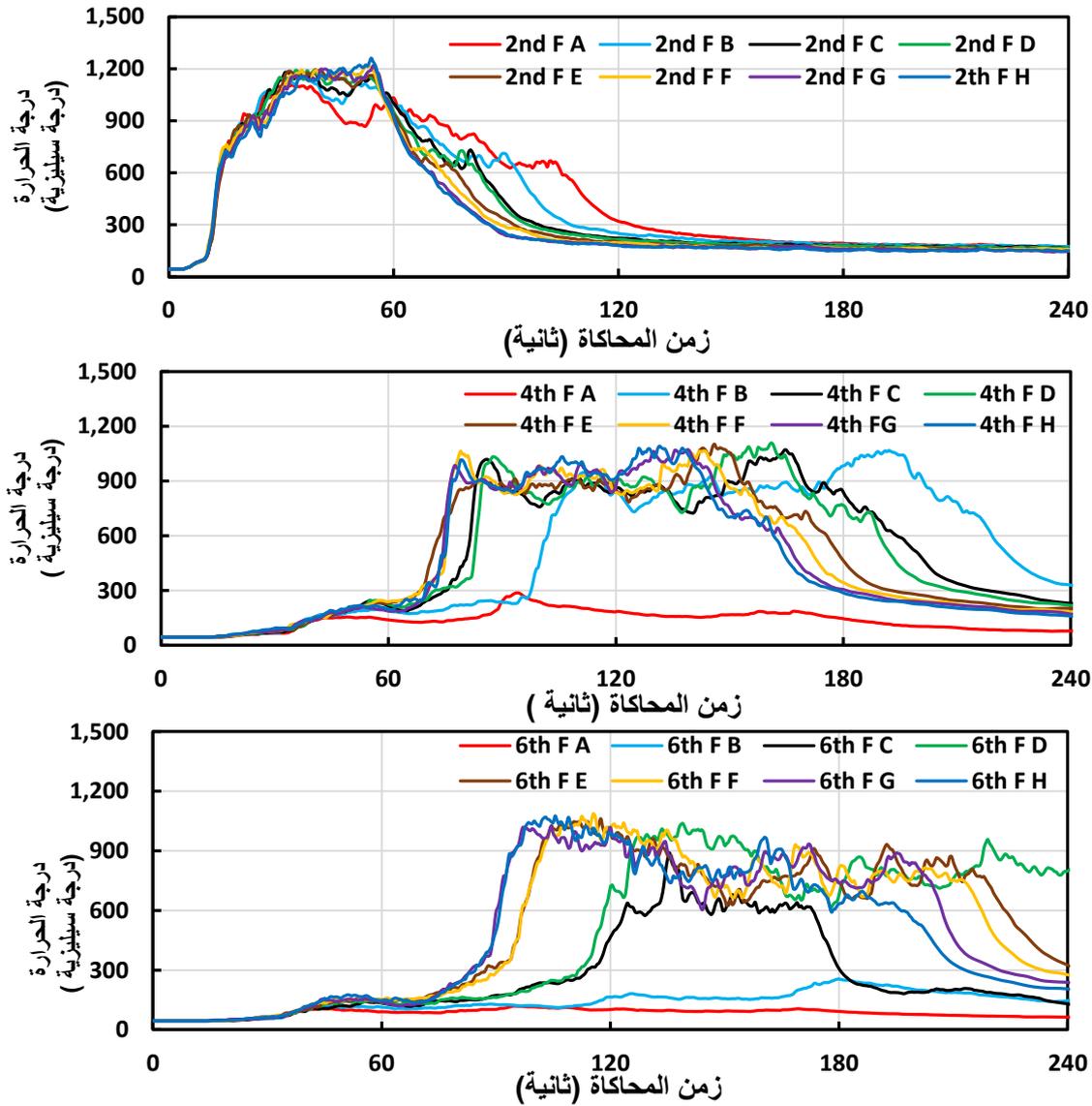
الشكل 5: نمط توزيع درجات الحرارة عمودياً عند زمن محاكاة 240 ثانية في الواجهة الامامية لنماذج بنوافذ مختلفة العرض [A و B و C و D و E و F و G و H].



الشكل 6: تغير سرعة الانتشار وعدد طوابق الحريق مع عرض النوافذ

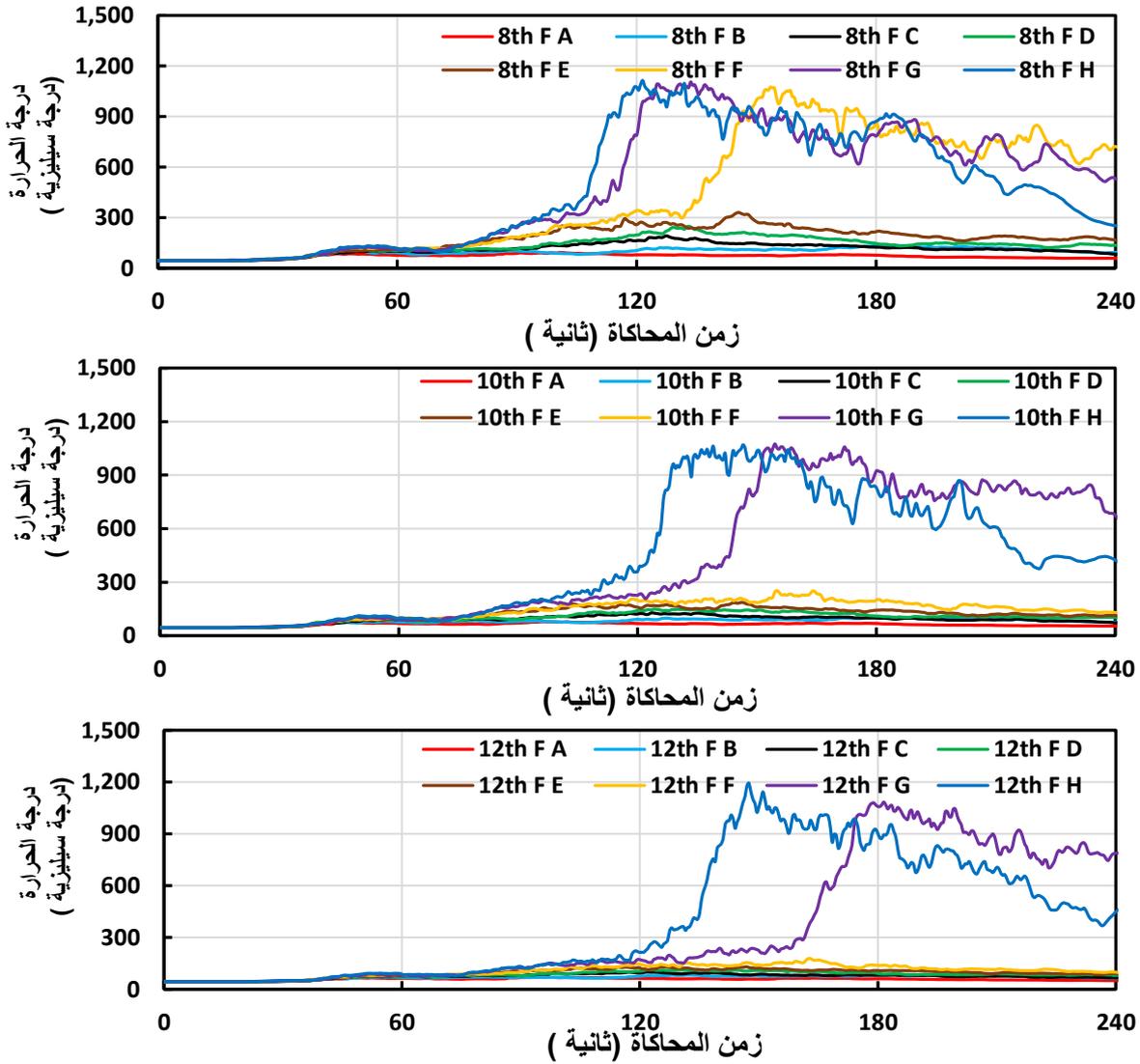
4.4 تغير درجة الحرارة مع الزمن

يعرض الشكل (7) تغير درجة الحرارة مع زمن المحاكاة عند الطوابق الثاني والرابع والسادس في المبنى لنماذج بنوافذ مختلفة العرض [A, B, C, D, E, F, G, H]. في الطابق الثاني نمط تغير درجة الحرارة مع تقدم الزمن كان متماثل لجميع النماذج [A و B و C و D و E و F و G و H] حيث كانت بداية متقاربة لنشوب الحريق عند هذا الطابق وفي زمن محاكاة بحدود 15 ثانية. وفي الطابق الرابع أيضاً نمط تغير درجات الحرارة متماثل لجميع النماذج ولكن هنالك تفاوت مع بداية تقدم الزمن اي ازاحة بين نمط وآخر حيث التفاوت في وصول الحريق الى الطابق فعند زمن محاكاة بحدود 73 ثانية في النماذج E و F و G و H وعند زمن محاكاة بحدود 83 ثانية في النموذجين C و D وعند زمن محاكاة بحدود 100 ثانية في النموذج B واما النموذج A فلم يصل الحريق الى هذا الطابق وكان هنالك ارتفاع في درجة الحرارة فقط. وعلى مستوى الطابق السادس فأن نمط تغير درجة الحرارة عاماً متماثل ايضاً مع زيادة التفاوت بين الانماط مع الزمن حيث وصول الحريق الى الطابق عند زمن محاكاة بحدود 90 ثانية في النموذجين G و H وعند زمن محاكاة بحدود 96 ثانية في النموذجين E و F، وعند زمن محاكاة بحدود 117 ثانية في النموذج D، وعند زمن محاكاة بحدود 121 ثانية في النموذج C، واما النموذج B فلم يصل الحريق الى هذا الطابق وهنالك ارتفاع طفيف في درجة الحرارة بعد زمن المحاكاة 180 ثانية.



الشكل 7: تغير درجة الحرارة مع زمن المحاكاة عند الطوابق الثاني والرابع والسادس في المبنى لنماذج بنوافذ مختلفة العرض [A, B, C, D, E, F, G, H].

ويعرض الشكل (8) تغير درجة الحرارة مع زمن المحاكاة عند الطوابق الثامن والعاشر والثاني عشر في المبنى لنماذج بنوافذ مختلفة العرض [A, B, C, D, E, F, G, H]. فعلى مستوى الطابق الثامن حيث التفاوت في وصول الحريق الى الطابق فعند زمن محاكاة بحدود 108 ثانية وصل الحريق في النموذج H وعند زمن محاكاة بحدود 114 ثانية في النموذج G وعند زمن محاكاة بحدود 137 ثانية في النموذج F واما في النماذج C و D و E فلم يصل الحريق الى هذا الطابق وهناك ارتفاع طفيف في درجة الحرارة بعد زمن المحاكاة 100 ثانية في النموذج E. وعلى مستوى الطابق العاشر فأن نمط تغير درجة الحرارة عامةً متماثل ايضاً مع زيادة التفاوت بين انماط مع الزمن حيث وصول الحريق الى الطابق عند زمن محاكاة بحدود 125 ثانية في النموذج H وعند زمن محاكاة بحدود 145 ثانية في النموذج G، واما النموذج F فلم يصل الحريق الى هذا الطابق وهناك ارتفاع طفيف في درجة الحرارة بعد زمن المحاكاة 154 ثانية. وأخيراً على مستوى الطابق الثاني عشر فأن نمط تغير درجة الحرارة عامةً متماثل ايضاً مع زيادة التفاوت بين الانماط مع الزمن حيث وصول الحريق الى الطابق عند زمن محاكاة بحدود 136 ثانية في النموذج H وعند زمن محاكاة بحدود 165 ثانية في النموذج G. ان التفاوت والزيادة في النماذج ناتج من تطور اداء الحريق نتيجة تأثير حركة تيارات الهواء باختلاف النماذج.



الشكل 8: تغير درجة الحرارة مع زمن المحاكاة عند الطوابق الثامن والعاشروالثاني عشر في المبنى لنماذج بنوافذ مختلفة العرض [H, G, F, E, D, C, B, A].

5. الاستنتاجات

1. بينت الدراسة من المقارنة لنماذج مختلفة بعرض النوافذ وجود اختلافات واضحة في أداء كل نموذج في سرعة انتشار وتقدم الحريق، فان سرعة انتشار الحريق تتناسب طرديا مع عرض النافذة وعكسيا مع الزمن اللازم لانتشار الحريق في الطابق الواحد، لذلك توصي الدراسة باستخدام نوافذ قليلة العرض قدر الامكان.
2. ضمن محددات البحث من المخطط الافقي ومساحة النوافذ اضافة الى الطاقة الافتراضية للحريق فهناك زيادة في سرعة انتشار الحريق من 2 طابق /دقيقة الى 5 طابق /دقيقة تقريبا وزيادة في عدد طوابق الحريق من 3 طابق الى 12 طابق وذلك نتيجة مضاعفة عرض النوافذ.

المراجع

- AbdRabbo, M. F., Ayoub, A. M., Ibrahim, M. A., & ELDIN, E. A. M. S. (2013). "Effect of Window Configurations on Fire Spread in Buildings". In 11th International Energy Conversion Engineering Conference, San Jose, CA. <https://doi.org/10.2514/6.2013-3947>.
- Ahmed, A. M. M., Mohamed, A. F., & Ahmed, M. R. (2021). "IMPROVING THE FIRE PERFORMANCE OF HIGH-RISE BUILDINGS'FAÇADE WITH NANO-THERMAL INSULATING MATERIALS". Journal of Al-Azhar University Engineering Sector, 16(58), 22-33.

- Chen, Siu Ming Lo, Weizhen Lu, Kwok Kit Yuen, Zheng Fang, D. (2001). "A numerical study of the effect of window configuration on the external heat and smoke spread in building fire". *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 40(8), 821-839.
- D’Orazio, A., Grossi, L., Ursetta, D., Carbotti, G., & Poggi, L. (2020). "Egress from a hospital ward during fire emergency". *J Homepage*, 10, 1-10.
- Eng, ThunderHead.(2022). "PyroSim user manual". The RJA Group Inc, Chicago, USA <https://support.thunderheadeng.com/docs/pyrosim/2020-2/user-manual/>.
- Giraldo, M.P, Avellaneda, J. Lacasta, A. and Burgos, C.(2014). "Numerical-Simulation Research On Building-Façade Geometry And Its Effect On Fire Propagation In Wooden Façades". In *WCTE 2014: World Conference On Timber Engineering: Quebec City, Canada, August 10-14, Proceedings* (Pp. 1-8) .
- Grattan, K. Hostikka, M., Floyd, S., McDermott, J., R. and Vanella, M., Fire .(2022). "Dynamics Simulator User’s Guide". Special Publication (NIST SP) .
- Haitao, C., Leilei, L., & Jiuzi, Q. (2012). "Accident cause analysis and evacuation countermeasures on the high-rise building fires". *Procedia engineering*, 43, 23-27.
- Hamouda, H. O .(2012). "Evaluation of the safety and security means in high-rise residential buildings Gaza city case study". Master Thesis, Islamic University of Gaza, Palestine.
- Iringová, A., & Vandlíčková, D. (2021). "Analysis of a fire in an apartment of timber building depending on the ventilation parameter". *Civil and Environmental Engineering*, 17(2), 549-558.
- Mammoser Iii, J. H., & Battaglia, F. (2004). "A computational study on the use of balconies to reduce flame spread in high-rise apartment fires". *Fire safety journal*, 39(4), 277-296.
- Mazzucchelli, E. S., Rigone, P., De la Fuente, B. J., & Giussani, P. (2020). "Fire Safety Façade Design and Modelling". *Journal of Façade Design and Engineering*, 8(1), 21-42.
- Nilsson, M., Mossberg, A., Husted, B., & Anderson, J. (2016). "Protection against external fire spread-Horizontal projections or spandrels". In *14th International Fire Science & Engineering Conference, Royal Holloway College, University of London, UK* (Vol. 2, pp. 1163-1174).
- Oleszkiewicz, I. (1989). "Heat transfer from a window fire plume to a building facade ". *National Research Council Canada, Institute for Research in Construction*, (pp. 163-170).
- Omar, M., Mahmoud, A., & Abdul Aziz, S. A. B. (2023). "Critical factors affecting fire safety in high-rise buildings in the Emirate of Sharjah". *UAE. Fire*, 6(2), 68.
- Peng, L., & Ni, Z. (2016). "Experimental study of window-ejected flame and plume on glass curtain walls". In *MATEC web of conferences* (Vol. 46, p. 05009). EDP Sciences.
- PyroSim user manual, Thunderhead engineering, <https://support.thunderheadeng.com/docs/pyrosim/2020-2/user-manual/>, 2020.
- Shi, W. X., Ji, J., Sun, J. H., Lo, S. M., Li, L. J., & Yuan, X. Y. (2014). "Influence of fire power and window position on smoke movement mechanisms and temperature distribution in an emergency staircase". *Energy and Buildings*, 79, 132-142.
- Trulli, E., Rada, E. C., Conti, F., Ferronato, N., Raboni, M., Talamona, L., & Torretta, V. (2018). "Fire simulation in a full-scale bilevel rail car: experimental analysis to assess passenger safety". *International journal of safety and security engineering*, 2018(1), 110-120.
- Yazdanfar, S. A. A., & Nazari, N. (2015). "Proposed physical-environmental factors influencing personal and social security in residential areas". *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 201, 224-233.