Received 25 January 2019; accepted 29 March 2019.
Available online 1 April 2019

جدلية التهوية الطبيعية والعدوى بالمستشفيات

م. حسام سعيد محمود
مهندس، المعهد التكنولوجي العالي، السادس من أكتوبر
arch_hossam2040@yahoo.com

أ.م.د. ريهام الدسوقي حامد
أستاذ مساعد، كلية الهندسة، جامعة بني سويف
r_dessuky@yahoo.com

الملخص

مع النمو السكانى المتزايد خاصة فى المجتمعات النامية وزيادة المشاكل الصحية زاد عدد المترددين على مبانى الرعاية الصحية خاصة الحكومية ومع انتشار العدوى واطالة مدة الاقامة زاد ذلك من أستنزاف الطاقة مصحوبا بعدم قدرة هذة المبانى على استخدام التهوية الميكانيكية لانخفاض الموارد المادية وارتفاع اسعار الطاقة ، يهدف هذا البحث الى التحقق من إمكانية إستخدام التهوية الطبيعية فى أجنحة الاقامة كأنظمة تهوية منخفضة الطاقة يمكن الاعتماد عليها مع الاخذ فى الاعتبار المساعدة فى الحد من انتشار العدوى والتى تتسبب فى خسائر مادية وبشرية ، باستخدام ديناميكيا الموائع (CFD) لمحاكاة تدفق الهواء حيث تم دراسة التهوية من الشباك فقط ومع فتح الباب وقد اظهرت نتائج القياس فى أجنحة احدى المستشفيات أن أقل معدل للتهوية الطبيعة وجد فى حالة التهوية من الشباك وأن معدلات التهوية كانت مرتفعة عندما تكون الابواب والنوافذ مفتوحة ولكن فى مبانى الرعاية الصحية فأن هذا المبدأ لا يوصى به حيث يعمل على نقل العدوى من جناح المنبع إلى جناح المصب فى الجهة الاخرى بالاضافة الى عدم احترام خصوصية المريض ولذلك هناك حاجة إلى مزيد من العمل لتصميم أنظمة تهوية منخفضة الطاقة والكلفة يمكن الاعتماد عليها وتعمل على عدم اِنتقال العدوى فى مبانى الرعاية الصحية ، تم اقتراح استخدام ال Duct حيث يؤدى إلى وجود فروق ضغوط بين فتحتى دخول وخروج الهواء مما يعمل على زيادة سرعة الهواء داخل الفراغ ويعمل على منع انتقال العدوى المحمولة جواً بين جناحى المنبع والمصب وتم دراسة ابعادة واشكالة والتى اظهرت أن الشكل المربع هو الافضل من حيث معدلات التهوية ثم تم دراسة افضل توجية للفتحة العلوية لل Duct سواء فى الجزء الجنوبى او الشمالى للمبنى مع دراسة تاثير ارتفاع درجة الحرارة على معدلات التهوية داخِلة ، كما اكتشفنا اختلاف معدلات التهوية بين ادوار المبنى وذلك نتيجة لاختلاف الارتفاع والضغوط مما يشير الى وجود بُعد اخر لتسكين المرضى فى ادوار المبنى وذلك طبقاً لنوع المرض ومعدلات التهوية المحققة وليس الاموال المدفوعة.

الكلمات الدالة

الإستَدامَة ، اِنتِقال العَدْوَى ، التهوية الطبيعية، التهوية المختلطة ، Duct .

المقدمة

إن الإصابة بأمراض مكتسبة في المنشآت الصحية مشكلة يعاني منها الكثيرون في جميع أنحاء العالم، وهذه الأمراض هي التي تتم الإصابة بها أثناء القيام بأنشطة الرعاية الصحية أو أنشطة ترتبط بها، ولا يشمل ذلك الأمراض التي كان مصاباً بها المريض وقت دخوله المستشفى أو المنشأة الصحية أو حتى في فترة حضانة المرض. تعتبر تلك الأمراض التي تنشأ أو تتم الإصابة بها داخل المنشآت الصحية من أهم أسباب الوفاة، وهذه الأمراض التي تأتى كمضاعفات لأنشطة الرعاية الصحية تتسبب في إهدار موارد الرعاية الصحية وزيادة التكلفة واستنزاف طاقة أكبر (وزارة الصحة والسكان، ٢٠٠٨)، حيث يرتبط ذلك بزيادة العلاج وتوفير المؤن للمرضى بالإضافة إلى إطالة فترة البقاء بالمستشفيات، ومن ثم لا بد من مكافحة العدوى المحمولة جواً والحد من انتشارها.

تزايدت أهمية السيطرة الجوية على البيئة في المستشفيات منذ عام ٢٠٠٣مع بداية ظهور الالتهاب الرئوي الحاد (SARS) (Hua Qian et al.,2010) ، وبالتالى تم استخدام تكييف الهواء بصورة كبيرة ولكن مع حدوث زيادة كبيرة فى الطلب على الطاقة فى السنوات الاخيرة، (حيث أن ٤٨٪ من الطاقة الاجمالية فى الولايات المتحدة الامريكية تستهلكها المبانى) (M. Manic et al.,2016) ومعظم هذا الاستخدام يكون لمكيفات الهواء ، مما ادى الى زيادة استخدم الهواء المعاد تدويرة مع تخفيض معدلات تغيير الهواء لتوفير المال والوقود، حيث من المرجح أن تكون نوعية الهواء في المستشفيات عامل خطر كبير كما ان لها عواقب صحية لكل من الموظفين العاملين والمرضى (Chien-Cheng Jung et al.,2015)، ولذلك فان هناك جهود للبحث عن بدائل للتهوية الميكانيكية (تساعد على منع انتقال العدوى) خاصة فى الدول النامية.

١ العدوى المحمولة جواً

تتسبب العدوى المحمولة جواً فى وفاة ١,٨ مليون حالة كل عام (Corbett EL et al.,2003) واصعب حالات تفشى للعدوى تكون فى المستشفيات حيث تتوفر البيئة المناسبة لذلك ، وقديما قبل اِكتشاف المضادات الحيوية كانت تستخدم التهوية

وأشعة الشمس للتاثير على انتقال العدوى المحمولة جواً داخل المبانى (Nightingale F, 1863)، ولكن بعد التحسينات فى ظروف المعيشة واستراتيجيات مكافحة العدوى خاصة لامراض السل والجدرى وظهور المضادات الحيوية ، أصبحت الامراض المحمولة جواً (العدوى) اقل تهديداً للصحة العامة وبالتالى تاكل دور التهوية كاستراتجية لمكافحة العدوى، ولكن مع ظهور ظهور متلازمة الجهاز التنفسي الحاد(السارس) مابين ٢٠٠٢-٢٠٠٣ فانها اعادت التذكير بخطر الامراض المحمولة جواً على صحة الانسان، كما ان المدن الحضرية اصبحت تشكل بيئة خصبة لانتشار الامراض (Eubank et al.,2004)، ومع ذلك فان هناك فجوة معرفية واضحة فى توفير ادلة او بيانات كافية لدعم مواصفات وتقدير الحد الأدنى من متطلبات التهوية في المستشفيات و كذلك فيما يتعلق بانتشار العدوى المحمولة جواً (Li et al.,2007).

٢ طرق إنتقال العدوى داخل مبانى الرعاية الصحية

خطورة الجراثيم والميكروبات والملوثات هى فى قدرتها على الانتقال من مكان لآخر، فالملوثات تنتشر فى جميع أنحاء البيئة ولا تقف عند مصادرها الرئيسية فقط بل تنتقل من مكان لآخر داخل الوسط الهوائى أو المائى، حيث يعتمد إنتشارها على خواصها الطبيعية والكيميائية والبيئة المحيطة بها (عباس ،١٩٩٨) ، ورغم أن المبانى العلاجية تهدف إلى تقديم الرعاية الصحية إلا أن بعضها يعتبر من أكثر الأماكن تلوثاً بصورة تتطلب إتباع مدخل مستدام عند تصميمها، وقد تنتقل العدوى عن طريق الملامسة أو الهواء أو الرذاذ وذلك إما بطريقة مباشرة من مصدر التلوث إلى المريض أو بطريقة غير مباشرة عن طريق وسيط (Mohammadabad et al.,2011) وفى كلتا الحالتين فإن ذلك يؤثر تأثيراً كبيراً على صحة المرضى (وزارة الصحة والسكان، ٢٠٠٨).

٣ التهوية والعدوى

وقد حظي التحكم في بيئة الهواء في المستشفيات باهتمام متزايد في ضوء معاناة مباني الرعاية الصحية خاصة الحكومية من انتشار العدوى وخاصة في البلدان النامية (ذات الموارد المحدودة)، إلا أن هناك دراسات محدودة تغطي العلاقة بين التهوية الطبيعية والعدوى المنقولة جواً، ولذلك في هذا الاستعراض سوف نركز على دراسة تأثير التهوية على انتشار العدوى في المستشفى.

وبوجه عام، فإن الغرض من التهوية في أي مكان مشغول (يوجد بة مستخدمين) هو توفير الهواء النقي للشاغلين وإزالة الحرارة المتولدة في المكان، ولكن في مرافق الرعاية الصحية ينبغي أن تساعد التهوية الطبيعية أيضاً على الوقاية من العدوى. ورغم ان هناك القليل من الأدلة على أن التهوية تقلل بشكل مباشر من خطر انتقال المرض، إلا ان العديد من تِلكَ الدراسات تشير إلى أن التهوية غير الكافية تزيد من انتقال المرض. وهناك حالات تفشى للعدوى فى السجون والمدارس ولكن مرافق الرعاية الصحية تشكل الخطر الاكبر لتجمع الافراد المعدين والمعرضين للاصابة. (A Roderick Escombe et al., 2007).

٣ /١ استخدام التهوية الميكانيكية بدلاً من التهوية الطبيعية و ظهور أزمة الطاقة

فلورنس نايتينجيل (رائدة فى مجال التمريض) عملت على خفض معدلات الوفاة فى المستشفيات وذلك بادخالها عدداً كبيراً من التحسينات من أهما تجديد هواء الغرفة (Frank Swain, 2013)، ولكن مع مرور الوقت تحولت المستشفيات عن ذلك وعن مقولة أن الهواء النقي وأشعة الشمس مفيدان لنا والتى إلى حدٍ ما ظلت راسخة في الوعي العام، وقامت بأغلاق نوافذها وحجبت أشعة الشمس عن الغرف، ومع مرور الوقت بدأت فكرة فتح النوافذ تختفي تدريجياً لتحل محلها نظم التهوية الميكانيكية التي تعمل على تدوير الهواء وتمريره من خلال فلاتر، كما ان لجوء بعض الدول الصناعية الكبرى، الى استخدام التهوية الميكانيكية للحد من خطر نقل العدوى بين المرضى، و ادى ذلك الى زيادة استخدام المبنى لتكييف الهواء وغيرها من المعدات الكهربائية مما يؤدى الى زيادة الطلب على الطاقة، وما يترتب على ذلك من اثار سلبية على البيئة (Nuno R et al., 2018).

واقترح Chien-Cheng Jung أن التهوية يمكن أن تلعب دورا هاما في تنظيم مستويات الهباء الجوي في المستشفيات، وقد رصد فى دراسة ميدانية شملت ٣٧ مستشفى حكومى فى تايلاند مستويات مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون في العنابر، ومستويات أعلى في أقسام الصيدليات مقارنة بمجالات العمل الأخرى في المستشفيات. واستنادا إلى هذه الدراسة تم اقترح أن الأنشطة البشرية في مجالات العمل المختلفة وأنواع تكييف الهواء هي من العوامل الرئيسية التي تؤثر على نوعية الهواء في المستشفيات (Chien-Cheng Jung et al., 2015) ، وعلاوة على ذلك فان الفيروس ينتقل عن طريق حركة جوية داخل المستشفى ومن ثم إصابة المرضى الآخرين أو الزوار ، لذلك اقترح Taesub Lim نظام التهوية الميكانيكية الغير متوازن لتحقيق الضغط السلبي بالنسبة للممر، ولكن غرف العزل الميكانيكية ذات الضغط السلبي مكلفة من حيث البناء والتشغيل ومعدل تدفق التهوية يقتصر على ١٢ تغيير الهواء / ساعة (Taesub Lim et al., 2010) ولا تتوافر هذة الامكانيات فى معظم البلدان.

ومع ان التهوية الميكانيكية مكلفة فى التركيب والصيانة ، الى أنها فى كثيراً من الاحيان لا توفر معدل التهوية الموصى به حيث قامت لجنة من قبل الصحة الصناعية من وزارة الخارجية الأمريكية ووزارة الصحة بفحص ١٤٠ وحدة مستقلة فى ٣٨ منشأة ضمن ولاية نيويورك وذلك للتحقق من تدفق الهواء فى غرف العزل مع إستخدام الدخان المرئى كأداة للمراقبة

ومن اهم النتائج ان أنظمة التهوية كانت غير سليمة فى ٥٤٪ من الغرف و أنماط تدفق هواء مضطرب فى ١١٪ من الغرف (Pavelchak N et al., 2001).

٣ /٢ محاولة لتطبيق استخدام التهوية الطبيعة

ادى الطلب المتزايد على الطاقة الى وجود حاجة ملحة لكفاءة إستهلاك الطاقة أكثر من أي وقت مضى، حيث الممكن أن نحصل على منافع شبيهة لمكافحة العدوى من خلال العودة الى العادات القديمة بالاعتماد على الهواء النقي وأشعة الشمس، فتقول دانسر رئيس الخدمات الطبية في إنجلترا «لا بد من تصميم مستشفيات في المستقبل بما يتيح فتح النوافذ وإمكانية دفع أسرة المرضى خارج الغرف(Frank Swain, 2013) ، كما انة مع انخفاض الموارد خاصة فى الدول النامية تلجا الى استخدام التهوية الطبيعية من خلال فتح النوافذ للسيطرة على العدوى وفى بعض الاحيان تكون غير مصممة لذلك مما يساعد فى انتشار العدوى.

يمكن للتهوية الطبيعية أن توفر معدلات تهوية تكون فعالة لمكافحة العدوى بالاضافة الى انة من مميزاتها انها متوفرة في العديد من مرافق الرعاية الصحية في مناطق محدودة الموارد في العالم (Hua Qian et al., 2010). وبالعودة الى الوراء قديماً قبل ظهور المضادات الحيوية، كانت التهوية والضوء الطبيعي تعتبر ضمانات هامة ضد العدوى. ولكن في الوقت الحاضر، هناك تركيز أقل على الهواء النقي والضوء الطبيعى في المباني (R.A. Hobday et al,. 2013).

٣/ ٢/ ١ تجارب لتاكيد فاعلية التهوية الطبيعية

ولتاكيد ذلك تم عمل العديد من التجارب والقياسات منها قياس ميداني لأجنحة المستشفيات ذات التهوية الطبيعية مثل هونغ كونغ أوسيند حيث تم تصوير اتجاة تدفق الهواء الداخلى عن طريق استخدام مولد الدخان الصغير (CH25301) ،وأظهرت القياسات أن التهوية الطبيعية يمكن أن تحقق معدلات تهوية عالية خاصة عندما تكون النوافذ والأبواب مفتوحة في الجناح، وكان أعلى معدل للتهوية مسجل في الدراسة هو ٦٩,٠ تغيير الهواء / ساعة (Hua Qian et al., 2010).

وكذلك أجريت دراسة في جناح نايتنغيل السابق في مستشفى سانت لوكيس ، برادفورد، المملكة المتحدة،حيث أجريت التجارب على مدى خمسين يوما تم اختيارها عشوائيا على مدى فترة خمسة أشهر بين أبريل وسبتمبر ٢٠١٠. وكان الجناح يحتوي على ١٤ سريرا في الطابق العلوي من مبنى مكون من ثلاثة طوابق، وتبين ان التهوية الطبيعية تكون فعالة في ألاجنحة المفتوحة (C.A. Gilkeson et al., 2013) ، و يمكن أن تصل معدلات تغير الهواء إلى ١٨-٢٤ تغيير الهواء / ساعة للأجنحة (Z.A. Adamu et al., 2012).

٣/ ٢/ ٢ العوامل المؤثرة على تصميم التهوية الطبيعية

ولكن هل يمكننا توفير نمط تدفق مستقر للهواء عن طريق الفتحات الكبيرة فقط بالطبع لا حيث وجد في القياس الميداني لأجنحة المستشفيات ذات التهوية الطبيعية في هونغ كونغ أن نمط تدفق الهواء واتجاه تدفق الهواء غير مستقر في بعض القياسات مع فتحات كبيرة (Hua Qian et al., 2010) ، لذلك فإن موضع وحجم الفتحات يلعب دورا هاما في فعالية التهوية الطبيعية (Ziguang Chen et al., 2016).

كما ان التهوية من جانب واحد تعتمد ليس فقط على القوى الدافعة ولكن ايضاً على تكوين الفتحات. قد تختلف خصائص تدفق الهواء اختلافا كبيراً في ظل ظروف مماثلة (Jihong Wang et al., 2017) ، بالاضافة الى أن سلوك فتح النوفذ من قبل شاغلى المبنى يؤثر على أداء المباني بشكل كبير ولذلك يرجى الاخذ فى الاعتبار بان استخدام النافذة الغير لائق قد يؤدي إلى بيئة داخلية سيئة، ويمكن أيضا أن يساهم فى هدر الطاقة (Song Pan, et al., 2016).

كما ان وسائل التظليل تؤثر على معدلات التهوية الطبيعية ، حيث تم اجراء دراسة للتاكيد على دور التهوية الطبيعة فى توفير معدلات تهوية جيدة في مستشفيات بسنغافورة، مع العلم انة تم تصميم أجنحة المرضى المدعومة لتكون ذات تهوية طبيعية لمراعاة القدرة على تحمل التكاليف للمرضى، واظهرت القياسات أن تدفق الهواء في أجنحة اقامة المرضى غير كافي لأن النوافذ الحالية مظللة (Lan Lan et al., 2017).

٣/ ٢/ ٣ استخدام التهوية الهجين

من اهم مميزات التهوية الميكانيكية عند تصميمها جيداً انها توفر معدلات ثابتة بعكس التهوية الطبيعية غير ثابتة المعدلات فى بعض المناطق ولذلك يمكن الاستفادة من التهوية الهجين بجانب التهوية الطبيعية لمواجهة اى قصور فى اداء التهوية الطبيعية ،حيث يمكن للمراوح الميكانيكية تعويض اوجة ذلك القصور (Behrang Chenari et al., 2016).

٣/ ٢/ ٤ فوائد أخرى للتهوية الطبيعية

وكذلك يمكن للتهوية الطبيعة ايضاً المساهمة فى ازلة الملوثات حيث اقترح استخدام التهوية الطبيعية أحادية الجانب ألاكثر شيوعا عن التهوية المتقاطعة ، لإزالة أو تخفيف الملوثات الغازية في المباني الجديدة حيث يفترض أن التعرض الكبير لمستويات عالية من (HCHO) في الطفولة يساهم فى حوادث اللوكيميا في الصين (F.A. Berlanga et al., 2018).

بالاضافة الى ما سبق فأن المباني ذات التهوية الطبيعية لها دور رئيسي في التخفيف من حدة تغير المناخ، وقد أجريت عمليات محاكاة حرارية باستخدام نظام المحاكاة IES simulation ، ومن خلال نتائج المحاكاة تبين لنا أن المباني ذات التهوية الطبيعية لها دور أساسي تؤديه في التخفيف من تغير المناخ لأنها تميل إلى تسريع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون افضل من المبانى المهواة ميكانيكيا، وايضاً في المباني التي يجب تجنب تدفق الهواء العكسي (Kevin John et al., 2009)، كما يمكن خفض متلازمة البناء (sick building syndrome) من خلال زيادة استخدام الهواء النقي، مما يعمل على توفير ١٠-٣٠ مليار دولار في الولايات المتحدة (Jihong Wang et al., 2017).

٣/ ٣ تقرير منظمة الصحة العالمية للاعتماد على التهوية الطبيعية

كما ان منظمة الصحة العالمية مهتمة بهذا الشأن، حيث قامت بنشر تقرير تشجع فيه جميع اماكن تقديم الرعاية الصحية على أستخدام التهوية الطبيعية وذلك في المبدأ التوجيهي لها (Jihong Wang et al., 2017)، حيث اعتبرت التهوية الطبيعية لأول مرة من بين تدابير التى يمكن استخدامها للسيطرة على العدوى في مجال الرعاية الصحية، وتاتى اهمية هذه التوصية لانها قادمة من منظمة الصحة العالمية وبالتالى تزيد من الاعتراف بدور التهوية الطبيعية لمكافحة العدوى ، وذكرت تطبيق مبادئ فلورنس نايتينجيل في مدينة موميباي بالهند، حيث تم تصميم إحدى المصحات القديمة على مبادئ فلورنس نايتينجيل (أرتفاع الاسقف – الشبابيك) وساعدها ذلك فى عملية استخدام برنامج الهواء الطلق لتصبح عيادة مخصصة لعلاج الأشخاص المصابين بمرض السل المقاوم للأدوية.

نستنتج مما سبق أن هناك علاقة بين التهوية الطبيعية وانتقال العدوى خاصة وان تصميم هذة نظم التهوية لمبانى الرعاية الصحية تختلف عن المبانى العادية وذلك بسبب الخوف من انتقال العدوى المحمولة جواً.

٤ محور الدراسة – أجنحة المستشفيات

أجنحة الاقامة تحتل جزء كبير من اهتمام المصممين حيث يكون لها النصيب الأكبر من مساحة المستشفى ويقضى بها المرضى معظم الوقت وكذلك تكون بها الزيارات ولذلك فانها بيئة خصبة لانتشار العدوى ويجب حماية المرضى والموظفين والزائرين من العدوى المحمولة جواً.

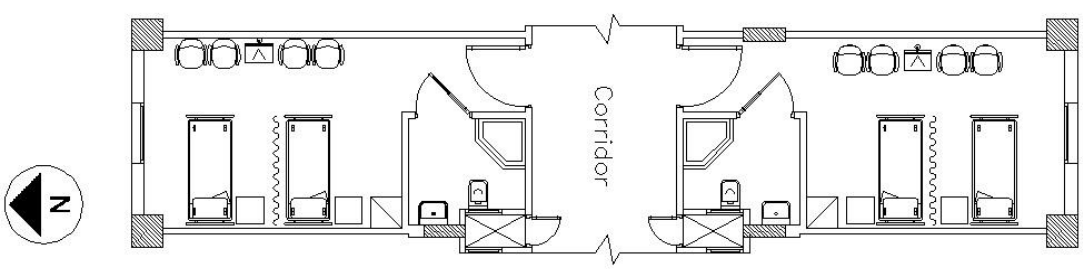
٥ إعدادات الدراسة (Setup)

يتناول هذا الجزء من البحث استعراض أهم إعدادات الدراسة التحليلة والتي تتضمن وصف المبنى الذي سيتم دراسته ومنهجية الدراسة التحليلية والأداة المستخدمة في التحليل (برنامج حاسب آلي).

٥ /١ وصف المبنى (Building Description)

تم اختيار أجنحة الاقامة عبارة عن ممر مركزى وهى محور الدراسة وتقع على المحور الشمالى الجنوبى (**شكل (١)**شكل (١)). تقع غرف الاقامة المختارة بداية من الطابق ٣ حتى ٩ وتتكون الغرفة من سريرين وحمام وتبلغ مساحة الغرفة 27,6م٢ وتقع فى اقليم القاهرة. تتبع نهج التهوية من جانب واحد وهنا تأتى صعوبة تطبيق تقنيات التهوية الطبيعية بسبب الخوف من أنتقال العدوى من جناح إلى أخر. المبني متعدد الأدوار.

شكل (١) المسقط الأفقي للغرف محل الدراسة



المصدر: الباحثان

٥ /٢ المنهجية

تعتمد الدراسة على الوصول إلى معدلات التهوية الطبيعية لمكافحة العدوى دون التاثير على قدرة المبنى على مكافحة نقل العدوى باستخدام تقنيات التهوية الطبيعية بتطبيق فكرة استخدام Duct وتحديد القيم المناسبة لهذة التقنيات عن طريق استخدام برنامج ANSYS Fluent، و مقارنة تلك القيم بقيم التهوية الطبيعية قبل استخدام تلك التقنية.

٥/ ٢/ ١ دراسة قيم الراحة الحرارية لمدينة حالة الدراسة (القاهرة)

عند دراسة قيم الراحة الحرارية لـ (درجات الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح) نلاحظ بأن هناك بعض الفترات فى العام تكون هذه القيم فيها خارج حدود الراحة الحرارية ولذلك يجب أن تكون هناك احتياطات لذلك عن طريق استخدام التهوية المختلطة فى تلك الفترات من العام.

شكل (٢) دراسة قيم الراحة الحرارية لمدينة حالة الدراسة

7. NATURAL VENTILATION COOLING ZONE:

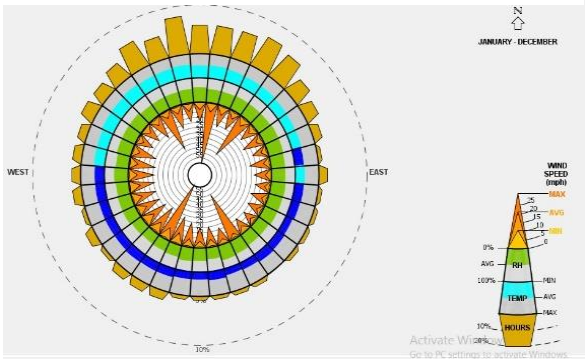
2.0	Terrain Category to modify Wind Speed (2=suburban)
40.0	Min. Indoor Velocity to Effect Indoor Comfort (fpm)
1.5	Max. Comfortable Velocity (per ASHRAE Std. 55) (m/s)
3.6	Max. Perceived Temperature Reduction (°C)
90.0	Max. Relative Humidity (%)
22.8	Max. Wet Bulb Temperature (°C)

المصدر: Climate Consultant 5.2

٥/ ٢/ ٢ دراسة قيم الراحة الحرارية لمدينة حالة الدراسة (القاهرة)

نلاحظ بأن أغلب اتجاهات الرياح ما بين شمالية شرقية وشمالية غربية وتنخفض سرعة الرياح فى شهرى يوليو وأغسطس.

شكل (٣) وردة الرياح على مدار العام



المصدر: Climate Consultant 5.2

٥/ ٢/ ٣ تحديد المتغيرات

تم تحديد المتغيرات كالآتى للوصول للقيمة المثالية :

١. شكل Duct :

- شكل مربع
- شكل مستطيل
- شكل مثلث

٢. مساحة Duct :

- (١,٢م*١,٢م)
- (٠,٦م*٠,٦م)
- (٠,٣م*٠,٣م)

٣. دراسة تاثير ارتفاع درجة الحرارة :

- دراسة Duct فى الحالة العادية
- دراسة Duct فى حالة ارتفاع درجة الحرارة 50 درجة سيليزية.

٤. دراسة تاثير ارتفاع درجة الحرارة :

- تغيير مساحة نافذة من ١,٢*١,٥م إلى ٣*١,٢م .
- تغيير ارتفاع المنور الداخلى (Duct) من ٢م -٥م.

٥. دراسة تاثير ارتفاع درجة الحرارة :

- دراسة مساحة النافذة الداخلية للمنور (Duct) عندما تكون ٣٠*٣٠سم .
- دراسة مساحة النافذة الداخلية للمنور (Duct) عندما تكون ٨٠ * ٨٠ سم .

٥ /٣ أسباب إختيار برنامج فلوينت انسيز (Ansys):

برنامج ANSYS يوفر الحلول للعديد من المشاكل التي نواجهنا أثناء عملية التصميم. تم اختيار استخدام البرنامج للأسباب الآتية:

- يستخدم البرنامج فكرة نفق الرياح (Wind Tunnel) فى حساباتة ، وهى فكرة عالمية ووسيلة لإجراء التجارب والأبحاث التي تدرس تأثير حركة الهواء على الأجسام و المبانى، يُستخدم لدراسة تأثيرات الريح، أو انسياب الهواء على الطائرات والمركبات والبِنيات الأخرى .
- يستخدم لتحديد حركة التهوية الطبيعية والهواء داخل المبنى.
- يحتوى البرنامج على العديد من النماذج الفيزيائية المختلفة التى تمكنه من حل عدد كبير جداً من المسائل التى تتراوح من السريان اللانضغاطى إلى مسائل الاحتراق المضطرب غير المستقر (عبد العال ،٢٠١٣).

٦ تطبيق تقنيات التهوية الطبيعية باستخدام ديناميكا الموائع على حالة الدارسة

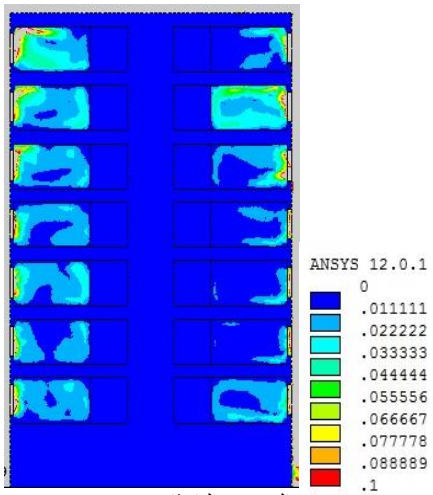
فى هذا الجزء سوف نستكشف بدائل لتصميم انظمة تهوية طبيعية باستخدام المحاكاة.

٦ /١ اختبار الوضع القائم

فى هذا الجزء تم دراسة الوضع القائم وهو حساب سرعة الهواء عن طريق التهوية من شباك الغرفة بابعاد ١٦٠* ١٨٠سم , وكانت نتائج المحاكاة كالتالى (**شكل (٤)**):

- فى الجزء الشمالى : كانت اعلى سرعة للهواء فى الدور الاخير حيث بلغت بجوار النافذة اكبر من ٠,١م/ث وتنخفض بالبعد عن النافذة وكذلك كلما انخفضنا فى الارتفاع عن سطح الارض وتعتبر سرعة منخفضة .
- اما الجزء الجنوبى : فان سرعة الهواء كانت أقل من الجزء الشمالى وتراوح بين ٠,٠١١ -٠,٠٦٦٦٧ م/ث.

شكل (٤) التهوية من الشباك فقط



المصدر: الباحثان

٦ /٢ التهوية من الشباك مع فتح باب الغرفة

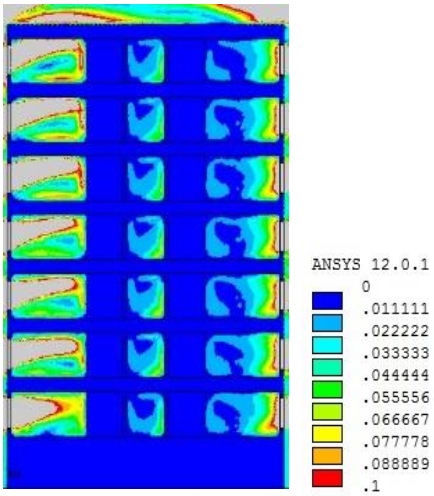
فى هذة الحالة تم دراسة تاثير فتح الباب (١٢٠*٢٢٠سم) على معدل سرعة الهواء فى المبنى بالنسبة للجزء الشمالى والجنوبى للمبنى (**شكل (٥)**):

- بالنسبة للجزء الشمالى : ارتفعت سرعة الهواء الى اكبر من ٢م/ث مع انتشار افضل للهواء.
- اما الجزء الجنوبى فان سرعة الهواء تتراوح بين ٠,٢٢٢-١,٥٥٦م/ث وبالتالى فانها افضل من الحالة في **شكل (٤)**.

يلاحظ أنه فى حالة التهوية من الشباك مع فتح الباب فان هذا المبدأ لا يوصى به لاعتبارات خاصة بنقل العدوى واحترام خصوصية المريض.

ولذلك فاننا فى امس الحاجة الى البحث عن بدائل تعمل على احداث فروق فى الضغوط مما يؤدى الى ارتفاع معدلات التهوية مع رفع قدرة المبنى على منع انتقال العدوى بين الجناحين (الشمالى والجنوبى) وهى استخدام Duct يعمل على تحقيق الشروط السابقة وسوف نقوم باختبار ذلك.

شكل (٥) التهوية من الشباك مع فتح باب الغرفة



المصدر: الباحثان

٧ المعايير التصميمية لـ Duct

يستعرض هذا الجزء من البحث أهم المعايير التصميمية التي تم اعتمادها لـ Duct وذلك من حيث الشكل والمساحة والحرارة والفتحات والتوجيه.

٧ /١ الشكل

للتعرف على شكل الDuct الذى يساعد على زيادة سرعة الهواء ، تم اختبار ثلاثة اشكال رئيسية وهما (المثلث، المربع، المستطيل) وجميعهم بنفس المساحة وهى ١,٤٤م٢ وتمثل ٥-٦٪ من مساحة الغرفة للمحافظة على شكل تصميم الغرفة بحيث تناسب المبانى القائمة فى حالة تطبيقها عليها وللاختيار الافضل من هذة الاشكال من حيث سرعة وانتشار الهواء تم اختبار الاتى:

- Duct على شكل مربع:

تم عمل منور داخلى (Duct) على شكل مربع (**شكل (٦)** وكان لة تاثير على سرعة الهواء وكذلك أدى إلى حدوث أنتظام لحركة الهواء وأنتشار أفضل، وارتفعت سرعة الهواء عن **شكل (٤)** واصبحت تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ٠,٨٨٨م/ث، اما الجنوبى فتتراوح بين ٠,١١١- ٠,٤٤٤م/ث.

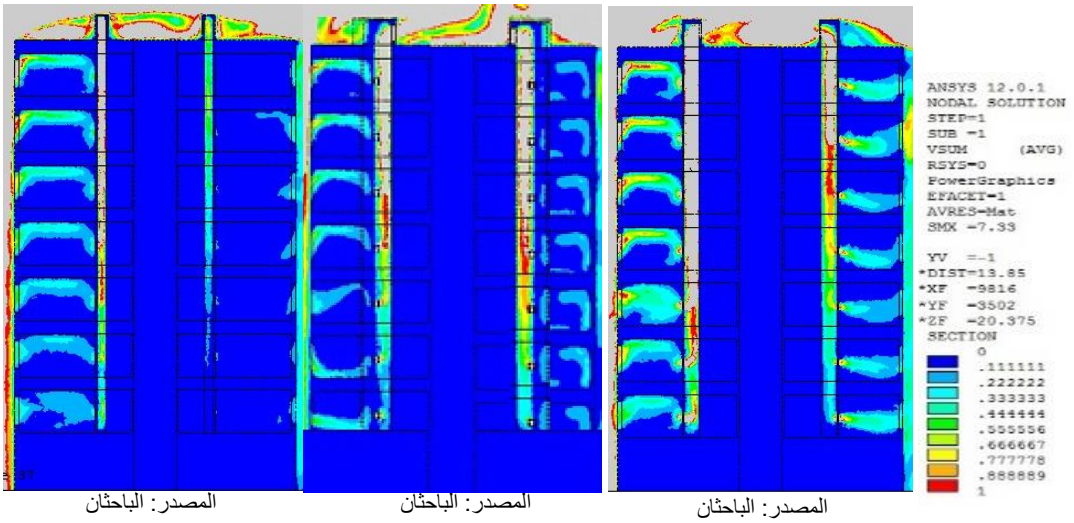
- Duct على شكل مستطيل:

إضافة منور داخلى (Duct) على شكل مستطيل (**شكل (٦)**) جيد معمارياً لانة يتناسب مع شكل تصميم الغرفة و تتراوح سرعة الهواء بداخلة للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ٠,٥٥٥م/ث, اما الجنوبى بين ٠,١١١- ٠,٢٢٢م/ث وهى اقل من (**شكل (٦)**) وذلك بسبب حدوث Turbulence تيارات دوامية مما يقلل من سرعة الهواء داخل الفراغ بسبب صغر مقطع المستطيل.

- Duct على شكل مثلث:

أرتفعت سرعة الهواء بعد عمل المنور الداخلى (Duct) على شكل مثلث ، واصبحت تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ٠,٤٤٤م/ث, اما الجنوبى فتتراوح من ٠,١١١- ٠,٣٣٣م/ث حيث عمل Duct على وجود مخرج للهواء الساخن وكذلك عمل على احداث فروق ضغوط بين اماكن دخول وخروج الهواء ولكن تسبب الشكل المثلث لل Duct فى وجود خلخلة فى حركة الهواء مما يقلل من حجم الهواء المتوقع نسبيا (**شكل (٧)**).

شكل (٦) Ductعلى شكل مربع **شكل (٧)** Ductعلى شكل مثلث **شكل (٨)** Ductعلى شكل مستطيل



المصدر: الباحثان المصدر: الباحثان المصدر: الباحثان

الحالة الأولى (**شكل (٨)**) تعتبر هى الافضل مقارنة بالحالات **شكل (٦)** و**شكل (٧)**.

٧ /٢ المساحة

فى هذه المرحلة سوف يتم دراسة تأثير مساحة Duct على سرعة الرياح بابعاد (١,٢*١,٢م) ، (٠,٦*٠,٦م) ، (٠,٣*٠,٣م) وبارتفاع ٢م فوق سطح المبنى بحيث تكون اكبر مساحة هى ١,٤٤م٢ (حتى لا تؤثر على تصميم الغرفة).

- مساحة المنور (١,٢*١,٢م):

كانت حركة الهواء جيدة فى الأدوار المرتفعة لقربها من الفتحة العلوية للمنور الداخلى ، وتنخفض كلما اتجهنا إلى أسفل ، واصبحت تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ٠,٨٨٨م/ث،اما الجنوبى بين ٠,١١١- ٠,٤٤٤م/ث (**Error! Reference source not found.**).

- مساحة المنور (٠,٦*٠,٦م) :

سرعة الهواء كانت أعلى فى الأدوار الاخيرة وتنخفض كلما اتجهنا إلى أسفل و تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ٠,٥٥٥م/ث ، اما الجنوبى بين ٠,١١١- ٠,٢٢٢م/ث،(**شكل (٩)**).

- مساحة المنور (0.3*0.3م) :

سرعة الرياح ليست منتظمة بالنسبة لهذة المساحة فى جميع الأدوار ،حيث تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ٠,٣٣٣م/ث ، وتنخفض فى الجزء الجنوبى وتتراوح بين ٠,١١١- ٠,٥٥٥م/ث ،(**شكل (١٠)**).

يتضح من الشكل أن:

سرعة الهواء أعلى فى الأدوار الاولى والاخيرة للإقامة مقارنة بالادوار المتوسطة ويمكن تفسير حيث كلما تنخفض مساحة المنور يؤدى ذلك إلى وجود دوامات هوائية تنخفض كلما اتجهنا للأسفل وبالتالى تدخل كمية هواء أكبر فى الأدوار الاولى بعكس الادوار الاخيرة للاقامة.

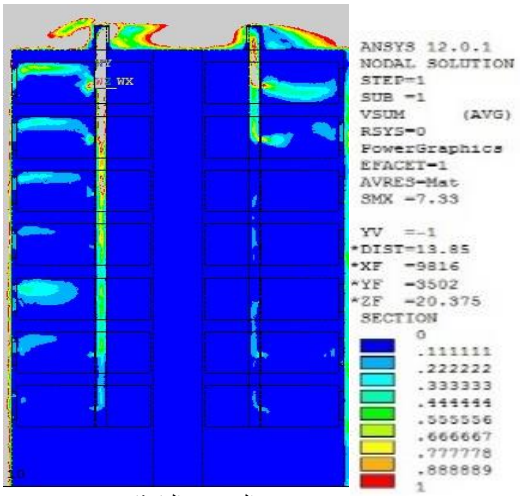
كما انه عندما تنخفض مساحة المنور الداخلى يؤثر ذلك على حركة الهواء حيث نجد أن سرعة الرياح تصبح اقل فى جميع الأدوار.

الحالة الأولى (**شكل (٦)**) تعتبر مقبولة مع انتشار هواء جيد ولكننا بحاجة إلى أفكار تساعد على زيادة معدل التهوية داخل المبنى.

٧ /٣ الحرارة

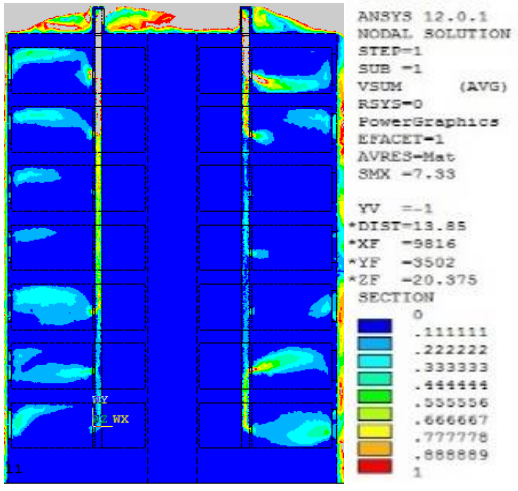
الحرارة تعتبر من العناصر المهمة والتى يجب دراستها وفى هذة الحالة هى خاصة بدراسة ارتفاع درجة حرارة الجزء البارز من Duct فوق سطح المبنى ، حيث سوف يتم المقارنة بين معدل سرعة الهواء فى حالة المنور الداخلى (Duct) فى الحالة العادية وفى حالة أرتفاع درجة حرارة الجزء البارز منة فوق سطح المبنى مع العلم بانة سوف ترتفع درجة حرارة الجزء البارز من Duct الى 50 درجة سيليزية.

شكل (٩) Duct بمساحة (٠,٦*٠,٦م)



المصدر: الباحثان

شكل (١٠) Duct بمساحة (٠,٣*٠,٣م)

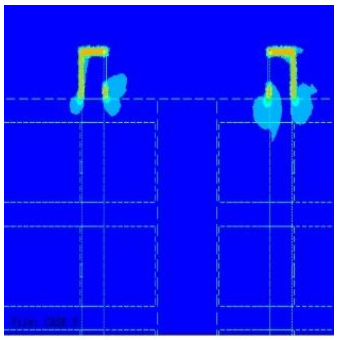


المصدر: الباحثان

- اولاً المنور داخلى (Duct) فى الحالة العادية :

تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ٠,٨٨٨م/ث ، اما الجنوبى بين ٠,١١١- ٠,٤٤٤م/ث(**شكل (٦)**).

شكل (١١) قطاع يوضح الاجزاء التى تم تسخينها من Duct



المصدر: الباحثان

- ثانياً المنور داخلى (Duct) فى حالة ارتفاع درجة حرارة الجزء البارز:

فى هذه الحالة قمنا بتسخين الجزء البارز من المنور الداخلى (**شكل (١١)**) وذلك لكى نشاهد تأثير أرتفاع درجة حرارة الحوائط البارزة من المنور على معدل سرعة الهواء وانتشار الهواء ،وارتفعت سرعة الهواء واصبحت تتراوح للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ١م/ث ، اما الجنوبى بين ٠,١١١- ٠,٧٧٧م/ث(**شكل (١٢)**).

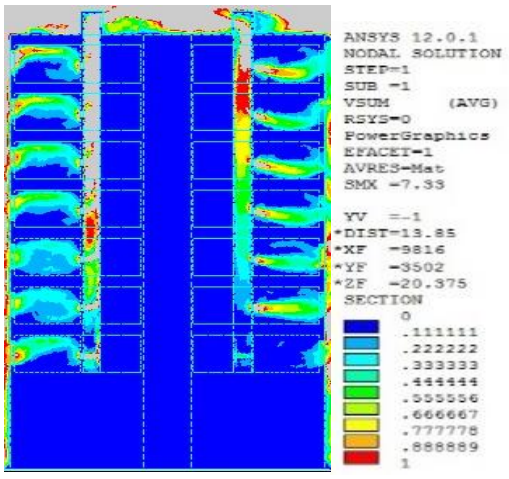
- فى الجزء الشمالى : حركة الهواء جيدة فى الأدوار المرتفعة وتنخفض سرعة الرياح كلما اتجهنا إلى أسفل وذلك لبعدهم عن الفتحة العلوية للمنور الداخلى (**شكل (١٢)**).

- اما الجزء الجنوبى نلاحظ بأن الدور الأول للإقامة أنخفضت فية سرعة الرياح وذلك لأن أرتفاع درجة الحرارة تؤثر على سرعة الهواء وتعمل على إضعافها كلما اتجهنا إلى اسفل وبالتالى تنخفض كمية الرياح التى تذهب الى الادوار البعيدة عن الفتحة العلوية للمنور الداخلى ، أما الأدوار العليا فى حالة التسخين تكون أعلى من حيث سرعة الهواء وذلك بسبب قربهما من الفتحة العليا والحوائط البارزة للمنور الداخلى ذات فروق الضغوط المرتفعة (**شكل (١٢)**).

٤/٧ تأثير تغيير مساحة الفتحة العلوية للمنور الداخلي (Duct) وارتفاعه عن سطح المبنى على معدل سرعة الهواء

فى هذه المرحلة سوف يتم المقارنة بين معدل سريان الرياح فى حالة تغيير مساحة فتحة المنور الداخلى (Duct) ، على الجزء الشمالى والجنوبى من ١,٢*١,٥م إلى ١,٢*٣م ، و تغيير ارتفاع المنور الداخلى (Duct) من ٢م -٥م ، (**شكل (١٣)**).

شكل (١٢) منور داخلى (Duct) فى حالة ارتفاع درجة حرارة الجزء البارز



المصدر: الباحثان

- اصبحت تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ١م/ث , اما الجنوبى بين ٠,١١١- ٠,٦٦٦م/ث ، وبالتالى هى افضل من الحالة فى (**شكل (٦)**).

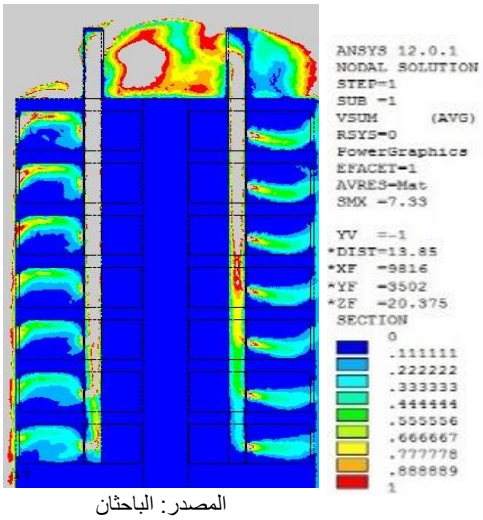
- ملاحظة : هناك مشكلة احدثها هذا التغيير وهى السماح بانتقال الهواء بين الفتحتين العلويتين للمنور الداخلى (Duct) مما يؤدى يسمح بانتقال العدوى بين جناحين الاقامة المتقابليين.

٧/٥ توجيه الفتحة العلوية ل Duct وتاثيرها على سرعة الهواء

المشكلة التى تواجهنا هى احتمال انتقال العدوى بين فتحتى Duct العلويتين المتقابلتين ولذلك سوف يتم تغيير اتجاة الفتحة العلوية للجزء الشمالى وذلك لانة يعتمد عليها فى خروج الهواء بعكس الجزء الجنوبى الذى يستخدمها فى دخول الهواء ولذلك سوف يتم تغيير اتجاة الفتحة العلوية للجزء الشمالى فقط.

- تغيير اتجاة الفتحة العلوية الخاصة ب Duct للجزء الشمالى باتجاة الشمال :

شكل (١٣) تغيير مساحة الفتحة العلوية للمنور داخلي (Duct) وكذلك ارتفاعه



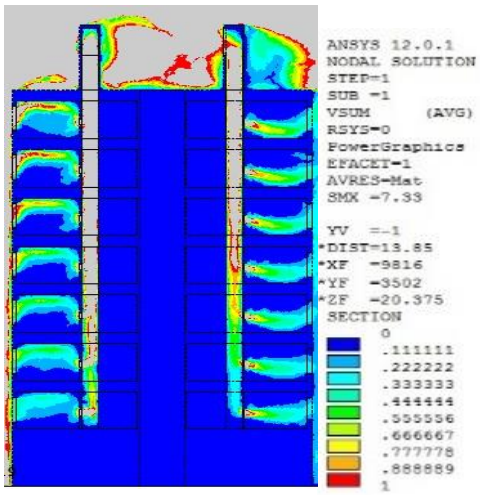
المصدر: الباحثان

بحيث يكون اتجاه فتحة المنور الشمالى فى الناحية الشمالية ، اما اتجاه فتحة المنور الجنوبى فى الناحية الشمالية كما هى لتفادى انتقال العدوى بينهما (ياخذوا نفس التوجية) ، فى الجزء الشمالى إنخفضت سرعة الهواء وذلك لان فرق الضغط اصبح اقل بين فتحتى دخول وخروج الهواء واصبحت تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ٠,٧٧٧م/ث. سرعة الهواء اصبحت اقل من الحالة السابقة في **شكل (١٣)** ولكنها افضل من حيث القدرة على عدم نقل العدوى بين الجانبين (**شكل (١٥)**).

ملاحظة : فى الجزء الشمالى الغرف تعتمد على دخول الهواء من النوافذ وخروجه من الفتحة العلوية للمنور الداخلى (Duct) وذلك عن طريق الاعتماد على فروق الضغوط بين فتحتى دخول وخروج الهواء بعكس الجزء الجنوبى.

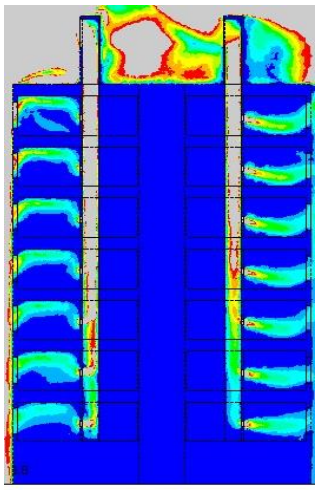
- تغيير اتجاة الفتحة العلوية الخاصة ب Duct للجزء الشمالى باتجاة الشرق :

شكل (١٤) تغيير اتجاه الفتحة العلوية للجزء الشمالي من(Duct) باتجاه الشرق



المصدر: الباحثان

شكل (١٥) تغيير اتجاه الفتحة العلوية للجزء الشمالي من (Duct) باتجاه الشمال



المصدر: الباحثان

تم تغيير أتجاة الفتحة العلوية للمنور الداخلى الخاص بالجزء الشمالى لتكون فى أتجاه الشرق أدى ذلك لوجود فروق فى الضغوط بشكل افضل من الحالة السابقة فى (**شكل (١٤)**) وازدادت سرعة الرياح واصبحت تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ٠,٩٩٩م/ث ، كما ان سرعة الهواء فى الجانب الجنوبى تاثرت (**شكل (١٤)**).

ملاحظة : تغيير أتجاه الفتحة أثر على سرعة الرياح وتوزيعة. كلما كان أتجاه فتحات تصريف الهواء عكس اتجاه فتحات دخول الهواء أدى ذلك إلى وجود فروق فى الضغوط وبالتالى زيادة سرعة الرياح.

٧/٦ دراسة تأثير تغيير مساحة شباك الداخلي (Duct) على معدل سرعة الهواء

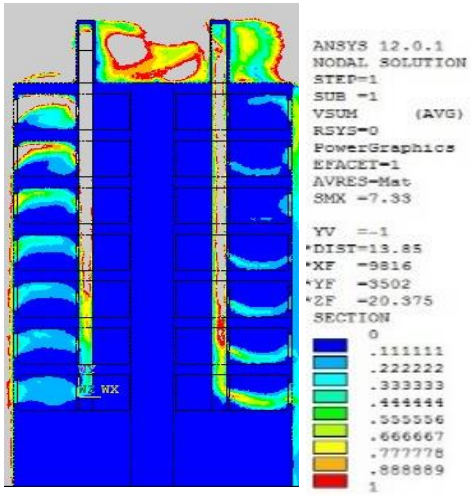
سوف يتم المقارنة بين تغيير مساحة الفتحة الداخلية للمنور (Duct) من٣٠*٣٠سم إلى ٨٠* ٨٠ سم لدراسة أثر ذلك على سرعة الهواء عن طريق الاتى:

- مساحة الفتحة الداخلية للمنور (Duct) ٠,٣٠*٠,٣٠سم: تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – ٠,٩٩٩م/ث , اما الجزء الجنوبى بين ٠,١١١- ٠.٥٥٥م/ث (**شكل (١٥)**).

- مساحة الفتحة الداخلية للمنور (Duct) ٠,٨٠ *٨٠ سم: تتراوح سرعة الهواء للجزء الشمالى بين ٠,١١١ – >١م/ث حيث تكون اعلى سرعة فى الادوار الاخيرة للاقامة ، اما الجزء الجنوبى بين٠,١١١-٠,٣٣٣م/ث (**شكل (١٦)**).

فى الجزء الجنوبى: عكس الواجهة الشمالية حيث تبلغ أقصى مدى لسرعة الهواء فى الأدوار الاولى للإقامة وتنخفض كلما اتجهنا للأعلى وذلك بسبب حدوث turbulences. حيث تكون سرعة الهواء فى الدور الاخير للاقامة اقل من ٠,٢٢٢م/ث , اما الدور الادوار الاولى للاقامة فسرعة الهواء تكون اقل ٠,٦٦٦ م/ث. يعطى ذلك مؤشر هام لتاثير مساحة الفتحة الداخلية للمنور (Duct) وان تاثيرها يختلف طبقاً لموضعها فى الجزء الشمالى او الجنوبى للمبنى.

شكل (١٦) مساحة الفتحة الداخلية للمنور(Duct) ٨٠* ٨٠ سم



المصدر: الباحثان

٨ مناقشة النتائج

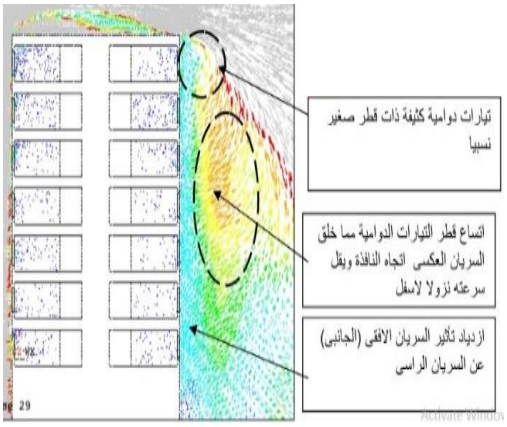
٨ /١ تحليل نتائج الوضع الراهن

في **شكل (١)** تم دراسة الوضع الراهن للمبنى محل الدراسة حيث تم قياس سرعة الهواء من شباك الغرفة بابعاد ١٦٠* ١٨٠سم حيث كانت النتائج كالتالى :

- فى الجزء الشمالى: كانت سرعة الهواء فى الجزء الشمالى أقل من ٠,١ م/ث وهى سرعة منخفضة بسبب عدم وجود مخرج للهواء الساخن وبالتالى يتولد فروق ضغوط مما يعمل على زيادة سرعة الهواء داخل الفراغ .

- فى الجزء الجنوبى: كانت سرعة الهواء اقل من الجزء الشمالى بسبب تولد تيارات دوامية فى المنطقة الخلفية للمبنى نتيجة للانفصال سريان الهواء عن المنطقة الأمامية أولاً ثم المنطقة الخلفية عند الطابق الاخير مع وجود تيارات دوامية لحركة الهواء مواجهة لفتحة المبنى مما يؤدى إلى تشتت سريان الهواء وإنخفاض دخول الهواء من خلال نافذة الطابق السادس و إنخفاض تأثير التيارات الدوامية وتوجيه السريان العكسى نحو النافذة فى الطابق رقم ٣-٤-٥ (للاقامة) كما ان سريان الهواء العكسى نحو نافذة أقل من الدور السادس نتيجة أزدياد قطر السريان المعكوس الناتج من التيارات الدوامية ، اما الدور الاول والثانى (للاقامة) حدث ازدياد سريان الهواء العكسى مقارنة بالدور ٣-٤-٥ (للاقامة) نتيجة زيادة تأثير التيارات الدوامية نتيجة سريان الهواء على جانبى المبنى عن التيارات الدوامية الراسية (تأثير السريان الجانبى أعلى من السريان الرأسى) (**شكل (١٧)**).

شكل (١٧) قطاع لتفسير انخفاض سرعة الرياح في الجزء الجنوبي



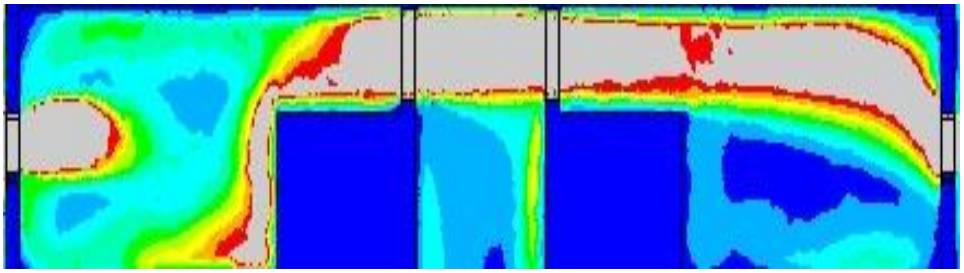
المصدر: الباحثان

٨ /٢ محاولة التهوية بفتح الابواب والنوافذ معاً

عند فتح باب الغرفة في **شكل (٥)** ارتفعت سرعة الهواء وكانت فى الجزء الشمالى اكبر من ٢م/ث ، اما الجنوبى فاصبحت تتراوح بين ٠,٢٢٢-١,٥٥٦م/ث وذلك بسبب حدوث فروق ضغوط كبير مما يؤثر بالايجاب على سرعة الهواء.

العوائق : فى حالة التهوية من الشباك مع فتح الباب هذا المبدأ لا يوصى به حيث يعمل على نقل العدوى من جناح المنبع (الشمالى) إلى جناح المصب (الجنوبى) فى الجهة الاخرمما يؤدى إلى زيادة فى حالات انتقال العدوى من جناح إلى الاخر وأيضاً من الجناح إلى الممر وعدم احترام خصوصية المريض (**شكل (١٨)**).

شكل (١٨) مسقط أفقي للدور الاخير يوضح كيفية انتقال الهواء من الجناح الشمالي الى الجنوبي وبالتالي زيادة احتمالية انتقال العدوى



المصدر: الباحثان

٨ /٣ استخدام فكرة التقنيات السلبية للتهوية الطبيعية (Duct)

تم استخدم فكرة التقنيات السلبية للتهوية الطبيعة للتغلب على انتقال العدوى من الجزء الشمالى الى الجنوبى وتم استخدام Duct بحث يعمل على زيادة سرعة الهواء داخل الفراغ وكذلك لا ياخذ حيز كبير من فراغ غرفة اقامة المرضى حتى لا يتحول الى عبء على تصميم الغرفة.

٨/ ٣/ ١ الشكل Form

تم استخدام الاشكال الاساسية مثل مربع ومستطيل ومثلث مع الاحتفاظ بنفس المساحة لجميع الاشكال وهى تمثل من ٥-٦٪ من مساحة الغرفة (تم مراعاة الا تاخذ حيز كبير من مساحة الغرفة) وكانت نتائج فى جدول ١ كالتالى:

جدول (١) يوضح مقارنة بين معدلات التهوية المختلفة للأشكال (Duct)

	مربع	مستطيل	مثلث
سرعة الهواء فى الجزء الشمالى	٠,١١١ – ٠,٨٨٨م/ث	٠,١١١ – ٠,٥٥٥م/ث	٠,١١١ – ٠,٤٤٤م/ث
سرعة الهواء فى الجزء الجنوبى	-٠,١١١ ٠,٤٤٤م/ث.	-٠,١١١ ٠,٢٢٢م/ث	-٠,١١١ ٠,٣٣٣م/ث

المصدر: الباحثان

فائدة (Duct) : بوجود منور داخلى (Duct) سمح ذلك فى الجزء الشمالى بخروج الهواء الساخن منه وفى الجزء الجنوبى بالتقاط الهواء البارد المار فوق سطح المبنى و خروج الهواء الساخن من الشباك مما أدى لوجود فروق للضغوط وبالتالى زادت سرعة الهواء ((**شكل (٦)** و**شكل (٧)** و**شكل (٨)**).

من جدول ١: نلاحظ بان افضل معدلات تهوية كانت فى وجود Duct مربع وذلك بسبب ان المنورالداخلى (Duct) المنتظم الاضلاع (المربع) يحدث أنتظام لحركة الهواء وعدم وجود خلخلة ولا توجد معوقات لحركة الهواء مما يؤدى إلى زيادة فى حركة الهواء وانتشار جيد وهو أفضل من المنور الغير منتظم الأضلاع. اما Duct المستطيل إنخفضت فية سرعة الهواء مع عدم سريان الهواء داخل بداخلة بشكل جيد حيث أن عرض مقطع Duct للشكل المستطيل صغير نسبيا بالمقارنة بباقى الحالات وبالتالى ينخفض تأثيرDuct على حركة الهواء داخل الأدوار عامة وبالتالى يكون المتحكم الرئيسى لسريان الهواء داخل الحجرات هو السريان الخارجى الراسى والافقى (**شكل (١٩)**). اما المنور الداخلى (Duct) المثلث نتيجة لشكلة الهندسى فقد أدى الى وجود خلخلة فى حركة الهواء مما يقلل من حجم الهواء بداخلة ويمكن ملاحظة ذلك فى **شكل (٧)** خاصة فى الجزء الجنوبى.

ملاحظة على حركة الرياح في الاشكال الهندسية لل Duct: نلاحظ بان حركة الرياح فى الجزء الشمالي للاشكال السابقة ((**شكل (٦)** و**شكل (٧)** و**شكل (٨)**) حركة شبة دائرية وذلك لتولد تيارات دوامية دائرية عند حافة المبنى إتجاهها عكس عقارب الساعة.

شكل (١٩) مسقط أفقي يوضح سريان الهواء خارج المبنى وداخل Duct المستطيل في الجزء الجنوبي

المصدر: الباحثان

٨/ ٣/ ٢ المساحة

بعد اختيار شكل Duct المربع تم دراسة تاثير مساحة الشكل على سرعة الهواء داخل الفراغ وكانت المساحات المقترحة كالتالى (١,٢*١,٢م) – (٠,٦*٠,٦م) – (٠,٣*٠,٣م) وبارتفاع ٢م فوق سطح المبنى:

كانت افضل سرعة للهواء فى حالة المساحة الاكبر وهى (١,٢*١,٢م) شكل ٦، اما بالنسبة للمساحة (٠,٦*٠,٦م) فان سرعة الهواء أعلى فى الأدوار الاخيرة وتنخفض كلما اتجهنا إلى أسفل مع انتشار غير جيد للهواء وذلك بسبب صغر حجم المنور الداخلى أدى ذلك الى انخفاض سرعة الهواء كلما اتجاهنا إلى أسفل حيث كلما صغرت مساحة المنور انخفضت كمية الهواء بداخل الغرف (**شكل (٩)**)، واخيراً مساحة (٠,٣*٠,٣م) كانت سرعة الهواء غير منتظمة حيث ان أعلى سرعة للهواء فى الأدوار الاولى والاخيرة للإقامة تكون اعلى من الادوارالمتوسطة وذلك بسبب وجود دوامات هوائية تنخفض كلما اتجهنا للأسفل وبالتالى تدخل كمية هواء أكبر فى الأدوار الاولى بعكس الادوار الاخيرة للاقامة وتلك الدومات ناتجة عن صغر مساحة المنور بشكل كبير (مساحة هذا المنور اقل مساحة) (**شكل (١٠)**).

٨/ ٣/ ٣ الحرارة

يرتفع Duct فوق سطح المبنى ٢م ويتاثر بارتفاع درجات الحرارة وبذلك فان الجزء الظاهر فوق سطح المبنى لة تاثير على سرعة الهواء داخل الفراغات خاصة عندما يتم تسخينة بواسطة اشعة الشمس ويوضح (**شكل (١٢)**) الجزء الذى تم تسخينة ، حيث تم تسخين الجزء البارز من Duct و ارتفعت درجة حرارتة الى 50 درجة سيليزية وتم مقارنة ذلك بالحالة العادية (**شكل (٦)**) ، حيث بارتفاع درجة الحرارة كانت حركة الهواء جيدة فى الأدوار المرتفعة و تنخفض كلما اتجهنا إلى أسفل (**شكل (١٣)**) ، وذلك لبعدهم عن الفتحة العليا للمنور الداخلى حيث يكون تاثيرالحرارة اقل، وذلك لأن أرتفاع درجة الحرارة تؤثر على سرعة الهواء وتعمل على إضعافها كلما اتجهنا إلى اسفل وبالتالى تنخفض كمية الهواء التى تذهب الى الادوار المنخفضة ، أما الأدوار العليا فى حالة التسخين فتكون أعلى من حيث سرعة الهواء وذلك بسبب قربهما من الفتحة العليا والحوائط البارزة للمنور الداخلى ذات فروق الضغوط المرتفعة ، أبسط طريقة لزيادة سرعة الهواء هو دهنها باللّون الأسود لزيادة إمتصاص الأشعة الشمسيّة ويمكن تحسين فعاليّتها عن طريق إضافة مجمّع للأشعة الشمسيّة.

٨/ ٣/ ٤ ارتفاع (Duct) فوق سطح المبنى

تم تغيير ارتفاع Duct فوق سطح المبنى وكذلك مساحة الفتحة العلوية لة وتم دراسة تاثير ذلك على سرعة الهواء (**شكل (١٤)**) حيث ارتفعت سرعة الهواء بتغيير مساحة فتحة Duct وكذلك ارتفاعة عن سطح المبنى ، فى الجزء الشمالى ارتفعت بالمقارنة ب (**شكل (٦)**) حيث كانت كمية الهواء الخارجة من الفتحة العلوية ل Duct اكبر وبالتالى زادت سرعة الرياح التى تدخل الغرفة بسبب فروق الضغوط .

اما الجزء الجنوبى فانة يعتمد على التهوية من المنور الداخلى (Duct) وخروج الهواء من الشباك عكس الجزء الشمالى وبالتالى فمع أزدياد مساحة الفتحة العلوية للمنور الداخلى (Duct) ازدات سرعة وحجم الهواء بداخلة. وتعتبر الأدوار العليا هى أكثر الأدوار استفادة حيث ارتفعت سرعة الهواء بها بشكل ملحوظ بينما تنخفض سرعة الهواء فى الأدوار الاولى للإقامة وذلك بسبب أن سرعة االهواء تنخفض داخل المنور الداخلى (Duct)عندما تصل إلى الأدوار الاولى ، وبالتالى فانة كلما ازدادت مساحة الفتحة العلوية زادت معدلات التهوية كما انة بارتفع Duct عن سطح المبنى زاد ذلك من قدرتة على التقاط الهواء البارد وكذلك التعرض للشمس وبالتالى اختلاف الضغوط بين فتحتى دخول وخروج الهواء يكون اكبر.

٨/ ٣/ ٥ تغيير توجية الفتحة العلوية ل Duct وتأثيرها على سرعة الهواء

كان الهدف الرئيسى لوجود Duct هو زيادة سرعة الهواء وكذلك عدم نقل عدوى بين الجناحين المتقابلين فى المبنى وبالتالى فان هناك احتمال لانتقال العدوى بين الفتحتين العلويتين للمبنى خاصة وانهما متقابلتين كما في (**شكل (١٣)**)، ولكن اى من الفتحيتين سوف يتم تغير اتجاهها كان اختيارنا للجزء الشمالى خاصة وانة يعتمد على Duct لخروج الهواء الساخن بعكس الجزء الجنوبى والذى يعتمد علية فى التقاط الهواء المار فوق المبنى وكما فى الشكلين: **شكل (١٤)** و**شكل (١٥)** حيث تم تغيير اتجاة الفتحة العلوية من الجنوب الى الشمال والشرق على التوالى للجزء الشمالى.

الحالة التى يكون فيها اتجاه فتحة المنور الجنوبى العلوية فى الناحية الشمالية و اتجاه فتحة المنور الشمالى العلوية فى الناحية الشرقية هى الأفضل من حيث سرعة الهواء لان فروق الضغوط اكبر بين فتحتى دخول وخروج الهواء وهو مالم يتحقق فى اتجاه فتحة المنور الشمالى العلوية فى الناحية الشمالية (**شكل (١٥)**).

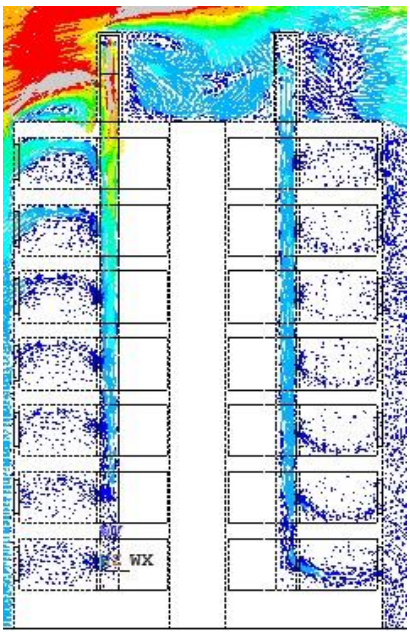
تغيير اتجاه الفتحة الخاصة بالمنور الداخلى فى الجزء الشمالى من الشمال إلى الشرق أثر كذلك فى الناحية الجنوبية من حيث توزيع الرياح ولكنة تأثير بسيط و أدى إلى نتائج أفضل على مستوى سرعة الرياح وذلك لان كمية الهواء التى دخل إلى المنور (Duct) فى الناحية الجنوبية أصبحت أكبر.

٨/ ٣/ ٦ دراسة تأثير تغيير مساحة الشباك الداخلي (Duct) على معدل سرعة الهواء

- مساحة الفتحة الداخلية للمنور (Duct) ٣٠* ٣٠ سم (**شكل (١٠)**):

تم تغيير المساحة من٣٠*٣٠سم إلى ٨٠* ٨٠ سم (**شكل (١٦)**)، وأثر ذلك على سرعة الهواء حيث فى حالة مساحة الفتحة الداخلية للمنور ٣٠*٣٠سم (**شكل (١٠)**) كان هناك وجود أنتظام فى حركة الهواء وسرعتة بين الأدوار المختلفة بالنسبة للواجهة الجنوبية والشمالية، أدت إلى الحفاظ على فروق الضغوط بين فتحات دخول وخروج الهواء مما أدى إلى الحفاظ على معدل منتظم لسرعة الرياح بين الأدوار . تبلغ سرعة الرياح أعلى معدل لها فى الأدوار العليا للإقامة وذلك فى الجزء الشمالى والجنوبى . أقل معدل لسرعة الرياح يكون فى الأدوار الاولى للإقامة .

شكل (٢٠) قطاع يوضح تدفق الرياح داخل الفراغات واتجاه التيارات الدوامية في الجزء الجنوبي



- مساحة الفتحة الداخلية للمنور (Duct) ٨٠* ٨٠ سم (**شكل (١٦)**):

- في الجزء الشمالى: كانت هناك ارتفاع فى سرعة الهواء خاصة فى الادوار الاخيرة وتنخفض كلما اتجهنا الى اسفل بدون انتظام بين الادوار ، اما الجزء الجنوبى فقد حدث العكس ، حيث أدى زيادة مساحة مقطع الفتحة الداخلية للمنور الداخلى إلى حدوث turbulences تيارات دوامية فى الاجزاء العليا وتنخفض كلما اتجهنا للأسفل مما اثر على سرعة الرياح ومعدلها (**شكل (٢٠)**).
- تكون أعلى سرعة للرياح فى الأدوار الاولى للإقامة حيث أن التيارات الدوامية تكون انخفضت وبالتالى يؤدى ذلك إلى زيادة سرعة الهواء وانتشارة.
- أقل معدل لسرعة الرياح يكون فى الأدوار العليا حيث يكون هناك تيارات دوامية عالية .
- مما سبق نستنتج ان مساحة الشباك ٠,٣٠*٠,٣٠سم افضل من ٠,٨٠* ٨٠ سم من حيث انتظام سرعة الهواء بين الادوار المختلفة و متناسبة مع مساحة Duct(١,٢*١,٢م).

وفقا لتلك النتائج: فمن الممكن ان لا تكون ابعاد الفتحة الداخلية Duct متساوية فى جميع الادوار ولكن اذا اردنا الحفاظ على معدلات تهوية منتظمة فان ابعاد الفتحة الداخلية٠,٣٠*٣٠سم هى الافضل وفقاً لابعاد Duct.

٩ الخلاصة

١. كانت فكرة إستخدام التهوية الطبيعية فكرة مستبعدة فى مبانى الرعاية الصحية فى الفترة الاخيرة وذلك بسبب خوف المتخصصين من ظاهرة إنتقال العدوى داخل هذة المبانى، ولكن مع اصدار منظمة الصحة العالمية (WHO) وثيقة المبادئ التوجيهية بشأن الوقاية من العدوى ومكافحتها بعنوان الوقاية من العدوى والسيطرة على

Epidemic وأمراض الجهاز التنفسي الحادة المعرضة للوباء في مجال الرعاية الصحية اعاد ذلك فكرة استخدام التهوية الطبيعية ، حيث في هذا المبدأ التوجيهي الجديد تم اعتبار التهوية الطبيعية لأول مرة من بين التدابير الفعالة للسيطرة على العدوى في مجال الرعاية الصحية. وعملت هذه التوصية على زيادة الاعتراف بدور التهوية الطبيعية فى مكافحة العدوى خاصة وانها تاتى من منظمة دولية مثل منظمة الصحة العالمية.

٢. المساهمة الرئيسية في هذا البحث هي:

- هى استخدام التهوية الطبيعية عن طريق تطوير استخدام حلول البناء السلبى مع الاعتماد على برامج حساب الموائع والذى جعل من تجربة تقنيات التهوية الطبيعية أمر قابل للتجربة وتحليل النتائج قبل التنفيذ، حيث أثبتت النتائج والتى تم تطبيقها على مبنى رعاية صحية متعدد الادوار ويعتمد على التهوية من جانب واحد وهو مايزيد من صعوبة تطبيق تقنيات التهوية الطبيعية ، أن هناك متغييرات تؤثر فى حركة الهواء وتزيد من سرعتة وتعمل على توفير انتشار جيد لة داخل هذة المبانى ، ولتحسين معدلات التهوية فى المستشفيات والتى تعانى من نقص الموارد خاصة المادية تم استخدام تدابير فعالة لمكافحة للعدوى، حيث تم استخدام Duct كملقف و مدخنة الشمسية وذلك فقاً لموضعة فى اجنحة المبنى هل جنوبية ام شمالية وداخل كل تقنية من التقنيات السابقة متغييرات مثل الارتفاع عن المبنى وعرضه وتصميمه الداخلي ويوجد متغيرات أخرى خاصة بالمبنى نفسه مثل فتحات مدخل الهواء خاصة و ان المبنى الذى تم دراسة حالتة لايوجد بة مخارج للهواء لانة يعتمد على التهوية من جانب واحد مع الاخذ فى الاعتبار عنصر رئيسى وهو منع انتقال العدوى المحمولة جوا.
- وجود اختلاف فى معدلات التهوية بين الادوار المختلفة يفتح الباب اما اعادة النظر فى تسكين المرضى فى الغرف وان تتم وفقاً لنوع المرض وما يحتاجة من معدلات تهوية وليس وفقا لقدرتة المادية.

٣. توصيات:

- معدل التهوية ، كمية الهواء الخارجى ونوعية الهواء فى الهواء الطلق.
- إتجاه تدفق الهواء: وهو إتجاه تدفق الهواء الشامل فى المبنى، والذى ينبغى أن يكون من المناطق النظيفة إلى المناطق المعدية.
- توزيع الهواء أو نمط تدفق الهواء: هو أن يصل الهواء إلى كل جزء فى المبنى وينبغى إزالة الملوثات المحمولة جواً، وذلك مهم حتى لاتتواجد مناطق تنمو فيها البكتيريا .

فى النهاية وفقاً للتقرير السنوى لسالي ديفيز، رئيس الخدمات الطبية في إنجلترا، والتى قالت فية ليس هناك من يزعم أن إزاحة الستائر وفتح بعض النوافذ قد يساعد في علاج المصابين بالأمراض، ولكن إدخال بعضٍ من التغييرات على تصميم المستشفى قد يساعد في تجنب إنتقال الأمراض إلى من لم يصابوا بها بعد.

المراجع

References

وزارة الصحة والسكان. (٢٠٠٨). *الدليل القومى لمكافحة العدوى: الاحتياطات القياسية لمكافحة العدوى*. ادارة مكافحة العدوى، الجزء الأول. مصر، وزارة الصحة والسكان.

Ministry of Health and Population .(2008). *National Guide for Infection Control: Standard Precautions for Infection Control, part One*. Ministry of Health and Population, Egypt.

عبد العال، ريم سامى. (٢٠١٣). *تقييم استخدام المفردات المعمارية التراثية في العمارة المعاصرة باستخدام حساب ديناميكا الموائع*. رسالة ماجستير، كلية هندسة، جامعة القاهرة.

Abdelaal, R. S. (2013). *Assessment of Architectural Heritage Elements Using Computational Fluid Dynamic*. Master Thesis. Faculty of Engineering, Cairo University.

عباس، محمد صـــلاح الدين. (١٩٩٨). *نظم الادارة البيئية والمواصـفات القياسـية العالمية ايزو ١٤٠٠٠*. مصر: دار دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع.

Abbas, M. S.(1998). *Environmental management systems-specification with guidance for use ISO 140000*. Egypt: Dar Al Kotob Al-Ilmya.

Adamu, Z.A., Price, A.D.F., Cook, M.J. (2012). Performance evaluation of natural ventilation strategies for hospital wards – A case study of Great Ormond Street Hospital. *Building and Environment*, Volume 56, Pages 211-222, ISSN 0360-1323, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.011.

Atkinson, J., Chartier, Y., Lúcia, C., Pessoa-Silva, Jensen, P., Li, Y., and Seto, W. (2009). *Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings*, WHO Publication/Guidelines.

Berlanga, F.A., Ruiz de Adana, M., Olmedo, I., Villafruela, J.M., San José, J.F., Castro, F., Experimental evaluation of thermal comfort, ventilation performance indices and exposure to airborne contaminant in an airborne infection isolation room equipped with a displacement air distribution system. *Energy and Buildings,* Volume 158, Pages 209-221, ISSN 0378-7788, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.100.

Chen, Z., Chen, C., Wei, S., Wu, Y., Wang, Y., Wan, Y. (2016). Impact of the external window crack structure on indoor PM2.5 mass concentration. *Building and Environment*, Volume 108, Pages 240-251, ISSN 0360-1323, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.031

Chenari, B., Carrilho, J., da Silva, M.G. (2016). Towards Sustainable, Energy-Efficient and Healthy Ventilation Strategies in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 59, Pages 1426-1447, ISSN 1364-0321, https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.074.

Corbett, EL., Watt, CJ., Walker, N., Maher, D., Williams, BG., et al. (2003) The growing burden of tuberculosis: Global trends and interactions with the HIV epidemic. *Arch Intern Med* 163: 1009–1021.

Eubank, S., Guclu, H., Kumar, V.S., Marathe, M.V., Srinivasan A., Toroczkai, Z. and Wang, N. (2004). Modelling disease outbreaks in realistic urban social networks. *Nature*, 429, 180.

Hobday, R.A., Dancer, S.J. (2013). Roles of sunlight and natural ventilation for controlling infection: historical and current perspectives. *Journal of Hospital Infection*, Volume 84, Issue 4, Pages 271-282, ISSN 0195-6701, https://doi.org/10.1016/j.jhin.2013.04.011.

Gilkeson, C.A., Camargo-Valero, M.A., Pickin, L.E., Noakes, C.J. (2013). Measurement of ventilation and airborne infection risk in large naturally ventilated hospital wards. *Building and Environment*, Volume 65, Pages 35-48, ISSN 0360-1323, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.006.

Jung, C., Wu, P., Tseng, C., Su, H. (2014). Indoor air quality varies with ventilation types and working areas in hospitals. *Building and Environment*, Volume 85, Pages 190-195, ISSN 0360-1323, https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.026. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314003989).

Lan, L., Tushar, W., Otto, K., Yuen, C., Wood, K.L. (2017). Thermal comfort improvement of naturally ventilated patient wards in Singapore. *Energy and Buildings*, Volume 154, Pages 499-512, ISSN 0378-7788, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.080.

Li, Y., Leung, G. M., Tang, J. W., Yang, X., Chao, C. Y. H., Lin, J. Z., Lu, J. W., Nielsen, P. V., Niu, J., Qian, H., Sleigh, A. C., Su, H.-J. J., Sundell, J., Wong, T. W. and Yuen, P. L. (2007). Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment – a multidisciplinary systematic review. *Indoor Air, 17*: 2–18. doi:10.1111/j.1600-0668.2006.00445.

Lim, T., Cho, J., Sean Kim, B. (2010). The predictions of infection risk of indoor airborne transmission of diseases in high-rise hospitals: Tracer gas simulation. *Energy and Buildings*, Volume 42, Issue 8, Pages 1172-1181, ISSN 0378-7788, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.008.

Lomas, K.J., Ji, Y. (2009). Resilience of naturally ventilated buildings to climate change: Advanced natural ventilation and hospital wards. *Energy and Buildings*, Volume 41, Issue 6, Pages 629-653, ISSN 0378-7788, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.01.001. (http://08101v333.1105.y.http.www.sciencedirect.com.mplbci.ekb.eg/science/article/pii/S0360132313000851).

Manic, M., Wijayasekara, D., Amarasinghe, K., Rodriguez-Andina, J.J. (2016). Building energy management systems: the age of intelligent and adaptive buildings*, IEEE Ind*. *Electron. Mag*. 10 (March (1)) 25–39.

Martins, N.R., Carrilho da Graça, G. (2018). Effects of airborne fine particle pollution on the usability of natural ventilation in office buildings in three megacities in Asia. *Renewable Energy*, Volume 117, Pages 357-373, ISSN 0960-1481, https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.089. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117310509).

Mohammadabad, Amiri, M., Ghoreshi, Shimaossadat. (2011). *Green Architecture in Clinical centers with an approach to Iranian sustainable vernacular architecture (Kashan City)*, International conference on Green Building and Sustainable Cities, procedia Engineering, Elsevier ltd, p.378.

Nightingale, F. (1863). *Notes on Hospitals. 3rd ed*. London: Longman, Roberts & Green.

Pan, S., Xu, C., Wei, S., Hassan, T.M., Xie, L., Xiong, Y., Firth, S., Greenwood, D., de Wilde, P. (2016). Improper Window Use in Office Buildings: Findings from a Longitudinal Study in Beijing, China. *Energy Procedia*, Volume 88, Pages 761-767, ISSN 1876-6102, https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.06.104.

Pavelchak, N. et al. (2001). Negative-pressure monitoring of tuberculosis isolation rooms within New York State hospitals. *Infection Control and Hospital Epidemiology*, 22(8), p.518–519.

Qian, H., Li, Y., Seto, W.H., Ching, P., Sun, H.Q. (2010). Natural ventilation for reducing airborne infection in hospitals. *Building and Environment*, Volume 45, Issue 3, Pages 559-565, ISSN 0360-1323.

Roderick Escombe1, 2,3*, Clarissa C. Oeser3, Robert H. Gilman3,4, Marcos Navincopa5, Eduardo Ticona5, William Pan4, Carlos Martı´nez5, Jesus Chacaltana6, Richard Rodrı´guez7, David A. J. Moore1, 2, 3, Jon S. Friedland12, Carlton A. Evans. (2007). Natural Ventilation for the Prevention of Airborne Contagion. *PLOS DICINE, ISSN 2*, Pages 0309-0316.

Rubin, H.R., Owens, A.J., Golden, G. (1998). *Status Report: An Investigation to Determine Whether the Built Environment Affects Patient Medical Outcomes*. The Centre for Health Design, Inc.,ISBN: 0-9638938-5-8.

Swain, F. (2013). Fresh Air and Sunshine Antibiotics Absent from The Mind, Essay. *Newoosaentest Journal*, Vol. 220, No. 2947.

Wang, J., Wang, S., Zhang, T., Battaglia, F. (2017). Assessment of single-sided natural ventilation driven by buoyancy forces through variable window configurations. *Energy and Buildings*, Volume 139, Pages 762-779, ISSN 0378-7788, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.070. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817302608).

.http://www.Ansis.com/

Controversy of Natural Ventilation and Infections in Hospitals

Hossam Said Mahmoud Ali[1]; Reham EL Dousky Hamed [2]

[1] Higher Technological Institute - 6th of October

[2] Faculty of Engineering - Beni Suef University

Abstract:

Developing societies suffer from population increase, health problems and with the spread of infection, the length of stay in hospitals increases, especially with the inability of these buildings to use mechanical ventilation for the high energy prices. The research aims to verify the possibility of using natural ventilation in sick accommodation suites to reduce the spread of infection, which causes physical and human losses by using fluid dynamics [CFD] to simulate the flow of air. Ventilation was studied from window and door openings [pressure difference]. This principle is not recommended as it works in transferring infection from upstream to downstream wings and as well as the lack of patient privacy. A reliable and non-contagious system based on density difference [stack effect] was applied, studied, and measured with different cross-sections of the stack that led to success rates of ventilation for the rooms plus privacy and energy conservation.

Keywords:

Sustainability, Infection, Natural Ventilation, Hybrid or Mixed-mode Ventilation, Duct