المحاكاة العددية لنظام توزيع الهواء في غرفة عمليات في مستشفى

-دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الطبية-

إعداد: م. مرح محمد سلامي

بإشراف : د. م . حنان محمود مخيبر

قسم الهندسة الطبية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق

الملخص:

جرت محاكاة نظام التهوية لغرفة عمليات عظمية في أحد مستشفيات دمشق، باستخدام برنامج ANSYS نسخة R2 2020 ومن ثم تصميم سبعة نماذج معدّلة عن نظام التهوية الفعلي ومقارنة حركة الهواء ثلاثية الأبعاد في هذه النماذج (عند مستوي رأس الجراح ومستوي الجراحة)عند سرعة دخول الهواء 0.25m/s ودرجة حرارة 24c لكل من هواء الغرفة و الهواء الداخل وتم اختيار النموذج الأفضل لإكمال الدراسة.

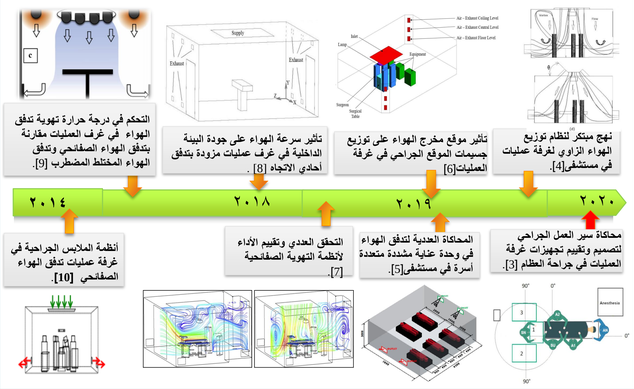
دُرس تأثير زيادة سرعة الهواء لثلاثة قيم(0.35/0.45/0.50 m/s) ،وتأثير إضافة مكونات الغرفة كعوائق فيزيائية دون أثر حراري، ثم جرت الدراسة الحرارية من خلال خلق فرق بدرجة الحرارة بين الهواء الداخل لغرفة العمليات والهواء الموجود داخلها ،فتم تغيير درجة حرارة الهواء الداخل إلى (18c-20-22) وكذلك تم إضافة قيمتين للحمل الحراري وملاحظة النتائج، وختاماً دُرس تأثير إمالة الضوء الجراحي بزاوية ٤٥ درجة، وجرى قياس سرعة الهواء فعلياً في٥٦ نقطة باستخدام جهاز(UNI-T aneomometer، طراز UT363Sحيث بلغت نسبة التطابق 92.86% ومقارنتها مع القيم الناتجة عن المحاكاة. أظهرت النتائج أن نظام التهوية الحالي غير جيد صحياً وأن النموذج السابع هو الأفضل.

المقدمة:

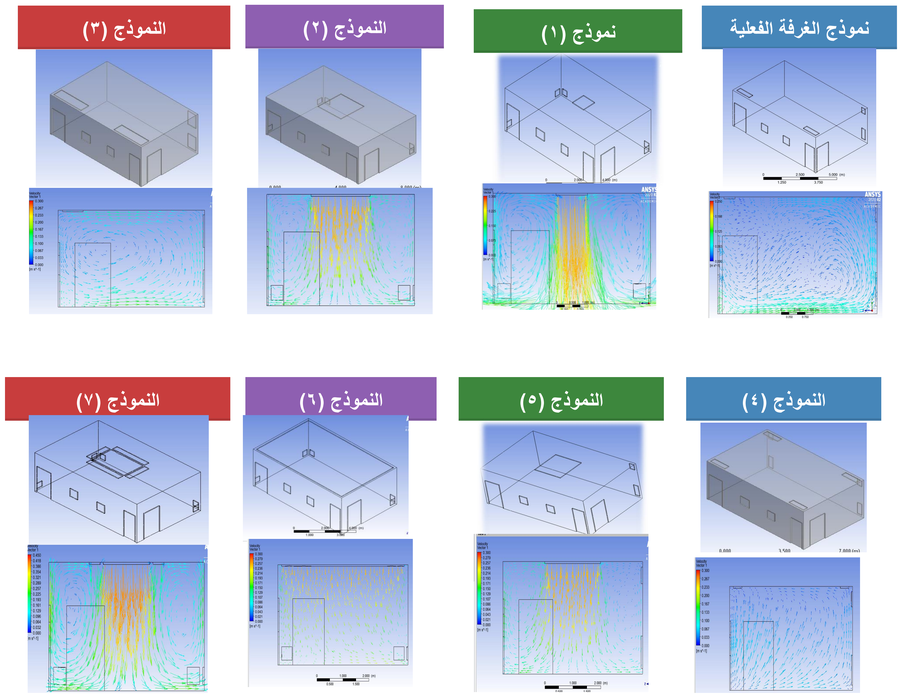
- تعد المستشفيات نظاماً بيئياً معقداً توجد فيه مصادر مختلفة للتلوث (بيولوجي، كيميائي، إشعاعي...الخ) ، أحد نتائج هذا التلوث هو حصول عدوى المستشفى وفقاً لإحصائية صادرة عن منظمة الصحة العالمية في عام ٢٠١٧، تؤثر عدوى المستشفيات فيما يقدر بنحو شخص واحد من بين كل ٢٠ مريضاً في مستشفى أوروبي (نحو ٤,١ مليون مريض سنوياً) [١] .
- تشير الدراسات أن التهابات الجروح تمثل حوالي ٤٠ % من مضاعفات الجروح و ٢٥ % من التهابات المستشفيات ,وأن احتمال الإصابة بالتهاب الجرح خلال العمل الجراحي تعتمد على عدة عوامل مثل نوع العمل الجراحي، وضعف المريض و وقدرته غلى مقاومة الالتهاب، المضادات الحيوية المستخدمة، وضعف طرائق ووسائل تعقيم الفريق الجراح، فعالية ملابس الجراحين، و أخيراً نوع نظام التهوية المستخدم [2].
- يستلزم السيطرة على عدوى المستشفيات الفهم الدقيق لمسبباتها وطرائق انتقالها، يأتي ضمن هذا السياق ضرورة تحليل خصائص الهواء الداخل إلى مرافق الرعاية الطبية، وحركته ثلاثية الأبعاد ضمن الغرف على اختلاف أنواعها مع الأخذ بالحسبان خصوصية المكان من حيث العقامة، التصميم الهندسي للفراغ المخدم، محددات نظام التهوية من حيث مواقع فتحات دخول الهواء وخروجه، درجة الحرارة والرطوبة وتدرجات قيم الضغط ... الخ [١].

يمكن تحليل جميع الأمور المذكورة أعلاه باستخدام "ديناميك الموائع المحوسب CFD" بوصفها تقنية قوية تسمح بإجراء دراسة متعمقة لحركة الهواء في غرف العمليات خصوصاً .

الدراسات المرجعية:



النماذج المنفذة:



النتائج:

- عند زيادة سرعة الهواء الداخل إلى غرفة العمليات من ٠.٢٥m/s،وحتى ٠.٣٥ m/s و٠.٤٥ و ٠.٥٠ لم نتخلص من الدوامات بزيادة السرعة، ولكن كلما زادت السرعة زاد عمق الاختراق، وكانت السرعة عند المنطقتين الحرجتين (الجرح وحيز التنفس) مختلفة ومن ثمّ سلوك النظام مختلف، وتغلب الهواء على ترسب الجسيمات الممرضة، وأيضاً كل زيادة للسرعة يقابلها زيادة لعدد مرات تغيير الهواء بالساعة.
- إن زيادة السرعة ستؤدي لتكلفة عالية، وذلك بسبب ما ينتج عنها من زيادة في عدد مرات تبديل الهواء الذي بدوره يمكن أن يؤدي إلى اهتراء الفلاتر، وضياع في الطاقة، وحدوث ضجيج.
- نلاحظ أن أي اضافة لكل من الغرفة الفعلية والنموذج المعدل سوف تشكل عائق أمام خطوط السرعة ستؤدي إلى حدوث انحناءات وانعطافات وأحياناً دوامات لذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار عدد وتموضع مكونات غرف العمليات .
- نلاحظ أنه مع تغيير درجة حرارة الهواء الداخل تتغير بروفايلات السرعة وتتغير قيم السرعة:
- في الغرفة الفعلية أظهرت المخططات أن خفض درجة الحرارة أدى إلى تغير قيم السرعة في منطقة الجراحة حيث كلما أصبح الهواء الداخل أبرد كلما كان اختراقه أكبر وازدادت قيم السرعة ويحدث تغير بسيط في توزع خطوط السرعة.
- في النموذج المعدل خفض درجة حرارة الهواء الداخل أدى إلى تغير طفيف في قيم السرعة في منطقة الجراحة وتشكل دوامتين للهواء أسفل الغرفة على الطرف الخارجي لكل من طاولتي المعدات عندما أصبحت درجة الحرارة 18C، ونلاحظ ارتفاع مركز الدوامات الموجودة أساساً خارج منطقة الجراحة إلى الأعلى مع خفض درجة الحرارة، وذلك لأن الهواء البارد يتغلغل لأسفل الغرفة ويرتفع الهواء الساخن للأعلى محدثاً تمدد لخطوط السرعة وبالتالي تتغير مركز الدوامات.
- في نموذج الغرفة الفعلية، نلاحظ في المستوي yz بعد إضافة الحمل الحراري اختفاء الدوامات فوق طاولة المعدات وتغير مسارات الهواء فوق طاولة الجراحة وكذلك تغير قيمة السرعة في نقاط مختلفة من الغرفة ولا سيما الزاوية العلوية اليمنى، أما في المستوي xy فنلاحظ بقاء الدوامات على جانبي طاولة العمليات مع تغير في شكل خطوط السرعة حول الضوء الجراحي.
- في النموذج المعدل لغرفة العمليات في المستوي yz و xy نلاحظ أن أثر إضافة الحمل الحراري طفيف جداً أثرت بشكل بسيط على شكل خطوط وقيمة السرعة .
- عند إمالة الضوء الجراحي في الغرفة الفعلية في المستوي xyو yz نلاحظ تغير جذري في قيم واتجاه وشكل مسارات السرعة،
- النموذج المعدل في المستوي yz نلاحظ أن الضوء بالحالة الأفقية شكل عائق أمام خطوط السرعة في حين لم يكن كذلك مع الميلان بزاوية 45C، أما في المستوي xy نلاحظ مع إمالة الضوء اختفاء دوامات الهواء الصغيرة التي كانت قد تشكلت فوق المريض في حالة الضوء الأفقي.

الاستنتاجات:

١. يؤدي نظام التهوية دوراً مهماً في تنقية الهواء ضمن غرف العمليات، ومن الحد من انتقال الملوثات ضمن منطقة الجراحة، وعُدّت أنظمة تهوية غرفة العمليات عاملاً رئيسياً للتحكم في تشتت الجسيمات المسببة للأمراض المحمولة بالهواء
٢. وجدنا من خلال الدراسة أن أداء أنظمة التهوية المختلفة يتأثر بمواقع فتحات التهوية وحجمها (كان أفضلها مدخل الهواء السقفي المركزي وفي حين أن المخارج كان تأثيرها ضئيل كما لاحظنا في النماذج ٣/٤/٥) ، وبمجموعة العوائق الداخلية(ولاحظنا ذلك عند إضافة المكونات دون حمل حراري في الغرفة إذ أن خطوط الهواء تصطدم بها وتنحرف عن مسارها).
٣. يجب الأخذ بالحسبان العامل البشري من أجل تحقيق النتيجة المرجوة ، إذ تبين أن إضافة الكادر الجراحي أثرت في خطوط السرعة، ومن ثمّ يحتاج الموجودون في غرفة العمليات إلى معرفة أنه يجب تنفيذ جميع العمليات الجراحية في اتجاه مجرى تدفق خطوط السرعة بالنسبة إلى طاولة الأدوات ومنطقة الجرح وهذا غير موجود في نظام التهوية في الغرفة الفعلية ولكن حققناه في النموذج٧، ولا ينبغي القيام بأي عمل في مناطق حدوث الدوامات أو مناطق حركة هواء من الأسفل للأعلى كما هو موجود في الغرفة الفعلية، فضلاً عن إجراءات ممارسة عمل الكادر تؤثر تأثيراً كبيراً في نتائج مكافحة العدوى.
٤. إن النموذج الحالي لنظام التهوية للغرفة المحلية المدروسة غير صحي ويسبب نقل الملوثات والجسيمات من الأرض إلى الكادر والمريض، ومن المريض للكادر، وكذلك فإن هذا نظام التهوية يحمل الملوثات من الأرض، ويشكل دوامتين من الهواء فوق طاولتي المعدات التي بدورها تستقل الملوثات للكادر والمريض عند استخدام الأدوات. ومن خلال النماذج التي نُفذت يمكن اعتماد النموذج السابع بوصفه عملياً وفعالاً وآمناً رغم الكلفة الاقتصادية التي قد يتطلبها.
٥. بعد تجربة سيناريوهات عدة توصلنا إلى أن نظام التهوية الذي يكون فيه مدخل الهواء سقفيا فوق منطقة الجراحة مناسب ويحافظ على منطقة جراحية نظيفة(النموذج٧).
٦. بعد إضافة مكونات كامل الغرفة، أثبتت النتائج عدم فاعلية نظام التهوية الحالي، وأن النموذج المعدل المقترح يعطي نتائج جيدة سواء كانت الغرفة فارغة أو مجهزة بالكامل.
٨، نلاحظ أن أي إضافة لكل من الغرفة الفعلية والنموذج المعدل سوف تشكل عائقاً أمام خطوط السرعة، ستؤدي إلى حدوث انحناءات وانعطافات وأحياناً دوامات، لذلك يجب الأخذ بالحسبان عدد مكونات غرف العمليات وتموضعها.
٩. من خلال الدراسة الحرارية تبين معنا أهمية درجة حرارة الهواء الداخل لغرفة العمليات، ويجب ضبطها بما يتناسب مع حالة الغرفة، بحيث نحافظ على منطقة جراحية نظيفة، إذ إن إحداث فرق بين درجة حرارة الغرفة ودرجة حرارة الهواء الداخل يسبب تغيراً في قيم السرعة، وتوزعها ضمن الغرفة، وذلك بسبب تأثير الهواء البارد فإنه ينزل لأسفل الغرفة ويتمدد الهواء الساخن في الأعلى.
١٠. عند إعطاء المكونات قيمة حرارية، سوف يؤثر ذلك في قيم السرعة، وفي توزع خطوط الهواء ضمن الغرفة، وتتغير مخططات السرعة مع تغير قيمة الحمل الحراري للمكونات.
١١. عند زيادة السرعة لم نتخلص من دوامات الهواء ، ولكن كلما زادت السرعة زاد عمق الاختراق، وكانت السرعة عند المنطقتين الحرجتين (الجرح وحيز التنفس) مختلفة ومن ثمّ سلوك النظام مختلف، وتغلب الهواء على ترسب الجسيمات الممرضة، وأيضاً كل زيادة للسرعة يقابلها زيادة لعدد مرات تغيير الهواء بالساعة.
وإن زيادة السرعة ستؤدي لتكلفة عالية، وذلك بسبب ما ينتج عنها من زيادة في عدد مرات تبديل الهواء الذي بدوره يمكن أن يؤدي إلى اهتراء الفلاتر، وضياع في الطاقة، وحدوث ضجيج.
١٢. وفيما يخص إجراءات العمل نلاحظ في الغرفة الفعلية والنموذج المعدل بعد عدة سيناريوهات، أن إمالة الضوء بزاوية ٤٥ درجة، أثرت في قيمة السرعة واتجاهها، إذ إن تأثير الضوء وهو مائل في إعاقة خطوط السرعة أقل من تأثير الضوء الأفقي، وفي النموذج المعدل حصلنا على منطقة جراحية أكثر استقرارا لحركة الهواء فوق المريض.

المراجع:

1-Khan,H.A.,Baig,F.K., and Mehboob,R.(2017).” Nosocomial infections: Epidemiology, prevention, control and surveillance” *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*,7(5)478-482.

2. Mukhaiber, H. (2005). ”Air Movements in a Hospital Operating Theater- an Experimental Study Using PIV and Flow Visualization” , PhD thesis , the Faculty of Engineering and Physical Sciences, the University of Manchester, UK.

3- Neumann, J., Angrick, C., Höhn, C., Zajonz, D., Ghanem, M., Roth, A., & Neumuth, T. (2020). Surgical workflow simulation for the design and assessment of operating room setups in orthopedic surgery. *BMC medical informatics and decision making*, *20*, 1-20.

4- Rahate, S.D. and Sarode, A. D. (2019,May). " A Novel Approach of Angular Air Distribution System for Hospital Operation Theatre",In *ICTEA:* Twelve International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications February 23-26, 2019, Gandhinagar , India

5- Sahu, A. K.; Tikendra Nath Verma, T. N. and Shobha Lata Sinha, Sh. L. (2019). "Numerical Simulation of Air Flow in Multiple Beds Intensive Care Unit of Hospital", International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, Volume 16, Issue 2 pp. 6796-6807.

6- Agirman, A.; Cetin, Y.E.; Avci, M. and Aydin, O.(2019). "Effect of air – exhaust location on surgical site particle in an operating room", IAQVEC, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 609 (2019) 042021.

7- Thool, S., & Sinha, S. L. (2019). "Numerical Investigation and Performance Evaluation of Laminar Ventilation Systems for Operating Room", No. 2137, EasyChair Preprint.

8- Moreno, G. ; Sanz-Calcedo, J. and Romero, A. (2018). "Influence of air velocity on indoor environment quality in unidirectional flow operating theatres: A study based on Computational Fluid Dynamics", EENVIRO Conference. 2018. Sustainable Solutions for Energy and Environment, Cluj Napoca, Romania.

9- Alsved, M., Civilis, A., Ekolind, P., Tammelin, A., Andersson, A. E., Jakobsson, J., ... & Löndahl, J. (2018). “Temperature-controlled airflow ventilation in operating rooms compared with laminar airflow and turbulent mixed airflow”. *Journal of Hospital Infection*, *98*(2), 181-190.

10- Sadrizadeh, S., & Holmberg, S. (2014). “Surgical clothing systems in laminar airflow operating room: a numerical assessment”. *Journal of infection and public health*, *7*(6), 508-516.

11- G.Sánchez, B.Moreno1, G.Sanz-Calcedo2 , A.Romero3, and *C.* Marcos. (2019). “Influence of air velocity on indoor environment quality in unidirectional flow operating theatres: A study based on Computational Fluid Dynamics” ,in *E3S web of conferences* (Vol.85,p. 02003).