IRAQI Academic Scientific Journals
University of Mosul - Iraq College of Engineering AREJ Al-Rafidain Engineering Journal 1993
**Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)** Vol.28, No.2, September 2023, pp. 1-17

# تأثير متغيرات تصميم المباني العالية على سرعة انتشار الحريق: بحث مراجعة

**ريا حقي إسماعيل**
rayahaqqi@gmail.com

**عمر حازم خروفه**
omar.kharufa@uomosul.edu.iq

قسم هندسة العمارة، كلية الهندسة، جامعة الموصل، الموصل، العراق

تاريخ الاستلام: 23 ديسمبر 2022 استلم بصيغته المنقحة: 12 مايو 2023 تاريخ القبول: 6 يوليو 2023

***الملخص***

*في العقود الأخيرة، زادعدد المباني وارتفاعها بشكل كبيرحيث أصبح الارتفاع نوعًا من التحضر في جميع أنحاء العالم ،لذا يميل الناس إلى بناء المباني العالية، ولكن كلما زاد ارتفاع المبنى كلما زادت مخاطره. يعد الأمان أحد الروافد الأساسية التي يقوم عليها الاقتصاد المحلي، و يحتل مكانة مهمة على مستوى المنظمات الدولية في أي مكان من اجل حماية الأرواح والممتلكات. ان هذه المباني تستوعب كثافة سكانية كبيرة وبالنظر لكثرة الطوابق تبرز صعوبة التحكم والسيطرة على انتشار الحريق واخلاء المبنى من شاغليه. لذلك تهدف الدراسة بالدرجة الأولى الى تقييم عام للدراسات المتاحة التي تتناول متغيرات التصميم في المباني العالية وتأثراتها على انتشار الحريق سواء كان ذلك من ناحية درجة حرارة أودخان أوغازات سامة، ويتم تفعيل دورالمهندس المعماري من خلال تطوير وتحسين أساليب التصميم وكفاءة الأداء الوظيفي للمبنى واجراءات الحماية عند حدوث مخاطرالحريق في تلك المباني.*

***الكلمات الدالة:***

*المباني العالية، مخاطر الحريق، التصميم الآمن.*

*This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).*
*https://rengj.mosuljournals.com*
*Email: alrafidain_engjournal1@uomosul.edu.iq*

==========

## 1. المقدمة

اصـــبحت المباني العالية تمثل شـــكلاً حتمياً وجزءاً من المنظر الطبيعي المعاصـــر[1]، والمباني العالية هي كل مبنى اتجه في تكوينه المعماري إلى الرأســـية في التصـــميم والإنشـــاء، ويختلف مفهوم المبنى العالي طبقًا لعدة اعتبارات منها مســـتويات التحضـــر ووفقا للقوانين والتنظيمات وتشـــريعات البناء في المدينة، وقد تنشـــأ المباني ذات الارتفاعات العالية لاســـباب ســـياســـية او اقتصادية[2].

ويمكن تعريفها بأنها تلك المباني التي يكون ارتفاعها مميزاً وواضحاً بالنسبة للبيئة المحيطة [3]. وهنالك مخاطر يمكن أن تحدث نتيجة لعوامل الإهمال البشري أو سوء تنفيذ بعض الأعمال وعدم مطابقتها للمواصفات الفنية، ويجب تلافي المخاطر التي يمكن أن تهدد سلامة المبنى و شاغليه، و يأتي نشوب الحريق في المباني العالية على رأس هذه المخاطر و التي غالبا ما تؤدي إلى مآسي مفجعة و خسائر بشرية و مادية كبيـــــرة [4]. فعند نشوب الحريق يصعب السيطرة عليه وانقاذ الارواح وكلما زاد الارتفاع زاد خطر الحريق وقل الوقت لانقاذ الارواح، ويعني بالتصميم الآمن هو تكامل تدابير التحكم في وقت مبكر من عملية التصميم لإزالة أو تقليل المخاطر على الصحة والسلامة طوال عمر المبنى الذي يجري تصميمه، وسيكون التصميم الآمن دائمًا جزءًا من نطاق أوسع لمجموعة من أهداف التصميم، بما في ذلك الجمال والتكلفة والوظيفة [5]، يمكن للمصممين المعماريين اتخاذ قرارات تقلل بشكل كبير من المخاطر على المبنى , وتوفير متطلبات الأمان في المباني العالية. هنالك العديد من التدابيرالوقائية التي يجب اتخاذها لتأمين الحماية ومنع أو الحد من احتمال وقوع الحريق حيث تبدأ من مرحلة التخطيط والتصميم لاقامة المباني العالية امتداداً إلى مرحلة تزويدها بالوسائل الاضافية للاطفاء. المتطلبات الوقائية للحماية من الحريق تشمل نوعان من الوسائل: ●وسائل الحماية السالبة وتغطي ثلاث مراحل التخطيط (الموقع العام للمبنى، علاقة المبنى بالمجاورات، والشوارع المطلة عليه وغيرها)، ثم مرحلة التصميم (عناصر المبنى الأساسية من الاساسات والجدران ، والفتحات والأعتاب، والأبواب، والنوافذ، والاسقف والأرضيات، والسلالم ومسالك الهروب ومواد البناء وغيرها) ثم مرحلة التشغيل (متابعة الصيانة الدورية للمبنى وخاصة التوصيلات الكهربائية وصيانة المصاعد والسلالم وغيرها)، ● وسائل الحماية الفعالة وهي وسائل اضافية تساعد بالتعرف على الحريق اول نشوبه والقضاء عليه او الحد منه وتشمل وسائل الكشف والانذار والاطفاء اليدوية او التلقائية [3،5]. لذلك فإن الغرض الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم عام للبحوث المتاحة التي تشمل الدراسات المتعلقة بمتغيرات التصميم وتأثيرها على انتشار الحريق وعواقبه سواء كانت درجة الحرارة أو الدخان أو الغازات السامة ، من أجل تحقيق تصميم آمن من الحرائق للمباني العالية.

## 2. المتغيرات التصميمية المؤثرة على سرعة انتشار الحريق

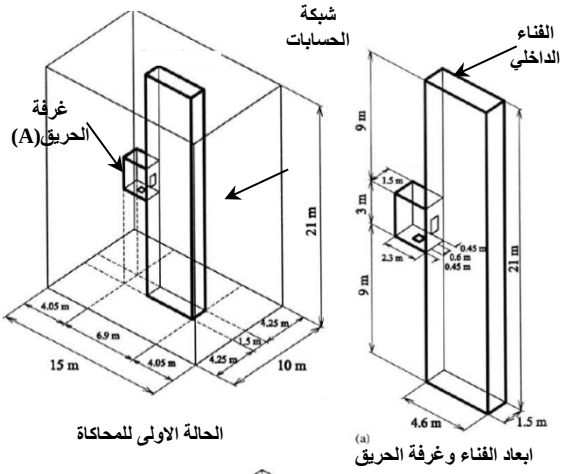
هنالك العديد من المتغيرات التصميمية التي تؤثر على سرعة انتشارالحريق ضمن عدة مستويات تشمل مخطط المبنى والتكوين والواجهات فضلا عن علاقة المبنى بالمجاورات، ان المتغيرات التصميمية تمثل المتغيرات المستقلة في حين يكون المتغير المعتمد هو سرعة انتشار الحريق.

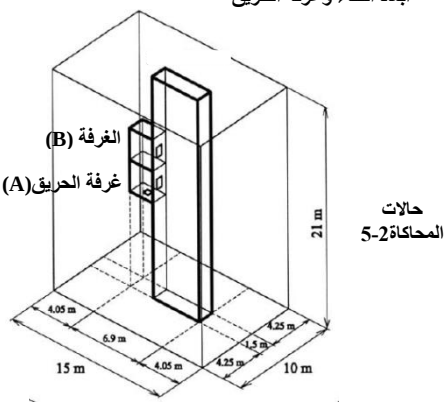
### 1.2 مستوى المخطط الافقي للمبنى

يتضمن هذا المستوى مجموعة من المتغيرات التصميمية منها: شكل المخطط ومساحته ونوعه وابعاد الافنية الداخلية وشكل السلالم وعددها وموقعها ضمن المخطط.

تناولت الدراسة التي تمت من قبل Chow و Hung [6] تأثير تصميم الافنية الداخلية للمباني العالية على الامان من الحريق بأعتماد المحاكاة باستخدام ديناميكية الموائع الحسابية Computational Fluid Dynamics (CFD) في جزء من مبنى سكني يتكون من 40 طابقًا ، مع ثماني شقق في كل طابق وكل شقتين تطل حماماتها على فناء داخلي مشترك كما في الشكل (1)، و الفناء الداخلي بابعاد 4.6 م *1.5 م ولغرض المحاكاة تم اعتماد 21 م فقط من ارتفاع المبنى ، و اعتبار الحمام (الغرفة A ) كمصدر حريق في الطابق الرابع .ابعاد الحمام 2.3 م * 1.5 م *3م ذو نافذة بابعاد 0.6 م *1 م وعلى ارتفاع 1م من ارضية الحمام تطل على الفناء الداخلي، تم محاكاة الحالات الخمسة الآتية كما في الشكل (2) مع الاستنتاج الخاص بكل حالة. اولا: محاكاة

الشكل (1): التصميم لشقتين وفناء داخلي




الشكل (2): حالات المحاكاة الخمسة المختلفة.

غرفة الحريق بنافذة مفتوحة مع غلق جميع النوافذ الأخرى. ثانياً: الغرفة B ، في الطابق العلوي فوق غرفة الحريق (A) مع نافذة مفتوحة وباب الغرفة مغلق، ثالثاً: باب الغرفة B مفتوح الى فضاء الشقة. رابعاً : يوجد فرق ضغط مقداره -50 باسكال عند باب الغرفة B نتيجة تأثير الرياح او التهوية الميكانيكية .خامساً : يوجد فرق ضغط قدره -5 باسكال عند باب الغرفة B. وبينت نتائج الدراسة في الحالة الاولى ان الدخان الحار من غرفة الحريق تحرك الى الاعلى بالفناء الداخلي دون انتشار الى الطوابق العليا وان درجة حرارته ستنخفض الى 100 درجة مئوية ،في الحالة الثانية ايضا الدخان لم ينتشر ، بالنسبة للحالة الثالثة عندما يكون باب الغرفة B مفتوح وبدون الحصول على ضغط سالب فان الهواء خارج الغرفة Bسوف ينسحب خارجا من النافذة وايضا هنا الدخان الحار لم ينتشر ،اما في الحالة الرابعة فان الهواء سوف يدخل الى الغرفة بسبب الضغط السالب والدخان الحار سوف ينتشر داخل الغرفة B ثم الى الاجزاء الاخرى ،والحالة الخامسة عندما يكون هنالك ضغط سالب قليل ايضا يؤدي الى تأثير الاجزاء الاخرى ولو بجزء اقل.

تناولت الدراسة قام بها Chow [7] مشكلة تصميم المطابخ المفتوحة للعديد من الوحدات السكنية الصغيرة في المباني العالية دون إحاطة المطبخ بجدران مقاومة للحريق ، من خلال مراجعة الادبيات أشارت التجارب التي أجريت على أجهزة الطهي إلى أنه يمكن إشعال زيت الطهي في مقلاة في غضون عشر دقائق و سوف تنتشر النار من مطبخ مفتوح لحرق جميع المواد القابلة للاحتراق المخزنة في الوحدة السكنية . سيوفر تصميم المطبخ المفتوح هواءًا كافيًا للاحتراق ، ولا تمتلك جدران مقاومة للحريق لمنع انتقال الحرارة بالإضافة إلى ذلك ، فإن عمل ضخ الهواء سيعطي معدل هواء أعلى يؤدي إلى احتراق مستمر للأجسام المشتعلة، استنتجت الدراسة بأنه ينبغي النظر في جميع المخاوف بشأن نار المطبخ المفتوح والأهم من ذلك ، يجب تبرير تأثير جدار مقاوم للحريق لإحاطة المطبخ ودرجة الحماية التي يوفرها نظام إخماد التبار باختبارات احتراق كاملة النطاق. و يمكن التوصية بإرشادات التصميم المناسبة وإجراءات إدارة الامان من الحريق التي تعزز الامان الكافي للمطابخ المفتوحة في الوحدات الصغيرة للأبنية السكنية العالية.

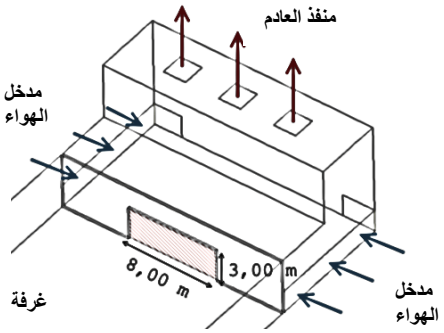
ذكر الباحثون Cowlard وآخرون [8] بالنظر لزيادة أعداد المباني العالية فان المجتمع يطالب ويسعى بتوفير مستوى مقبول من الامان ضد الحريق، لذا يستوجب تسليط الضوء على العناصر الحاسمة لاستراتيجية السلامة الشاملة من الحريق للمباني العالية والتي تتضمن استراتيجية الاخلاء وأداء المبنى ضد الحريق، تهتم استراتيجية الإخلاء بتحديد الوقت المطلوب لإخلاء جميع شاغلي المبنى بأمان. و أداء المبنى يمكن تقسيمه إلى اولاً :أداء هيكلي من خلال تحديد الوقت الذي يمكن للهيكل أن يتحمل فيه آثار الحريق، وثانياً: تخفيف انتشار الحريق كالاجراءات التي تحد من انتشاره حيث ان استخدام المخطط المفتوح يعمل على زيادة سرعة انتشار الحريق اكثر من المخطط المغلق.

قام الباحثون Li وآخرون [9] بمقارنة مخاطر الحريق لستة عشر بديلاً مختلفًا لتصميم المباني منها منطقتين تمثل مساحة مختلفة للبناء، وقد اظهرت النتائج انه لا توجد زيادة كبيرة في المخاطر عند مضاعفة مساحة أرضية المبنى.

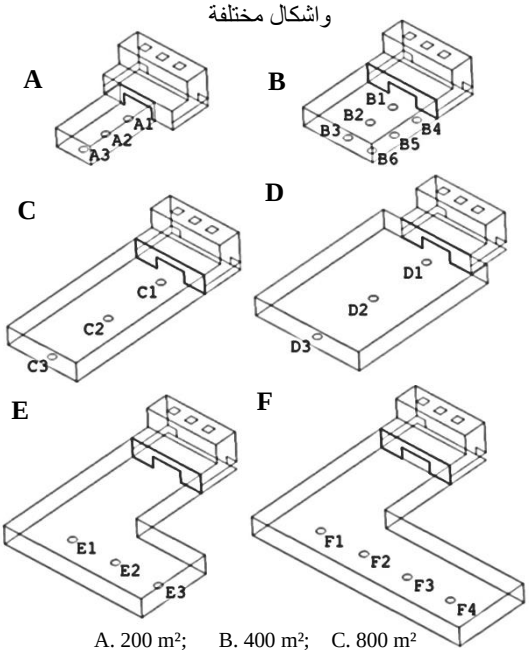
تشـهد معظم دول العالم تطوراً كبيراً في مجال التوسـع العمراني والنمو السـكاني مما أوجد المجمعات السـكنية والتي من اهم متطلباتها إجراءات الامان للحد من الحريق وهذه المتطلبات تشـهد مشكلات مختلفة في توفرها واستخداماتها، تهدف الدراسة التي قام بهـا علي [10] التعرف على مـدى توفر ضـوابط واجراءات السـلامة والتدابير الوقائية المتخذة للحد من حوادث الحريق في المجمعات السـكنية، واعتمدت الدراسـة المنهج التحليلي وجمع المعلومات من خلال استبيان يوزع على كافة المهندسين والقائمين بتنفيذ المجمعات السـكنية والمختصـين والمسـؤولين عن انظمة السلامة في تلك الابنية وايضا من خلال دراسة حالة لمجمع سكني

في الخرطوم، ومن أبرز النتائج التي توصلت إليها الدراسة إلى أن هنالك تقصير واضح في تطبيق انظمة السلامة واجراءاتها في المجمعات السكنية التي بنيت، كما أن نسبة من المجمعات السكنية لا تتوفر فيها وسائل السلامة بالشروط اللازمة لتحقيق الامان للساكنين ، وايضا عدم توفر سلالم الهروب في بعض المجمعات السكنية للحماية من الحريق مما يشكل الخطر الكبير على حياة السكان في حالة الإخلاء الطارئ للمبنى.

لغرض الحد من توليد وانتشار الدخان والحرارة في المباني نتيجة الحريق درس Węgrzyński وKonecki [11] تأثير موقع الحريق ومساحة الغرفة وباشكال مختلفة على تباين انتشار الدخان والحرارة داخل وخارج المبنى، اعتمدت الدراسة المحاكاة العددية في بناء نموذج رقمي لغرفة متصلة بجزء من مجمع تجاري وكما موضح في الشكل (3) حيث تم إعداد ستة نماذج عددية مختلفة المساحة والشكل (مستطيل نسبة العرض الى الطول) وتم اجراء 22 سيناريو بمواقع حريق مختلفة كما في الشكل (4) وذات ارتفاع مشترك مقداره 5.00 م. وتم تصميم مصدر النار على شكل فجوة




الشكل(3): جزء من مركز تجاري يرتبط بغرفة ذات مساحات واشكال مختلفة




A. 200 m²; B. 400 m²; C. 800 m²
D. 1200 m²; E. 1200 m²; F. 1600 m²

الشكل(4): النماذج العددية المستخدمة في كل نموذج تم تحديد موقع الحريق بدائرة والسيناريو المناسب المشار اليه برقم (مثل A1 ).

بحجم إجمالي 3.45 م$^3$ ومعدل إطلاق الحرارة ثابتً مقداره 2500 كيلو واط. وتم تحديد أبعاد فتحة الغرفة (0.80 م عرض ×0.30 م ارتفاع) و بناء الغرفة من ألواح الجبس ثم إجراء قياسات درجة الحرارة باستخدام مزدوجات حرارية وكاميرا للصورالحرارية لتصوير تدفق الدخان داخل الغرفة، بينت النتائج ان درجة حرارة الدخان الذي يخرج من الغرفة يختلف اختلافًا كبيرًا مع تغير مساحة الغرفة وكذلك مع تغيير موقع الحريق داخل الغرفة، بالنسبة لمساحتها كانت أعلى درجة حرارة تمت ملاحظتها في الغرف الأصغر، وبالنسبة لموقع الحريق كانت أعلى درجة حرارة تمت ملاحظتها في حالة موقع الحريق الأبعد عن فتحة الغرفة، ففي الغرف الكبيرة جدًا لم يؤثر موقع الحريق على متوسط درجة حرارة الدخان بشكل كبير طالما كان الحريق بعيدًا عن الفتحة، بينما مع موقع الحريق الأقرب إلى الفتحة يؤدي الى أدنى درجة حرارة نتيجة اختلاط الدخان مع الهواء البارد المحيط.

هدفت الدراسة التي تمت من قبل الباحثة عباس [12] لوضع محددات تصميمية معمارية للمنشأت تعمل على منع اندلاع الحريق في المنشأ وفي حالة حدوثه يتم السيطرة عليه مع تقليل الخسائر المادية وحماية الارواح، ضمت الدراسة منهج وصفي تحليلي من خلال القاء الضوء على مفهوم الحريق ومخاطره وكيفية الحد من اثاره السلبية من خلال المحددات التصميمية لنموذج الدراسة لمستشفى بليبيا، وبينت النتائج على المهندس المعماري قبل عملية التصميم لمشروعات المباني الصحية ان يتبع تطبيق المحددات التصميمة لعوامل الامان وذلك لتقليل الخطر الناتج عن الحريق وحماية المرضى من خلال: توفير عدد كافي لسلالم الهروب وتوزيعها في المبنى حتى لاينشأ تضاد في اتجاهات الحركة، وعرض الممرات يجب ان لايقل عن 1.8م في المباني العامة وان تكون الممرات أمنة وسهلة الحركة والوصول الى سلالم الهروب، اضافة الى تقسيم المبنى الى قطاعات وذلك لحصر الحريق والحماية من انتشاره في انحاء المبنى بالكامل.

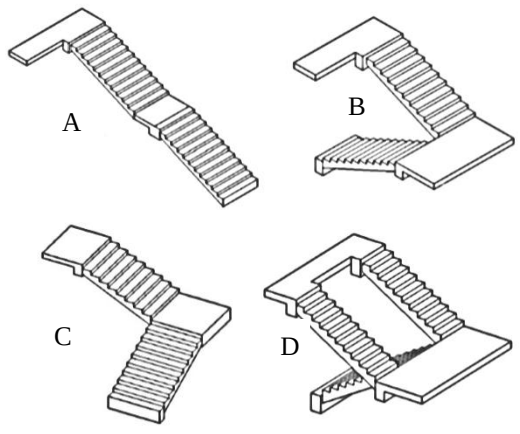
بالنظر لوجود ضعف وقصور في اجراءات الامان في المباني العالية هدفت الدراسة التي انجزت من قبل عاشور [13] للتعرف على مدى توفير وسائل الامان للحد من خطر الحريق في المباني العالية، اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي للمباني السكنية العالية بمدينة الخليل بفلسطين، اظهرت النتائج ضعف الكثير من المخططات الهندسية للابنية العالية في التصميم وافتقارها لشروط الامان المطلوبة حيث يجب الاخذ بنظر الاعتبار تحديد موقع مسالك الهروب وعددها بالاعتماد على معايير خاصة بالبناء و تجزئة المبنى الى عدة قطاعات حريق على الاقل بمساحة لاتزيد عن 400 م $^2$ للحد من انتشاره.

تناولت دراسة لـــ Zhang [14] تأثير تصميم المساحات لمباني المكاتب العالية على الوقاية من الحريق، بعد جمع العديد من حالات مباني المكاتب العالية في الصين ، تشمل عملية المحاكاة الخطوات التالية بناء ستة نماذج هندسية وإنشاء سيناريوهات الحريق باستخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية Fire Dynamics Simulator (FDS) لحل النماذج، ولرسم النماذج بواسطة برنامج PyroSim وهو واجهة مستخدم رسومية للـ(FDS) ، وعرض النتائج بواسطة Smokeview وهو برنامج مصاحب لبرنامج PyroSim يقرأ ملفات اخراج (FDS). الطابق النموذجي لمبنى المكاتب بأبعاد 45 م × 45 م، تشير النتائج إلى أنه في ستة مشاهد حريق ، تتراوح مساحة منطقة المكاتب بين 1136 م$^2$ و 1736 م$^2$. من خلال مقارنة مشاهد الحريق، اظهرت النتائج ان مساحة منطقة المكتب تعد عاملاً مؤثرًا في معدل انتشار الدخان في الحريق. ولكن عندما تكون مساحة منطقة المكتب متماثلة أو متماثلة تقريبًا ، فإن مدة تقليل الرؤية في المنطقة تتأثر إلى حد كبير بمسار انتشار الدخان. بالنظر إلى هيكل مباني المكاتب العالية الارتفاع ، فإن الأرضية النموذجية التي لا تحتوي على اتيريوم تميل إلى اتخاذ شكل متماثل في النار، مسار انتشار الدخان هو نفسه مسار الإخلاء، فإن إنشاء اتيريوم في الطابق النموذجي لمباني المكاتب العالية وإطالة الحافة المشتركة بين الاتيريوم ومنطقة المكتب سيؤدي إلى إطالة عملية الإخلاء بشكل فعال.

قام الباحثان Muhammad وEze [15] بتحليل احد عشر مبنى عالي الارتفاع بأسلوب البحث الوصفي التحليلي وبينت النتائج أن نسبة عالية من المباني تتبنى استراتيجيات الوقاية من الحريق ولكن هناك نقصًا واضحًا في مسالك الهروب من الحريق في معظم المباني.

التهديد الأكبر في المباني العالية هو خطر انتشار الحريق أثناء عملية التشغيل ، مما يثير عدة قضايا تتعلق بأهمية سلالم الإخلاء (سلالم النجاة من الحريق) لإنقاذ حياة شاغليها، قدما Konbr و Maher[16] دراسة لتحديد تأثير تصميم السلالم في المباني متعددة الطوابق على كفاءة وسرعة الإخلاء من خلال دراسة تأثير دوران الدرج لتقليل الجهد البدني ووقت الإخلاء وزيادة الامان، ويتكون القسم التطبيقي للدراسة من مرحلتين، الأول كان استبيانًا لـ 113 للمهندسين المعماريين تم إجراؤه بناءً على سؤال لتحديد تفضيلات دوران السلالم وتأثيرها على الإخلاء وفقًا للمهندسين المعماريين المحترفين، وتضمنت المرحلة الثانية تجارب ميدانية على سلمين مختلفين في اتجاه الدوران، تم تطبيقها على 53 مشاركًا لقياس كفاءة السلالم في أربع حالات هي نزول بطيء، صعود بطيء، نزول سريع، صعود سريع، وبينت النتائج ان السلم بعكس اتجاه عقارب الساعة أثناء التجارب الميدانية أظهر نتائج أفضل وكان أكثر كفاءة، أثبتت النتائج النظرية والعملية للدراسة تأثير دوران السلم على راحة المستخدم وسرعة الإخلاء وتم استنتاج أن السلالم عكس اتجاه عقارب الساعة توفر إخلاءًا أسرع مع جهد بدني أقل.

تناولت الدراسة قام بها Zhang وآخرون [17] تجارب إخلاء في مبنى بالحرم الجامعي ، بالاعتماد على المنهج التجريبي لأربعة أنواع من السلالم المستقيمة مع المنصة A، والمتوازية مزدوجة الجري B ،وعلى شكل زاوية C و المتوازية مزدوجة الانقسام D كما في الشكل (5)، تحت ثلاث درجات من الرؤية للدخان بالعين المجردة، مرتديين النظارات الشمسية وظلال عيون. بينت النتائج في عملية الإخلاء النزولي يكون وقت إخلاء الإناث أطول من وقت الذكور، كما أن النطاق الزمني للإناث أوسع من نطاق الذكور. كما بين ان في ظل الظروف التجريبية للرؤية المنخفضة بارتداء أغطية العيون، فان منحنى وقت الإخلاء أظهر حالة مستقرة ، والتي لا يكون تغييرها مع الزيادة في الطوابق واضحًا، ومنحنيات المحاكاة للسلالم مستقيمة مع منصة A و منحنيات السلالم المتوازية مزدوجة الانقسام D أكثر سلاسة من السلالم المتوازية مزدوجة الجري B والسلالم على شكل زاوية C ، مما يشير إلى ضغط أقل وازدحام أقل أثناء الإخلاء عند بداية النزول كما ان زاوية السلالم عرضة للازدحام أثناء الإخلاء. و اظهرت النتائج أن وقت استجابة




الشكل(5): أربعة أنواع من السلالم.

الذكور أطول مقارنة بالنسبة للإناث، أنه كلما كانت نسبة الذكور أصغر كلما قل معدل النمو الزمني مع الأخذ في الاعتبار وقت رد الفعل مع زيادة الكثافة، ويصبح تأثير وقت الاستجابة على إجمالي وقت الإخلاء أصغر.

من أجل زيادة استخدام الأخشاب في المباني العالية في المملكة المتحدة لتقليل اعتماد صناعة البناء على الفولاذ والخرسانة التي تستهلك الطاقة الأحفورية على الرغم من قابلية الخشب على الاحتراق، تناول Onyenobi وآخرون [18] دراسة حالة وصفية لمبنى في نيوزيلندا لتحديد الشكل الهندسي للمخطط للأرضيات الخشبية للابنية العالية والاكثر مقاومة لانتشار الحريق لبيان إمكانية استخدامها. ولتحقق من ذلك تم استخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية (FDS) باعتماد ثلاثة اشكال هندسية المربع والمثلث والدائرة بمساحات متساوية وتاثيرها على سرعة انتشار الحريق، فقد أظهرت النتائج أنه خلال المرحلة الأولية لتأثير اختبار الحريق كان لجميع الأشكال الهندسية نفس قراءات درجة الحرارة، وعند تقدم الحريق أصبحت الاختلافات واضحة حيث ان الشكل المثلث كان عمود النار ملامس للاسطح الجانبية والخلفية والشكل الدائري كان عمود النار يلامس جزء صغير من السطح بعد نفس الزمن من بدء الاحتراق بينما الشكل المربع ليس لعمود النار اي اتصال مرئي مع السطح واكدت النتائج ان الشكل المربع كان اكثر الاشكال مقاومة لانتشار الحريق يليه الدائرة ثم المثلث.

### 2.2 مستوى التكوين

يتضمن هذا المستوى مجموعة من المتغيرات التصميمية منها: شكل التكوين، ارتفاع التكوين ، شكل السطح.

تخضع عوامل الامان في المباني لسيطرة المصمم والتي تتمثل في مجموعة من المحددات والمعايير التي تهدف بشكل أساسي إلى حصر أي خسائر بشرية أو مادية في أضيق نطاق ممكن في حال وقوع أي طارئ، تهدف الدراسة التي تمت من قبل النّمرة [19] بشكل أساسي الى دراسة تلك المحددات والمتعلّقة بكيفية تطبيق عوامل الامان في المباني المتعلقة بنشوب الحريق ومكافحته وأثر ذلك التطبيق على التصميم المعماري، وذلك من خلال دراسة تحليلية لأحد المباني الخاصة بالقاعات الدراسية بالجامعة الإسلامية بغزة كحالة دراسية. استنتجت الدراسة بأنه على المهندس المعماري إيجاد التصميم الآمن من خلال الدراسة الجيدة لطبيعة الأنشطة الداخلية للفراغات المعمارية المكونه والتعرف على مدى تعرضها لخطر الحريق، بالإضافة إلى دراسة عدد شاغلي المبنى وأماكن تواجدهم ومدى تعرضهم للخطر عند حدوث الحريق، واشارات الدراسة الى مجموعة من التوصيات تتضمن المحددات التصميمية التي تكفل احتواء الحريق والحد من انتشاره بشتى السبل والوسائل والتجهيزات ومنها الاهتمام بالتشكيل المعماري العام للمبنى وذلك بعدم الانسياق خلف قوالب معمارية مستوردة وتطبيقها بدون وعي وبدون مراعاة عوامل الامان، تجزئة المبنى إلى قطاعات مانعة لانتشار الحريق لضمان تصميم آمن للمبنى.

قام Li وآخرون [9] بمقارنة مخاطر الحريق لستة عشر خيارًا مختلفًا لتصميم المباني. تشتمل خيارات تصميمات المباني هذه على أربعة أنواع لمواد البناء تمثل الخرسانة والخشب الرقائقي المحمي وخشب الرقائقي غير المحمي والخشب الخفيف، وثلاثة ارتفاعات للمباني هي اربعة طوابق وستة طوابق و اثنى عشر طابق، وذلك باستخدام نموذج تحليل مخاطر الحريق CUrisk وهو نموذج كمبيوتر شامل لتقييم مخاطر الحريق تم من قبل جامعة كارلتون (Carleton University) لتقييم أداء الحريق للمباني ، لتقييم ما إذا كان المبنى الأطول أو الأكبر سيكون له نفس مخاطر الحريق، وقد اظهرت النتائج أن المباني غير المحمية من الخشب الرقائقي تعاني من شدة حرائق مع مدة حريق أطول وكميات أكبر من منتجات الاحتراق، ولكن بالنسبة للبناء المحمي بالواح الجبس القابل للاحتراق فانه يشكل خطر حريق أقل على سلامة الاشخاص مقارنة بالمباني غير المحمية، كما أظهرت نتائج المحاكاة أن زيادة ارتفاع المبنى من اربعة طوابق إلى ستة طوابق وإلى اثنى عشر طابق لا يزيد المخاطر بشكل كبير.

يواجه سكان المباني العالية خطر الحريق نتيجة ضعف الثقافة والوعي اللازم لمكافحتها وسبل الوقاية منها وضعف معرفتهم بوسائل الامان اللازمة في المبنى مما يجعل مكافحة الحريق والسيطرة عليه امر صعبا يهدد حياة السكان، تهدف الدراسة التي انجزت من قبل ميرغني [20] الى التعرف على اهم المعوقات التي تحول دون توفر وسائل الامان اللازمة لهذه المباني وسبل التغلب عليها، اعتمدت الدراسة المنهج العلمي لمعرفة الوسائل والاجراءات التي نصت عليها القوانين في امان المباني العالية والمنهج التحليلي لمعرفة مدى توفر وسائل الامان في المباني العالية ومدى ثقافة سكانها ومعرفتهم لهذه الوسائل ورضاهم عنها، بينت النتائج ان نسبة عالية من عينة الدراسة في مباني مدينة الخرطوم السكنية لم تتوفر فيها وسائل الامان من الحريق لذا يجب على المهندس المعماري التفكير في سبل حماية المبنى من خطر الحريق ابتداء من مرحلة التخطيط والتصميم كارتفاع المبنى المناسب وشكل المبنى فكلما زادت المساحة المعرضة للحريق زاد خطر انتشار الحريق في المبنى.

يشكل الحريق في المباني العالية تهديداً مستمراً وممكن ان يسبب أضرار لا تقدر بثمن، هدفا Jakšić وTrivunić [21] من الدراسة التحقق من تأثير هندسة المبنى على الامان من الحريق في المباني العالية وذلك من خلال الاعتماد على مراجعة الادبيات، وبينا ان التجاويف والنتوءات تعتبر حواجز مرغوب بها في تحوطات الامان ضد الحريق في معظم الحالات، وان الواجهات البسيطة تسمح بانتشار الحريق بسهولة عمودياً. ومع زيادة ارتفاع المبنى يتطلب امكانيات وتقنيات كبيرة لفعاليات اطفاء الحريق لذا يستوجب تحديد ارتفاع المباني طبقا لتلك الامكانيات، ومن الضرورة إنشاء المبنى كمجموعة من الأجزاء المنفصلة.

ذكرت رحيم [22] ان للحرائق اثار مدمرة تؤدي إلى خسائر فادحة مادية وبشرية وللتصميم المعماري دور في الحد من هذه الخسائر من خلال مطابقة التصميم لعوامل الأمان ولعبت التكنولوجيا الحديثة دوراً كبيراً سواء في منع حدوث الحريق أو حصره ومكافحته وإخماده وبالتالي التقليل من الخسائر، تكمن مشكلة الدراسة في عدم وجود محددات تصميمية واضحة تواكب التطور التكنولوجي لتفادي حدوث الحرائق والسيطرة عليها و إخمادها في حالة حدوثها حيث عملت التكنولوجيا على احداث تطورا كبيرا في شتى مجالات الحياة فظهرت مواد وتقنيات آمنة وأخرى غيرآمنة تختلف في سلوكها وتفاعلاتها عند تعرضها للحريق مقارنة بالمواد التقليدية لذا كان لابد من تحديث أساليب التعامل معها وسرعة احتوائها، تسليط الضوء على المحددات التصميمية للمبنى للوقاية من الحريق ودور التقنيات الحديثة في مكافحة الحريق ومنع انتشاره سواء كان على مستوى مواد البناء الحديثة المستخدمة في إنشاء المبنى أو في انهاءاته أو على مستوى تقنيات مراقبة وإنذار وإطفاء الحريق، واعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لعدة مباني متعددة الاستخدام ذات تقنية عالية يمكن اعتبارها ً نموذجا يحتذى به ومعيار للمباني المستقبلية، بينت النتائج قدرة المهندس المعماري وحريته في استخدام طيف واسع من مواد الإنشاء وخلصت الدراسة إلى عدة توصيات أهمها ضرورة مواكبة المعماري للتقنيات الحديثة والعمل على تطبيقها في أبنيته لتحقيق أعلى معايير الامان.

وضح Abd Rabbo وآخرون [23] في دراسة تأثير شكل سطح المبنى على انتشار الحريق، لمنع او تقليل الخسائر البشرية أو الإصابات بالإضافة إلى خسائرالممتلكات، بالاعتماد على استخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS لحل النماذج، و لرسم النماذج بواسطة PyroSim،وعرض النتائج بواسطة Smokeview في التحقق من الحريق العابر وانتشاره داخل المبنى ، ولثلاثة مواقع مختلفة لمصدر الحريق في الزاوية والجانب والوسط ، في حالة سطح المبنى بشكل جملون متناظر وغير متناظر، أظهرت النتائج أن شكل سطح المبنى المتناظر جيد لتوزيع التدرج لدرجة الحرارة بدلاً من شكل سطح المبنى غير المتناظر وذلك، بأن سجلت أعلى درجة حرارة داخل منطقة سطح الجملون اولا، وثانيا ان درجة الحرارة كانت متدرجة عموديًا وتتخذ شكل سطح المبنى ، وعدم التناسق يوفر نقاطًا أعلى من الجوانب الأخرى مما يسمح بتدرج درجة حرارة غير متماثل لجانبين من النموذج، وثالثا ان هذا الاختلاف في تدرج درجة الحرارة يجعل عمليات نقل الحرارة الغير المطلوبة عبر النموذج بين النقاط الأعلى والأدنى على طول النموذج. ولم تتاثر هذه النتائج بموقع الحريق. هذا الانقطاع في تدفق التدرج الحراري يجعل درجة الحرارة الكلية على طول الفضاء الداخلي للنموذج أعلى من السطح المتناظر و أعطى تناسق السطح سرعة تدفق أكثر سلاسة وقلل من اضطراب التدفق الذي حدث في شكل سطح المبنى غير المتناظر.

تعتبر عملية انتشار الدخان في الحريق مشكلة حاسمة لتصميم نظام إنذار الحريق، تهدف دراسة Wang وآخرون [24] الى التحقيق من عملية انتشار الدخان تحت ارتفاعات مختلفة من الأسقف، من خلال المحاكاة العددية في المباني العالية ، حيث تم اعتبار غرفة الاحتراق كمشهد حريق في المبنى العالي ذات السقف المسطح ومصدر النار في وسطها ومقياس الغرفة على النحو الاتي: العرض 7.0 م، الطول 10.0 م، وارتفاع السقف 4.0 م، 8.0 م، 12.0 م، 16.0 م، 20.0 م، على التوالي ، يتم تثبيت كاشف الدخان Line type Smoke Detector (LSD) وكاشف درجة الحرارة في ست نقاط حول مصدر الحريق بمسافة 3.0 متر عن مصدر الحريق ، في هذه الدراسة تم التحقيق من عملية انتشار الدخان تحت ارتفاعات سقف مختلفة بأجهزة كشف الدخان، ومن نتائج المحاكاة، تم الحصول على بعض الاستنتاجات بالنحو التالي كلما زاد ارتفاع السقف انخفض الرسم البياني لدرجة الحرارة ،عندما يكون الارتفاع أعلى من 16.0 م يتأخر وقت إنذار كاشف الدخان حيث ان الدخان يستغرق وقتاً لينتشر في الغرفة و بالمقارنة مع نمط التثبيت العمودي لـ LSD، تحت ارتفاع السقف البالغ 8.0 متر ، فإن طريقة التثبيت الأفقية مناسبة للمباني العالية.

تناولت دراسة لـ Muhammad و Eze [15] اندلاع الحريق كأحد المخاطر المرتبطة بالمباني العالية وحيث ان المبنى يتكون من عدة طوابق يؤدي الى خلق تأثيرًا تراكمياً لحاجة العديد من الأشخاص الانتقال عبر مسافات عمودية، وقيمت هذه الدراسة طرق التصميم المستخدمة لمنع انتشار الحريق في تلك الأبنية. قام الباحث بتحليل احد عشر مبنى عالي الارتفاع بأسلوب البحث الوصفي التحليلي، وأظهرت النتائج أن نسبة عالية من المباني تتبنى استراتيجيات الوقاية من الحريق، وتبنت الدراسة مبادئ تصميم لمنع انتشار الحريق في المباني العالية لتلافي خسارة الأرواح والممتلكات يتضمن: اولاً شكل المبنى فالمبنى البسيط أسهل للحماية من حرائق حيث لا يحبس حرارة النار بينما البناء المعقد على العكس من ذلك يزيد من مساحة سطح الهيكل ويخلق أشكالًا تحبس حرارة النار. ثانياً شكل السطح حيث السطح البسيط مثل الورك أو الجملون المستقيم (Hip or straight gable) هو الأفضل في منع الحريق لان السطح المركب يحبس حرارة النار وضرورة تجزئة المبنى الى قطاعات حريق لمنع انتشاره داخل المباني.

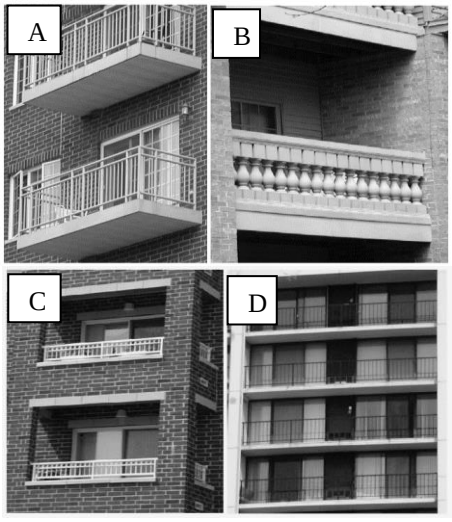
سلطت دراسة الباحثة أحمد [25] الضوء على آثار الحريق على عناصر المباني وعدم العلم لدى الكثير بكيفية احتواء الحريق وتقليل انتشاره، وتهدف الدراسة للتوعية بأداء عناصر المبنى من أجل المساعدة على الحماية من إندلاع الحريق في المنشأ وكيفية السيطرة عليه مع تقليل الخسائر المادية وحصرها في مكان الحريق وحماية الارواح والحفاظ على عناصر المبنى بقدر الامكان ، ألقت الدراسة الضوء على مفهوم الحريق ومخاطره وتأثير ذلك على عناصر المبنى المختلفة بالاضافة الى التعرف على نظريات الحريق المختلفة لتوعية المعماريين وتمكينهم من التعامل الذكي أثناء وبعد إنتهاء الحريق، بينت النتائج أن المهندس المعماري عليه أن يضع فى إعتباره عند البدء فى مرحلة التصميم لأي مشروع هندسي تحقيق جميع عوامل الامان ومتطلبات الحماية المدنية فى البلد التى ينشأ فيه المشروع وذلك من خلال التعرف على عناصر ومواد

البناء المستخدمة بالمبنى وكيفية مقاومتها للحريق والمعالجة المستخدمة لتحقيق الحماية المطلوبة لها.

### 3.2 مستوى واجهات المبنى

يتضـمن هذا المسـتوى مجموعة من المتغيرات التصـميمية ومنها:نوع مادة تغليف الواجهة ومساحة النوافذ وشكلها و المسافة بين النوافذ و نوع مـادة تغليف النـافذة، وعمق البروزات الافقيـة والرأسـية اضـافة الى هندسـية شـكل الشـرفات واسـلوب توزيع الشرفات ومساحتها.

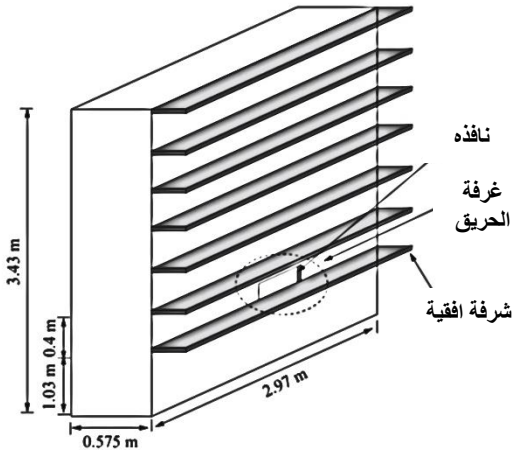
تعتبر حرائق المباني العالية من أخطر الحرائق وخاصة في المباني السكنية، في دراسة تناولا فيها Mammoser و Battaglia [26] تأثيرعمق وهندسة الشرفة على انتشار السنة اللهب عموديا في المباني العالية وإيجاد التكوين الأمثل الذي يقلل انتشار الحريق العمودي على الجدار الخارجي، فقد تم إجراء دراسة عددية لفحص انتشار اللهب العمودي لمبنى مكون من سبع طوابق باستخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS، تم اعتمد الاختبار التجريبي باستخدام غرفة الحريق في وسط الطابق الاول وخمسة طوابق أعلاه و إجراء عمليات المحاكاة لتحديد الحد الأدنى لعدد الطوابق فوق غرفة الاحتراق اللازمة لمحاكاة واقعية لتقليل النفقات الحسابية. ذكر الباحثان أن محاكاة أربعة وخمسة طوابق كانت مماثلة لمحاكاة ثلاثة طوابق لذا كانت الحاجة لثلاثة طوابق فقط، طابق مصدر الحريق وطابقين أعلاه، لتمثيل الاختبار التجريبي تم دراسة هندسة الشرفة ومدى توفر الحماية القصوى ضد انتشار الحريق العمودي لاربعة انواع من الشرفات وكما مبين في الشكل (6)، تم التحقق من آثار هندسة الشرفة حيث كان لتغيير هندسة الشرفة تأثير ملموس على الحركة العمودية للدخان بينت النتائج ان الشرفة المستطيلة ذات المحجرات المفتوحة غير القابلة للاحتراق A ، توفر اكبر قدر من الحماية من انتشار الحريق العمودي حيث




الشكل(6): شكل الشرفات.

يتم إسقاط الغازات الساخنة بعيدًا عن الواجهة ، وان الشرفة B ذو الحواجز الصلبة وجدران فصل توفر اقل قدر من الحماية حيث تحتجز الغازات الساخنة في الأرضيات فوق طابق مصدر الحريق وتزيد معدل انتشار الحريق العمودي. وبينت النتائج لأعماق مختلفة للشرفات من 0 إلى 20 سم في نموذج الدراسة والذي هو بمقياس 1 الى 7 كما في الشكل (7)، يؤدي عمق الشرفة المتزايد على إخراج الغاز الساخن بعيدًا عن واجهة المبنى مما يقلل من تدفق الحرارة إلى السطح وبالتالي يؤخر انتشار الحريق العمودي.

تناولت الدراسة آليات انتشار الحريق خارج المبنى وكذلك بعض أحكام وقواعد التصميم لمنع انتشار الحريق، واعتمدت الدراسة التي



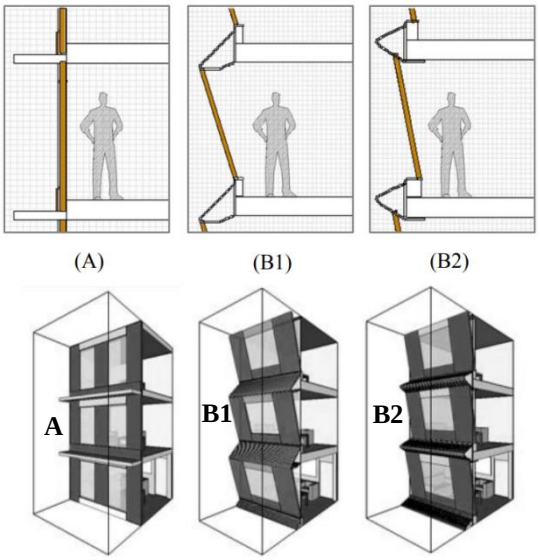

الشكل(7): عمق الشرفات في النموذج.

قام بها Dârmon [27] على مراجعة شاملة للدراسات والأبحاث السابقة وبينت الدراسات انه يمكن أن ينتشر الحريق الذي وصل إلى مرحلة التطور الكامل داخل الغرفة الى خارج المبنى أو المباني المجاورة من خلال عدة آليات فمن خلال الاتصال المباشر إذا تعطلت النافذة أو كانت مفتوحة، ويمكن عند اشتعال أنظمة التغليف القابلة للاشتعال المستخدمة في الجدران الخارجية، وعندما تكون المسافات بين المباني قصيرة جدًا، واظهرت النتائج كيف يمكن لشكل الواجهة أن تؤثر على مسار عمود النار الخارجي. كالبروزات الأفقية التي تعمل على انحراف عمود النار وتقليل الضرر الناجم عن الحريق على الجدار فوق فتحة النافذة حيث تنطلق ألسنة اللهب إلى الخارج، بينما توجه البروزات الرأسية عمود النار لأعلى مما يزيد من شدة التعرض للحريق على الجدار أعلاه، وبالنسبة لهندسة النوافذ أن انتقال الحرارة بالحمل الحراري هو أعلى في حالة النوافذ الأضيق وأقل عندما تكون فتحة النافذة مربعة الشكل أو يكون عرضها أطول من الارتفاع ويجب أن يكون الاطار مصنوعًا من مواد غير قابلة للاحتراق.

بالرغم من ان الواجهة المزدوجة Double Skin Façade (DSF) هي ميزة معمارية صديقة للبيئة. ومع ذلك ، فإن خطر الحريق يمثل مصدر قلق. تناولت الدراسة التي تمت من قبل Chow [28] تأثير تجاويف الواجهة المزدوجة باعماق مختلفة 2 متر و 1.5 متر و 1 متر و 0.5 متر و تحت حريقين بقدرة 1 ميكاوات و 5 ميكاوات وبواسطة المحاكاة الحاسوبية تم اختيار برنامج FDS كأداة محاكاة. حيث تم النظر في ثلاثة سيناريوهات DSF1 و DSF2 و DSF3 لفهم الديناميكا الهوائية التي يسببها الحريق، في نموذج DSF1 تم تحديد سيناريووجود حريق في غرفة في المستوى الثالث لغرفة من خمسة مستويات بارتفاع 15م بعمق تجويف هواء مختلفة. أشارت النتائج إلى أن عمق تجويف الهواء الأوسع سيكون أكثر خطورة ، مع زيادة خطر كسر الزجاج الداخلي وانتشار الحرارة والدخان داخل الغرفة.و تمت محاكاة واجهتين أطول من واجهة DSF1 تتميز بـ DSF2 و DSF3 بارتفاع 24 مترًا ولكنهما يختلفان في ارتفاع غرفة النار. كان ارتفاع غرفة النار 3م في حالة DSF2 ، و6 م في حالة DSF2، بينت النتائج أن عمق التجويف وارتفاع المبنى له تاثير في انتشار الحريق بالمبنى باكمله.

تناول Giraldo وآخرون [29] دراسـة تأثير تصـميم وهندسـة الواجهات على انتشـار الحريق في المباني من خلال تقييم مستوى الحمـاية التي توفرها البروزات الأفقيـة والعنـاصـر البـارزة في تصميم الواجهة المنفردة في انتشار الحريق الخارجي، وقد أجريت الدراسـة باسـتخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسـوبية FDS لحل النماذج، ولرسـم النماذج بواسـطة PyroSim،

وعرض النتائج بواسطة Smokeview لتقييم تأثير هندسة الواجهة على مسار الحريق ومستوى الحماية التي يمكن تأمينها، ويتكون سيناريو الحريق من مساحة معيشة 4.00 م × 4.90 م ولثلاثة طوابق يبلغ ارتفاع كل طابق 2.50 م ويفصل بينها أرضيات خرسانية مادة غير قابلة للاحتراق الشكل (8) .ومادة التغليف للواجهة قابلة للاحتراق (الخشب)، وهذا السيناريو بكثافة حريق تبلغ 300 ميجا جول / م$^2$ من خلال المقارنة بين أحجام المختلفة للبروزات الأفقية الأربعة، فأحجام البروزات الأفقية هي:60 سم، 80 سم، 120 سم، 150 سم، وعناصر مائلة في الواجهة المنفردة طول 90 سم ، توضح هذه الدراسة أن هندسة واجهة المبنى يمكن أن يكون لها تأثير كبير على سلوك الحريق وانتشاره، وتعمل البروزات الأفقية كعاكس للهب لإبعاد اللهب من فتحة النافذة لذلك يمكن أن يساهم هذا النوع من البروزات في منع انتشار الحريق عند التغليف بمواد قابلة للاحتراق مثل الخشب، وبينت النتائج ان بروزات أفقية أكبر من 120 سم مناسبة لتقليل تدفق الحرارة على سطح الواجهة ،والتصميم B1 يوفر مستوى حماية مكافئة لبروز أفقي يبلغ 120 سم ،التصميم B2 أقل فاعلية قليلاً من B1 ، في هذه الحالة مستوى الحماية تعادل بروز افقي يبلغ 80 سم ، ولزاوية ميل سطح الواجهة دور مهم . وان الجمع بين البروزات الأفقية والأسطح المائلة خيارًا جيدًا لتصميم الواجهة




الوصف الهندسي للسيناريوهات (A) بروز أفقي بعمق 80 سم.
(B1 و B2) تصميمان للواجهة منفرد.

الشكل(8): هندسة الواجهة

لتقليل مخاطر انتشار الحريق العمودي.

ذكر الباحثون Cowlard وآخرون [8] لغرض توفير مستوى مقبول من الامان ضد الحريق يستوجب ان تتضمن استراتيجية الاخلاء وأداء المبنى ضد الحريق، تخفيف انتشاره والحد منه باستخدام البروزات الافقية بعد السطح الخارجي للواجهة لمنع انتشاره الى الطوابق العليا.

درس AbdRabbo وآخرون [30] تأثير تكوينات النوافذ على انتشار الحريق في المباني عن طريق المحاكاة العددية باستخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS تم إعداد نموذج لغرفة أبعادها 4.16 م × 4.16 م × 2.88 م وذات فتحة نافذة في مقدمتها لغرض التنبؤ بالسنة اللهب الناشئ والتعرض لتدفق الحرارة إلى الأرضية أعلاه، تمت دراسة مساحة النوافذ المختلفة وتأثير نسبة العرض الى ارتفاع على تدفق الحرارة على الجدار الخارجي باختبار نوافذ مختلفة الشكل (نافذة مستطيلة عريضة ، نافذة مستطيلة طويلة ونافذة مربعة) وذات مساحات متساوية ونافذة مربعة بمساحة اصغر، اظهرت النتائج ان مسار اللهب ذو النوافذ العريضة لا يبرز بعيدًا عن الواجهة ولكنه يتشبث بالجدار أعلاه، بينما لا يميل إلى ذلك مع النوافذ الطويلة اي ان نسبة بعدي النافذة لهما تأثير على النار الخارجة والدخان الى الطوابق العليا، ان تدفق الحرارة يزداد مع تناقص مساحة النافذة فالنوافذ ذات المساحة الاقل تساعد على سرعة انتشار الحريق بين الطوابق.

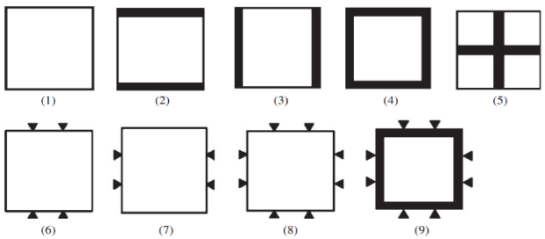
أن الاستخدام المكثف لمواد العزل القابلة للاحتراق بدون وسائل حماية وحواجز مناسبة من الحريق يساهم في انتشار الحريق الذي لا يمكن السيطرة عليه في المباني العالية. تناولت الدراسة التي قام بها Peng وآخرون [31] المعايير الحالية والبيئة القياسية التي تنظم الامان من الحريق لتغليف الجدران الخارجية. وتمت مناقشة ثلاث حالات من حرائق المباني العالية التي تنطوي على انتشار سريع لحرائق الجدار الخارجي من خلال تحليل أسباب الحريق وآليات انتشاره وتطوير القوانين بشأن الحماية من الحريق ، كما تم إجراء سلسلة من الأعمال البحثية التجريبية لدراسة أداء الحريق لتغليف الجدران الخارجية، وأظهرت النتائج أن استخدام العزل القابل للاشتعال في تغليف الجدران الخارجية بدون حواجز حماية مناسبة قد يؤدي إلى انتشار سريع للحريق و أضرار وخسائرجسيمة ، وأن قابلية الاحتراق للعزل المستخدم في تغليف الجدران الخارجية لعبت دورًا مهمًا للغاية في انتشار الحريق عبر الجدران الخارجية؛ وكان تركيب طبقة حماية السطح ضروريًا لحماية العزل القابل للاحتراق من التعرض المباشر للحرارة وسيساعد على تلبية معايير الاختبار و كانت حواجز الحريق الأفقية التي تستخدم عزلًا غير قابل للاحتراق بارتفاع 300 ملم فعالة لتأخير انتشار الحريق على الجدران الخارجية.

الهدف الرئيسي من الدراسة هو التحقق من صحة قيم أنظمة الامان من الحريق على المسافة بين الفتحات في الأدوار المتتالية للواجهة وتأثير أبعاد الشرفات على انتشار الحريق الى الطوابق العليا، واعتمد Morgado وآخرون [32] المنهج التجريبي لتأثير الشرفة على انتشار الحريق الى الطوابق العليا وتم إجراء الاختبارات في غرفة تمثل مكتبًا صغيرًا وطوله 5.30 م وعرضه 2.03 م وارتفاعه 2.10 م وكانت الغرفة تحتوي على فتحتين، نافذة بعرض 1.23 م وارتفاع 0.92 م ، وباب بارتفاع 1.74 م وعرض 0.73 م متعارضتين وبلغت المسافة بين الفتحات في الطوابق المتتالية 1.10م. وتم عزل الجدران الداخلية وسقف الغرفة بواسطة ألواح مصنوعة من ألواح الجبس المقاومة للحريق والصوف الصخري. تم إجراء الاختبار الاول بدون أي شرفة فوق الفتحة ، وكان الاختباران الثاني والثالث يحتويان على شرفة ذات أبعاد مختلفة في الطول. اما في عمليات المحاكاة العددية، تم استخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS لحل النماذج، ولرسم النماذج بواسطة PyroSim، وعرض النتائج بواسطة Smokeview كانت خصائص الغرفة والواجهة هي نفسها كما في جميع الاختبارات التجريبية، اظهرت النتائج ان وقت الوصول إلى درجة الحرارة القصوى عند استخدام المحاكاة الحاسوبية هي 9 دقائق و 8.70 دقيقة و 9.36 دقيقة للاختبارات الثلاثة على التوالي، بينما 26 دقيقة و 17.5 دقيقة و 18 دقيقة للاختبارات الثلاثة التجريبية على التوالي. وبينت النتائج أن وجود شرفة أكبر من النافذة أدى إلى درجات الحرارة فوق الشرفة أقل مما هي عليه في حالة الشرفة المنتهية على حدود النافذة وأقل بكثير في حالة عدم وجود شرفة. اضافة الى وجود شرفة بين الفتحات المتتالية ، فإن خطر انتشار الحريق في الطوابق العليا سيكون أقل بكثيرمن عدم وجود شرفة.

تناولت دراسة قام بها Giraldo وآخرون [33] مخاطر انتشار الحريق خارج المبنى، وهدفت لمعرفة سلوك انتشار الحريق من خلال تجويف الهواء بين جدار المبنى الأصلي والانهاء الخارجي وتأثير مواد العزل والحواجز في الواجهات، باستخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS لحل النماذج، ولرسم النماذج بواسطة PyroSim، يمثل السيناريو حريق في غرفة المعيشة بمساحة 4.00 م × 4.90 م من ثلاثة طوابق كل طابق

بارتفاع 2.50 م مفصولة بأرضيات خرسانية (مادة غير قابلة للاحتراق) يبدأ الحريق على أريكة في الطابق الأرضي من السيناريووتم وضع مصدر إشتعال مساحته 400 سم 2 على سطح الأريكة. يتميز هذا المصدر بشعلة ذات معدل إطلاق حراري 1000 كيلو وات / م$^2$، وبمجرد وصول الحريق إلى مرحلة متطورة، ينتشر إلى الخارج من خلال النوافذ ويتم تقييم ثمانية حالات:حواجز النار حول الفتحات النوافذ وعلى مستوى الطوابق، وعازل قابل للاحتراق مشابه في نوعه لرغوة البولي يوريثان، وعازل غير قابل للاحتراق مماثل في النوع للصوف الصخري، وحجم التجويف، وتهوية منخفضة عرض تجويف 7 سم، وتهوية متوسطة عرض التجويف 17 سم، وتهوية عالية تجويف 7 سم، وتدفق هواء قسري، بينت النتائج أن التجويف ذو التهوية هو مسار محتمل لانتشار الحريق عبر الواجهة لذا فأن تجزئة التجويف في كل طابق بالمبنى باستخدام حواجز مناسبة يعتبر ضروريًا لمنع انتشار الحريق فإنشاء حواجز كل 3 طوابق أو 10 أمتار في حال عدم استخدام مواد عازلة، وتعتبر حواجز الحريق المرتبة على إطارات النوافذ مناسبة لمنع مرور النار من غرفة الحريق، ويزيد استخدام مواد العزل القابلة للاشتعال بشكل كبير من انتشار وكثافة الحريق ، وبالتالي يزيد من مستوى المخاطر. توصي الدراسة باستخدام العزل غير القابل للاحتراق.

ان التصاميم المعمارية التي تتضمن الألواح الزجاجية يتم استخدامها على نطاق واسع في المباني العالية الحديثة، وذلك لكونها توفر جماليات جيدة وإضاءة أفضل اضافة الى الحفاظ على الطاقة، ولكنها تعتبر أضعف أجزاء المبنى في حالة نشوب حريق، حيث يؤدي ذلك إلى إنشاء مدخل لتدفق الهواء إلى الداخل وبالتالي إلى انتشار الحريق في الغرفة او إلى طوابق أو غرف أخرى. قام Wang و آخرون [34] بمسح ميداني قاد الى تصميم تسع حالات بظروف مظللة و مقيدة مختلفة للتحقق من الاستجابة الحرارية للواجهات الزجاجية عند تعرضها للحريق. الحالات 1-5 هي أشكال مظللة مختلفة والحالات 6-8 هي أشكال مقيدة بشكل مختلف والحالة 9 شكل مظلل ومقيد الشكل (9). فقد تم استخدام معيار كولوم - موهر للتنبؤ ببدء الكسر ومعيار الوضع المختلط




الشكل(9): أشكال مظللة و مقيدة مختلفة

المستند للتنبؤ بتطور الكسر. وبينت النتائج ان الألواح الزجاجية ذات الحواف الأربعة المظللة أكثر عرضة للكسر من الحالات المظللة الأخرى و الجزء المقيد بأربعة حواف أكثر أمانًا نسبيًا. تبدأ جميع التصدعات إما من حافة اللوحة أو من الحد الفاصل بين المناطق المكشوفة والمظللة. أن تدرج درجة الحرارة بين المنطقة المكشوفة والمظللة هو السبب الرئيسي لتكسر الزجاج عند تعرضه للحريق. واوصت الدراسة باستخدام الحائط الساتر الزجاجي ذي الإطار شبه المكشوف والألواح ذات الحواف الأربعة المقيدة مع مراعاة السلامة من الحريق لنظام الواجهات الزجاجية. علاوة على ذلك ، يجب إيلاء الحواف والخطوط الحدودية مزيدًا من الاهتمام للحماية عند التصنيع والتثبيت.

قام Giraldo وآخرون [35] بتقييم تأثير بعض العوامل الهندسية للواجهة على انتشار الحريق، حيث تم تقييم مستوى الحماية التي توفرها عناصر البروزات الأفقية من تحديد العمق المناسب وطولها وتأثير حجم النافذة، وذلك من خلال استخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS لحل النماذج، و لرسم النماذج بواسطة PyroSim، وعرض النتائج بواسطة Smokeview لدراسة سلوك اللهب المنبعث من النوافذ على الواجهات الخشبية. من خلال دراسة أنظمة لواجهات خشبية تجمع بين تسعة حالات مختلفة من حجم النوافذ و البروزات الأفقية والعناصر غير القابلة للاحتراق والتي تعمل بمثابة حواجز ضد الحريق، فقد تم تمثيل الحريق في غرفة المعيشة بمساحة 4.00 م× 4.90 م من ثلاثة طوابق ويبلغ ارتفاع كل طابق 2.50 م ويفصل بينها أرضيات خرسانية (مادة غير قابلة للاحتراق). يبدأ الحريق على أريكة في الطابق الأرضي بوضع مصدر إشعال مساحته 400 سم$^2$ على سطح الأريكة ، ويتميز هذا المصدر بموقد مع إطلاق حرارة 1000 كيلو واط / م$^2$. بمجرد أن تصل النار إلى الانتشار الكامل داخل الغرفة تخرج من خلال النوافذ، وقد أظهرت النتائج التأثير الكبير للعامل الهندسي للواجهة على انتشار النار الخارجي فأن البروزات الأفقية تحرف مسار اللهب نحو الخارج ، مما يمنع حدوث تدفق الحرارة على الواجهة، كما يقلل البروز الأفقي البالغ 60 سم أو أكثر بشكل فعال من حدوث تدفق الحرارة على سطح الواجهة، ويعد حجم النوافذ عاملاً مهمًا يجب مراعاته في التحكم في انتشار الحريق عبر الواجهة و يتناسب حجم اللهب ومقدار تدفق الحرارة المنبعث مع حجم النوافذ بذلك تقلل النوافذ الصغيرة من خطر الانتشار لأن تدفق الحرارة المنبعث أقل مقارنة بالنوافذ الكبيرة وبذلك يكون من الضروري البروز الأفقي الأكبر عندما تكون النوافذ كبيرة.

تناولت الدراسة الامان من الحريق للنوافذ الخارجية في المباني العالية، حيث ان مواد إطار وزجاج النافذة الخارجية العادية الغير مقاوم للحريق يجعل النافذة أضعف جزء في التصميم للامان من الحريق، فقد هدفت دراسة Zhou [36] التعرف على كفاءة تصميم نافذة النار واسباب انتشار حريق النوافذ الخارجية، وذلك باعتماد المنهج التحليلي لكوارث الحريق، تم اخذ نموذج حريق لشقق في البرج A و نموذج حريق في فندق B حيث يستخدم البرج A زجاج بوتاسيوم متألف من السيزيوم مع مقاومة قوية للنار وعندما انتشر الحريق فيه فان الاجزاء الداخلية من البرج لا تزال جميلة ورائعة والتي لم تتأثر بالنار على الإطلاق بسبب النوافذ الخارجية ذات الأداء القوي. بينما في حريق البرج B بسبب استخدام النوافذ الخارجية العادية ، فقد احترقت مواد العزل الخاصة به و تدمر الزجاج الموجود على النوافذ الخارجية بالكامل تقريبًا، اضافة الى احتراق الأجزاء الداخلية للبرج بالكامل، بينت النتائج إن تطبيق معايير منتجات نوافذ النار على المباني يمكن أن يحسن مقاومة النوافذ الخارجية للحريق وبالتالي يعزز قدرة المباني على مقاومة الحريق.

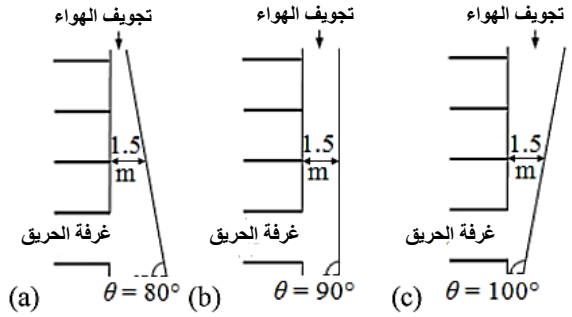
تعتبر الواجهات الزجاجية من أضعف أجزاء المبنى التي يمكن أن تنكسر بسهولة في حالة نشوب حريق، تحقق Wang وآخرون [37] من سلوك الكسر للواجهات الزجاجية المكشوفة بالكامل وذلك باعتماد المنهج التجريبي تضمن أستخدام إطار مصنوع من الفولاذ مقاوم للصدأ كدعم للزجاج بحيث لا يتشوه في التجارب التي قد تؤثر على كسر الزجاج وتم وضع ستة ألواح زجاجية كل منها بابعاد 600 ملم*600 ملم* 6 ملم على بعد 750 ملم و 500 ملم من مجمع حريق 500 ملم *500 ملم كمصدر حراري تم اختبار كل من الألواح الزجاجية العادي والمقسى وتمت مراقبة الجانب المحيط للوحة الزجاجية بواسطة كاميرا فيديو قياسية، تضمنت النتائج المقدمة وقت حدوث الكسر ومعدلات إطلاق الحرارة وتدفق الحرارة الساقطة ودرجات حرارة سطح الزجاج، عند بلوغ درجة الحرارة 90 درجة مئوية وتدفق حراري مقداره 14 كيلو واط / م للزجاج العادي والمقسى بدأت التشققات تظهر من حافة اللوح الزجاجي لكن الجزء المتساقط كان صغيرًا إلى حد كبير بسبب حماية الإطار ومع ذلك فإن الزجاج المقسى لم ينكسر على الرغم من أن درجة حرارة وصلت إلى قيمة عالية تبلغ 413 درجة مئوية يمكن استنتاج أن الزجاج المقسى يتمتع بمقاومة للحريق اكبر مقارنة بالزجاج العادي.

تعتبر واجهات المباني من العناصر الحاسمة في حالة نشوب حريق قد يؤدي الأداء الضعيف للواجهات إلى انتشار حريق شديد وتلف المبنى بما في ذلك الخسائر البشرية، تناول Nguyen وآخرون [38] دراسة تأثير مواد التغليف وخصائص الواجهة الهندسية المختلفة التي تؤثر على أداء الحريق، كما تناولت الدراسة تأثير التجاويف بين الجدار الخارجي والواجهة على سرعة انتشار الحريق. اظهرت النتائج ان مادة التغليف تؤثر على سرعة انتشار الحريق و ان جدار الواجهة بشكل حرف U يزيد من سرعة انتشار الحريق، وايضا الجدار المائل حيث تزداد سرعة الحريق مع زيادة زاوية الجدار المائل فوق $60^0$، والتجاويف الهوائية تزيد من سرعة انتشار الحريق حيث ان عمق التجويف 1 م هو الاكثر خطورة فيجب وضع حواجز داخل التجويف لتقليل الضرر.

تحقق Nilsson وآخرون [39] من تأثير البروزات الأفقية على انتشار الحريق على الواجهات وذلك باستخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS، تم بناء شقة مع تكوينين للفتحات: باب ونافذة وتم تصميم نوعين من شدة الحريق وهما 3.1 ميكاوات و 4 ميكاوات لبيان تأثير اللهب الخارجي على واجهة المبنى وعلى ارتفاعات مختلفة للسطح الخارجي، وتم إجراء عمليات محاكاة إضافية بما في ذلك البروزات الأفقية مستطيلة الشكل غير قابلة للاحتراق ذات أعماق متباينة وعلى ارتفاعات مختلفة للسطح الخارجي للمبنى. ومن خلال المقارنة بين المحاكاة للحالات المختلفة تم عرض تأثير البروزات الأفقية على انتشار الحريق الخارجي وعلى ارتفاعات مختلفة فوق الفتحة الأساسية. أظهرت نتائج التحليل أن البروز الأفقي بعمق 60 سم او اكثر ينتج عنه عواقب أقل على الواجهة مقارنة بالسيناريوهات الاخرى. وبينت النتائج ان عمود النار المنبعث من خلال نوع الباب الضيق يتسبب في زيادة سرعات الغاز خلال الفتحة، مما يؤدي إلى خروج عمود الحريق بعيدًا عن الواجهة. من ناحية أخرى ، فإن نتيجة نوع النافذة الأوسع هي سرعات منخفضة ، وبالتالي ينطلق عمود الحريق بالقرب من السطح الخارجي للمبنى.

تناولت دراسة قام بها Nilsson [40] مخاطر انتشار الحريق من خلال الفتحات على طول الجزء الخارجي للمبنى هدفت الدراسة الى مقارنة تأثير البروزات الأفقية على انتشار الحريق العمودي الخارجي مع ارتفاعات مختلفة بين الفتحات غير المحمية في واجهة المبنى، اعتمدت الدراسة على مراجعة الادبيات السابقة في التحليل والمقارنة من خلال معرفة ما هو تأثير البروز الأفقي على النار فيما يتعلق بدرجة الحرارة وتلقي الإشعاع في الواجهة العلوية باستخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS، واظهرت نتائج التحليل أن استخدام البروز الأفقي بعمق 60 سم على الأقل ينتج عنه عواقب أقل ومستويات مخاطر أقل من التوقعات مقارنة بالسيناريوهات التي تم إنشاؤها بواسطة ارتفاعات مختلفة للجدار الواقع بين نافذة في طابق والنافذة في الطابق الذي يليه. يظهر العكس في البروزات الأفقية بعمق 20 سم و 30 سم، وان استخدام البروزات الأفقية بعمق 60 و 80 و 100 سم يؤدي إلى انخفاض بنسبة 15-50٪ في التعرض النسبي لدرجة حرارة عند الواجهة.

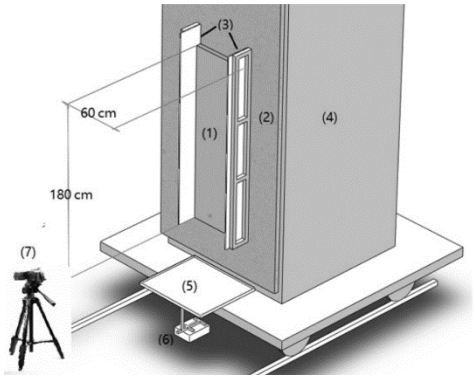
تناولت دراسة Jie واخرون [41] تأثير ارتفاع غرفة النار وزاوية ميل الجزء الخارجي على انتشار الدخان في تجويف الواجهة المزدوجة Double Skin Façade (DSF). تفاوتت زاوية إمالة الجزء الخارجي عند 80 درجة و 90 درجة و 100 درجة وكما في الشكل (10). بالاعتماد على المحاكاة الحاسوبية تم اختيار مبنى مكون من سبعة طوابق يتراوح عمق التجويف 0.8 م و 1.4 م و 2.0 م ،يقع مصدر الحريق على بعد 8 أمتار من لوح الزجاج الداخلي في الطوابق الثاني والرابع والسادس على التوالي وكان حجم الحريق 1م × 1م × 1 م أشارت النتائج إلى أن غرفة الحريق وزاوية الميل للجزء الخارجي لهما تأثير كبير على انتشار الدخان في التجويف ، بالنسبة لزاوية إمالة اللوحة الخارجية ، فإن إطار DSF مع اللوح الخارجي المائل إلى الداخل أو العمودي يمثل خطورة على الطوابق العليا بسبب الدخان الساخن الملتصق بالجزء الداخلي العلوي. ومع ذلك ، فإن الدوامة المضطربة في DSF ذات الجزء الخارجي المائل إلى الخارج تمنع تدفق الدخان الساخن من غرفة الحريق قد تكون النتائج مفيدة للمهندسين لتصميم أكواد الحماية من الحرائق في المباني.




الشكل (10): مخطط الجزء الخارجي للهيكل

تحتوي المباني على تفاصيل في الواجهة على شكل حرف U مصممة لأغراض معينة مثل الإضاءة. ومع ذلك ، قد تؤدي مثل هذه التفاصيل إلى ارتفاع مخاطر الحريق، تهدف الدراسة التي تم اجراؤها من قبل Yan وآخرون [42] للتحقق من مخاطر الحريق لتصميم جدار واجهة المبنى المغطى بمواد عازلة على شكل حرف U. تم إجراء تجارب بجهاز تجريبي لانتشار اللهب على نطاق واسع باستخدام رغوة البوليسترين المبثوق بعرض 60 سم وارتفاع 180 سم وسمك 5 سم مع تكوينات مختلفة بنطاق واسع على شكل حرف U في مرفق حريق المبنى. حيث يتكون المرفق بشكل أساسي من جدار خلفي مسطح ومجموعة من الجدران الجانبية بأحجام مختلفة الشكل (11). اظهرت النتائج أن مثل هذا التصميم الهندسي من شأنه أن يزيد من مخاطر الحريق للمباني: زيادة معدل انتشار اللهب وارتفاع اللهب مع العامل الهندسي على شكل حرف Uوبالتالي يجب أن يتوخى المهندسين الحذر في تصميمات جدران هذه الواجهة.

حضيت السلامة والامان من الحريق في المباني العالية اهتمامًا واسعاً وذلك لكون حوادث الحريق فيها أكثر خطورة وخسائر فادحة




**رسم تخطيطي لجهاز تجريبي: (1) XPS بلاطةرغوية ، عرضها 60 سم ، ارتفاعها 180 سم وسمكها 5 سم ؛ (2) لوح من سيليكات الكالسيوم (3) الجوان الجانبية بإطار من الفولاذ (4) مرفق التكوين (5) مصدر حريق رقائق الألومنيوم ؛ (6) مؤان الكتروني (7) الكاموا.**

الشكل(11): جدار خلفي مسطح ومجموعة من الجدران الجانبية بأحجام مختلفة

في الأرواح والممتلكات، هدفت الدراسة من قبل Hu وآخرون [43] الى التعرف على سلوك الحريق في المباني العالية من خلال دراسة العديد من الجوانب كالاستخدام المكثف لمواد عزل الواجهات ومدى تاثيرها على انتشار الحريق وتطوره وحركة الدخان بسبب هياكل المباني المعقدة، والتحقق من تأثير وجود غرفة الحماية من الحريق قبل دخول السلالم في كل طابق، حيث اعتمدت الدراسة على الأبحاث الأساسية والتطبيقية في علوم الحريق والامان من الحريق للمباني العالية واظهرت النتائج ان استخدم مواد عازلة عضوية، مثل البوليسترين والبولي يوريثين على الجدران الخارجية بنطاق واسع في المباني العالية لتوفير الطاقة سيؤدي الى انتشار النيران بسرعة كبيرة على سطحها وتخلف كميات كبيرة من المنتجات السامة بمجرد إشعال هذه المواد العازلة القابلة للاحتراق، كما يمكن أن تؤدي هياكل المباني المعقدة أيضًا إلى سلوك تطور حريق محدد وانتشار الدخان وصعوبة السيطرة عليه، كما بينت الدراسة ان وجود ردهة الحماية من الحريق قبل دخول السلم في كل طابق تجعل المباني العالية أكثر أمانًا من الحريق.

في الآونة الأخيرة ، تخلى المهندسون المعماريون عن الواجهات التقليدية في المباني العالية وبدؤا في تصميم الأسطح المنحنية مما أدى إلى تعقيد تفاصيل الواجهة، لذا أصبح من الضروري فهم آليات انتشار الحريق في واجهات المباني العالية من أجل تعزيز المكونات المختلفة لواجهة الجدران الستائرية وأدائها ضد مخاطر الحريق، تهدف الدراسة التي تمت من قبل Elhefnawi [44] الى تقليل تهديدات حريق الجدران الستائرية في المباني وفي نفس الوقت منح المهندسين المعماريين حرية إنشاء واجهات فريدة من نوعها، من خلال مراجعة الادبيات لتحليل أداء مجموعة من الجدران الستائرية فيما يتعلق بأنظمة الزجاج وهندسة المباني ضد انتشار الحريق ومراجعة حوادث الحريق السابقة، تمت مناقشة آليات انتشار الحريق في الجدران الستائرية مما يدل على أن أهم آليات انتشار الحريق هي انتشار الحريق من الأرضية إلى الطابق العلوي من خلال النوافذ وانتشار الحريق من الفجوات بين البلاطة والجدران الستائرية، بينت النتائج ان الفراغ الموجود في انظمة الجدران الستائرية المزدوجة يجب أن يُغلق بمواد لمنع انتشار الحريق، ويمكن أن يقلل ميل الجدران الستائرية باتجاه المبنى من تأثير اللهب المنتشر الى الطوابق العليا.

تهدف الدراسة التي انجزت من قبل ميرغني [20] الى التعرف على اهم المعوقات التي تحول دون توفر وسائل الامان اللازمة للمباني العالية من الحريق. اعتمدت الدراسة المنهج العلمي والاحصائي التحليلي واكدت الدراسة على ضرورة استخدام مواد مقاومة للحريق وفصل النوافذ في المباني المتلاصقة لئلا تنتقل اليها السنة النيران بالتوصيل اضافة الى توفير مسافة كافية بين المباني لعدم وصول حرارة الاشتعال بالاشعاع من مصدر الحريق.

في دراسة لمخاطر الحريق في واجهات المباني العالية ، تحقق Jakšić و Trivunić [45] من سلوك الواجهات مع مواد العزل القابلة للاحتراق (بوليسترين) وغير قابلة للاحتراق (الصوف الزجاجي) وكيفية عمل توازن بين الاقتصاد والامان من الحريق، واعتمدت الدراسة المنهج التحليلي لمبنى سكني ومراجعة الادبيات، وبينت امكانية استخدام مواد العزل الغير قابلة للاحتراق حول فتحات الأبواب والنوافذ لتوفير الأمان وخاصة إذا كانت الفتحات المتجاورة بالواجهة متقاربة، بينما يتم وضع المواد القابلة للاحتراق بعيدًا عن فتحات الأبواب والنوافذ قدر الإمكان لتحقيق المنفعة الاقتصادية للواجهة المقاومة للحريق. اضافة الى امكانية الحد من المواد المقاومة للحريق باهظة الثمن على واجهة المبنى باستخدام حواجز مقاومة للحريق ضمن عناصر الواجهة في مرحلة تصميم المبنى.

ذكر Alfakhry [46] ان استخدام ألواح الألمنيوم المركبة Aluminum Composite Panels (ACPs) كتغليف لواجهات المباني يمكن أن يزيد من سرعة انتشار للحريق، واقترح أحكام جديدة في قواعد الممارسة الخاصة بالحماية من الحريق في المباني العراقية من أجل تحديد وتنظيم استخدام ألواح الالمنيوم المركبة (ACPs) في تصميم الواجهات، وذلك من خلال مراجعة الادبيات ، وبين ان المهندسين المعماريين في بعض الأحيان لا يهتمون بالتحقق من خصائص مواد الحريق لذا هناك مساحة واسعة لاختيار مواد الانهاء للبناء و ينصب اهتمامهم الأكبر على الميزات الوظيفية والجمالية وكذلك هناك حاجة ملحة لتحديث لائحة البناء لمواجهة التغيرات السريعة في سوق منتجات البناء ويجب ألا تنطبق هذه الأحكام المقترحة المتعلقة باستخدام ألواح الالمنيوم المركبة فقط للمباني الجديدة ولكن أيضًا للمباني المشيدة التي يزيد ارتفاعها عن 15 مترًا وكذلك المباني قيد الإنشاء.

قييم Chen وآخرون [47] مخاطرحوادث الحريق المرتبطة بمواد التغليف القابلة للاحتراق، وخاصة ألواح الألومنيوم المركبة، من خلال التحقق من تأثيرات عرض تجويف الهواء على انتشار الحريق بالمباني، وذلك من مراجعة أحداث الحريق في عدة بلدان وإجراء تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS لمبنى من مستويين بينت نتائج المحاكاة العددية إن أي حجم أولي للحريق يزيد عن 500 كيلووات سيؤدي إلى اشتعال لوح الألمنيوم المركب و أدى تقليل تجويف الهواء إلى معيار اشتعال أقل للوحة الألمنيوم المركبة.

ذكر Alfakhry [48] ان انتشار الحريق عبر الواجهات على نطاق واسع هو أحد أسرع مسارات انتشار الحريق في المباني ، لذلك من المحتمل أن يكون الاختيار المناسب لمواد الانهاء عالية الأداء ضد الحريق هو العامل الرئيسي في السيطرة على الحريق وإخماده، وقارن أداء ألواح الألمنيوم المركبة التي تستخدم كتغليف لواجهات المباني في حالة انتشار الحريق وسرعة نقل الحريق إلى الأدوار العليا ، مع أداء بعض مواد التغليف التقليدية ، مثل اللبخ بالسمنت والحجر و الطابوق الأصفر المثقب تحت نفس الظروف. وذلك من خلال استخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS لحل النماذج، و لرسم النماذج بواسطة PyroSim ، وعرض النتائج بواسطة Smokeview لمقارنة الفرق بين أداء بعض مواد التشطيب وسرعتها في نقل النار في المباني المتعددة الطوابق، حيث اظهرت النتائج أن الطابوق الأصفر المثقب والحجر متماثلان في الأداء ضد انتشار النار من خلال الواجهات الخارجية، وأبرزت الدراسة أن مواد الانهاء التقليدية أكثر كفاءة من مواد التغليف الحديثة وأن أداء ألواح الألمنيوم المركبة هو الأسوأ بين المواد التي تم فحصها في هذه الدراسة.

في دراسة من قبل Rathnayake وآخرون [49] تم مراجعة العوامل التي تؤثر على الحريق وذلك لضمان أمان المبنى من الحريق حيث لا تزال حرائق المباني تشكل تهديدًا كبيرًا. واظهرت النتائج انه يمكن رؤية التأثير السائد للحريق من الفتحات الموجودة في الغرفة من خلال دعم الاحتراق بإمداد الهواء. وأن تدفق الهواء يتأثر بشكل مباشر بمعدل احتراق النار والمواقع المختلفة للفتحات تعمل على تغيير تدفق الهواء ومواد البناء ومدى مقاومتها للحريق ونظام المراقبة، ونظام إخماد الحريق الأوتوماتيكي. وان عدم مراعاة العوامل التي تؤثر على حوادث حريق المبنى يؤدي إلى ضعف أداء نظام الامان من الحريق الموجود في المبنى وتعريض حياة البشر للخطر.

تناول Yan واخرون [50] مخاطر الحريق وخصائص انتشار اللهب للواجهة غير المتناظرة على شكل حرف U ، واعتمدت الدراسة المنهج التجريبي باستخدام قضبان الألمنيوم. بجهازيضم جدارًا خلفيًا وجدارين جانبيين شكلا قناة غير متماثلة على شكل حرف U. يبلغ عرض الجدار الخلفي 30 سم ، بينما كان عرض الجدارين الجانبيين قابلين للتعديل. يتكون الجدار الخلفي من عينة. كانت العينة عبارة عن لوحة Polymethylmethacrylate (PMMA) ذات حجم 30 × 10 × 5 مم (الارتفاع × العرض × السمك). اظهرت النتائج زيادة معدل انتشار الحريق ومتوسط ارتفاع اللهب لهندسة الشكل U وانخفض معدل انتشار الحريق مع العامل الهندسي غير المتماثل تحت نفس الظروف.

لدراسة تأثير معامل التهوية على سرعة انتشار الحريق في نموذج لمبنى سكني مكون من خمسة طوابق، اعتمد Iringová و Vandličková [51] برنامج المحاكاة ديناميكية الحريق FDS وحيث ان المحاكاة العددية تستغرق وقتا طويلا لذلك اقتصرت على وحدة سكنية واحدة تتكون الشقة من خمسة غرف، وتقع في الطابق الثاني يتكون المبنى من هياكل خشبية محمية من الداخل بالتغليف من اللوح الجصي المقاوم للحريق بسمك 15 ملم وتأخذ محاكاة الحريق في الاعتبار معامل التهوية متغير حسب مساحة النافذة في الجدران الخارجية بحالتين الاولى تمثل 30٪ والثانية حوالي 60٪ من المساحة الكلية للجدران المحيطة، اظهرت النتائج في محاكاة الكمبيوتر التي تم إجراؤها باستخدام تقنيات محاكاة ديناميكية الحريق الحاسوبية FDS، أن ديناميكية الحريق تختلف اعتمادًا على معامل التهوية، فمع 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.

تناولت الدراسة مخاطر الحريق التي تسببها الشرفات الزجاجية وهل هناك ارتباط بين نوع الزجاج المستخدم ومدى انتشار الحريق، اعتمدت الدراسة التي اجريت من قبل Faudzi وآخرون [52] التقييم النوعي الذي يركز على حالة الحريق الحقيقي، فقد تم جمع دراسات الحالة المرجعية لحرائق الشرفات باستخدام المحجر الزجاجي وفقًا لتوفر المعلومات مع التركيز على الأدلة الفوتوغرافية المرئية بتحليل التطور العام للحريق من خلال تفسير الصور التي تم التقاطها أثناء حادثة الحريق والتي يمكن تحليلها. وقد تم إدراج ستة حرائق في الشرفات من ثلاثة بلدان وتم دراسة ظروف ما بعد الحريق لهذه الشرفات بناءً على سلامتها بعد الكسر وعدم التشظية من أجل تحديد نوع الزجاج المستخدم في الشرفات وملاحظة بصرية أثناء الحريق ومدى انتشاره، وبينت النتائج ان الزجاج يلعب دورًا مفيدًا للغاية في بناء الشرفات،المحجرات من الزجاج الرقائقي توفر الاتصال البصري والحماية وهذا النوع المقبول من الزجاج لهذا التطبيق لأنه يعزز دور الشرفات مع توفير الامان المناسب وله خصائص ميكانيكية مما يجعله النوع المفضل من الزجاج مقارنة بالزجاج المقسى اي لتطبيق محجرات الشرفة نظرًا لقوته بعد الكسر وهو أمر ضروري في سلامة الحياة، ولم يتم العثور على دليل من الدراسة على أن زجاج محجرات الشرفة ليس له أي مساهمة في انتشار الحريق الذي قد يستدعي حظر استخدامه. لذلك ، لا يشكل تطبيق المحجرات المصنوع من الزجاج الرقائقي أي خطر من حيث انتشار الحريق الخارجي.

ذكر Yılmaz [53] ان الحرائق تعتبر واحدة من حالات الطوارئ التي يمكن أن تسبب اضرار عالية مع الأخذ في الاعتبار مئات المستخدمين في الطوابق المتعددة، وبين في دراسة تركز على حالة الحريق للمباني العالية وتتبعها بتقييم المناهج في التصميم المعماري والتفاصيل القابلة للتطبيق من التصميم الإنشائي إلى التشطيب الداخلي ، في مرحلة التصميم ، حيث يمكن ضمان الامان من الحريق في المباني العالية من بداية التصميم وذلك باعتماد التقسيم الى قطاعات لمنع انتشار الحريق، وتعتبر منطقة الملجأ في المباني العالية مطلبًا مهما، فليس بالضرورة أن يقوم كل مستخدم في مبنى عالي بإخلاء المبنى ولكن يجب أن ينتظر في أمان حتى يتم السيطرة على حالة الطوارئ. وذكر ايضا ان تفضيل المواد المناسبة هو مفتاح الامان من الحريق خاصة لانتشار الحريق الخارجي عند القيام باختيار مادة تكسية الواجهة، فيجب على المهندس المعماري التحقق من تصنيف أداء الحريق للمادة والتأكد من استيفاء متطلبات معايير الحريق و إذا كان التصميم يشتمل على عناصر هيكلية فولاذية ، فيجب اتخاذ تدابير الامان اللازمة لضمان الامان الهيكلي للمبنى.

ذكرت أحمد [25] على المهندس المعماري الاهتمام بتوفير المساحات الكافية من النوافذ لما لها من أهمية كبيرة فى تحقيق الامان من الحريق لشاغلى المبنى.

**4.2 مستوى علاقة المبنى بالمجاورات (المسافات بين المباني)**

ان الخسائر الكبيرة في الارواح والممتلكات نتيجة اندلاع الحريق في الابنية وتعقيدها للتقدم التكنولوجي جعل المعماريون امام تحديات كبيرة في مواجهة الحريق بتحسين وتطوير طرق التصميم لتقليل تلك الخسائر، ان عدم التحقق من كون المسافة الفاصلة بين ابنية جامعة الموصل المشيدة تفي بالمتطلبات الواردة في المعايير والدراسات لمنع انتقال الحريق من مبنى الى اخر بواسطة الاشعاع، هدف الفخري [54] في دراسته الى التحقق من تلك المسافات الفاصلة ومدى توافقها مع القيم الدنيا الواردة في المعايير والدراسات، حيث يفترض البحث انه لم يؤخذ بنظر الاعتبار حساب المسافات الفاصلة الأمنة بينها اضافة الى ان مساحة الفتحات المصممة مسبقا في واجهاتها غير محمية، اعتمدت الدراسة على طريقة الهيئة الوطنية للحماية من الحريق لحساب المسافة الفاصلة بين الابنية باعتبارها اكثر دقة من الطرق الاخرى، و تحدد المسافة اعتماداً على مستوى الخطورة الناجمة من الحريق استناداً الى متغيرين هما حمل الحريق وخاصية الانتشار السطحي للهب لمواد الانهاء الداخلي للاسقف والسطوح، وتم حساب المسافات الفاصلة لمجموعة من الابنية في جامعة الموصل ومقارنتها مع المسافة الواقعية، واظهرت النتائج فروق واضحه بين المسافات المحسوبة والمسافات الواقعية الفاصلة بين الابنية المنتخبة، وان المسافة الواقعية هي اقل من المسافات المحسوبة التي يفترض ان تكون عليها لمنع انتقال الحريق بطريقة الاشعاع في حالة تصنيف الخطورة في هذه الابنية من النوع المعتدل. اما في حالة كون تصنيف الخطورة من النوع الخفيف فقد تبين ان المسافة الواقعية لقسم من المباني هي اقل وفي مباني اخرى هي اكثر من المسافة المحسوبة مما يدل على ان الجانب التخطيطي والتصميمي قد اهمل عند تصميم تلك الابنية.

تناول Nguyen وآخرون [38] دراسة تأثير المسافات بين المباني اضافة الى عوامل اخرى واظهرت النتائج انه كلما قلت المسافة بين المباني زادت سرعة انتشار الحريق.

تناولت الدراسة التي تمت من قبل Pesic وآخرون [55] مشكلة انتشار الحريق بين مبنيين سكنيين يواجهان بعضهما البعض وتهدف الدراسة الى تحديد المسافة المثلى لمنع انتشار الحريق، اعتمدت الدراسة على المحاكاة العددية ببرامج Fire Dynamics Simulator و تم تحليل المباني المعرضة للحريق الواقعة على مسافات بناء مختلفة (3.5 م، 4.0 م، 4.5 م). أظهرت النتائج العددية أن الحريق انتشر من المبنى المحترق إلى المبنى المجاور في الحالات عندما كانت مسافات الفصل بينهما 3.5 م و 4.0 م. تشترط التشريعات الامريكية للأمان من الحريق ان المسافة الفاصلة بين المباني السكنية يجب أن تكون 4.0 م من منظور الحماية من الحريق. ومع ذلك ، أظهرت نتائج المحاكاة أن المسافة 4.0 م بين المباني ليست مسافة فصل آمنة عند انتشار الحريق من مبنى محترق إلى مبنى مجاور، وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن الحريق لا ينتشر على مسافة 4.5 م.

تهدف الدراسة التي انجزت من قبل ميرغني [20] الى التعرف على اهم المعوقات التي تحول دون توفر وسائل الامان اللازمة لهذه المباني ضد الحريق ، اعتمدت الدراسة المنهج العلمي والاحصائي التحليلي، بينت النتائج ان نسبة عالية من عينة الدراسة لا تتوفر فيها وسائل الامان من الحريق، وأكدت الدراسة بستوجب توفير مسافة كافية بين المباني لعدم وصول حرارة الاشتعال بالاشعاع من مصدر الحريق.

هدفت الدراسة التي انجزت من قبل عاشور [13] للتعرف على مدى تحقيق وتوفير وسائل الامان للحد من حوادث الحريق في المباني السكنية العالية، اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي

التحليلي، اظهرت النتائج ضعف الكثير من مخططات الهندسية للابنية العالية في التصميم وافتقارها لشروط الامان المطلوبة حيث يجب الاخذ بنظر الاعتبار توفير مسافة كافية بين المباني لمنع انتشار الحريق و تجزئة المبنى الى عدة قطاعات حريق على الاقل بمساحة لاتزيد عن 400 م$^2$ للحد من انتشاره.

**3. النتائج**

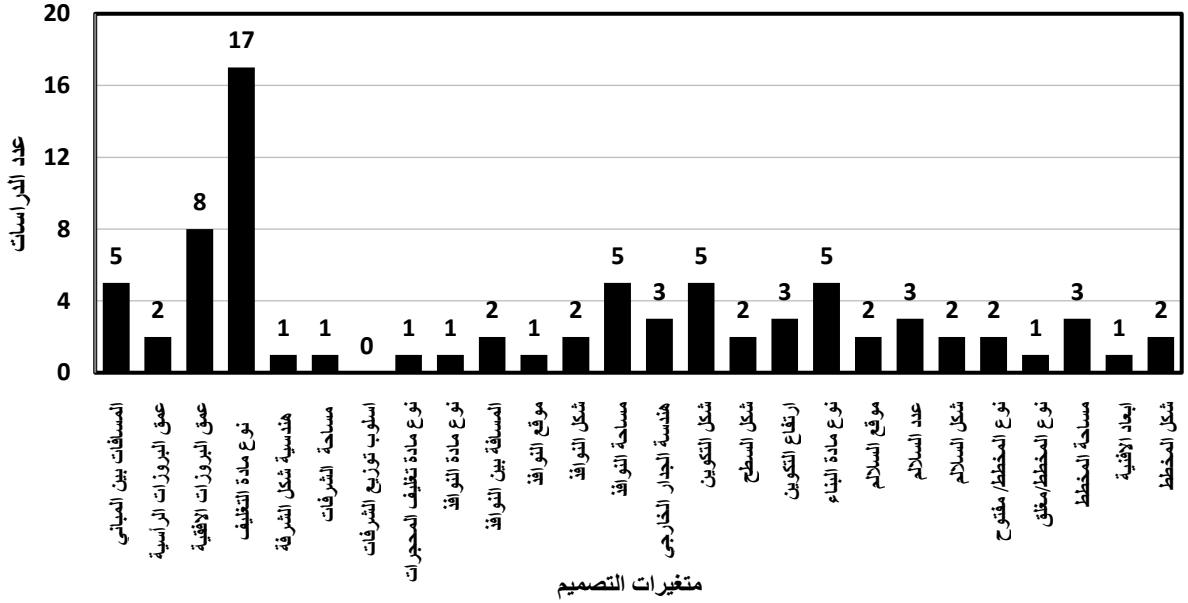
يعرض الجدول (1) المنهجية المعتمدة في الدراسات التي تم عرضها في الفقرات 1.2 الى 4.2 اضافة الى توزيع المتغيرات التصميمية التي تناولتها تلك الدراسات. ومن الجدول يتبين العدد الكلي للمنهج التجريبي 29 والاستدلالي 13 ثم الوصفي 8 لمجموع الدراسات الكلية المتاحة 50 وفي نهاية كل عمود من الجدول العدد الكلي للدراسات التي تناولت المتغيرالمثبت في اعلى العمود. ويعرض الشكل (12) عدد الدراسات التي تناولت كل من متغيرات التصميم المختلفة من الدراسات المتاحة ذات الصلة، والمثبتة في نهاية الجدول (1). ويعرض الشكل (13) النسبة المئوية للبحوث التي تناولت متغيرات التصميم نسبة الى الدراسات الكلية المتاحة.

الجدول (1): الدراسات المرتبطة بالمتغيرات التصميمية مع المنهجية المستخدمة وذلك في دراسة الحريق بالمباني العالية

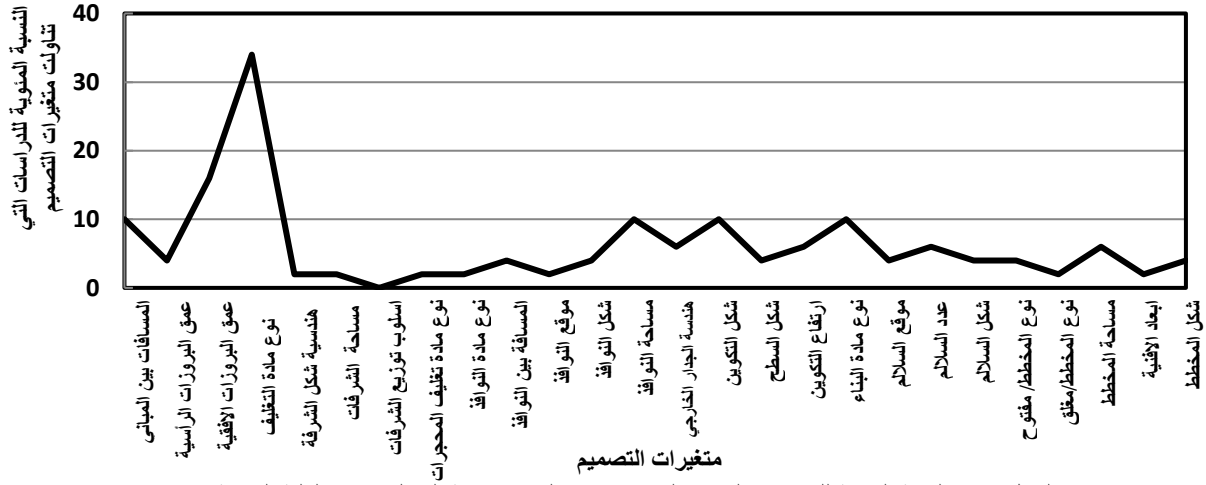
| التسلسل كما ورد في المصادر | المتغيرات / الدراسات | المخطط الافقي للمبنى | | | | | | | | التكوين | | | | واجهات المبنى | | | | | | | | | | | | | | علاقة المبنى بالمجاورات | المنهجية |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | الاقفية | | مسارات الحركة السلالم | | | | | | | | | | جدران | النوافذ | | | | | الشرفات | | | | مادة تغليف الواجهة | البروزات | | | | |
| | | شكل المخطط | ابعاد الاقفية | مساحة المخطط | نوع المخطط/مفتوح | نوع المخطط/مغلق | شكل السلالم | عدد السلالم | موقع السلالم | نوع مادة البناء | ارتفاع التكوين | شكل السطح | شكل التكوين | هندسة الجدار الخارجي | مساحة النوافذ | شكل النوافذ | موقع النافذة | المسافة بين نوافذ | نوع مادة النوافذ | نوع مادة تغليف | اسلوب توزيع الشرفات | مساحة الشرفات | هندسة شكل الشرفة | نوع مادة التغليف | عمق البروزات | عمق البروزات | المسافات بين المباني | |
| 6 | Chow and Hung 2003 | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 7 | Chow 2011 | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | استدلالي |
| 8 | Cowlard et al., 2013 | | | | ● | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | استدلالي |
| 9 | Li et al., 2015 | | | ● | | | | | | ● | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 10 | علي 2015 | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | وصفي |
| 11 | Węgrzyński and Konecki 2018 | ● | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 12 | عباس 2018 | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | وصفي |
| 13 | عاشور 2020 | | | | | | | ● | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | وصفي |
| 14 | Zhang 2020 | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 15 | Muhammad and Eze 2021 | | | | | | | ● | | ● | | ● | ● | | | | | | | | | | | | | | | | وصفي |
| 16 | Konbr and Maher 2022 | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 17 | Zhang et al ., 2022 | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 18 | Onyenobi et al.,2022 | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 19 | النمرة 2009 | | | | | | | | | ● | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | وصفي |
| 20 | ميرغني 2018 | | | | | | | | | | ● | | ● | | | | | | | | | | | ● | | | | ● | وصفي |
| 21 | Jakšić and Trivunić b2018 | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | استدلالي |

**تتمة الجدول (1)**

| التسلسل كما ورد في المصادر | المتغيرات / الدراسات | المخطط الافقي للمبنى | | | | | | | | | | التكوين | | | | واجهات المبنى | | | | | | | | | | | | | | | | | | المنهجية |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | شكل المخطط | ابعاد الافقية | مساحة المخطط | نوع المخطط/مغلق | نوع المخطط/مفتوح | مسارات الحركة السلالم: شكل السلالم | مسارات الحركة السلالم: عدد السلالم | مسارات الحركة السلالم: موقع السلالم | نوع مادة البناء | ارتفاع التكوين | شكل السطح | شكل التكوين | هندسة الجدار الخارجي | النوافذ: مساحة النوافذ | النوافذ: شكل النوافذ | النوافذ: موقع النافذة | النوافذ: المسافة بين نوافذ | النوافذ: نوع مادة النوافذ | الشرفات: نوع مدة تغليف المحجرات | الشرفات: اسلوب توزيع الشرفات | الشرفات: مساحة الشرفات | الشرفات: هندسة شكل الشرفة | مادة تغليف الواجهة: نوع مادة تغليف الواجهة | البروزات: افقية | البروزات: راسية | علاقة المبنى بالمجاورات: المسافات بين المباني | |
| 22 | رحيم 2019 | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | وصفي |
| 23 | Abd Rabbo et al., 2020 | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 24 | Wang et al.,2020 | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 25 | احمد 2022 | | | | | | | | | ● | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | استدلالي |
| 26 | Mammoser and Battaglia 2004 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | ● | | | | | | | | | تجريبي |
| 27 | DÂRMON 2010 | | | | | | | | | ● | | | | | ● | ● | | | | | | | | | | | ● | ● | | | | | استدلالي |
| 28 | Chow 2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | تجريبي |
| 29 | Giraldo et al.,2012 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | تجريبي |
| 30 | AbdRabbo et al.,2013 | | | | | | | | | | | | | | | ● | ● | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 31 | Peng et al., 2013 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | تجريبي |
| 32 | Morgado et al.,2013 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | ● | | | | | تجريبي |
| 33 | Giraldo et al.,2013 | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | ● | ● | ● | | | | تجريبي |
| 34 | Wang et al., 2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | تجريبي |
| 35 | Giraldo et al., 2014 | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | ● | | | | | تجريبي |
| 36 | Zhou 2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | وصفي |
| 37 | Wang et al., 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | تجريبي |
| 38 | Nguyen et al.,2016 | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | ● | | | | | ● | استدلالي |
| 39 | Nilsson et al., 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | تجريبي |
| 40 | Nilsson 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | ● | | | | | تجريبي |
| 41 | Jie 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | تجريبي |
| 42 | Yan et al., 2017 | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 43 | Hu et al .,2017 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | استدلالي |
| 44 | Elhefnawi 2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | استدلالي |
| 45 | Jakšić and Trivunić a2018 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | استدلالي |
| 46 | Alfakhry 2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | استدلالي |
| 47 | Chen et al.,2019 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | تجريبي |
| 48 | Alfakhry 2020 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | تجريبي |
| 49 | Rathnayake et al., 2020 | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | ● | | | | | | استدلالي |
| 50 | Yan et al., 2022 | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 51 | Iringová and Vandličková 2021 | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | تجريبي |
| 52 | Faudzi et al.,2021 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | | | استدلالي |
| 53 | Yılmaz 2022 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | استدلالي |
| 54 | الفخري 2014 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | تجريبي |
| 55 | Pesic et al.,2017 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | تجريبي |
| | **المجموع** | **2** | **1** | **3** | **1** | **2** | **2** | **3** | **2** | **5** | **3** | **2** | **3** | **5** | **3** | **5** | **2** | **1** | **2** | **1** | **0** | **1** | **1** | **1** | **17** | **8** | **2** | **5** | |




الشكل (12):عدد الدراسات التي تناولت متغيرات التصميم




الشكل(13): النسبة المئوية للدراسات التي تناولت متغيرات التصميم نسبة الى الدراسات الكلية المتاحة

**4. الاستنتاجات**

ضـمن المسـح الذي تم للدراسـات التي تغطي المتغيرات التصـميمية المؤثرة على الامان ضـد الحريق في المباني العالية يمكن اسـتنتـاج الآتي: أ. تعتبر نوع مـادة تغليف الواجهـات المتغيرالاكثر اهتمام من قبل الباحثين حيث 34% نسبة للدراسات من مجموع ما تم مسـحه، يليها في الاهمية عمق البروزات الافقية 16% ثم كل من نوع مادة البناء وشـكل التكوين ومسـاحة النوافذ والمسافة بين المباني 10%.

ب. لا يتجاوز اهتمام الباحثين الـ2% لابعاد الافنية ونوع المخطط المغلق و موقع النوافذ ونوع مادة تغليف النوافذ ونوع مادة تغليف المحجرات فضلا عن جميع مفردة الشرفات.

جـ. المنهجية الشائعة لبيان تأثير المتغيرات التصميمية على الامان ضـد الحريق هو المنهج التجريبي بنسـبة 58% ويليه منهج الاستدلالي بنسبة 26% ثم المنهج الوصفي التحليلي 16%.

د. لا تتضمن الدراسات السابقة اي توضيح للتأثير المتداخل لاكثر من متغير من متغيرات التصميم. فمثلا ان لمفردة تصميمية معينة ولتكن A وان سرعة انتشار الحريق كانت للحالات A1 < A2 < A3 فالافضـل هو A1 وثانياً لمفردة تصـميمية اخرى ولتكن B وان سـرعة انتشـار الحريق كانت للحالات B1 < B2 < B3 فالافضل هو B1 هذا في حالة جميع العوامل المؤثرة على سرعة انتشـار الحريق الاخرى ثابتة في الحالتين. واذا كان المهندس المعماري امام الخيارات الاتية A1+ B3 ، A2+ B2، 1B+A3 فاي من هذه الخيارات هو الافضـل بالنسـبة لسـرعة انتشار الحريق اذا كانت بقية العوامل المؤثرة ثابتة.

هـ. أغلب استنتاجات الدراسات السابقة بدون تفصيل لتوضيح تأثير اي من المتغيرات التصـميمية حيث لا تتضـمن تأثير تغير 5%،10%...من متغيرات التصـميم او هنالك نماذج او معادلات رياضية او تجريبية لتوضيح قيمة او مقدار تأثير اي من المتغيرات على الامان ضد الحريق.

**5. التوصيات**

بناءاً على ماتوصـلت اليه الدراسـة من اسـتنتاجات يوصـي الباحثان أثراء الدراسـات للمتغيرات التصـميمية التي تؤثر على سرعة انتشار الحريق ووفق فقرات الاستنتاجات ب و د وهـ.

**6. المصادر**


[1] M. A. Al-Aqili and S. H. Al-Ahbabi, " Vertical urban design: the impact of tall buildings (skyscrapers) on the urban structure of the contemporary city", *Babylon University Journal, Engineering Sciences*, Vol. 21, No. 3, 2013.

[2] F. A. J. Al-Tai and H. M.H. Kasim, "Dual twins in architecture," A*L-Rafdain Engineering Journal (AREJ)*, vol. 19, No. 3, pp. 46–68, 2011,doi:10.33899/rengj.2011.27002.

[3] H. O. Hamouda," Evaluation of the safety and security means in high-rise residential buildings Gaza city case study", Msc thesis, Islamic University of Gaza, Gaza, Palestine, 2012.

[4] S. A. Yazdanfar and N. Nazari, "Proposed physical-environmental factors influencing personal and social security in residential areas," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 201, pp. 224–233, 2015, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.08.171.

[5] H. B. Al-Hassan, "Fire fighting in high rise Buildings (Case Study The state of Khartoum)", Msc thesis, Sudan University of Science and Technology, Khartoum, Sudan, 2019.

[6] W.K. Chow and W.Y. Hung , "On the fire safety for internal voids in highrise buildings", *Building and environment*, Vol.38, No.11, pp.1317-1325,2003.

[7] W .K. Chow, "Fire safety concern on open kitchen in small residential units of tall buildings" , *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, Vol. 10, No. 3, p.58-62, 2011.

[8] A. Cowlard, A. Bittern, C. Abecassis-Empis, and J. Torero, "Fire safety design for tall buildings," *Procedia Engineering*, vol. 62, pp. 169–181, 2013. doi:10.1016/j.proeng.2013.08.053.

[9] X. Li, P. Rao, X. Zhang and G. Hadjisophocleous, "A case study on the effect of building construction type, height and area on the building fire risk using the fire risk assessment model CUrisk", *14th International Conference And Exhibition*, 2015.

[10] M. S. Ali, "Regulations and Procedures in Safety on Residential Complexes Against Fire: Case Study (Al Reel Residential Complex Tower)", M.Sc. Thesis, Sudan University of Science and Technology, Khartoum, Sudan, 2015.

[11] W. Węgrzyński and M. Konecki,"Influence of the fire location and the size of a compartment on the heat and smoke flow out of the compartment", *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1922. No. 1, 2018.

[12] M. M. Abbas, "The Role of Modern Architecture in Securing Health Facilities from Fire Risks, Case Study: Salah Al-Din Hospital in Tripoli," *The 15th International Conference of Al-Azhar on: Engineering, Architecture and Technology*. Vol. 1, No. 1, 2018.

[13] T. I. Ashour, "Evaluation of The Safety and Security Means in High – Rise Residential Buildings Within the Established Procedures (Hebron City - Case Study)", M.Sc. Thesis, Hebron University, College of Graduate Studies and Scientific, Palestine, 2020.

[14] T. Zhang, **"**Simulation study on fire visibility of typical floor planes of modern super high-rise office buildings in China,**"** *Complexity*, vol. 2021, pp. 1–14, 2021.

[15] R. Muhammad and C. J. Eze, "Assessment of Design Method on Fire Prevention Strategies for High Rise Buildings in Lagos, Nigeria", *SETIC 2020 International Conference:Sustainable Housing and Land Management*, School of Environmental Technology, Federal University of Technology, Minna PP.656-663, 2021.

[16] U. Konbr and E. Maher, "Investigating the Impact of Staircases Rotation on the Evacuation Efficiency", *Civil Engineering and Architecture*, Vol. 10, No. 6, pp. 2524-2540, 2022, DOI: 10.13189/cea.2022.100622.

[17] Q. Zhang, F. Yu, S. Gao, C. Chang and X. Zhang, "Experimental and Numerical Study on Rapid Evacuation Characteristics of Staircases in Campus Buildings", *Buildings*,Vol.12, No.6, PP.1-12, 2022, Doi.org/10.3390/ buildings12060848.

[18] T**.** C**.** Onyenobi, J**.** Hudson and M**.** Ormerod, "The effect of building morphology on fire spread in UK timber-floor high-rise" , *Research Institute For The Built And Human Environment, University Of Salford*, United Kingdom, pp. 488-504, 2005.

[19] N. J. Alnimra, "Safety measures Criteria in buildings and its impact on architectural design (Al-Quds Educational building at IUG as a case study)", *National Research Center*, Vol. 2009, No. 4 , pp.3-34, 2009.

[20] K. H. Mirghani, "Evaluation of the safety and security means in high-rise residential buildings, Case study (Al Neel and Al Neft Residential Complex Towers)" Msc thesis, Sudan University of Science and Technology,College of Graduate Studies, Sudan,2018.

[21] Ž. Jakšić and M. Trivunić, "Fire Protection of The Building - Part Ii: The Facilities Geometry", *Conference FIRE PROTECTION OF THE BUILDING - PART II*, 2015.

[22] M. AH. Raheem, "The modern technologies role in enhancing design determinants of safety and security factors in buildings", *Journal of Engineering Sciencesand Information Technology*, Vol 3, NO. 4 , PP. 22 - 41, 2019, DOI: https://doi.org/10.26389/AJSRP.N110719 .

[23] M. F.Abd Rabbo, A. M. Arab, A. A. Attia and M. Shalaby,"Ceiling Shape in industrial building effect on fire behavior", *Engineering Research Journal-*

*Materials*, Vol.61, pp.172-180, 2014, http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.012 .

[35] M.P. Giraldo, J. Avellaneda, A. Lacasta and C. Burgos,**"** Numerical-Simulation Research On Building-Façade Geometry And Its Effect On Fire Propagation In Wooden Façades**"**, *World Conference on Timber Engineering*, Quebec City, Canada, pp. 1-8, 2014.

[36] B.x. Zhou, "Application and design requirements of fire windows in buildings", *Procedia engineering* ,Vol.71,pp. 286-290, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.04.041.

[37] Y. Wang, Q. Wang, J. Sun, L. He and K. M. Liew, "Thermal performance of exposed framing glass façades in fire", *Materials and Structures*, Vol. 49, No. 7,pp. 2961-2970, 2016, DOI 10.1617/s11527-015-0698-z.

[38] K . T. Nguyen, P. Weerasinghe, P. Mendis and T. Ngo, "Performance of modern building façades in fire: a comprehensive review", *Electronic Journal of Structural Engineering*, Vol.16, pp. 69-87, 2016. DOI: https://doi.org/10.56748/ejse.16212 .

[39] M .Nilsson, A. Mossberg, B. Husted and J.Anderson, "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. 2016.

[40] M. Nilsson ,"The impact of horizontal projections on external fire spread-a numerical comparative study" , *Report* ,nr. 5510. Lund University, Division of Fire Safety Engineering. 2016.

[41] J. Jie, Y. F. Li, W. X. Shi, and J. H. Sun. "Numerical studies on smoke spread in the cavity of a double-skin façade." *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. 22, No. 4, pp. 470-479,2016, https://doi.org/10.3846/13923730.2014.897992 .

[42] W. Yan, L. Jiang, W. An, Y. Zhou and J. Sun, "Large scale experimental study on the fire hazard of buildings' U-shape façade wall geometry", *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol .23, No. 4, PP. 455-463, 2017.

[43] L. Hu, Milke JA and B Merci, **"**Special Issue on Fire Safety of High-Rise Buildings**"**, *Fire technology*, Vol. 53, pp. 1-3, 2017.

[44] M. Elhefnawi, "fire spread in curtain wall façade", *architecture and planning journa*l,Beirut arab university, lebanon, Vol. 24, 2018.

[45] Ž. Jakšić and M. Trivunić, "Fire Protection Of The Building - Part I: Contact Facade" , *Conference: Fire Protection Of The Buildings, At: Serbia*, 2015.

[46] A. A. Alfakhry,**"**new vision of provisions in iraqi code of practice for fire protections in buildings (646) to regulate the use of aluminum composite panels (acps) in building facades**"**, *Journal of Built Faculty of Engineering*, Vol. 1, no. 44,pp.10-16, 2020.

[24] R . Wang, X. Lan and L. Xu, "Smoke spread process under different heights based on numerical simulation", *Case Studies in Thermal Engineering*, ,Vol. 21,2020,doi.org/10.1016/j.csite.2020.100710 .

[25] S. A. Ahmed, **"**A Study Of Methods For Protection & Prevention Of The Effects Of Fires In Buildings**"**, *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, Vol.17, No.65, pp. 1415 -1430 ,2022.

[26] J. H. Mammoser and F. Battaglia, "A computational study on the use of balconies to reduce flame spread in high-rise apartment fires", *Fire safety journal*, Vol. 39, pp.277-296, 2004, doi:10.1016/j.firesaf.2003.11.011.

[27] R . Dârmon, " The Fire Spread Outside of a Building", *Acta Technica Napocensis – Series Civil Engineering and Architecture*, Vol.53, pp.152-155, 2010.

[28] C.L. Chow, "Numerical studies on smoke spread in the cavity of a double-skin façade." *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. 17, No. 3, pp. 371-392 ,2011.

[29] M. P. Giraldo, J. Avellaneda, A. M. Lacasta and V. Rodríguez, **"**computer-simulation research on building-facade geometry for fire spread control in buildings with wood claddings**"**, *The 2012 World Conference on Timber Engineering At: Auckland, New Zealand*, vol.2, pp. 1-8, 2012.

[30] M. F. AbdRabbo, A. M. Ayoub, M.A. Ibrahim and A. M.SHARAF ELDIN, "Effect of Window Configurations on Fire Spread in Buildings", *in 11th International Energy Conversion Engineering Conference*, 2013, DOI: 10.2514/6.2013-3947.

[31] L .Peng , Z. Ni, and X. Huang, "Review on the fire safety of exterior wall claddings in high-rise buildings in China", *Procedia Eng*, Vol.4 ,pp. 663-670, 2013.

[32] H . J. L. Morgado, J. P. C. Rodrigues and L. M.S. Laim, "Experimental and numerical study of balcony effect in external fire spread into upper floors", *Proceedings of International Conference Applications of Structural Fire Engineering,At: Prague*, pp.79-85, 2013.

[33] M. P. Giraldo, A. Lacasta, J. Avellaneda and C. Burgo, "Computer-simulation study on fire behaviour in the ventilated cavity of ventilated façade systems" , In *MATEC Web of Conferences* , vol. 9, p. 03002, 2013, DOI: 10.1051matecconf20130903002.

[34] Y. Wang, Y. Wu , Q. Wang, K.M. Liew , H. Chen , J. Sun and L. He, "Numerical study on fire response of glass facades in different installation forms", *journal of Construction and Building*

*Environmental Engineering*, Vol.17, NO.2, PP. 549-558, 2021, DOI: https://doi.org/10.2478/cee-2021-0056 .

[52] F. BM. Faudzi, J. Schulz and G. Dodd,"Qualitative assessment of fire hazard posed by laminated glass balcony balustrades on fire spread", *Fire Technology*, Vol.57, No.4, pp.1951-1967, 2021, https://doi.org/10.1007/s10694-020-01085-8 .

[53] D. G. Yılmaz, "Fire Safety of Tall Buildings: Approach in Design and Prevention", *Proceedings of the International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism-ICCAUA*, Vol. 5, No. 1, pp. 206-216. 2022, https://doi.org/10.38027/ICCAUA2022EN0215.

[54] A**.** A. Alfakhry, **"**Study Of Safe Separating Distances Between The Newly Constructed Buildings At Mosul University To Prevent Fire Propagtion By Radiation**"**, *Diyala Journal Of Engineering Sciences*,Vol. 7,No. 3, pp.19-31, 2014.

[55] D. Pesic, D. Zigar, M. Raos and I. Anghel, "Simulation of fire spread between residential buildings regarding safe separation distance", *Tehnički vjesnik*, Vol.24 , No. 4 , pp.1137-1145, 2017, https://doi.org/10.17559/TV-20150923233514.

*Environment, Technology and Engineering*, Vol. 6 pp. 60-68,2019.

[47] T. B. Chen, A. C. Yuen, G. H. Yeoh, W. Yang and Q. N. Chan ,"Fire risk assessment of combustible exterior cladding using a collective numerical database", *Fire*, Vol.11,No.1,2019, doi:10.3390/fire2010011.

[48] A . A. Alfakhry, "A Comparative Analytical Study of Some External Finishing (Cladding) Material in Terms of Their Ability to Spread Fire in Multi-story Building Facades in Iraq", *International Journal of Safety and Security Engineering*, Vol. 10, No. 5, pp. 647-654,2020.

[49] R .M. Rathnayake, P. Sridarran and M.D. Abeynayake ,"Factors contributing to building fire incidents: A review", *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Dubai, 2020.

[50] W. Yan, J. Li, Y. Shen, and K. Wang. "Experimental investigations on the flame spread of building's vertical U-shape façade" *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 147,No. 10, pp. 5961-5971, 2022.

[51] A. Iringová and D. Vandličková, "Analysis of a Fire in an Apartment of Timber Building Depending on the Ventilation Parameter" , *Civil and*

# The Effect of High-Rise Buildings Design Variables on the Speed of Fire Spread: A Review

**Raya Haqqi Ismail** rayahaqqi@gmail.com

**Omar H. kharufa** omar.kharufa@uomosul.edu.iq

University of Mosul, College of Engineering, Architecture Engineering Department, Mosul, Iraq

Received: December 23th 2022 Received in revised form: May 12th 2023 Accepted: July 6th 2023

***Abstract***

*In recent decades, the number, and height of buildings have increased dramatically. As height has become a kind of urbanization all over the world, people tend to build high-rise buildings, but the higher the building height, the greater the risk. Safety is one of the main tributaries on which the local economy is based, and it occupies an important place at the level of international organizations anywhere to protect lives and property. These towers accommodate a large population density, and given the large number of floors, the difficulty of controlling the spread of fire and evacuating the building's occupants appears. Therefore, the study aims primarily at a general evaluation of the available research dealing with design variables in high-rise buildings and their effects on the spread of fire, whether in terms of temperature, smoke, or toxic gases. The architect's role is activated through the development and improvement of design methods and the efficiency of the building's functional performance and protection measures when fire hazards occur in these buildings.*

***Keywords :***

*High- rise buildings, fire risk, safe design.*