JAUES

Journal Of Al Azhar University Engineering Sector

Vol. 12, No. 44, July, 2017, 1107-1119

العناصر المعمارية للتحكم بالتهوية الطبيعية

أحمد أحمد فكرى[1] و محمد كريم محمد أبوالليل[2]

[1]قسم العمارة وتكنولوجيا البناء بكلية الهندسة - جامعة القاهرة.

[2]مهندس بشركة محرم باخوم

ABSTRACT

The research problem lies in the multiple design dimensions of the buildings and the lack of attention to the environmental dimension and its impact on the use of energy in buildings, despite the technological progress that humanity is witnessing day after day to serve man so that he can control the environmental conditions surrounding it, but the emergence of some architectural trends in recent times Which depends on the design of its buildings on the side of luxury and technology and beauty and non-consideration of environmental factors, which led to increased energy consumption and lack of comfort required for occupants of spaces. Therefore, the optimum use of architectural elements for natural ventilation of the interior spaces of the buildings leads to the achievement of energy consumption and achieve the required thermal comfort for humans.

Building enclosure external ventilation is a key factor in providing the thermal comfort and natural ventilation to occupants of the spaces inside the building. Therefore the design should allow proper flow of natural air, so the architectural elements of ventilation control greatly affect the movement and shape of wind flow outside and inside the building, and control the size and speed of internal ventilation of the spaces. ٍso that this study aims at monitoring the most important architectural elements affecting the movement of air flow in the journey to the interior spaces of the building in an attempt to collect these elements in the hands of designers to take into account during the design processes to achieve thermal comfort and energy saving for the principles of sustainability.

ملخص البحث

تكمن المشكلة البحثية في تعدد الإبعاد التصميمية للمباني وعدم الاهتمام بالبعد البيئي وتأثيره على استخدام الطاقة في المباني، على الرغم من التقدم التكنولوجي الذي تشهده البشرية يوما بعد يوم لخدمة الإنسان حتى يمكنه التحكم في الظروف البيئية التي تحيط به إلا إن ظهور بعض الاتجاهات المعمارية في الآونة الأخيرة التي تعتمد في تصميم مبانيها على جانب الرفاهية والتكنولوجيا والجمال وعدم مراعاة العوامل البيئية، مما أدى إلى زيادة استهلاك الطاقة وعدم تحقيق الراحة المطلوبة لشاغلي الفراغات. لذلك فان تحقيق الاستخدام الأمثل والفعلي للعناصر المعمارية للحصول على التهوية الطبيعية للفراغات الداخلية للمباني يؤدي إلى تحقيق توفير استهلاك الطاقة وتحقيق الراحة الحرارية المطلوبة للإنسان.

وتعتبر التهوية الخارجية لغلاف المباني من العوامل الرئيسية لتوفير الراحة الحرارية والتهوية الطبيعية لشاغلي الفراغات داخل المبنى، لهذا فان التصميم لابد أن يسمح بتدفق مناسب للهواء الطبيعي لذلك فان العناصر المعمارية بالمبنى تؤثر بصورة كبيرة على حجم وسرعة التهوية الداخلية للفراغات وحركة وشكل سريان الرياح داخل المبنى.

لهذا تهدف هذه الدراسة الى رصد أهم العناصر المعمارية المؤثرة على حركة سريان الهواء في رحلة وصولة الى الفراغات الداخلية للمبنى، وذلك فى محاولة لتجميع هذه العناصر في ايدى المصممين لاخذها في الاعتبار أثناء عمليات التصميم لتحقيق الراحة الحرارية وتوفير الطاقة تحقيقا لمبادئ الاستدامة.

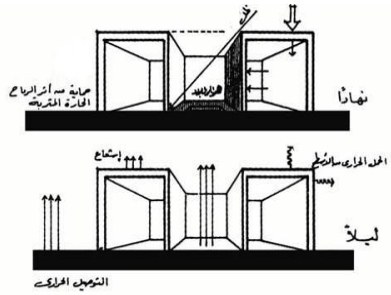
الكلمات الدلالية: الاستدامة – التهوية الطبيعية – عناصر التهوية

١. مقدمة

تعرف التهوية الطبيعية على أنها عملية التخلص من الهواء الساخن الملوث واستبداله بهواء نقى من الخارج للحصول على أجواء صحية مريحة [1]. ومنذ إن عرفت أهمية جودة الهواء للفراغات الداخلية والراحة الحرارية لشاغلي

المبنى اعتبرت التهوية عنصرا أساسيا في التحكم في نسبة الرطوبة والتخلص من الهواء الملوث داخل الفراغ والمحافظة على درجة حرارة مناسبة والتي تشكل الفراغ المريح.

تعتبر سرعة الرياح واتجاهها وخصائص المبنى هي العوامل الرئيسية التي تشكل حركة الهواء داخل المبنى، عندما يواجه المبنى الرياح، فإن هناك مناطق ضغط مختلفة تتكون داخل المبنى هذة المناطق هى التى تؤدى الى خلق تيارات هواء، وللتحكم في مناطق الضغط داخل المبنى فان المصممين يستعينوا بمجموعة من المفردات المعمارية التصميمية وذلك لتحقيق اقصي استفادة.

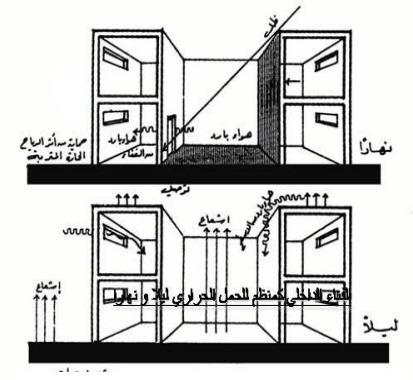


٣. أساليب التحكم بالتهوية الطبيعية

يتكون المبنى من مجموعة من العناصر المعمارية التي يمكن من خلالها التحكم في حركة الهواء داخل وخارج المبنى وذلك بهدف الإقلال بقدر الإمكان من التعرض للظروف المناخية الخارجة القاسية وتوفير الراحة الحرارية لساكني المبنى وتتمثل هذه العناصر في الآتي:

1-3 الأفنية

يعرف الفناء بأنه مساحة مفتوحة محاطة بحوائط تقع داخل أو خارج المبنى، وتطل عليها نوافذ الفراغات وتستخدم كعنصر معماري في تصميم المبنى لتلطيف درجة الحرارة داخل الفراغات ولإضاءتها وتهويتها، ويكون الفناء إما محاطا بأربعة جدران ويسمى فناء مغلق أو محاطا بثلاث حوائط ويسمى فناء مفتوح [2].



شكل 1. تأثير فترات اليوم المختلفة على أداء الأفنية

1-1-3 الفناء الداخلي كمنظم لدرجة الحرارة

يعتبر تصميم المباني حول فناء داخلي تطل عليه كل عناصر المبنى أفضل الطرق لمواجه المشاكل البيئية للمناخ الحار الجاف والمناخ الصحراوي، فالفناء الداخلي يعمل كمنظم لدرجات الحرارة داخل المسكن ليلا ونهارا.

أثناء الليل : تفقد الأسطح المطلة على الفناء الداخلي جزءا من الحرارة المكتسبة أثناء النهار فتقل درجة حرارة طبقة الهواء الملامس لها تدريجيا هواء الساخن فإنه يندفع إلى القاع ليحل محله الهواء الساخن [3].

أثناء النهار : تسقط أشعة الشمس على المبنى فيمتص جزء منها وينعكس جزء، ويعتمد ذلك على لون السطح والملمس والسعة الحرارية لمواد البناء داخل الفناء، وتنتقل درجة الحرارة من الأسطح إلى داخل المسكن وكذلك تمتص أرضية

الفناء الداخلي جزءا من الإشعاع فيسخن وبالتالي طبقة الهواء الملامسة له ثم يحدث إحلال للهواء الساخن بالهواء البارد، بالإضافة إلى توافر منطقة ظل داخل الفناء الداخلي تعمل كمنطقة ضغط منخفض تعمل على سحب الهواء إلى داخل الفناء. كما ان استخدام النباتات والمسطحات المائية داخل الفناء الداخلي يساعد على توفير مناخ الراحة الحرارية للمعيشة الخارجية، وذلك لأنها تعمل على تلطيف درجة الحرارة وخلق نوع من الاتزان الحراري داخل الفناء الداخلي [4].

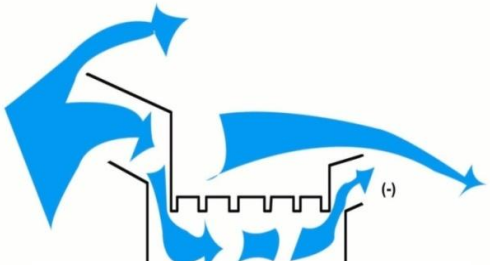
2-1-3 أنواع الأفنية الداخلية

أ – الفناء البارد: خلال اليوم لا تدخل أشعة الشمس مباشرة على أرضية الفناء وذلك لأن أبعاده الأفقية أقل من ارتفاعه ويستخدم في المناطق الحارة.

ب – الفناء الساخن: وفيه تدخل أشعة الشمس مباشرة على أرضية الفناء، وتزيد من المكافئ الحراري للإشعاع ويستخدم في المناطق الحارة والباردة.

2-3 ملاقف الهواء

يعد استعمال ملاقف الهواء من أنجح الحلول للحصول على تهوية طبيعية جيدة داخل الفراغات ، وهو عبارة عن ممر هوائي رأسي محاط بحائط سميك يتميز بسعة حرارية عالية ويرتفع الملقف فوق مستوى السقف العلوي للمبنى وتكون فتحته العلوية في اتجاه مضاد لاتجاه الرياح السائدة وذلك لجذب موجات الهواء ونقلها إلى داخل فراغات المبنى ونتيجة لان الممر الهوائي للملقف لا يتعرض إلى أشعة الشمس، فإنه يظل منخفض الحرارة مما يساعد في خفض درجة حرارة الهواء الذي يمر من خلاله [5].



شكل 2. حركة الهواء داخل ملقف الهواء

ويتلخص دور ملاقف الهواء في جذب الرياح من ارتفاعات عالية وتحويلها إلى الفراغات الداخلية للمبنى، ونتيجة

لعدم وجود عوائق في حركة الرياح التي تعلو مستوى سطح المبنى فإنها تعتبر شديدة السرعة وباردة وقليلة الأتربة والتلوث مما يحسن من جودة التهوية الداخلية في المناطق الحارة.

وتتحرك الرياح داخل مساراتها بواسطة عاملين أساسين: تيارات الرياح التي تساعد الهواء البارد الذي يكون اقل كثافة إلى الحركة لأسفل، في حين أن ضغط الهواء مدعوما بالضغط الموجب للرياح السائدة إمام مدخل البرج يعملان على توصيل الرياح إلى داخل الفراغ.

1-2-3 أنواع ملاقف الهواء [6].

أ – الملاقف الهوائية المفردة التي تواجه الرياح السائدة وعادة تبنى داخل سمك الحائط نفسه ولا تزيد أبعادها عن 50 × 20 سم وتنتهي في أسفلها بفتحة لا ترتفع أكثر من متر من الأرضية.

ب – ملاقف سحب الهواء وتكون معاكسة لاتجاه الرياح السائدة، وتستخدم لسحب الهواء الساخن من الفراغات إلى الهواء الخارجي ليحل محلة الهواء البارد المطلوب لعملية التهوية والتبريد.

ج – ملاقف الهواء الحائطية وتعتمد على فكرة تأثير ضغط الرياح على الأسطح الكبيرة لحوائط الفراغات، وتظهر من الخارج على هيئة كوات مجوفة أفقية تقع في منتصف ارتفاع الجدار الخارجي ويتجمع الهواء ذو الضغط العالي المار على سطح الجدار الخارجي للفراغ المواجه للرياح داخل الكوات فيندفع للداخل خلال الفتحات مسببا حركة للهواء بالداخل.

د – أبراج التهوية وهي عبارة عن برج مربع ينقسم من الداخل إلى أربعة آبار تهوية رأسية بواسطة حائطين متعامدين وموازيين للجدار، الخارجي ويدخل الهواء من بئرين مواجهين للرياح وفى نفس الوقت يخرج الهواء الساخن عن طريق البئرين الآخرين.

هـ – التصوينة وتتكون من سطحين متداخلين. السطح الأمامي أو الخارجي منها يمثل النصف الأسفل للدروة، أما النصف الأعلى فيرتد إلى الوراء تاركا فجوة لمرور الهواء وتعمل بطريقة الملاقف الحائطية إذ يتسبب ضغط الهواء المتكون داخل التصوينة في انحراف الرياح لأسفل.

2-2-3 العوامل المؤثرة على كفاءة ملاقف الهواء [7].

أ – التوجيه المختلف لفتحات دخول الهواء.

ب – اختلاف مساحات فتحات دخول وخروج الهواء، فمدخل الهواء الذي يواجه الرياح السائدة لابد أن تكون مساحة فتحته اقل من مساحة مخرج الهواء.

ج – اختلاف أماكن وأعداد مخارج الهواء داخل البرج .

د – قطاع وأبعاد برج التبريد واختلاف أشكاله من الداخل، فكلما كان قطاع ممر الهواء صغيرا أو دائري الشكل تزيد سرعة الرياح.

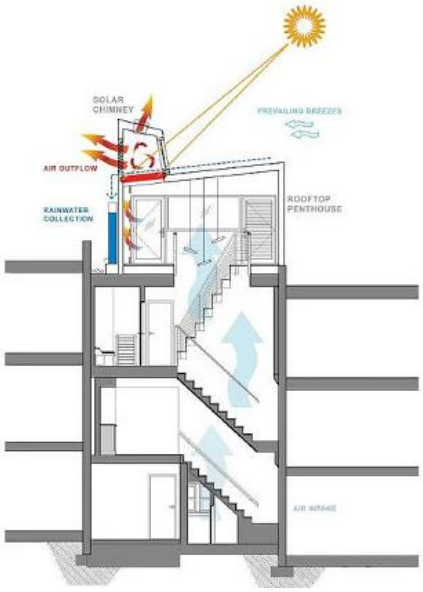
هـ – أن تكون زاوية ميل سطح الملقف في حدود 30 °.

ويعتبر المعدل المثالي بين فتحة الدخول والخروج للهواء 3:2 وهذا المعدل يسمح بأفضل تهوية داخل الفراغ، وكذلك لابد أن تكون فتحة دخول الهواء على ارتفاع 2.4 م من ارتفاع أي عوائق تحيط بالمبنى [8]. ومع تطور الدراسات على أبراج التهوية تم التوصل إلى الملاقف المتعددة الاتجاهات والتي تستعمل في جذب الهواء إلى داخل الفراغ من اى اتجاه تأتى منه الرياح وذلك لان فتحة دخول الهواء تكون مثبتة على محور متحرك يتم التحكم فيه ليكون في اتجاه الرياح السائدة.

3-3 المداخن الشمسية

تعتبر المداخن الشمسية صورة أخرى في الشكل من ملاقف الهواء، إلا أنها تختلف في الوظيفة فهي تعمل على سحب الهواء الساخن من الفراغ وتختلف في مكان فتحة دخول الهواء، ففتحات المبنى هي التي تكون في اتجاه تيار الهواء، والمداخن الشمسية عبارة عن ممر رأسي يستخدم الطاقة الشمسية لتحسين التهوية الطبيعية وتطلى باللون الأسود لامتصاص أكبر كمية من الإشعاع الشمسي خلال النهار ومع ارتفاع درجات الحرارة يدخل تيار الهواء الساخن بداخل المدخنة يصعد إلى أعلى ويدخل الهواء البارد من الأسفل.

وتعتبر المداخن الشمسية وسيلة لتحسين التهوية الطبيعية في المبنى باستخدام الحمل الحراري للهواء المسخن من الطاقة الشمسية الخاملة وذلك باستخدام مبدأ الطفو، حيث أن الهواء الدافئ اخف وزنا من الهواء البارد وبالتالي فهو يصعد إلى أعلى ويحل محلة الهواء البارد . وتبقى المداخن الشمسية على الضغط السالب داخلها، وذلك يزيد من قوة امتصاص الهواء الفاسد من داخل الفراغ، ويتحرك الهواء داخل المداخن الشمسية من خلال قانون الطفو والذي يجبر الهواء الساخن على الصعود لأعلى ويزداد طفو الهواء الساخن من خلال زيادة ارتفاع المدخنة [9].



شكل 3. المداخن الشمسية

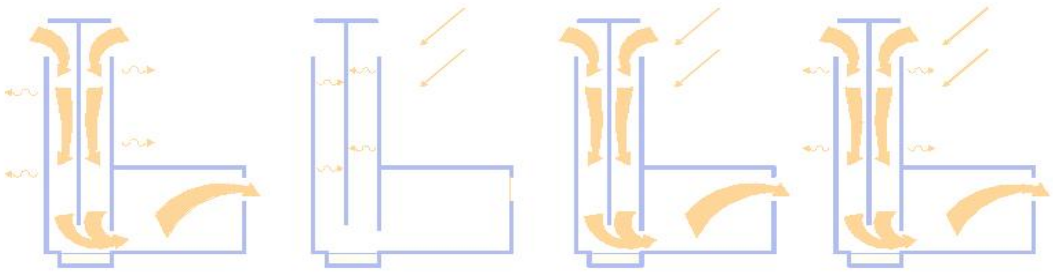
1-3-3 العناصر المكونة للمداخن الشمسية

وتتكون المدخنة الشمسية من مجموعة من العناصر وهى [10].

أ -منطقة لتجميع أشعة الشمس ومن الممكن أن تكون في الجزء العلوي من المدخنة أو في مدخل الهواء، وتتأثر بالتوجيه ونوع الزجاج المستخدم لتجميع أشعة الشمس والخصائص الحرارية لمادة الإنشاء.

ب -ممرات سير الهواء والتي تكون أعلى سطح المبنى، وتتأثر كفاءتها بمجموعة من العوامل كالموقع بالنسبة للمبنى قطاع فتحة دخول الهواء الخصائص الحرارية لعناصر الإنشاء.

ج -فتحات دخول وخروج الهواء والتي تتأثر كفاءتها تبعا لحجم الفتحة وتوجيهها بالنسبة للرياح .



شكل 4. تأثير أشعة الشمس على حركة الرياح داخل المداخن الشمسية

2-3-3 العناصر المؤثرة في كفاءة المداخن الشمسية [11].

أ – أن تكون المدخنة أعلى من مستوى سطح المبنى للسماح بدخول أكبر كمية من الهواء.

ب – أن تبنى المدخنة في الحوائط المواجهة لأشعة الشمس .

ج – استخدام سطح زجاجي على منطقة تجميع أشعة الشمس وذلك لتجميع أكبر قدر ممكن من الأشعة.

د – زيادة مسطح التجميع لزيادة التبادل الحراري مع الهواء وتسخينه داخل المدخنة، وبالتالي زيادة تدفق الهواء من خلال المداخن (وتعتبر مساحة السطح الماص للأشعة أهم من قطر مسارات سير الهواء).

هـ – أن تكون فتحات المدخنة في اتجاه معاكس لاتجاه الرياح السائدة.

و – تمرير الهواء الداخل من خلال مسارات تحت الأرض قبل دخولها إلى المبنى، وترجع أهمية هذا النظام إلى أنة من الممكن عكس عملية التبريد خلال فصل الشتاء لتكون تسخينا وذلك لتوفير الحرارة داخل المبنى.

3-3-3 فوائد المداخن الشمسية

ويحقق استخدام المداخن الشمسية فوائد كبيرة في تحقيق التهوية الطبيعية للمبنى، وذلك من خلال التبريد السالب والذي يساعد على [12].

أ - استخدام أقل للطاقة داخل المبنى وذلك لتحقيق مبدأ الاستدامة.

ب - تقليل انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون والتلوث بصفة عامة داخل المباني.

ج - تحسن معدلات التهوية داخل المبنى وخاصة في الأيام الحارة والمشمسة.

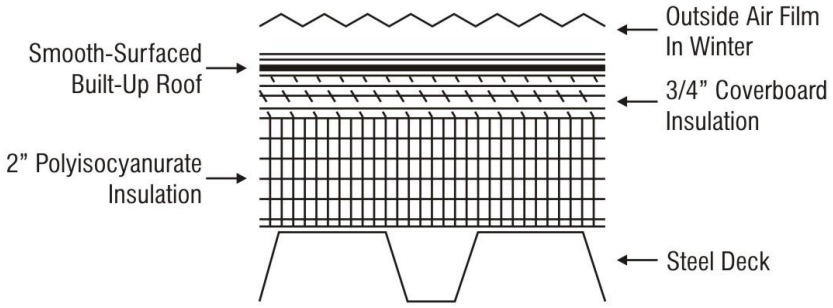
د - تقليل الاعتماد على الرياح السائدة والبحث عنها .

ه - تحسن جودة الهواء وتقليل الضوضاء في المناطق المفتوحة .

و - السماح بتهوية الأماكن الضيقة ذات الحد الأدنى من التهوية .

4-3 عواكس الإشعاع

وهى عبارة عن مواد تثبت على أسطح المباني تعمل على تقليل معدل اكتساب الحرارة في الصيف ومعدل فقد الحرارة في الشتاء، وبالتالي تقليل وترشيد استخدام الطاقة للتبريد أو التدفئة داخل المباني التي تركب بها. وينتج الانعكاس نتيجة لوجود فلم عاكس رفيع يكون من الألومنيوم ويركب من ناحية واحدة أو من ناحيتين على مواد رغوية لتعمل على العزل الحراري أو على ألواح خشبية أو مواد من الفيبر وذلك لتكون أكثر عمرا وسهلة التداول [13].



شكل 5. قطاع عاكس وعازل للحرارة لتأخير وصولها للفراغ

1-4-3 طريقة عمل عواكس الإشعاع :

تعمل عواكس الإشعاع على تقليل الحرارة التي تنتقل بواسطة الإشعاع من خلال الهواء الموجود بين أرضيات المبنى وأرضيات الأسطح، حيث يوجد العزل التقليدي للمبنى والتي يتسرب أو ينبعث منها حرارة بواسطة الحمل، وذلك نتيجة لدرجة نفاذيتها للحرارة ويتوقف تسرب الحرارة على درجة حرارة السطح ذاته.

وفى الأيام الحارة المشمسة فان حرارة الشمس تتسرب إلى داخل الفراغ بواسطة الحمل، حيث تنتقل الحرارة من طبقة إلى طبقة حتى تصل إلى داخل الفراغ ولكن عند وجود عواكس الإشعاع فإنها تعمل على عكس نسبة كبيرة من الأشعة الساقطة عليها وبالتالي تكون كمية الحرارة التي تمر من خلال المواد العازلة اقل مما يمكنها من امتصاصها وعدم السماح بانتقالها إلى الفراغ الداخلي.

2-4-3 العناصر المؤثرة في كفاءة عواكس الإشعاع:

تتوقف كفاءة العواكس الإشعاعية على ثلاث عوامل أساسية [14]:

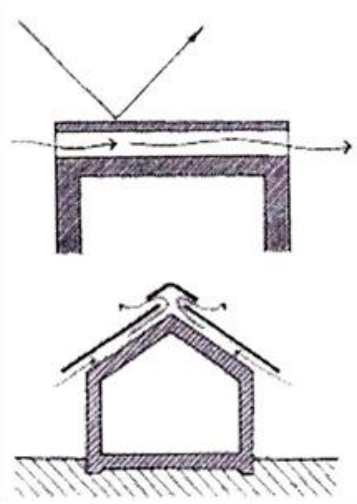
أ – الانبعاث وهو يمثل النسبة بين الحرارة المنبعثة من السطح إلى نفس الحرارة المنبعثة من سطح اسود في نفس درجة الحرارة والمساحة ويعبر عنها برقم بين الـ 0 والـ 1 وكلما زاد الرقم كلما زاد معدل الانبعاث الحراري.

ب –الانعكاس وهى تمثل كمية الأشعة الحرارية المنعكسة بواسطة الأسطح العاكسة، وهى تمثل رقم ما بين الـ 0 والـ 1 ويعبر عنها في بعض الأوقات بنسبة مئوية تكون بين الـ 0% والـ100% وذلك للمواد المعتمة الغير شفافة وعند الجمع بين الانعكاس والانبعاث للمواد المؤخرة لابد أن يكون مجموعها يساوى 1.

ج –زاوية الأشعة الساقطة على السطح العاكس.

5-3 الأسقف المزدوجة:

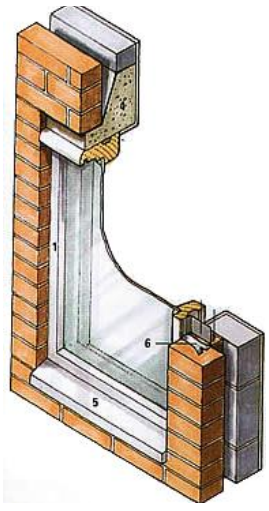
وتعتبر أحد المعالجات الهامة في المناطق الحارة وتتكون من فراغ هوائي بين بلاطتين منفصلتين كليا عن بعضهما البعض، وتكون حركة الهواء بينهما حرة تماما فتقوم البلاطة العليا بدور السطح الخارجي للسقف، ويمكن التحكم في حركة الهواء نهارا في المناطق الحارة الجافة والسماح له بالمرور ليلا بين السطحين الداخليين للسقف المزدوج ليقوم الهواء بدور تبريد السطح ومن ثم إحداث عملية تفريغ حراري من داخل المبنى. ويسمح الفراغ الهوائي بين السقفين بحركة الهواء الملامس للسقف الداخلي حتى لا يكون سببا في اختزان الهواء في الفراغ بين السقفين وبالتالي تقليل الحمل الحراري المنتقل إلى الفراغ الداخلي خلال السقف [15].



شكل 6. حركة الهواء داخل الأسقف المزدوجة

6-3 الحوائط المزدوجة

تستخدم الحوائط المزدوجة في العزل الحراري عن طريق الحد من تسرب الحرارة من خارج المبنى إلى داخله صيفاً ومن داخله إلى خارجه شتاءاً، والذى يحدث نتيجة وجود فرق في درجات الحرارة بين داخل وخارج المبنى أو بين عناصره ذلك لان الحرارة نوع من أنواع الطاقة تنتقل من المناطق الدافئة إلى الباردة عن طريق التوصيل والإشعاع والحمل الحراري. ويعمل الهواء المنحصر بين الحوائط الداخلية والخارجية عمل العازل الحرارى إلا انه يجب تحريك هذا الهواء بان تترك بعض الفتحات بالجزء السفلي أو العلوى من الحائط الخارجي.



شكل 7. الحوائط المزدوجة

ولزيادة العزل الحرارى وتقليل التوصيل الحرارى من خارج إلى داخل الفراغ من الممكن ان يتم ملء الفراغ بين الحوائط المزدوجة بمادة عازلة للحرارة.

تمثل الحرارة التي تتسرب عبر الجدران والأسقف في أيام الصيف القسم الأعظم من الحرارة المراد إزاحتها بأجهزة التكييف وتقدر نسبتها بحوالي (60% - 70%). وتمثل الطاقة الكهربائية المستهلكة في الصيف لتبريد المبنى(66%) من إجمالي الطاقة المستهلكة، أي أن معظم الطاقة تذهب للتخلص من الحرارة المتسببة من الجدران والأسقف [16].

7-3 الواجهات المزدوجة

بدأ استخدام المباني مزدوجات الغلاف مؤخرا خاصا في المباني الحديثة المميزة الاستخدام، وقد ظهر هذا النوع من المباني بعد العديد من الأبحاث على الغلاف الخارجي للمباني وهى عادة ما تكون عبارة عن واجهة أخرى تقع أمام واجهة المبنى مكونة بينهما فراغا يستخدم في التهوية، وتختلف المسافة ونوع الواجهة الخارجية تبعا لتغير نوع النظام المستخدم، ويحقق ازدواج الغلاف الخارجي للمبنى العديد من المميزات حيث أنه يحقق تبريدا كاملا لجميع عناصر المبنى الإنشائية، ويمثل منطقة عزل للمبنى من الحرارة والضوضاء ويمد جميع فراغات المبنى بالهواء البارد، وفى بعض الأحيان تستخدم المظلات الشمسية في تقسيم هذا الفراغ الداخلي [17].

شكل 8. الواجهات المزدوجة

عند سقوط أشعة الشمس على الغلاف الخارجي للمبنى، فإنه يقوم بعكس ما يمكن من الأشعة الساقطة عليه وامتصاص بعض الحرارة والتي يجب التخلص منها قبل انتقالها إلى الفراغات الداخلية للمبنى ويتم ذلك عن طريق تمرير تيار هواء في الفراغات الموجودة بين غلاف المبنى والفراغات الداخلية. تعمل الواجهات المزدوجة كعازل للمبنى، حيث تقلل اكتساب الحرارة من الخارج أثناء الصيف وفقد الحرارة الداخلية أثناء الشتاء، ويتم الحصول على التهوية الطبيعية عن طريق عمل نوافذ وفتحات في الواجهة الداخلية تسمح بدخول الهواء المار بين الواجهتين [18] وهناك أربعة أنواع أساسية من الواجهات المزدوجة وهى [19]:

أ - الواجهات العازلة: The Buffer Façade

يستخدم هذا النوع للحفاظ على الضوء الطبيعي داخل الفراغ الداخلي مع عزل الحرارة والصوت خارج الفراغات، وتكون عبارة عن طبقتين من الزجاج المغلق بإحكام وتكون المسافة بينهم من 250 : 750 مم، ويتحرك الهواء داخل الفراغ بواسطة خواصه الفيزيائية المتمثلة في الطفو عن طريق ارتفاع الهواء الساخن لأعلى ليحل محله الهواء البارد.

ب –نظام استخراج الهواء: The Extract Air System

يعتمد هذا النظام على فكرة الضغط السالب من خلال استخراج الهواء الساخن من الفراغات الداخلية عن طريق فتحة علوية موجودة في الواجهة الداخلية لجميع الفراغات والهواء المستخرج، ويسمح بدخول الهواء البارد ليحل محله، وتكون المسافة بين الواجهتين من 150 : 900 مم ومن الممكن مزج هذا النظام مع نظام تهوية ميكانيكي والذي يمد الفراغ بالهواء البارد.

ج – الواجهات المزدوجة: The Twin-Face Façade

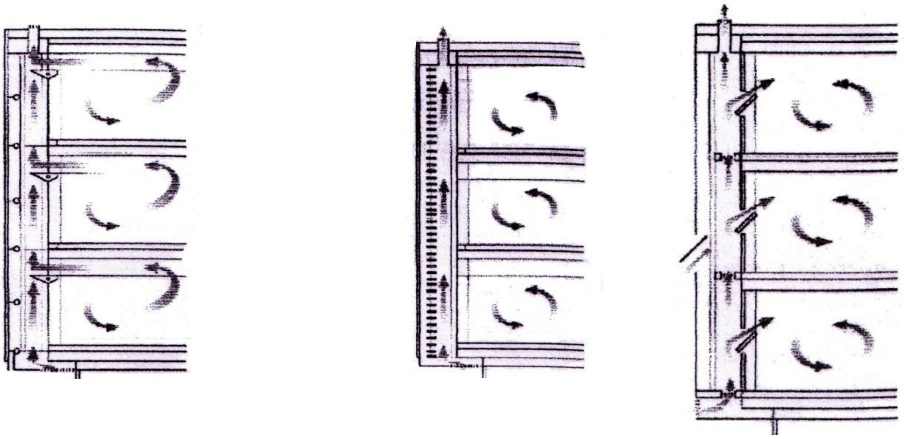
يسمح هذا النظام بعمل فتحات في الواجهة الداخلية تسمح هذه الفتحات بدخول الهواء الطبيعي لفراغات المبنى، ويمكن عمل فتحات في الواجهة الخارجية للمبنى لتحسين التهوية وتكون المسافة بين الواجهتين من 500 : 600 مم وذلك للتمكن من تحقيق أعمال الصيانة والتنظيف.

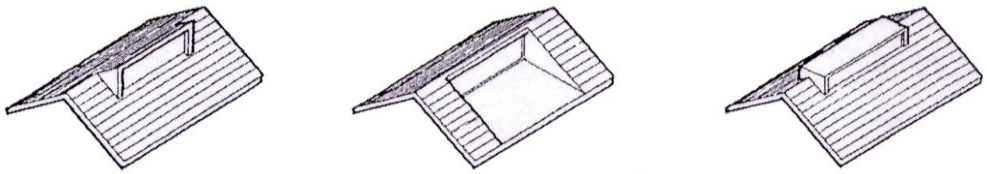
د – الواجهات المختلطة (الهجينة): Hybrid Façade

يجمع هذا النظام بين الأنظمة الثلاثة، ويستخدم لتصنيف الواجهات المزدوجة والتي لا تتطابق مع هذه الأنظمة.

8-3 فتحات الأسقف

وهى عبارة عن مخارج للهواء الفاسد الغير مرغوب فيه داخل الفراغ وتقع على سطح المبنى، وتعمل هذه المخارج على المحافظة على استخراج الهواء الفاسد وتوجيهه نحو اتجاه الرياح، وفى الأسقف المائلة غالبا ما يكون معامل الضغط السالب لذلك فان الهواء يتم إخراجه من الفراغ بواسطة الضغط الجوي السالب وتأثير الطفو، وتستخدم هذه الفتحات في تهوية الدور الأعلى في المبنى أو يتم تركيبها مع الأفنية (خدمي- سكنى) فإنها تضمن التهوية بجميع أجزاء المبنى [20].





شكل 10. فتحات الأسقف

ويكون أفضل موقع لهذه الفتحات في المناطق ذات أعلي ضغط سالب، والذي يتحدد تبعا لشكل السقف وهناك عاملان أساسيان يجب وضعهما في الحسبان أثناء عملية تصميم الفتحات:

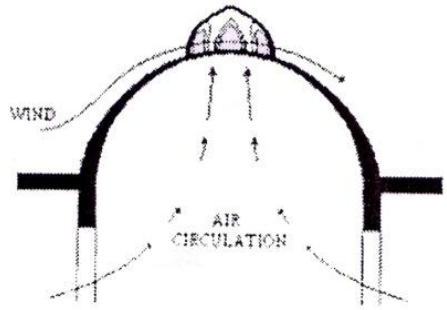
لابد أن تكون فتحة الهواء أعلى ما يمكن، وذلك لزيادة الطفو وخروج الهواء الفاسد من الفراغ وعدم تراكم الهواء الفاسد أعلى الفتحة.

أن يكون توجيه الفتحة عكس اتجاه الرياح، وذلك لتجنب دخول الهواء الفاسد مرة أخرى إلى الفراغ.

أما القباب والأسقف الدائرية فإن فتحات التهوية يفضل أن تكون على القمة حيث الهواء يكون أسرع ما يمكن، ويكون ضغط الهواء تحت هذه الأشكال من الأسقف سالبا مما يعمل على سحب الهواء من داخل الفراغ إلى أعلى.

9-3 النوافذ

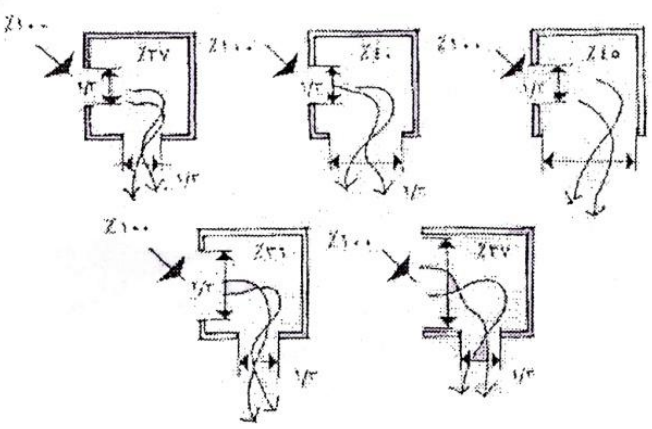
النوافذ هي العامل الرئيسي المؤثر على حركة الهواء داخل المبنى حيث أنها تمثل بوابة الرياح إلى داخل المبنى، كذلك تحديد كمية وسرعة الهواء داخل الفراغ الداخلي. موقع وحجم وشكل ونوع النوافذ هي العوامـل المتغيرة التي تؤثر على دخول الهواء داخل الفراغ لذلك يجب على المعماريين معرفة تأثير كل عـامل من هـذه العوامل، والهدف من النوافذ هو الحصول على أفضل تهوية من خلال توفير مداخل ومخارج للهواء، وفى بعض الحالات تكون هناك فراغات ليست على واجهات المبنى الخارجية وفى هذه الحالة يعمل باب الفراغ على خروج الهواء ويكون هناك بعض الحلول المعمارية الأخرى والتي يمكن تطبيقها لتوصيل الهواء إلى هذه الفراغات.



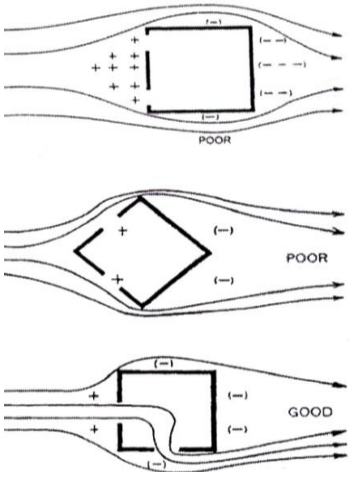
شكل 11. فتحات الأسقف داخل القبب

1-9-3 موقع النوافذ وتوجيهها

تحدد أماكن النوافذ التي تقع في الواجهات المعرضة للرياح شكل ونمط الرياح الذي ستتبعه داخل الفراغ، إذا اتخذت النوافذ أماكن مختلفة عن موقعها الأمثل حيث يكون الضغط في أعلي معدلاته (الثلثين العلويين من ارتفاع الفراغ وفى منتصف الفراغ) فإن الهواء داخل الفراغ سينحرف بعيدا عن الب



شكل 12. أنماط حركة الرياح داخل الفراغ تبعا لتوجيه النوافذ



شكل 13. تأثير وجود نافذتين على حركة الهواء داخل الفراغ

يتحرك الهواء من الفتحات الموجودة على الواجهة المواجهة للرياح والموجودة في منطقة الضغط الموجب لتخرج من الفتحات الخلفية الموجودة في منطقة الضغط السالب، وتكون التهوية أفضل في حالة أن تكون فتحات الخروج عكس اتجاه فتحات الدخول حيث يصطدم الهواء الداخل بالحائط فيتغير اتجاهه ليصل إلى فتحة الخروج، "تعادل سرعة الرياح الداخلية

في حجرة ذات فتحة مفردة 10: 15 % من سرعة الرياح الخارجية و تصل إلى 30: 50 % بوجود أكثر من فتحة تقع في منطقتي الضغط السالب والموجب وتبعا لحجم الفتحات ومسافة المحور بينهما [22].

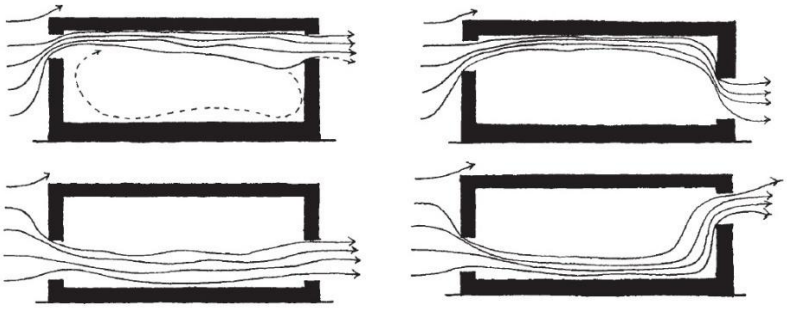
3-9-1-1 الوضع الأفقي للنوافذ

في الوجهات العمودية على الرياح فانه يمكن تحسين التهوية من خلال وضع نافذتين متماثلتين في نفس الحائط وذلك للحصول على أعلى فرق ضغط يولد حركة هواء، حيث أنه في حالة أن تكون النافذتان المتماثلتان لهما ضغط متساوي فإنهما يتعارضان مع بعضهما البعض. أما الواجهات التي لها توجيه مائل عن اتجاه الهواء فان النافذتين يكون لهما تأثير جيد جدا على تهوية الفراغ، لان نافذة منهما والتي يدخل منها الهواء تكون ذات ضغط موجب على عكس النافذة الأخرى يكون ضغطها سالبا مما يخلف تيار هواء داخل الفراغ.

أما في حالة أن تكون النوافذ متجاورة (الأركان) فان الفتحات لابد أن تكون ابعد ما يمكن عن بعضهما البعض وذلك للحصول على أفضل تهوية داخل الفراغ وان يغطى الهواء جميع الفراغ، أما الفراغات التي تكون لها فتحة في الجهة العكسية من فتحة دخول الهواء فإن سرعة الرياح تصل إلى ذروتها عندما تكون الرياح عمودية على فتحة الدخول [23].

3-9-1-2 الوضع الرأسي للنوافذ

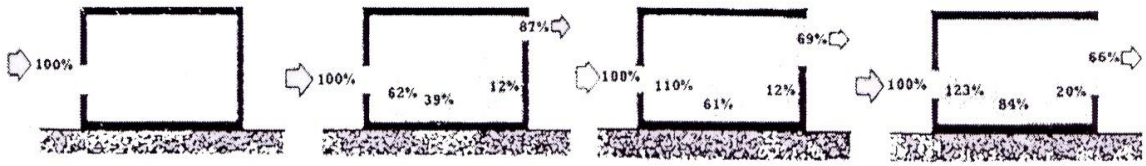
يتوقف الموقع الرأسي للنافذة على واجهة المبنى والفراغ الداخلي والذي يحدد مستوى الرياح الداخلة للفراغ، ويتوقف ارتفاع جلسة النافذة على نوع النشاط الموجود داخل الفراغ والذي على أساسه يحدد مستوى التهوية المطلوبة ويكون الارتفاع في متوسط من 70 : 120 سم للفراغات المعيشية ومن 120 : 150 سم لفراغات العمل والمكاتب والتي يكون بها أوراق على المكاتب [24].



شكل 14. تأثير الموضع الرأسي للنوافذ على حركة الهواء

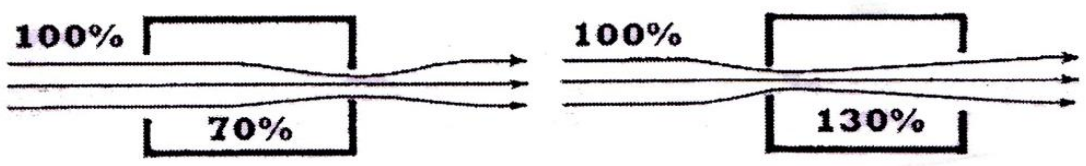
3-9-2 مسطح النوافذ

في عام 1962 أثبت العالم جوفانى أن تأثير زيادة حجم النافذة يتناسب مع الجذر التربيعى لحجم الفتحة، ويزيد تأثير النوافذ الكبيرة تبعا لتغير اتجاه الرياح من الموازي إلى العمودي على اتجاه الرياح [25]. كما ان متوسط سرعة الهواء الداخلية يزيد عندما تكون فتحة دخول الهواء تساوى أو أقل من فتحة خروج الهواء كما في المعادلة(مساحة خروج الهواء / مساحة دخول الهواء = 1.25[26].



شكل 15. تأثير موضع مدخل ومخرج الهواء على سرعة الهواء الداخلية

تحدث أعلى تهوية للفراغ عندما تكون فتحتا الدخول والخروج أكبر ما يمكن، كما يحدث أكبر سريان داخلي للهواء عندما تكون فتحتا الدخول والخروج لهما نفس الإبعاد. سرعة الهواء الداخلية من الممكن أن تتجاوز سرعة الرياح الخارجية عندما تكون فتحة خروج الهواء اكبر من فتحة الدخول وهذه السرعة مطلوبة وفعالة للتأثير على شاغلي الفراغ وإعطائهم راحة داخل الفراغ إذا كان الفراغ سيئا في توزيع التهوية [27].



شكل 16. تأثير مساحة النوافذ على سرعة الرياح الداخلية

م	اتجاه تيار الهواء	نسبة عرض النافذة		
		1/3	2/3	3/3
1	عمودي على النافذة	%13	%13	%16
2	مائل على الواجهة	%12	%15	%23
3	عمودي على الواجهة الخلفية للنافذة	%14	%17	%17

جدول 1. أثر زيادة مساحة النافذة على سرعة الرياح

3-9-3 شكل النوافذ

عندما يقوم تيار الهواء بالاصطدام بحائط رأسي، فإن القوة الموجودة داخل الرياح تميل إلى التحرك في اتجاه مواز لهذا السطح وفى حالة وجود فتحة في هذا الحائط فإن حجم الهواء الذي يدخل هذه الفتحة يتوقف على الضغط داخلها وعلى مساحة السطح وتصميم المدخل [28]. فى عام 1983 تم عمل اختبارات على ثلاث أشكال مختلفة من الشبابيك (مربع – مستطيل طولي – مستطيل عرضي) لمعرفة تأثيرها على التهوية في المناطق شديدة الزحام وجد أن أقل سرعة للهواء داخل الفراغ تكون للنوافذ الطولية وأعلى سرعة للهواء تكون للنوافذ المستطيلة العرضية وذلك لان النوافذ العرضية تجذب مدى اكبر من الرياح أما النوافذ الرأسية الطولية والمربعة فإنها تصل إلى أفضل حالاتها عندما تكون عمودية على اتجاه الرياح هذا لأنه إذا مالت فإن ذلك يؤثر على أدائها [29].

4-9-3 أنواع النوافذ

لكل نوع من أنواع النوافذ شكل تيار هواء مختلف عن الآخر داخل الفراغ كما أن لها نسبة حجب للرياح والتي تؤثر على السرعة الداخلية للهواء، شكل فتحة النافذة وتصميمها وطريقة فتحها من العوامل الهامة والمؤثرة في زيادة سرعة الهواء وحركته داخل الفراغ، وهناك أربع طرق لفتح النوافذ:

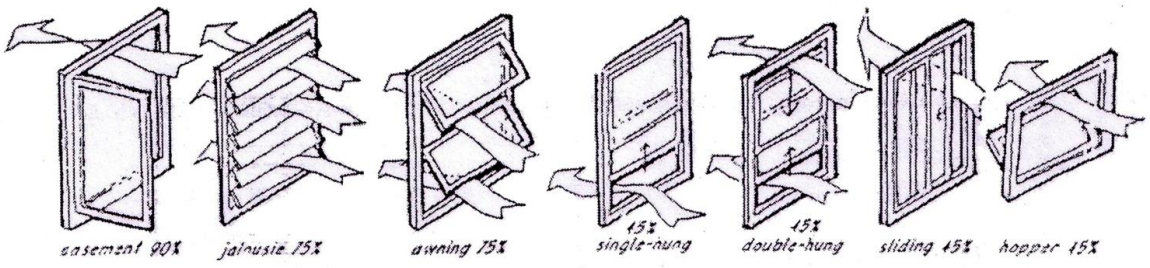
أ – النوافذ المثبتة في الجانب الرأسي في الإطار الخارجي Double Hung

ب –النوافذ المثبتة على المحور الرأسي في الإطار الخارجي Vertical Pivot

ج – النوافذ المثبتة في المحور الأفقي العلوي من الإطار Top Hung

د – النوافذ المثبتة في المحور الأفقي من الإطار Horizontal Pivot

وقد أثبتت التجارب أن النظام (ب) يساعد على حركة الهواء وسرعته وتوجيهه داخل الغرف عن طريق اصطدام الهواء بالجزء البارز من الفتحة. أما النظام (ج) فيساعد على توجيه الهواء نحو السقف ويفضل استخدامها في النهار أثناء الشتاء، أما النظام (د) يمكن من خلاله توجيه الهواء إلى أعلى أو أسفل أو المرور في منتصف الفراغ تبعا للجزء المطلوب تهويته.



شكل 17. تأثير شكل فتحة النوافذ على معدل تدفق الهواء داخل الفراغ

10-3 كواسر الواجهات

مع أن الواجهات المنحنية يكون لها أقل تأثير على حركة سريان الهواء وأقل ظل رياح خلف المبنى واقل دوامات، فإنه بإضافة بعض الكواسر على الواجهة فإن ذلك يغير من قيمة توزيع معامل الضغط على الواجهة والذي يعمل على تحسين التهوية وتوزيعها داخل الفراغات، وتؤثر كاسرات الشمس المستخدمة في بعض المباني بصورة كبيرة على شكل وحجم وسرعة سريان الرياح الواصلة إلى الفراغات لذلك فإنه هناك أربعة طرق أساسية لتحسين التهوية [30].

أ – زيادة معدلات تدفق الهواء بواسطة زيادة منطقة الضغط الموجب الواقعة في اتجاه الرياح.

ب –زيادة تدفق الهواء المائل بواسطة بناء عوائق للهواء وزيادة الضغط الموجب أمام النافذة.

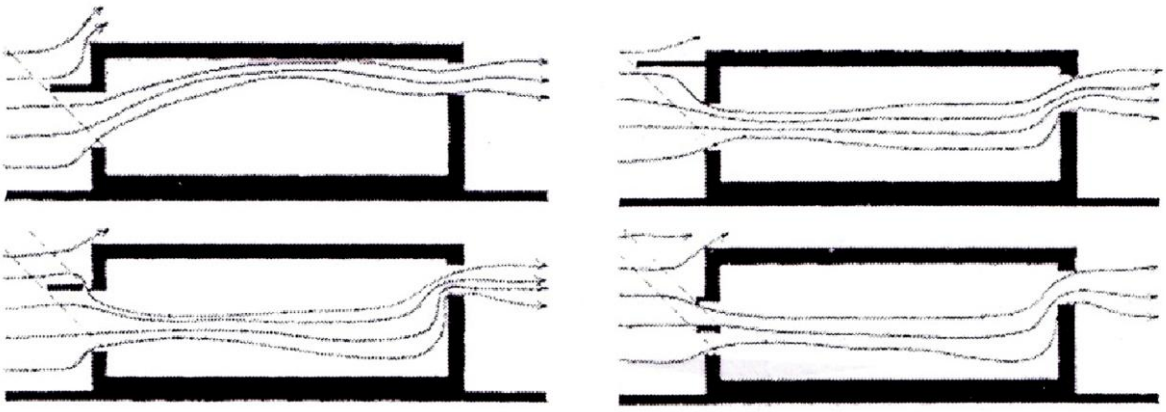
ج –تحويل اتجاه التيارات القادمة للمبنى بواسطة تحريف تيار الهواء عندما يقتضى الأمر ذلك.

د – توليد تيارات هواء صناعية من خلال تغيير توزيع معامل الضغط على الواجهات.

1-10-3 الكواسر الأفقية

تتمركز الكواسر الأفقية فوق النوافذ حيث تقوم بجمع الرياح وتحويلها إلى جيوب ضغط أمام النوافذ، وبناء على ذلك يزيد الضغط الموجب، ووضع الكواسر فوق النوافذ يمنع الضغط الموجب على السطح من تعويض الضغط الموجب أسفل النافذة مسببة انحراف في تدفق الهواء الداخلي، ويفضل وضع مسافة لا تقل عن 15سم بين الكواسر وسطح المبنى

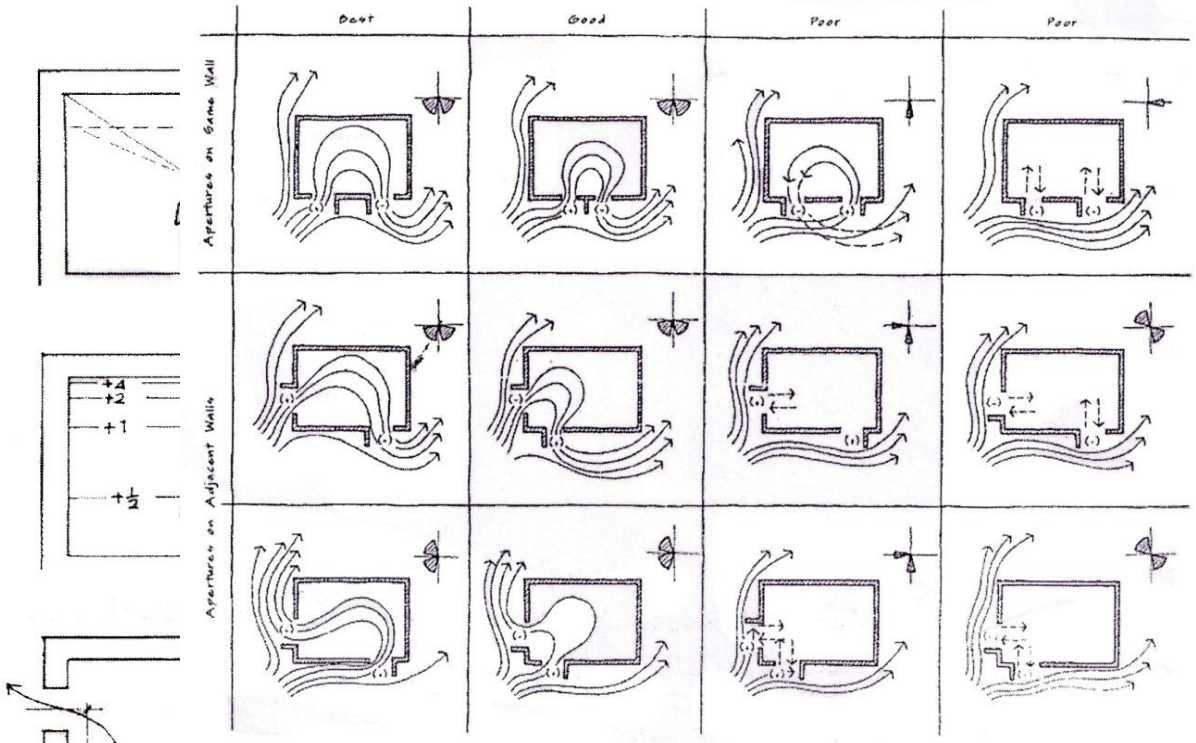
فإنها تسمح بالضغط الموجود أعلى الكاسرة إلى التخلل إلى الفراغ الداخلي ومعادلته وهناك حلول أخرى أن تستخدم مثل زيادة ارتفاع الكاسرة عن النافذة أو تقسيم كاسرات الشمس إلى العديد من القطاعات، بجانب أن الكواسر تمنع انتقال الحرارة إلى المبنى والذي يحدث نتيجة للتوصيل الحراري [31].



شكل 18. الإشكال المختلفة للكواسر

3-10-2 الكواسر الرأسية

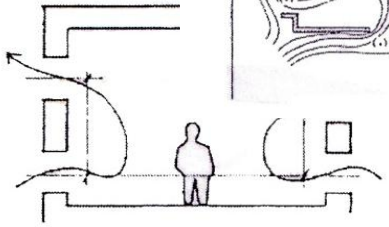
تزيد الكواسر الرأسية من تهوية المباني بواسطة تجميع وتحويل الرياح إلى داخل المبنى وتغير توزيع الضغط على الواجهة، وطورت فكرة الحوائط المجنحة على يد العالم جوفانا عام 1962، عندما كان يحاول تحسين التهوية من جانب واحد. ومع اتجاه الرياح المائلة بزاوية من 30° : 60° فإن وضع حائطين مجنحين بين فتحتين في نفس الواجهة يزيد من الضغط الموجب على الفتحات المعرضة للرياح وعلى عكس في الفتحات الأخرى الغير معرضة للرياح يزيد الضغط السالب مما ينشئ تيار هواء داخل الفراغ، ولابد إن يكون عمق الحائط المجنح على الأقل من 5. : 1 مرة عرض النافذة، وأن تكون المسافة بين الحائطين مرتين عرض النافذة [32].



شكل 19. تأثير الكواسر الراسية على أنماط حركة الرياح داخل الفراغ

3-11 ارتفاع الدور

يوصى باستخدام الفراغات ذات الأسقف العالية في المناطق ذات المناخ الحار حيث أن الأسقف تقوم بتقليل توصيل الحرارة إلى أرضية الفراغ، كما يعمل الارتفاع على حبس الهواء الساخن المتصاعد داخل الفراغ بعيدا عن



شكل 20. تأثير ارتفاع الدور على حركة الهواء داخل الفراغ

مستخدمي الفراغ كما يسمح بإمكانية زيادة المسافة بين الهواء الداخل والخارج من الفر8اغ مما يساعد على تحسين التهوية داخل الفراغ.

حجم الهواء في الفراغات ذات الأسقف العالية أكبر منها في الفراغات ذات الأسقف المنخفضة وذلك يساعد على تباطؤ عملية الانتقال الحراري عندما يكون الهواء الخارجي أكثر حرارة [33].

ولكن على عكس الحديث النظري ومن خلال إجراء تجارب على عدة نماذج، استنتج العالم ايفانز أن الفراغات ذات الأسقف العالية ليست مريحة بصورة اكبر بكثير من الفراغات ذات الأسقف المنخفضة والاختلاف في القياسات بين الحالتين اختلاف بسيط غير ملحوظ [34].

12-3 العوائق الداخلية

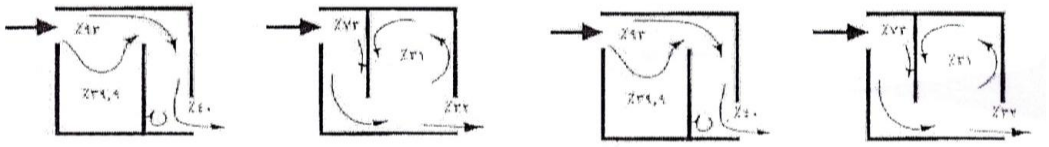
إثناء رحلة الرياح الداخلية من دخولها وحتى خروجها، فان هناك مجموعة من العوائق إلى تؤثر على سرعتها وانحرافها وحجمها لذلك على المعماريين أن يتجنبوا توزيع أو استخدام هذه العوائق (القواطيع – الشاشات – الأثاث) بصورة تؤثر على حركة سريان الرياح الداخلية.

1-12-3 القواطيع

تمثل القواطيع الداخلية واحدة من أهم العوائق التي يواجهها تيار الهواء أثناء عبوره داخل المبنى، ومن الممكن أن تستخدم في توجيه الهواء أو منعه من المناطق المراد فيها ذلك، ولكن إذا لم يتم توزيعها بصورة جيدة داخل الفراغ فإنها تمنع وصول الهواء إلى الفراغات مكونة مناطق هواء راكد لا يدخل في دورة الرياح الداخلية، وفى هذه الحالة يكون استخدام المساحات المفتوحة أفضل للوصول إلى التهوية الطبيعية [35].

1-1-12-3 موقع القواطيع

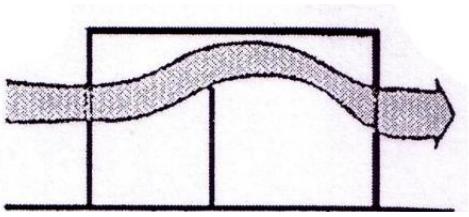
تصل سرعة الرياح الداخلية إلى أدنى سرعة لها عندما تكون القواطيع عمودية على اتجاه الرياح وقريبة من فتحة دخول الهواء، وعلى العكس تزيد سرعة الرياح كلما اقتربت القواطيع من مخرج الهواء لذلك فإن المساحات المفتوحة والواسعة يفضل أن تكون عند مدخل الهواء، ويفضل أن تكون القواطيع في اتجاه سريان الرياح وموازية لها عنها من العمودية على اتجاه الرياح وذلك للحصول على اقل حجب للرياح [36].



شكل 21. التغير في سرعة الهواء نتيجة الفواصل الداخلية

2-1-12-3 ارتفاع القواطيع

تسمح القواطيع القصيرة بحركة أفضل للهواء داخل الفراغ والانتقال من فراغ لآخر، ولكن لعبور الهواء من فوقها فهذا يؤدى إلى عدم وصول الهواء إلى شاغلي الفراغ كما أن هذه القواطيع لها مشاكل في الضوضاء والخصوصية ولكنها تحقق التهوية للفراغات التي تعلوه.



شكل 22. تأثير ارتفاع القواطيع على حركة سريان الرياح

٤. الخلاصة

تتوقف الراحة الفسيولوجية للإنسان على التأثير الشامل لعدة عوامل ومنها العوامل المناخية مثل درجة الحرارة والرطوبة وحركة الهواء والإشعاع الشمسي. ولكن للتهوية الطبيعية أهمية كبيرة وتعتبر إحدى العناصر الرئيسية في المناخ التي تخفف وطأة الحر ودرجات الحرارة الشديدة، لذلك فان التصميم لابد ان يسمح بتدفق مناسب للهواء الداخل والخارج، فمنذ إن عرف أهمية جودة الهواء للفراغات الداخلية والراحة الحرارية لشاغلي المبنى، اعتبرت التهوية عنصرا أساسيا في في المحافظة على درجة الحرارة المناسبة التي تشكل الفراغ المريح والتخلص من الهواء الملوث داخل الفراغ.

وقد حددت معدلات التهوية المناسبة على أن تكون من 5 قدم3/دقيقة إلى 50 قدم3/دقيقة تبعا لاختلاف النشاط داخل الفراغ [33]، لذلك فعلى المعماري كمبدأ منطقي عام توفير الراحة طبيعياً ومعمارياً كلما أمكن عن طريق استخدام مجموعة من العناصر المعمارية التي يمكن من خلالها التحكم في حركة الهواء داخل وخارج المبنى وذلك بهدف الإقلال بقدر الإمكان من التعرض للظروف المناخية الخارجة القاسية وتوفير الراحة الحرارية، كما ان التهوية الطبيعية تعتبر المخرج الرئيسي لأزمة الاستهلاك في الطاقة إلى حد كبير لأن أزمة الاستهلاك في الطاقة مردها التكييف الميكانيكي والاعتماد الكبير علية.

توصيات البحث

تبلورت المشكلة البحثية في اعتماد المصممين ومستخدمي الفراغات على التهوية الصناعية التي تستهلك حجم كبير من الطاقة كبديل للمفردات المعمارية التي تحقق التهوية الطبيعية داخل المبنى، وذلك لتحول المعماريون الآن إلى الاهتمام بالشكل والتكنولوجيا دون مراعاة للإبعاد البيئية والاستدامة، ومن هنا جاءت التوصيات التالية في محاولة لإيجاد حلول مناسبة يمكن الاعتماد عليها في حل مشكلة التهوية الطبيعية والطاقة:

١. العمل على مراعاة البعد البيئي وعناصر المناخ المختلفة كمحدد أساسي في عملية التصميم المعماري للمباني، بداية من مرحلة إعداد الرسومات وتحديد شكل المبنى إلى مرحلة التنفيذ والتشغيل.
٢. مراعاة استخدام تشكيل معماري يعتمد على العناصر الطبيعية من تهوية وإضاءة والتي بتحقيقها يتحقق ترشيد استهلاك الطاقة.
٣. دمج المفردات ا لمعمارية للتهوية الطبيعية مع المباني لتحقيق التهوية الطبيعية داخل فراغات المبنى بحيث لا يقتصر دورها على الشكل فقط.
٤. الاتجاه إلى تصميم مباني تتناسب مع طبيعة المناخ الحار الذي تقع فيه جمهورية مصر العربية، والبعد عن المباني المغلقة الزجاجة التي لا تتناسب بيئيا مع المناخ وتستهلك طاقة كبيره.
٥. التأكيد على الاستفادة من الإمكانيات التكنولوجية المتاحة واستحداث أساليب جديدة لدعم البعد البيئي خاصة عنصر التهوية الطبيعية والذي يؤثر بصورة مباشرة على الراحة الحرارية لشاغلي الفراغات.
٦. تحقيق التكامل بين التهوية الطبيعية والتهوية الصناعية لرفع كفائه وأداء المبنى وتقليل استخدام الطاقة لتحقيق الاستدامة.
٧. الدراسة الجيدة للعناصر المؤثرة على التهوية داخل الفراغ وذلك للوصول إلى أفضل أنواع التهوية بحيث يكون الاعتماد على التهوية الصناعية اقل ما يمكن.
٨. الاستفادة من استخدام الطاقة المتجددة في توفير الطاقة اللازمة للمباني، واستحداث أساليب جديدة للعمل على ترشيد استهلاك الطاقة.

المراجع:

1. Vent-Axi incorporating, <http://www.vent-axia.com/sharing/system.pdf> (Access. 18-2-2017).
2. John S. Reynolds, “Courtyards: Aesthetic, Social, and Thermal Delight”, Wiley, 2001, P.35

٣. مجلة العلوم الهندسية، جامعة أسيوط، مجلد 29، عدد 2، 2001، ص. 6

٤. الشافعي فريد، ”العمارة العربية في مصر الإسلامية"، الهيئة العامة للطباعة والنشر، القاهرة، ١٩٧٠، ص. 42

5. Allard, F., "Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook", James & James Ltd, London, 2002, P. 236-240.

٦. سمير محسن سرى، "أثر الخصائص التصميمية لملاقف الهواء على التهوية الطبيعية للمساكن المعاصرة"، رسالة ماجستير، 2000، ص45.

٧. أحمد عبد الوهاب احمد، "تأثير الملاقف وخصائصها الهندسية على الهوية الطبيعية الداخلية الناشئة عن ضغط الرياح". <www.aun.edu.eg/env_enc/march2007/1-12(end).doc> (Access. 16-4-2012)

8. Brown, G. Z., and Decay, M., “Sun, Wind and Light: Architectural Design Strategies”, Johan Wiley & Sons Inc., USA, 2001, P.190.
9. Battle Mccarthy Consulting Engineers,"Wind towers", Academy Editions, 1999, P.30.
10. Bansal, N.K., "Solar chimney for enhanced stack ventilation", 1993 <http://eprint.iitd.ac.in/dspace/bitstream/2074/2258/1/bansal0193.pdf> (Access. 8-3-2016).
11. Architectural environmental analysis, a guide to environmental design, "Ventilation" <http://www.ecosensual.net/drm/eco/ecovebt1.html> (Access. 9-2-2017).
12. Passive solar heating & cooling manual "natural cooling" <http://www.azsolarcenter.com/design/pas-3.html> (Access. 16-4-2016)
13. U.S.department of energy, "energy efficiency and renewable energy", 1991 <http://www.ornl.gov/sci/roof+walls/radiant/index.html> (Access. 5-2-2017)
14. Energy Savers, Radiant Barriers

<http://www.energysavers.gov/your_home/insulation_airsealing/index.cfm/mytopic=11680> (Access. 16-4-2016)

١٥. أمال الدبركى، "التهوية الطبيعية كمدخل تصميمي في العمارة السالبة"، رسالة ماجستير، جامعة عين شمس، 1999، ص 89.

١٦. محمد كريم، " نحو إطار عمل لتحقيق التكامل بين لتهوية الطبيعية والصناعية وتطبيق عناصر الاستدامة"، رسالة ماجستير، جامعة القاهرة، 2013، ص 42.

17. Boake, t.,"The Tectonics of the Double skin". < http://www.fes.uwaterloo.ca/ architecture/faculty_projects/terri/ds/tectonic.pdf> (Access. 22-8-2016)
18. Pank, w., Girardet, H., and Cox, G., "Tall Buildings and Sustainability", 2002. <www.cityoflondon.gov.uk/.../SUS_tallbuildings.pdf> (Access. 20-11-2016)
19. Harrison, K., "Tectonics of the Environmental Skin", <http://www.fes.uwaterloo.ca/architecture/faculty_projects/terri/ds/double.pdf> (Access. 23-2-2017)
20. Andersen, A., "Cooling With Natural Ventilation", <http://www.Windowmaster.com/media/filebank/org/cooling_aston_june2002_gb.pdf> (Access. 15-7-2016)

٢١. رانيا رجب عبد المقصود، "تأثير التهوية الطبيعية على التشكيل المعماري"، رسالة ماجستير، جامعة القاهرة، 2009، ص. 55

٢٢. سعيد بن عوف، "العناصر المناخية والتصميم المعماري"، جامعة الملك سعود للطباعة،1997، ص185.

٢٣. عبير محمد مصطفى، "إمكانية استخدام المعالجات المناخية التقليدية في العمارة المعاصرة في مصر"، رسالة ماجستير، جامعة عين شمس، 2002 ، ص130.

٢٤. أمال الدبركى، "التهوية الطبيعية كمدخل تصميمي في العمارة السالبة"، رسالة ماجستير، جامعة عين شمس، 1999، ص 52.

25. Givoni, B.,"Climate Considerations in Building and Urban Design", Van Nostrand Reinhold, USA, 1998, P.98
26. Basham, D., J., Ferguson, K., and Moy, G., "Design: Cooling Building by Natural Ventilation", <http://www.ccb.org/docs/UFC/3_44_06.pdf> (Access. 21-4-2012)
27. Yeang, k., "The Skyscraper: Bioclimatically Considered", Wiley-Academy, Great Britain, 1996, P.138.

٢٨. شفق العوضى الوكيل ومحمد عبداللة سراج، "المناخ وعمارة المناطق الحارة"، عالم الكتب، القاهرة،1989، ص.

29. Givoni, B.,"Climate Considerations in Building and Urban Design", Van Nostrand Reinhold, USA, 1998, P.98
30. Watson, D., "Climatic Design: Principles and Practices", McGraw-hill, USA, P.48.
31. Lechner, N., "Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects", John Wiley & Sons Inc., USA, 2000, P.256.
32. Baruch Givoni, "Bassive and Low Energy Cooling of Building", John Wiley & sons, 1994, P. 45.

٣٣. جهاز تخطيط الطاقة، "دليل الطاقة والعمارة"، 1998، ص. 35

34. Evans, M.," Housing, climate, and comfort", Architectural Press, 1980, P.62.
35. Watson, D., "Climatic Design: Principless and Practices", McGraw-hill, USA, P.140.

٣٦. شفق العوضى الوكيل و محمد عبد الله سراج، "المناخ وعمارة المناطق الحارة" ، عالم الكتب ، القاهرة ، 1989، ص150.

37. ASHRAE, “American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers”, Standard 62.1