

EFFICIENCY OF ARCHITECTURAL VOIDS ON NATURAL VENTILATION IN MULTI-STOREY BUILDINGS: CFD ANALYSIS

Ahmad Sabri El-Sayed¹, Ahmad Ahmad Fikri², Abbas Mohamad El-Zaafarani³,
Khaled Ibrahim Ahmad⁴

1. Consultant Engineer for Public Buildings, MSc in Architecture, Cairo University.
2. Professor of Environmental Design and Planning, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Cairo University.
3. Professor of Environmental Design and Planning and former Dean of the Faculty of Urban Planning, Cairo University.
4. Professor, Department of Mechanical Engineering, King Abdul-Aziz University, Jeddah.

Email: a_sabri@yahoo.com

ABSTRACT

Improving the performance of natural ventilation in multi-storey buildings is important for living in terms of health and thermal comfort. One of the most important design strategies to improve natural ventilation in multi-storey buildings is by exploiting the voids inside the building. What is meant by voids here is the negative part of the built-up block such as skylights, courts or stairwells, which are usually located in the middle of the multi-storey residential building.

Therefore taking care of designing voids in buildings from the beginning is crucial in order to obtain good natural ventilation.

The experiment was conducted in this research on a four-storey hypothetically existing building. This study aims to explore the effects of voids inside the building on the efficiency of natural ventilation by incorporating two of voids forms avoiding any change in windows size or place. To assess the situation and reach the results, the experimental method was adopted and computational fluid dynamics CFD model was used. The major determinant used for assessment is the volumetric flow rate which is necessary for thermal comfort and health. This study revealed quantitatively what is known theoretically that including voids within the ventilation system and increasing their area can greatly enhance the efficiency of natural ventilation in the multi-storey building.

KEYWORDS: Natural Ventilation, Sustainability, Thermal Comfort, Building Voids, Stack Effect, Computational Fluid Dynamics CFD, Ansys Fluent, Finite Volumes

كفاءة إدراج الفراغات المعمارية في منظومة التهوية الطبيعية للمباني متعددة الطوابق: دراسة رقمية

أحمد صبري السيد^١، أحمد أحمد فكري^٢، عباس محمد الزعفراني^٣، خالد إبراهيم أحمد^٤

١. مهندس استشاري المباني العامة، ماجستير العمارة، كلية الهندسة، جامعة القاهرة.

٢. أستاذ التصميم والتخطيط البيئي، قسم العمارة، كلية الهندسة، جامعة القاهرة.

٣. أستاذ التصميم والتخطيط البيئي والعميد السابق لكلية التخطيط العمراني، جامعة القاهرة.

٤. أستاذ بقسم الهندسة الميكانيكية، كلية الهندسة، جامعة الملك عبد العزيز، جدة.

البريد الإلكتروني: a_sabri@yahoo.com

الملخص:

يعد تحسين أداء التهوية الطبيعية في المباني متعددة الطوابق مهمًا للمعيشة من حيث الصحة والراحة الحرارية. من أهم استراتيجيات التصميم لتحسين التهوية الطبيعية في المباني متعددة الطوابق هي عن طريق استغلال الفراغات المفتوحة داخل المبنى. المقصود بالفراغ المفتوح هنا الجزء السالب من الكتلة المبنية - يمكن تسميته منور أو حوش أو بئر السلم - ويقع عادةً في وسط المبنى متعدد الطوابق. من أجل ذلك تعد العناية بتصميم الفراغات المفتوحة في المباني من البداية أمرًا بالغ الأهمية للحصول على التهوية الطبيعية الجيدة.

وقد تم إجراء التجربة في هذا البحث على مبنى افتراضي مكون من أربع طوابق. تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف تأثير الفراغ المفتوح داخل المبنى على كفاءة التهوية الطبيعية من خلال دمج اثنين من أنواع هذه الفراغات مع فرضية عدم إجراء أي تغيير في حجم أو مكان النوافذ. لتقييم الوضع والوصول إلى النتائج اعتمد المنهج التجريبي و تم استخدام برامج المحاكاة على الحاسب الآلي لعمل نموذج CFD. المحدد الأساسي الذي استُخدم للمقارنة بين مختلف أشكال الفراغ هو معدل التدفق الحجمي لأنه يوضح كمية الهواء الداخلة للمبنى الذي هو أمر ضروري للراحة الحرارية وأيضًا للصحة بالتخلص من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والروائح. أثبتت هذه الدراسة كميًا ما هو معروف نظريًا أن إضافة الفراغات لعملية التهوية وزيادة مساحتها يمكن أن يعزز بنسب كبيرة كفاءة التهوية الطبيعية في المبنى متعدد الطوابق.

الكلمات المفتاحية: التهوية الطبيعية، الاستدامة، الراحة الحرارية، فراغات المبنى، تأثير المدخنة، ديناميكا الموائع الحسابية ، أنيس فلوننت

١. المقدمة

التهوية الطبيعية تُحسّن من كفاءة استخدام الطاقة في المباني عمومًا وفي المباني متعددة الطوابق خصوصًا والتي تحتوي على فراغ داخلي حيث أنها تحد من استخدام الطاقة الالكتروميكانيكية مما له مردود اقتصادي كما أنها تحقق الاستدامة للمبنى والبيئة المبنية (Jamaludin, 2014). في دراسة عملية قام جمال الدين وآخرون (Jamaludin, 2014) بعمل تجربة على الطبيعة لوحدة خالية في مبنى سكني قائم باستخدام طرق مختلفة للتهوية عن طريق غلق وفتح النوافذ نهائيًا وليلاً على مدار أربع أسابيع وقد توصلوا من خلالها إلى أن كفاءة التهوية تتأثر بالطابق ومكان الوحدة أكثر من تأثرها بتوجيه المبنى، ولكن يعيب هذه التجربة تقيدها بوقت ومكان محددين وتطلبها لأماكن خالية من السكني ويتم ذلك على مدار وقت طويل وفي النهاية لا يعبر إلا عن فترة زمنية محددة كما أنها تعتمد على العنصر البشري بصورة كبيرة. وبرغم أهمية التهوية الطبيعية كما سبق ذكره في الفقرة السابقة إلا أنه لا يتم تطبيق استراتيجية التهوية الطبيعية بشكل شائع بسبب ارتفاع تكاليف تنفيذها أحيانًا ونقص الثقافة البيئية لدى الملاك أحيانًا أخرى مما يعكس على متطلباتهم في التصميم وأيضًا بسبب عدم مراعاة البعد البيئي في المراحل الأولى من عملية التصميم وقد اكتشفت أيضًا أن مستخدمي المبنى هم أول من يستغني عن استخدام نظام التهوية المُصمّم للمكان كما أشار وانج وآخرون في دراستهم النظرية (Wang, 2015).

وقد وضح Butler وآخرون في دراستهم النظرية (Butler, 2013) أن الطرق التقليدية لقياس حركة الهواء حول المبنى تتمثل في اختبار نفق الرياح Wind tunnel، أو الاختبار الهيكلي بالحجم الطبيعي، أو القياس الفعلي للضغط في الموقع، أو اختبار الحمل والضغط الميكانيكي، وتقوم بها فقط كليات الهندسة والمراكز البحثية المتخصصة كما أن تكلفتها عالية وتستغرق كثيرًا من الوقت. مما أبرز أهمية استخدام ديناميكا الموائع الحسابية Computational Fluid Dynamics CFD. وذلك لأن استخدام الـ CFD يتيح رسم المباني و الرياح بمقياس حقيقي على عكس نفق الرياح Wind tunnel التي تختبر نماذج مصغرة للمباني وبالتالي تُصغّر خصائص الرياح. كما أن التعديلات في نموذج الـ CFD سهلة. أيضًا يتم اختيار الموقع الجغرافي رقميًا في حين يتطلب نفق الرياح تركيب أجهزة قياس حقيقية. ليصبح الـ CFD بديلاً عمليًا لاختبار نفق الرياح كما وضحت الدراسة بشكل نظري مميزات استخدام الاختبار الرقمي مقابل الاختبارات التقليدية للتهوية وأنه أكثر مرونة.

وقد تناول Macquoy في دراسته النظرية (Macquoy, 2014) الاستراتيجيات العديدة الموجودة والتي تستخدم لتعزيز التهوية الطبيعية للمباني متعددة الطوابق بالسرد والتحليل والتمثيل وقد أفادت هذه الدراسة في طريقة اختبار العناصر التي من الممكن استخدامها لتوفير التهوية الطبيعية للمبنى أو استثمار ما هو موجود في المبنى المطلوب، إلا أنه لم يختبر أيًا

منها و اكتفي بالعرض فقط، و ما يهمنا منها هو الآتي : ١- أبراج الرياح (Karakatsanis, 1986) ؛ ٢- الملفف (Montazeri, 2011)، وهاتان دراستان عمليتان عن أبراج الرياح والملقف تم اختبار عناصرهما باستخدام اختبار نفق الرياح وقد ذكرنا عيوب هذا الاختبار في الفقرة السابقة مقارنة بالاختبار الرقمي ؛ ٣- الأسطح بطريقة (Van Venturi, 2011) Hooff, وهي دراسة عملية ونظرية تم عمل الاختبار فيها عملياً باستخدام نفق الرياح و رقمياً بال CFD ، وقد أثبت هذا البحث التوافق في النتائج بين الاختبارين العملي و الرقمي بالنسبة لسرعات الهواء داخل المبنى مما يعد تأكيداً لكفاءة الاختبار الرقمي وسلامة نتائجه ؛ ٤- الأسطح المسننة (Perén, 2016) Sawtooth وهي دراسة رقمية تم فيها عمل تصميمات مختلفة للتهوية باستخدام الحاسب الآلي CFD على مبني مكون من دور واحد وتم عقد مقارنات بينها للوصول لأفضل تصميم للتهوية ، وهذه المرونة في التعديل من مميزات الاختبار الرقمي حيث توفر في الوقت و الجهد والمال؛ ٥- الحوش و المنور (Etheridge, 2012; Moosavi, 2014; Ray, 2014) حيث تناولوا بالسرد و التحليل و المقارنة و التمثيل أهمية و دور الفراغات الداخلية للمبنى في كفاءة التهوية الطبيعية و عرضوا طرق الاختبار المختلفة و لكن كل ذلك في إطار نظرة عامة شاملة للدراسات السابقة في الموضوع ؛ ٦- المدخنة الشمسية Solar chimney (Ahmad, 2014) وهي دراسة رقمية تم اختبار المداخل الشمسية فيها كاستراتيجية للتهوية الطبيعية باستخدام الاختبار الرقمي CFD بتصميمات مختلفة و الوصول إلى أفضل تصميم ولكن تم هذا أيضاً على مبني من دور واحد. العنصر الأساسي للتهوية في البحث الحالي هو الفراغ الداخلي للمبنى وهو يعني بئر الهواء أو الحوش أو المنور، والذي يكون عادةً في وسط المبنى وهو عنصر معماري سلبي يتم إضافته للحصول على الإضاءة الطبيعية والتهوية وقد تم دراسته من قبل عملياً ونظرياً في الأبحاث (Etheridge, 2012; Ismail, 1996; Kotani, 2003) وهي دراسات تراوحت بين النظرية و العملية تم فيها اختبار المنور عملياً باستخدام نفق الرياح و رقمياً باستخدام الاختبار الرقمي CFD وقد بينت النتائج تأثير وجود الفراغات الداخلية في تحسين منظومة التهوية الطبيعية و قد أثبتت كفاءتها إلا أن هذه الاختبارات كانت تدرس فراغاً واحداً في المرة إما المنور أو الحوش ولم توجد دراسة لأكثر من فراغ معاً. قدم Shuzo Murakami دراسة نظرية رقمية (Murakami, 2004) وهي دراسة موجهة لتصميم منظومة التهوية الطبيعية لمبنى بعينه بعمل فراغات داخل المبنى، ومنها تبين أن الفراغات في المباني لها مزايا معمارية وبيئية وإنشائية، والذي يعيننا منها التالي: ١- تعزيز التهوية الطبيعية الداخلية بحسب إمكانيات البيئة الخارجية؛ ٢- التظليل الشمسي داخل فراغات المباني للوصول إلى الراحة الحرارية داخلياً وقد استخدمت هذه الدراسة الحاسب الآلي لعمل تصميم لنظام التهوية لمبنى ذو تصميم خاص جداً مما أوضح مرونة الاختبار الرقمي إلا أن النتائج لا يصلح تعميمها أو تطبيقها على المباني التقليدية لخصوصية التصميم حيث يتكون المبنى من كتل على شكل مكعبات متراكبة بينها فراغات. وقدم Tomoko Hirano وآخرون (Hirano, 2006) في دراستهم النظرية الرقمية أن المبني بنسبة فراغات ٥٠ ٪ هو أكثر فعالية كتهوية طبيعية من المبنى بدون فراغات حيث يتجدد الهواء بمعدل حوالي أربع أضعاف و تزيد سرعة الهواء عند الفتحات حوالي ٣٠ ٪. كما كشفت دراسة أخرى في رسالة الدكتوراه التي قدمها ماجد إسماعيل لجامعة ويلز، (Ismail, 1996) أن الفراغ يخلق فروق ضغط تتسبب في شطف الهواء المتدفق عبر الفراغ مما يعزز التهوية. كما كشفت نسبية الصدفي وآخرون (Sadafi, 2011) في دراستهم العملية الرقمية أن الفراغات تعمل على تحسين الراحة الحرارية الداخلية للغرف المحيطة بها حيث قاموا بعمل اختبار حقل للمبني محل الاختبار ثم قاموا بإدراج فراغ داخلي له عن طريق المحاكاة باستخدام الاختبار الرقمي CFD.

١,١ الهدف من هذا البحث القائم

بناءً على ما سبق فإن الهدف هو عمل دراسة رقمية لتأثير الفراغات المختلفة مجتمعة داخل مبني تقع واجهته أمام مصدر رياح متوسطة السرعة كما في منطقة الشرق الأوسط ذات المناخ الحار الجاف صيفاً على التهوية داخل المبنى. كما يوجه البحث لإمكانية إجراء تعديلات تتضمن التهوية الطبيعية في المباني القائمة للوصول إلى الراحة الحرارية مع التوفير في الطاقة و أن يكون ذلك في أضيق إطار تنفيذي ممكن عن طريق استثمار ما هو موجود بالمبنى بالفعل دون الحاجة إلى تنفيذ تعديلات جوهرية بالمبنى بصفة عامة أو بالواجهات بصفة خاصة مثل تعديل أماكن النوافذ أو مساحتها. وبصفة عامة فهو يهدف إلى التحقق بصورة رقمية مما هو مذكور نظرياً و وصفياً في الأبحاث من تحسن التهوية داخل المبنى وذلك بإدراج الفراغات المفتوحة للسماء أو متصلة بالخارج عن طريق فتحات مثل الأحواش والمناور والمدخن و آبار السلالم و الأسانسيرات ضمن منظومة التهوية الطبيعية ، حيث أن هذه الدراسة تركز فقط على استخدام الفراغات وإدراجها في منظومة التهوية الطبيعية للمباني وليس اعتبار أن هذه الفراغات مقصودة بالتهوية لذاتها و إنما كوسيلة لتوصيل الهواء إلى داخل المبنى و لتحسين الراحة الحرارية للقاطنين داخل المبنى وليس داخل هذه الفراغات حيث هي خارج مجال هذا البحث.

٢,١ منهجية البحث

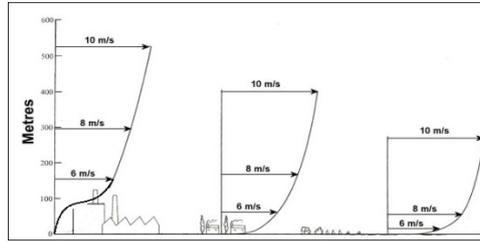
الذي تم اعتماده كمنهجية في هذا البحث هو المنهج التجريبي الرقمي حيث تم عمل نموذج محاكاة CFD لمبنى افتراضي مكون من أربع طوابق ويحوي نوعان مختلفان من الفراغات المعمارية الموجودة افتراضيا بصورة مسبقة داخل المبنى وهما فناء داخلي و بئر سلم. وقد تم استخدام برنامج Ansys Fluent لعمل نموذج محاكاة لحركة الهواء داخل المبنى بسيناريوهات مختلفة لا تتضمن أو تتضمن إدماج الفراغين مجتمعين أو متفرقين في منظومة التهوية الطبيعية للمبنى. بعد ذلك تم استخدام المنهج التحليلي للمقارنة بين نتائج المحاكاة لهذه السيناريوهات المختلفة بهدف الوصول لأفضل التصميمات من حيث التهوية الطبيعية للمبنى موضوع الدراسة.

٢. الخصائص الطبيعية لحركة الرياح

حيث أن الهواء هو العنصر الأساسي في هذا البحث فكان لا بد من ذكر خصائصه الطبيعية. حرَّر ناجي في رسالته للماستير المقدمة لجامعة القاهرة (ناجي، ٢٠١١) أن حركة الهواء هي أحد العوامل الأساسية التي يجب التحكم فيها للوصول إلى الراحة الحرارية لمستخدمي المباني، وأن كلمة الرياح تطلق على الهواء المتحرك الخارجي وأما عملية جذبته إلى داخل المبنى وحركته خلاله تسمى التهوية الطبيعية للمبنى، كما أوضح أن الرياح لها خصائص طبيعية تتأثر بمحددات عديدة منها فروق الضغط وفروق درجات الحرارة والكثافة والجاذبية الأرضية وتضاريس سطح الأرض بخصائصها ووجود المسطحات المائية والمرتفعات والقرب أو البعد من خط الاستواء والبعد عن سطح الأرض وغير ذلك.

١,٢ سرعات الرياح

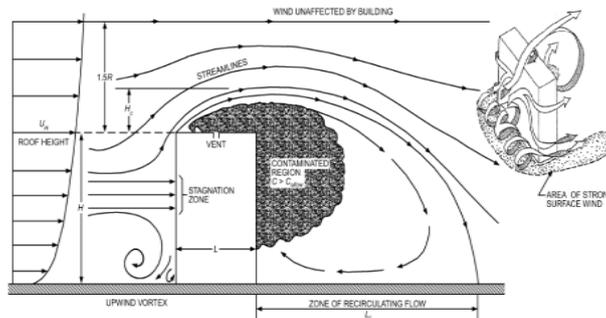
كشفت Crasto في رسالته للدكتوراه المقدمة لجامعة Cagliari (Crasto, 2007) أن سرعة الرياح تزيد مع الارتفاع عن سطح الأرض في إطار الطبقة الحدودية للغلاف الجوي ABL atmospheric boundary layer كما في شكل (١)، وهذا يعتمد أيضاً على معامل الاحتكاك مع سطح الأرض، فكلما كانت المسطحات مفتوحة كلما كانت سرعة الرياح القريبة من الأرض أعلى دراسة نظرية. وفي حالتنا هذه لا تتأثر السرعة تقريباً لقصر المبنى نسبياً.



شكل (١) منحنى سرعة الرياح

٢,٢ حركة الرياح حول المباني

اصطدام الرياح بالمباني يؤدي إلى حدوث دوامات في مسارات الهواء حول المبنى وتكوين مناطق بها سرعة الهواء كبيرة وأخرى سرعته منخفضة مما يؤدي إلى وجود فروق في الضغط تسبب حركة الهواء إلى داخل أو خارج المبنى ويسمى الهواء المتحرك أمام المبنى بالتيار الصاعد Upwind والهواء المتحرك خلف المبنى بمنطقة ظل الرياح leeward كما أوضح Jatupatwarangkul وآخرون في دراستهم النظرية (Jatupatwarangkul, 2013).



شكل (٢) حركة الرياح عند اصطدامها بالمباني المرتفعة (Jatupatwarangkul, 2013)

٣. تجربة المحاكاة CFD

١,٣ أهداف التجربة

تقييم أداء التهوية الطبيعية داخل المبنى متعدد الطوابق عن طريق إدراج أنواع مختلفة من الفراغات المفتوحة - وهي الفناء الداخلي ويقع في وسط المبنى و بئر سلم الهروب ويقع في خلف المبنى - في عملية التهوية وذلك باستخدام المحاكاة عن طريق الكمبيوتر CFD مما يفيد في معرفة إمكانية تحقيق ذلك وإثباته بصورة علمية رقمية للاستفادة منه في حالة التعامل مع المباني القائمة وفي العملية التصميمية.

٢,٣ أدوات وثوابت ومتغيرات التجربة

المنهجية المختارة في هذا البحث كانت عمل نموذج رقمي ديناميكا الموائع الحسابية CFD باستخدام برنامج 18.1 Ansys Fluent على المبنى محل الدراسة.

وفي هذه الدراسة تم التركيز على التهوية الطبيعية الناتجة عن حركة الرياح فقط، وتم استبعاد التأثير الحراري من التجربة. المبنى محل التجربة عبارة عن مبنى افتراضي بأبعاد 35×45 م. مكون من أربع طوابق، الدور الأرضي منه بارتفاع 5.2 م. والأدوار العلوية بارتفاع 3.6 م. كل منها، ويتوسطه فناء داخلي بأبعاد 14.6×14.6 م. ، وبئر سلم في الخلف بأبعاد 6×9 م. يرتفع عن المبنى ب $3,4$ م.

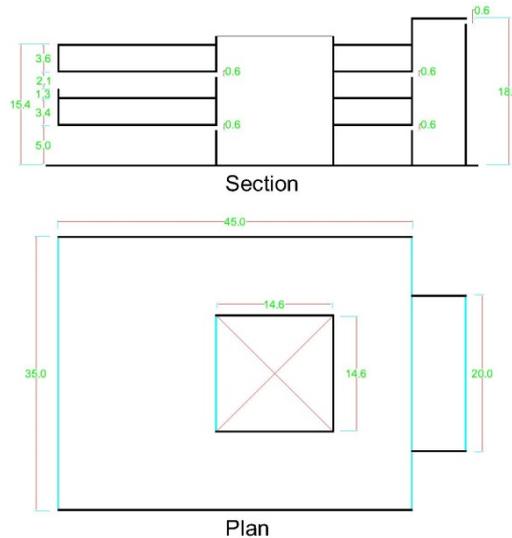
والمبنى به نوافذ أمامية بمسطح 5×34 م. بكامل الواجهة في الدور الأرضي وبمسطح 2×34 م. في الأدوار العلوية، وهي التي تواجه تماماً الرياح وهي المدخل للهواء المتحرك، وبه أيضاً نوافذ خلفية بمسطح 1×7 م. على كل جنب من الواجهة الخلفية في كل الأدوار وتمثل مخرج الهواء.

الفناء الداخلي مفتوح للسماء بالكامل وتطل عليه نوافذ علوية من الأدوار بارتفاع 6.0 سم. مواجهة لاتجاه الرياح حيث تحدث فيه ظاهرة تأثير المدخنة stack effect نتيجة تدفق الهواء من الأدوار إليه من هذه الفتحات.

بئر السلم يرتفع عن المبنى ب $3,4$ م. وتطل عليه نوافذ علوية من الأدوار بارتفاع 6.0 سم. مواجهة لاتجاه الرياح أيضاً يدخل منها الهواء من الأدوار وبه نافذة علوية لخروج الهواء بارتفاع 7.5 سم. وهي موجهة عكس اتجاه الرياح ليتحول حينئذٍ إلى مدخنة شمسية solar chimney.

سرعة الرياح الافتراضية في التجربة 5 م/ث بتدفق ثابت steady flow وهو أقل متوسط سنوي لسرعة الرياح في منطقة الشرق الأوسط تبعاً لـ Shawon وآخرين في دراستهم النظرية (Shawon, 2013). كل ما سبق ثوابت في التجربة.

المتغير الوحيد في التجربة هي النوافذ التي يتم فتحها أو غلقها لإدراج فراغات معينة أو استبعادها كما في الحالات الثلاث المذكورة في الفقرة 3,3 .

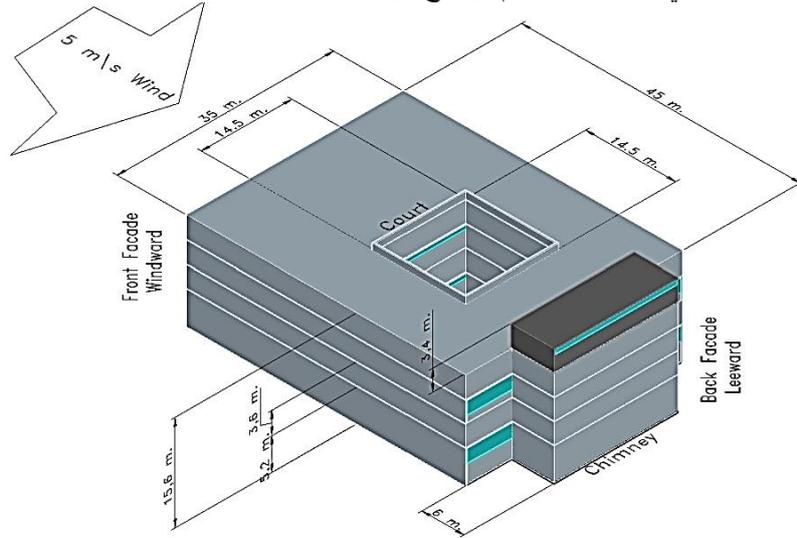


شكل (3) مسقط أفقي وقطاع للمبنى

٣,٣ خطوات التجربة

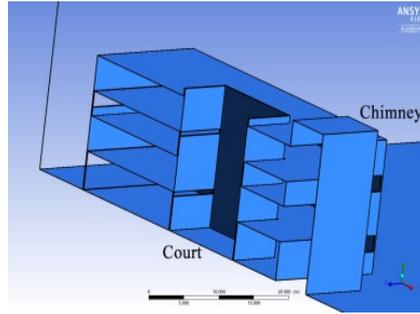
كفاءة إدراج الفراغات المعمارية في منظومة التهوية الطبيعية للمباني متعددة الطوابق: دراسة رقمية

- تم رسم المبنى ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج أوتوكاد شكل (4).



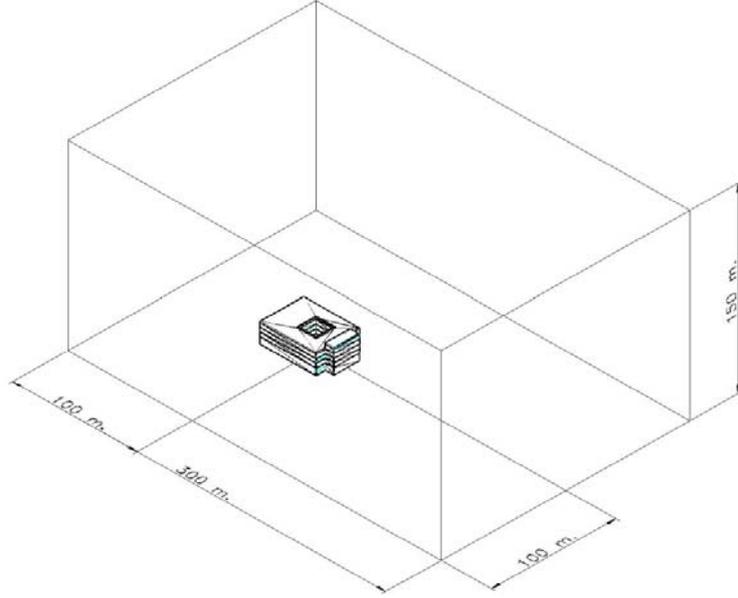
شكل (4) النموذج الثلاثي الأبعاد للمبنى

- تم تصدير النموذج إلى برنامج Ansys 18.1 حيث يتم التعامل مع نصف الكتلة فقط لأنها متماثلة ويقوم البرنامج بحسابه كأنه مكتمل مما يوفر وقت الحسابات شكل (5).



شكل (5) النموذج التماثلي للمبنى داخل برنامج Ansys

- رسم كتلة الهواء التي تحيط بالمبنى والتي تحاكي الرياح حوله بأبعاد 100 م. أمام المبنى و 200 م. خلفه و 150 م. فوقه و 100 م. على كل من الجانبين شكل (6).



شكل (6) مجال كتلة الهواء حول المبنى (domain)

- عمل رسمة شبكية meshing للنموذج ليتحول إلى حجوم محدودة finite volumes وهي مكعبات صغيرة تمثل كتلة الهواء وهي الطريقة التي تتعامل بها ديناميكا الموائع الحسابية CFD شكل (٧).

أما مواصفات الـ mesh فهي كالآتي :

عدد الخلايا cells = ١٨٠٩٤٩٠

عدد الـ faces = ٥٤٠٣٠٦٥

عدد الـ nodes = ١٨٠٠٤٥٩

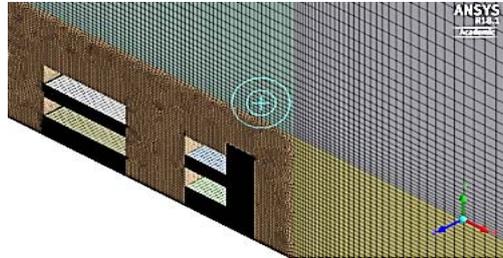
حجم الـ cell الأدنى = ٦,٩١٣٥ م^٣

حجم الـ cell الأقصى = ١,٠٧٧٣٥ م^٣

وحجم الخلية cell يتغير كلما حسب بعده عن المبنى ، فالقريب من المبنى أصغر ، كما أن الحجم داخل المبنى أصغر من خارجه و كلما اقتربنا من الحوائط و النوافذ و الأركان كان أصغر .

المسطح الأدنى للـ cell = ٥,٨٠١٨ م^٢

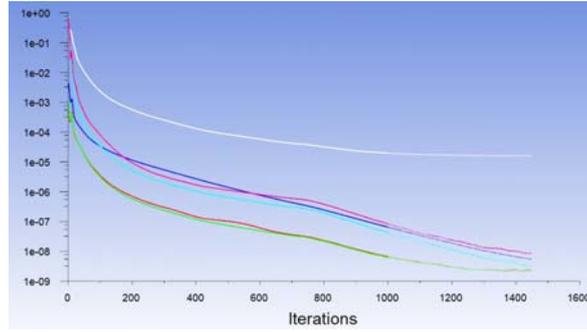
المسطح الأقصى للـ cell = ٤,٩٢٤٦ م^٢.



شكل (7) رسمة شبكية للحجوم المحدودة للمبنى في برنامج Ansys

- الانتقال لبرنامج fluent داخل Ansys ثم اختيار الخامة لتكون هواء وتجهيز الموديل ليكون مزدوج الدقة وعلى أساس الضغط، وعلى نموذج الدوامة k-epsilon realizable لأن نتائجه مستقرة.

- بعد ذلك تم وضع الشروط الحدودية boundary conditions أولاً بتحديد الحد الأمامي لمحيط الهواء حول المبنى كمدخل للهواء بسرعة ثابتة ٥ م/ث. وتحديد الحد الخلفي للهواء المحيط حول المبنى كمخرج للهواء، ثم عمل فتحات من الأدوار إلى المنور مع ترك سقفه مفتوحاً للهواء خارج المبنى، وعمل فتحات من الأدوار إلى بئر السلم -الذي تم تعيينه مدخنة- وفتحة علوية أعلاها تطل عكس اتجاه الرياح الخارجية وسقف المدخنة مغطى تماماً.
- في خطوات الحل داخل برنامج fluent تم اختيار الازدواج Coupled كنظام حتى يتم حل جميع المعادلات مع بعضها.
- و تم اعتبار الهواء incompressible لأن سرعة الهواء قليلة جدا ٥ م/ث ، حيث يتم اعتبار ال-compressibility للهواء في ال-CFD عند وصول الهواء إلى ماخ-٠,٣ ، وحيث أن سرعة الهواء في حالتنا هذه يساوي فقط ماخ-٠,١٥، فتم اعتبار الهواء غير منضغط لأن هذه القيمة صغيرة جدا مقارنة ب-ماخ-٠,٣، التي يبدأ تضاعف الهواء عندها.
- تم عمل Residual Convergence للوصول إلى الحل كما في شكل (8).



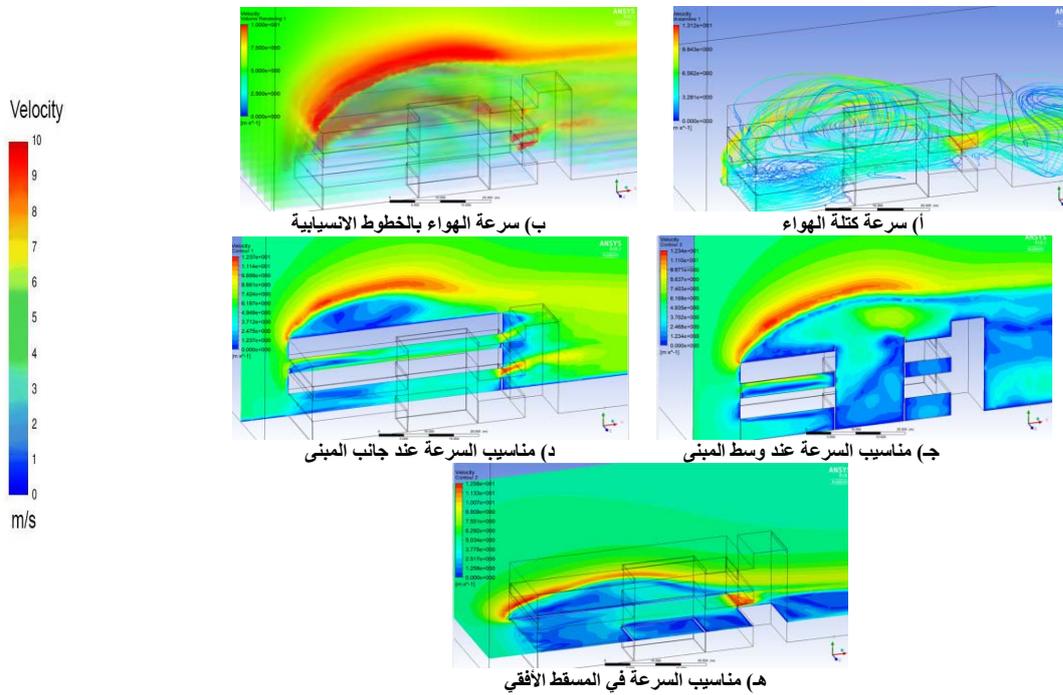
شكل (8) Residual Convergence after 1450 iterations, Ansys

- الذي تم اختياره لإجراء القياسات عليهم فقط هو الدور الأرضي و الثاني وإغلاق الأول والثالث ، حيث يمر تيار الهواء خلالهما من الخارج إلى داخل المبنى و منهما إلى الفناء وبئر السلم ، والهدف من اختيار طابقين فقط هو تقليل وقت الحسابات في التجربة ، هذان الطابقان المختاران يمثلان منطقتين مختلفتي الارتفاع من المبنى بما يحقق صورة متكاملة عن الأداء.
- تم استخراج نتائج ال-CFD للحالات المختلفة بالأشكال التالية وذلك لكل حالة:
 - عرض لكثافة الهواء داخل وخارج المبنى مقسمة حسب السرعة
 - عرض لسرعة الهواء على شكل مسارات انسيابية مما يبين شكل حركة الهواء والدوامات الهوائية في نفس الوقت تمثل ألوان المسارات قيمة السرعة كما سبق
 - عرض للسرعة على شكل خطوط مناسبة من خلال قطاع طولي على المحور الرئيسي للمبنى يمر بالمنور و المدخنة
 - عرض للسرعة على شكل خطوط مناسبة من خلال قطاع طولي على جانب المبنى يمر بالنوافذ الخلفية
 - عرض للسرعة على شكل خطوط مناسبة على المسقط الأفقي
- بالنسبة للسيناريوهات المنفذة في عملية المحاكاة تم تقسيم نظام التهوية داخل المبنى على التوالي كالتالي:
 - الحالة الأولى: تم إجراء القياس بفتح النوافذ الأمامية كمدخل للهواء والنوافذ الخلفية فقط كمخرج وهذه حالة التيار الهوائي.
 - الحالة الثانية: تم إجراء القياس بفتح النوافذ الأمامية كمدخل للهواء والنوافذ الخلفية كمخرج مع فتح نوافذ الفناء الداخلي على الأدوار ليدخل الهواء منها إلى الفناء.
 - الحالة الثالثة: تم إجراء القياس مع فتح النوافذ الأمامية كمدخل للهواء والنوافذ الخلفية كمخرج مع فتح نوافذ الفناء الداخلي على الأدوار ليدخل الهواء إلى الفناء ويضاف إليها فتح نوافذ بئر السلم على الأدوار ليدخل الهواء إلى بئر السلم ويخرج من النافذة العلوية الخلفية به.
- وقد تم اختيار هذه الحالات الثلاثة السابقة لتحقيق الهدف الأساسي من البحث وهو اختبار هل إضافة فراغات المبنى إلى منظومة التهوية الطبيعية يحسن من تهوية داخل المبنى، و هل زيادة مساحة الفراغات المدرجة -

وذلك بإدراج أكثر من فراغ في المنظومة - يحسن منها أيضا وتأثير ذلك على المناسيب المختلفة. ولذلك تم أولاً اختبار المبنى بدون إدراج الفراغات أي بتيار الهواء فقط من النوافذ الأمامية إلى الخلفية والحصول على النتائج، ثم تم إدراج أول فراغ للمنظومة وهو الفناء وعمل الاختبار والحصول على النتائج، ثم تم إدراج الفراغ الثاني وهو بئر السلم مع الأول - أي كل الفراغات الموجودة في المبنى - وعمل الاختبار والحصول على النتائج، فيصبح عندنا تهوية ناتجة عن تيار الهواء فقط ثم تهوية ناتجة عن إضافة فراغ واحد إلى المنظومة ثم تهوية ناتجة عن إضافة فراغين إلى المنظومة، ثم تم المقارنة بينهم كما سيظهر في باقي البحث.

٣, ٢, ١ نتائج الحالة الأولى: قياس التهوية مع النوافذ الخلفية فقط

يلاحظ في شكل (9) تسارع حركة الرياح حول المبنى سواءً التيار الصاعد Upwind أو التيار الجانبي كما في شكل (9-أ). في حين أن حركة الهواء داخل المبنى قرب المدخل بطيئة، ويظهر ذلك جلياً في شكل (9-ب) حيث تظهر المنطقة قرب النوافذ الأمامية غالب عليها اللون الأزرق. و يظهر في شكل (9-ج) حدوث شفط للهواء داخل الفناء المفتوح مكوناً حركة دوامية كما في (9-د) رغم إغلاق نوافذه مع المبنى. بينما تزداد سرعة الهواء جداً من المخرج خروجاً من المبنى عند النوافذ الخلفية. وقد سجلت كمية تدفق الهواء إلى داخل المبنى ١٤٠,٦ م^٣/ث في الدور الأرضي و ١١٥,٦ م^٣/ث في الدور الثاني وهذا واضح في شكل (9-هـ).

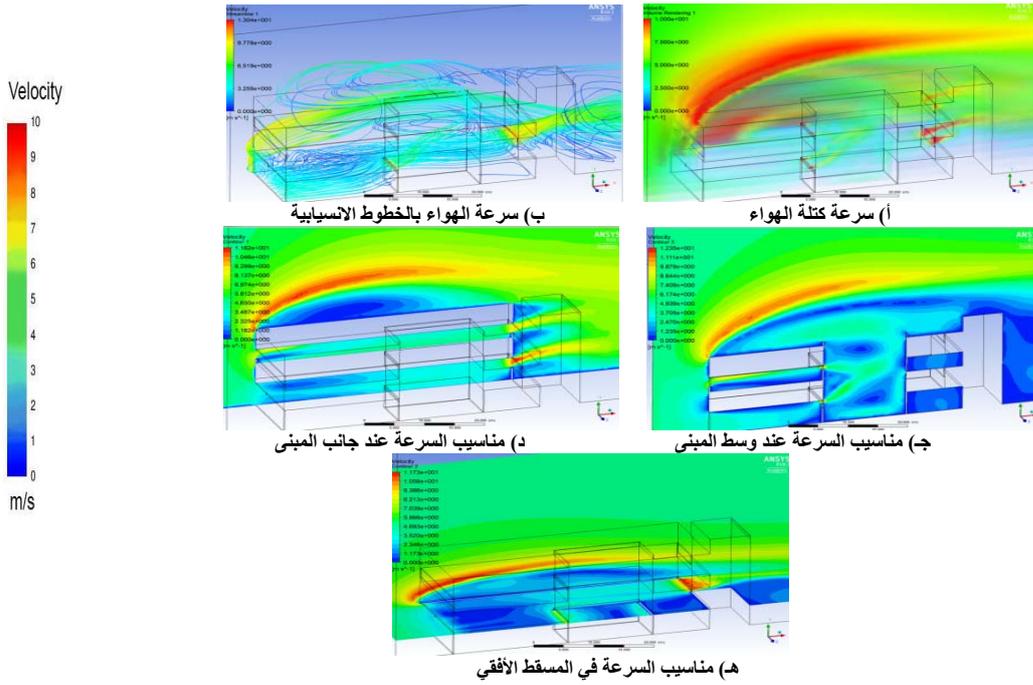


شكل (9) لقطات توضح مسار وسرعات الهواء في مقاطع مختلفة خارج وداخل المبنى للحالة الأولى، برنامج Ansys

٣, ٢, ٢ الحالة الثانية: قياس التهوية مع النوافذ الخلفية و الفناء الداخلي

يلاحظ في شكل (10) تسارع حركة الرياح حول المبنى سواءً التيار الصاعد أو التيار الجانبي لكنها أقل في الصاعد عن الحالة الأولى كما في شكل (10-أ) نتيجة دخول كمية هواء أكبر إلى داخل المبنى. في حين أن حركة الهواء داخل المبنى قرب المدخل بطيئة ولكن أسرع مما سبق، ويظهر ذلك جلياً في شكل (10-ب) حيث تظهر المنطقة قرب النوافذ الأمامية وقد انحسر منها اللون الأزرق قليلاً. و يظهر في شكل (10-ج) حدوث شفط للهواء داخل الفناء المفتوح من داخل المبنى مسبباً زيادة في حركة وسرعة الهواء في الأدوار في المنطقة القريبة منه كما خفتت الحركة الدوامية التي كانت في الحالة الأولى كما في شكل (10-د). بينما تزداد سرعة الهواء جداً من المخرج كما في الحالة السابقة. وقد سجلت كمية تدفق الهواء إلى داخل المبنى ١٤٠,٦ م^٣/ث في الدور الأرضي و ١٥٣,٢ م^٣/ث في الدور الثاني وهذا واضح في شكل (10-هـ) حيث غلب اللون السماوي.

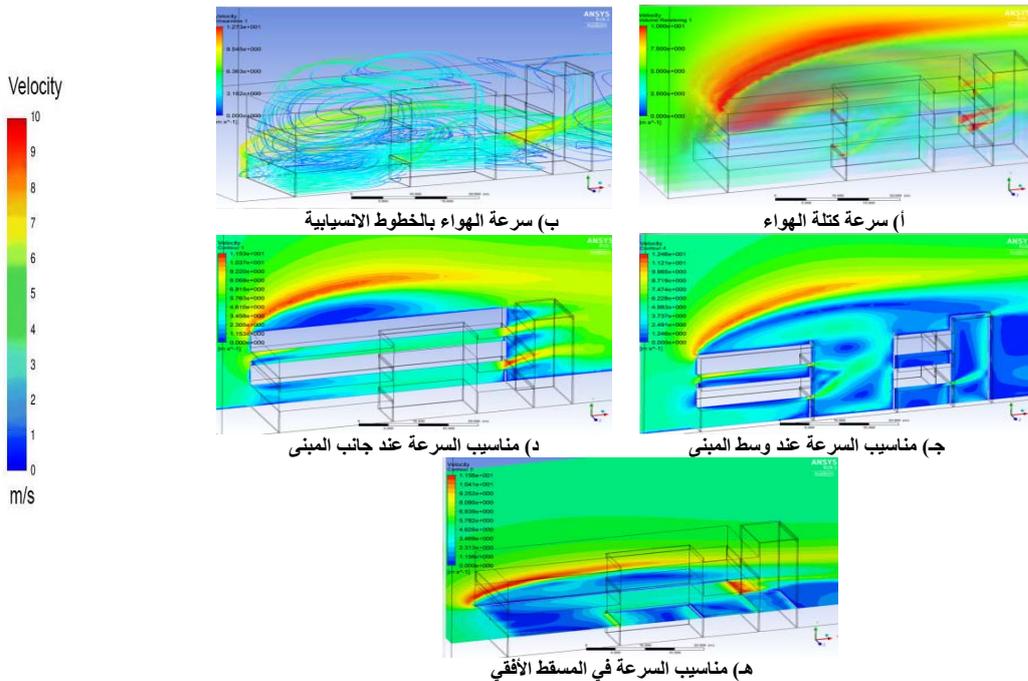
كفاءة إدراج الفراغات المعمارية في منظومة التهوية الطبيعية للمباني متعددة الطوابق: دراسة رقمية



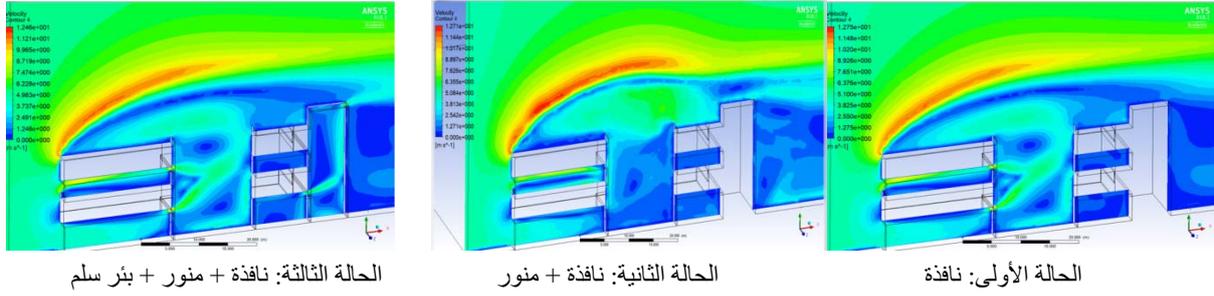
شكل (10) لقطات توضح مسار وسرعات الهواء في مقاطع مختلفة خارج وداخل المبنى للحالة الثانية, برنامج Ansys

٣, ٢, ٣ الحالة الثالثة: قياس التهوية مع النوافذ الخلفية و الفناء الداخلي و بئر السلم

يلاحظ في شكل (11) تسارع حركة الرياح حول المبنى سواء التيار الصاعد أو التيار الجانبي لكنها أقل في الصاعد عن الحالة الثانية كما في شكل (11-1) نتيجة دخول كمية هواء أكبر إلى داخل المبنى. في حين أن حركة الهواء داخل المبنى قرب المدخل أصبحت أسرع من الحالة الثانية، ويظهر ذلك جلياً في شكل (11-2) حيث تظهر المنطقة الملاصقة للنوافذ الأمامية وقد تلونت باللون السماوي على طول الواجهة. و يظهر في شكل (11-3) داخل الفناء المفتوح كما في الحالة الثانية بدون تغيير يلحظ. بينما تزداد سرعة الهواء جداً من المخرج خروجاً من المبنى عند النوافذ الخلفية. وقد سجلت كمية تدفق الهواء إلى داخل المبنى 1,199 م³/ث في الدور الأرضي و 1,067 م³/ث في الدور الثاني وهذا واضح في شكل (11-4) حيث التحسن الأكبر حدث للدور الأرضي.



شكل (11) لقطات توضح مسار وسرعات الهواء في مقاطع مختلفة خارج وداخل المبنى للحالة الثانية, برنامج Ansys



شكل (12) مقارنة لسرعات الهواء خارج وداخل المبنى للحالات الثلاثة, برنامج Ansys

بمقارنة الحالات الثلاثة شكل(12) يلاحظ الآتي:

- إضافة الفناء لمنظومة التهوية قللت سرعات الهواء و الدوامات خارج المبنى من التيار الصاعد و في منطقة خلف المبنى منطقة ظل الرياح leeward وأيضاً داخله
- زيادة كمية الهواء المتدفق إلى داخل المبنى و زيادة سرعته نتيجة حدوث حركة للهواء داخل الفناء من داخل المبنى
- إضافة بئر السلم كان التأثير القوي له في الدور الأرضي في حين لم يؤثر إلا تأثيراً طفيفاً على تدفق الهواء و سرعته ولا على حركة الهواء داخل المبنى في الدور الثاني.

٥, ٢, ٣ نتائج التجربة من حيث معدل التدفق الحجمي محسوبة بـ (م^٣/ث)

جدول (١) مقارنة مخرجات معدل التدفق الحجمي للحالات الثلاثة في الأدوار العلوية والسفلية, برنامج Ansys

الدور الثاني	الدور الثاني	الحالات
115.6	140.6	الحالة الأولى ◀
153.2	171.1	الحالة الثانية ◀
156.8	199.1	الحالة الثالثة ◀

من هذه المقارنة في جدول(1) يتضح زيادة تدفق الهواء في الطوابق السفلية عنها في الطوابق العليا فمثلاً في الدور الأرضي في الحالة الأولى كان معدل التدفق الحجمي ١٤٠,٦ م^٣/ث مقابل ١١٥,٦ م^٣/ث فقط في الدور الثاني , وفي الدور الأرضي في الحالة الثانية كان معدل التدفق الحجمي ١٧١,١ م^٣/ث مقابل ١٥٣,٢ م^٣/ث فقط في الدور الثاني, وفي الدور الأرضي في الحالة الثالثة كان معدل التدفق الحجمي ١٩٩,١ م^٣/ث مقابل ١٥٦,٨ م^٣/ث فقط في الدور الثاني, وسبب ذلك حدوث دوامات للهواء خارج المبنى نتيجة اصطدامه به وارتفاع الهواء إلى أعلى كتيار صاعد نظراً لقصر المبنى نسبياً .

٦, ٢, ٣ نتائج التجربة من المنظور المعماري

جدول (٢) مقارنة للحالات الثلاثة في الأدوار العلوية والسفلية لزيادة التهوية الطبيعية مقابل زيادة نسبة الفتحات

الحالات	نسبة الفراغات إلى المسطح الكلي للمبنى	نسبة التهوية في الدور الأرضي	نسبة التهوية في الدور الثاني
◀ من الحالة الأولى إلى الثانية	زيادة من صفر إلى ١٤ %	زيادة ٢٢ %	زيادة ٣٢ %
◀ من الحالة الثانية إلى الثالثة	زيادة من ١٤ % إلى ١٧ %	زيادة ١٦ %	زيادة ٣ %
◀ من الحالة الأولى إلى الثالثة	زيادة من صفر إلى ١٧ %	زيادة ٤٢ %	زيادة ٣٧ %

لاحظنا في جدول^(١) أن التهوية الطبيعية للمبنى بدون فراغات كما في الحالة الأولى زائدة في الطوابق السفلية عنها في الطوابق العليا. أما في المقارنة جدول^(٢) اتضح أن التهوية الطبيعية تزيد في المبنى ككل بنسب متفاوتة كلما زادت نسبة الفراغات فيه، ولكن تظل التهوية في الطابق السفلي أعلى منها في العلوي وقد بينا سبب ذلك في الفقرة ٥,٢,٣ ومن أجل ذلك كانت المجالس و القاعات في البيوت القديمة في مصر المملوكية تقع في الطابق الأرضي. ولكن بصفة عامة نلاحظ الزيادة المطردة للتهوية مع إدراج الفراغات وهذا مما له مردود على الراحة الحرارية لمستخدمي المبنى وبالتالي توفير في الطاقة والحفاظ على البيئة والصحة العامة.

٤. النتائج

- ١- هذه الدراسة حققت القياس الكمي و ليس الوصفي فقط لحركة الهواء داخل المبنى مما أمكن معه عمل مقارنة حقيقية بين أساليب مختلفة للتهوية الطبيعية داخل مبنى واحد وهو في هذه الحالة مبنى متعدد الطوابق.
- ٢- أظهر هذا البحث أنه يمكن بالفعل تحسين كفاءة التهوية الطبيعية في مبنى متعدد الطوابق عن طريق إدراج الفراغات المفتوحة داخل المبنى في منظومة تهوية المبنى وأنه كلما زاد مسطح الفراغات المضافة للنظام زادت التهوية وبالتالي تقليل الأحمال الالكتروميكانيكية والوصول إلى التوفير في الطاقة.
- ٣- وقد تبين تحسن كفاءة التهوية الطبيعية في المبنى في زيادة تدفق الهواء داخل المبنى بإضافة الفناء الداخلي لمنظومة التهوية (الحالة الثانية) حيث زاد معدل التدفق الحجمي في الدور الأرضي لـ ١٢١ % مقارنة بحالة التيار الهوائي (الحالة الأولى)، كما وصلت الزيادة في الدور الثاني بين الحالتين الأولى والثانية لـ ١٣٢ %.
- ٤- بينما استخدام بئر السلم في المنظومة مع الفناء ومع النوافذ الخلفية (الحالة الثالثة) كان له الأثر أيضاً في زيادة تدفق الهواء إلى داخل المبنى حيث زاد معدل التدفق الحجمي في الدور الأرضي لـ ١١٦ % مقارنة بالحالة الثانية، بينما وصلت الزيادة في الدور الثاني بين الحالتين الثانية والثالثة لـ ١٠٣ % فقط حيث كان تأثيره طفيفاً في الدور الثاني.
- ٥- وتم التوصل أيضاً إلى أن زيادة مساحة الفراغات في منظومة التهوية الطبيعية يزيد من تدفق الهواء إلى داخل المبنى، حيث يمكن ملاحظة أن في الحالة الثالثة بعد إدماج الفناء وبئر السلم معاً في التهوية زاد معدل التدفق الحجمي في الدور الأرضي لـ ١٤١ % مقارنة بحالة التيار الهوائي (الحالة الأولى)، كما وصلت الزيادة في الدور الثاني بين الحالتين الأولى والثالثة لـ ١٣٥ %.

١,٤ المعايير التصميمية المستنتجة من الدراسة

حيث أن هذا البحث كان يهدف إلى إبراز أهمية الفراغات داخل المباني في تعزيز التهوية الطبيعية و أنها كلما زادت مساحتها زادت التهوية الطبيعية فلعل ما أظهره حقيقة أنه يمكن استغلال فراغات موجودة بالفعل في مبني قائم وإعادة استثمارها في منظومة التهوية الطبيعية عن طريق فتح نوافذ عليها لاستكمال المنظومة. وعلى هذا تكون المعايير التصميمية لهذه الفراغات كالآتي:

- أ- بالنسبة للفتحات على المناور أو الأفنية فيتم فتحها في الجانب المواجه للرياح بينما يكون مخرج المنور أو الفناء إلى السماء كما هو شائع و متبع و يمكن تظليله ولكن مع مراعاة أن يكون مفتوحاً من جميع الجهات و ألا يعلو عن المبنى.
- ب- و بالنسبة للفراغات على جوانب وخلف المبني مثل آبار السلالم والمصاعد فالفتحات يتم فتحها أيضاً في الجانب المواجه للرياح و يتم غلقها الفراغ من أعلى. في حالة استغلالها كمخدنة لشفط الهواء من داخل المبني يتم عمل فتحة في أعلى الجانب عكس اتجاه الرياح، أما إذا أريد استغلالها كملقف فيتم عمل الفتحة العليا في الجانب المواجه للرياح. وفي الحالتين يتم رفع جوانب هذا الفراغ عن المبني بقدر طابق وكلما زاد كلما كان أفضل.

٥. التوصيات

- ١- اعتماد التهوية الطبيعية كحل أول دائماً لأنها تحقق الراحة الحرارية لمستخدم المبنى وتوفر في استهلاك الطاقة وتحافظ على البيئة.
- ٢- إدراج الفراغات في منظومة التهوية الطبيعية لتعزيز التهوية وتحقيق الراحة الحرارية وتوفير التظليل لمستخدمي المباني.
- ٣- إدراج أكثر من نوع مختلف من الفراغات لمنظومة التهوية الطبيعية للمبني يزيد من كفاءة تهوية المبني.
- ٤- في حالة المباني المرتفعة ينصح بضم ال فراغات الداخلية لمنظومة التهوية للتحسين من كفاءتها.
- ٥- أن الرياح المحيطة بالمبني بخصائصها الطبيعية والمناخية من سرعة و ضغط و حرارة و رطوبة وكثافة ومكونات هي العنصر الرئيسي الذي يتم استغلاله و التحكم به لعمل تهوية للمبني.
- ٦- أنه لا بد من تثقيف كل من المصمم أو المستخدم بيئياً لتوسيع دائرة استخدام التهوية الطبيعية في المباني مما يحد من استنزاف الطاقة و يقلل الانبعاثات الضارة بالبيئة.

- ٧- يوصى بشدة أن يتم عمل دراسات مستقبلية لتكوينات وأنواع أخرى من الفراغات لتحديد أفضل تجميعية من الفراغات يؤدي إلى تعزيز أداء التهوية الطبيعية في المباني متعددة الطوابق لتصبح مبانٍ صديقة للبيئة.
- ٨- ينصح باستخدام الحاسب الآلي CFD في العملية التصميمية حيث أن هذا الاختبار هو بديل عملي ومرن جداً وغير مكلف وموفر للوقت والجهد ونتائجه سليمة إلى حد كبير مقارنة بالأساليب الأخرى للاختبار.
- ٩- ينصح باستخدام تجارب المحاكاة CFD في حالتين:
أ. الحالة الأولى: هي المراحل الأولية للتصميم حيث يمكن اختيار النظام المناسب للتهوية الطبيعية لكل مبنى واختباره كمياً وهو بعد مجرد فكرة بأكبر عدد من البدائل دون زيادة محسوسة في تكاليف الاختبار
ب. الحالة الثانية: هي في حالة المبنى القائم حيث يمكن اختبار تحسين التهوية الطبيعية به كمياً بأساليب مختلفة قبل المساس بالمبنى نفسه من الناحية التنفيذية مما يوفر الكثير من المال والجهد ويضمن نجاح النظام المختار قبل الشروع في تطبيقه.

قائمة المراجع

- [1] Jamaludin, A. A., Hussein, H., Ariffin, A. R. M., & Keumala, N. (2014). A study on different natural ventilation approaches at a residential college building with the internal courtyard arrangement. *Energy and Buildings*, 72, 340-352.
- [2] Wang, H., Lin, H., Ng, V. C., Yang, T., & Guan, L. Y. (2015). Failure of natural ventilation strategy in a sustainable house in China. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 10(3), 216-228.
- [3] Butler, Kyle and Dagnew, Agerneh. march 22, 2013. Where the Wild Winds Blow, Part I. Air Worldwide. [Online]. <https://www.air-worldwide.com/publications/air-currents/2013/where-the-wild-winds-blow-part-i/>.
- [4] Macquoy, B. (2014). Natural ventilation based bioclimatic redevelopment: Building transformation and improvement into an integrated energy efficient multifunctional design, *Delft University of Technology, Department of Architecture*.
- [5] Karakatsanis, C., Bahadori, M. N., & Vickery, B. J. (1986). Evaluation of pressure coefficients and estimation of air flow rates in buildings employing wind towers. *Solar Energy*, 37(5), 363-374.
- [6] Montazeri, H. (2011). Experimental and numerical study on natural ventilation performance of various multi-opening wind catchers. *Building and Environment*, 46(2), 370-378.
- [7] van Hooff, T., Blocken, B., Aanen, L., & Bronsema, B. (2011). A venturi-shaped roof for wind-induced natural ventilation of buildings: wind tunnel and CFD evaluation of different design configurations. *Building and Environment*, 46(9), 1797-1807.
- [8] Perén, J. I., van Hooff, T., Leite, B. C. C., & Blocken, B. (2016). CFD simulation of wind-driven upward cross ventilation and its enhancement in long buildings: Impact of single-span versus double-span leeward sawtooth roof and opening ratio. *Building and Environment*, 96, 142-156.
- [9] Etheridge, D. (2011). *Natural ventilation of buildings: theory, measurement and design*. John Wiley & Sons.
- [10] Moosavi, L., Mahyuddin, N., Ab Ghafar, N., & Ismail, M. A. (2014). Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 654-670.
- [11] Ray, S. D., Gong, N. W., Glicksman, L. R., & Paradiso, J. A. (2014). Experimental characterization of full-scale naturally ventilated atrium and validation of CFD simulations. *Energy and Buildings*, 69, 285-291.
- [12] Ahmad, S., Badshah, S., & Chohan, G. Y. (2014). Modeling and simulation of natural ventilation of building using solar chimney. *World Applied Sciences Journal*, 32(5), 741-746.

- [13] Ismail, A. M. (1996). Wind Driven Natural Ventilation in High-Rise Office Building With Special Reference To The Hot-Humid Climate of Malaysia, University of Wales College of Cardiff (Doctoral dissertation, PhD, Thesis).
- [14] Kotani, H., Satoh, R., & Yamanaka, T. (2003). Natural ventilation of light well in high-rise apartment building. *Energy and Buildings*, 35(4), 427-434.
- [15] Murakami, S., Kato, S., Ooka, R., & Shiraishi, Y. (2004). Design of a porous-type residential building model with low environmental load in hot and humid Asia. *Energy and buildings*, 36(12), 1181-1189.
- [16] Hirano, T., Kato, S., Murakami, S., Ikaga, T., & Shiraishi, Y. (2006). A study on a porous residential building model in hot and humid regions: Part 1—the natural ventilation performance and the cooling load reduction effect of the building model. *Building and Environment*, 41(1), 21-32.
- [17] Sadafi, N., Salleh, E., Haw, L. C., & Jaafar, Z. (2011). Evaluating thermal effects of internal courtyard in a tropical terrace house by computational simulation. *Energy and Buildings*, 43(4), 887-893.
- [18] Crasto, G. (2007). Numerical simulations of the atmospheric boundary layer. *Universita degli Studi di Cagliari: Cagliari, Italy*.
- [19] Jatupatwarangkul, S., Arch, D., & Tran, T. (2013). Project Deliverable No. 1: Literature Review of External CFD. University of Hawaii, School of Architecture.
- [20] Shawon, M. J., El Chaar, L., & Lamont, L. A. (2013). Overview of wind energy and its cost in the Middle East. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2, 1-11.
- [٢١] ناجي، أ. ص. (٢٠١١). جدلية الأبراج الذكية والعمارة الخضراء في تجربة دول الخليج (قراءة نقدية)، رسالة ماجستير، جامعة القاهرة كلية الهندسة، قسم العمارة.