دراسة وتصميم غرف العزل لمرضى كوفيد-19

د. غاده سعد* م. خضر أبوعيسى** م. فرح شربا*** م. حسن شليحة****

الملخص

يتناول هذا البحث دراسة شاملة عن الطريقة الأفضل لتصميم غرف عزل خاصة لمرضى الكورونا، والتي هي عبارة عن غرف عزل سالبة الضغط، تلعب دوراً هاماً في ضبط ومكافحة انتشار العدوى، وذلك من خلال امتلاكها مجموعة من المواصفات، بحيث يمكن تقسيم تلك المواصفات إلى مواصفات متعلقة بالجانب المعماري، تتمثل بمجموعة من المتطلبات التي لا يمكن إغفال أي منها، كنوعية النوافذ، واتجاه فتح الأبواب، وتوزيع الغرفة وتقسيمها، وغيرها، أما بالنسبة لمجموعة المواصفات الأخرى فهي تتعلق بنظام التدفئة والتهوية والتكييف، من خلال التحكم بحركة الهواء، والمحافظة على الضغط ضمن مجال محدد، وتحديداً أماكن ضخ الهواء إلى الغرفة وسحبه منها، وذلك بالاعتماد على تقنيات متطورة وفلاتر تسمح بتنقية الهواء، وتخليصه من العوامل الممرضة، حيث أنه من خلال الجمع ما بين كل العناصر المذكورة سابقًا توصلنا إلى نموذج غرفة عزل متكامل، يؤمن العزل التام للمصاب عن المحيط الخارجي، كما يضمن تقليل احتمالية انتقال العدوى للكادر الطبي أو التمريضي إلى حدودها الدنيا.

كلمات مفتاحية: كورونا، غرف العزل سالبة الضغط، نظام التدفئة والتهوية والتكييف، الفلاتر، المتطلبات المعمارية.

* مدرس -قسم الهندسة الطبية -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين.
** مهندس طبي -قسم الهندسة الطبية -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين.
*** مهندسة طبية -قسم الهندسة الطبية -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين.
**** مهندس طبي -قسم الهندسة الطبية -كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية -جامعة تشرين.

Study and design of isolation rooms for COVID-19 patients

Dr. Ghada Saad[*] Eng. Khder Aboissa[**] Eng. Farah Sharba[***] Eng. Hasan Shleha[****]

Abstract

This research deals with a comprehensive study on the best way to design special isolation rooms for corona patients, which are negative pressure isolation rooms, which play an important role in controlling the spread of infection, And that is by having a set of specifications, so that those specifications can be divided into specifications related to the architectural aspect, represented by a set of requirements that cannot be overlooked, such as the quality of windows, the direction of opening doors, the distribution and division of the room, and others, As for the other set of specifications, they are related to the ventilation system, by controlling the movement of the air, maintaining pressure within a specific range, and defining places to pump air into the room and withdraw it from it, by relying on advanced technologies and filters that allow air to be purified and rid it of pathogens.

By combining all the previously mentioned elements, we came up with a model of isolation room that is closer to the ideal, which ensures complete isolation of the injured from the outside environment, and also ensures that the possibility of transmission of infection to the medical or nursing staff is reduced to its minimum.

Key words: Corona, negative pressure isolation rooms, HVAC, filters, architectural requirements.

[*]PhD: Bio medical Department - Faculty Mechanical and Electrical- -Tishreen University.
[**]Bio medical Engineering, Faculty Mechanical and Electrical- - Tishreen University.
[***]Bio medical Engineering, Faculty Mechanical and Electrical- - Tishreen University.
[****]Bio medical Engineering, Faculty Mechanical and Electrical- - Tishreen University.

المقدمة

تم الكشف عن الفيروس المستجد من قبل منظمة الصحة العالمية لأول مرة في 31 كانون الأول بعد الإبلاغ عن مجموعة من حالات الالتهاب الرئوي الفيروسي في وهان بجمهورية الصين الشعبية.

في آذار 2020، أعلنت منظمة الصحة العالمية WHO بأنها صنفت المرض الناجم عن الإصابة بفيروس كورونا والمعروف باسم (Covid-19) كجائحة، وهذا المصطلح لا يدل على شدّة هذا المرض بل إلى انتشاره الجغرافي، حيث أن سرعة انتشاره عالية ضمن المجتمعات التي تُصاب به، وتقوم المجموعات المختصة بالصحة العامة، مثل مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها في الولايات المتحدة (CDC) ومنظمة الصحة العالمية (WHO)، بمراقبة الجائحة ونشر التحديثات على مواقعها على الإنترنت. كما أصدرت هذه المجموعات توصيات حول الوقاية من المرض وعلاجه.[1]

فيروسات كورونا فصيلة واسعة الانتشار يمكن أن تسبب أمراضاً تتراوح من نزلات البرد الشائعة والزكام إلى الاعتلالات الأشد وطأة مثل متلازمة الالتهاب الرئوي الحاد الوخيم (SARS) ومتلازمة الشرق الأوسط التنفسية (MERS).

يمكن أن تتراوح شدة أعراض Covid-19 بين خفيفة جداً إلى حادة، قد يُصاب بعض الأشخاص بأعراض قليلة فقط، حيث تظهر علامات وأعراض Covid-19 بعد يومين إلى 14 يوم من التعرض له، وتسمى الفترة التالية للتعرض والسابقة لظهور الأعراض "فترة الحضانة". [1]

يمكن أن ينتشر الفيروس من خلال المخالطة اللصيقة بين الناس (ضمن 6 أقدام أو 2 متر)، حيث أنه ينتشر عن طريق الرذاذ التنفسي من خلال التحدث أو العطاس أو السعال.[2]

من خلال دراستنا للمرض وآلية العدوى تبين أن النوع المناسب لعزل المرضى هو غرف عزل ذات الضغط السالب. حيث إن هذا النوع من الغرف سيوفر البيئة الآمنة والمناسبة لتقديم العلاج للمريض وسيوفر الحماية للكادر الطبي وسيحد من انتشار العدوى.

وقد تم إجراء العديد من الأبحاث والدراسات الهامة التي توضح فعالية هذا النوع من غرف العزل. ففي عام (2011) تم طرح دراسة بعنوان:

"Airborne Infection Isolation Rooms –A Review of Experimental Studies" [3]

كان الهدف الأساسي من هذه الدراسة تقييم أداء غرف العزل سالبة الضغط في الولايات المتحدة، حيث تمت دراسة عدة مواضيع منها أنماط التهوية وترشيح الهواء واختلاف الضغط، وبينت احتياجات الواقع الصحي إلى المزيد من الأبحاث والدراسات لمساعدة المستشفيات على تحسين كفاءتها في مواجهة الأوبئة.

وفي عام (2020) تم إجراء دراسة:

"Implementing a negative-pressure isolation ward for a surge in airborne infections patients" [4]

تناولت أيضاً هذه الدراسة غرف العزل سالبة الضغط من خلال إنشاء جناح لعزل مرضى الأمراض المعدية المنتقلة بالهواء، ذو الضغط سالب وهو وسيلة فعالة لزيادة القدرة الاستيعابية في المشافي لاستقبال حالات الأمراض المعدية.

في معظم الدراسات والأبحاث التي تتناول موضوع هذا النوع من غرف العزل يتم التركيز على دراسة أنماط تدفق الهواء وأنظمة التهوية دون التركيز على الاعتبارات المعمارية المعيارية. وهذا ما لم نتجاهله في دراستنا هذه.

مشكلة البحث

بحلول 23 حزيران من عام 2020 كان قد أصيب أكثر من 10 مليون شخصاً حول العالم بفيروس كورونا، والذي تسبب في أكثر من 600 حالة وفاة، كما أدى إلى اكتظاظ المستشفيات بالمصابين على مختلف درجات وحدة إصاباتهم، وهذا ما شكل خطراً ملحوظاً على جميع المرضى المقيمين والمراجعين لتلك المراكز الصحية، وكذلك للطاقم الطبي والتمريضي، حيث أصبحوا بدورهم

عرضة للمخالطة مع المصابين، نتيجةً لاتباع أساليب عزل غير متناسبة مع هذا الوباء في مختلف دول العالم، وهذا ما يعتبر عاملاً مساهماً في زيادة تفشي المرض بدلاً من السيطرة عليه.

أهمية البحث

نظراً للأهمية الكبيرة لغرف عزل المرضى بالمستشفيات فقد تم إعداد هذه الدراسة لتساعد المهندسين والمراقبين المسؤولين عن تنفيذ أعمال تكييف الهواء على فهم طبيعة هذا النوع من الغرف وبالتالي القيام بها بشكل جيد، ومن ناحية أخرى لتساعد الكادر الطبي ومقدمي خدمات الرعاية الصحية على التعامل بالشكل الصحيح مع المصابين بفيروس كورونا.

الهدف من البحث

تصميم نموذج غرفة عزل سالبة الضغط متكامل، يؤمن العزل التام للمصاب عن المحيط الخارجي، كما يضمن تقليل احتمالية انتقال العدوى للكادر الطبي أو التمريضي إلى حدوده الدنيا.

أدوات البحث وموارده

تم تصميم المخطط المعماري لغرفة العزل باستخدام برنامج الاتوكاد.

منهجية البحث

أولاً: تحديد المشكلة ودراستها:

مرض كورونا، حيث تم البحث في انتشاره وأعراضها وآلية العدوى وطرق الوقاية منه.

ثانياً: دراسة متطلبات تصميم غرفة العزل لمريض الكورونا:

أ. المتطلبات التقنية والهندسية.
ب. المتطلبات المعمارية.

ثالثاً: الدراسة المعمارية:

تصميم مخطط معماري للغرفة باستخدام برنامج الأوتوكاد.

رابعاً:

تقييم النتائج ووضع الرؤى والآفاق المستقبلية للبحث.

مفهوم غرف العزل

إن غرف عزل المرضى بشكل عام هي عبارة عن غرف للمبيت يقيم فيها المريض المطلوب عزله طول فترة إقامته داخل المستشفى، بحيث تجهز وتصمم كل غرفة من هذه الغرف وفق معايير محددة، تتناسب مع نوع المرضى المصممة من أجلهم، على سبيل المثال تزود غرف عزل الأمراض المعدية بنظام لتكييف الهواء يمنع انتقال العدوى من المريض إلى المرضى الآخرين أو العاملين بالمستشفى (غرف عزل ذات ضغط سالب)، بمعنى أشمل يهدف مفهوم العزل في هذه الحالة إلى التحكم بتدفق الهواء بطريقة تقلل نسبة أو عدد الجزيئات المعدية التي تنتقل بالهواء إلى مستوى يضمن عدم انتقال العدوى ضمن المستشفى بشكل كبير، بينما في حالات أخرى يكون الهدف من العزل هو منع انتقال العدوى من جو المستشفى إلى المريض (غرف عزل ذات ضغط موجب) .

أنواع غرف العزل

توجد أربعة أنواع رئيسية من غرف العزل، وهي:[5]

- غرف العزل ذات ضغط الهواء الطبيعي أو القياسي(class S).
- غرف العزل ذات ضغط الهواء الموجب (class p).
- غرف العزل ذات ضغط الهواء السالب (class N).
- غرف العزل ذات ضغط الهواء السالب مع فواصل أو حواجز إضافية عن المحيط (class Q) (Anteroom).

غرف العزل ذات ضغط الهواء السالب

تعرف أيضاً بغرف عزل مرضى الأمراض المعدية التي تنتقل بالهواء (Airborne infection isolation rooms) هذه الغرف تكون سالبة الضغط ويمكن تأمين ذلك من خلال زيادة معدل الهواء المسحوب من الغرفة عن الهواء الداخل إليها، وبالتالي يتولد ضغط هواء سالب في هذه الغرفة بالنسبة للجو المحيط بها، إن هذا الضغط المنخفض للهواء داخل الغرفة يمنع خروج الهواء منها، وبالتالي يمنع انتشار المرض داخل المستشفى.[5]

غرف العزل ذات التصميم الجيد تكون فعالة جداً في التحكم أو في الحد من انتشار العدوى حيث تكون الميكروبات أو الجراثيم المسببة لهذه العدوى محتواة في الغرفة بشكل أمن، بينما يتم تخفيض تركيزها في الحالة الأخرى، وتجدر الإشارة إلى أن غرف العزل غير المصممة بشكل جيد من الممكن أن تضع المرضى والعاملين في المستشفى في وضع خطر جداً من ناحية انتشار أو انتقال العدوى لهم، حيث لا يتم احتواء هذه الميكروبات في الغرفة بشكل جيد ولا يتم تخفيض تركيزها بفعالية.

متطلبات التصميم الجيد للغرف العزل سالبة الضغط

يتم تطبيق مفهوم غرفة العزل وتخفيض انتقال العدوى بشكل كبير من خلال تحقيق النقاط التالية:[6]

1.التحكم بكمية ونوعية الهواء الداخل أو الخارج الذي يتم تصريفه.

2.الإبقاء على فرق ضغط بشكل مستمر بين المناطق المتجاورة.

3.تصميم أنماط محددة لتدفق الهواء داخل الغرفة بشكل مناسب.

4.تقليل تركيز الجسيمات المعدية في الهواء ضمن الغرفة إلى مستوى أمن.

5.تنقية وتصفية الهواء الخارج لإزالة الجزيئات المعدية.

ولتحقيق هذه المتطلبات التي بدورها تؤمن إلى حد كبير العزل الجيد وتقلل انتقال العدوى يجب تطبيق عدد من التقنيات أو الأساليب الهندسية الأساسية.

التقنيات والأساليب الهندسية الأساسية المتبعة للتصميم الجيد لغرف العزل سالبة الضغط

التهوية:(Ventilation)

بشكل عام تقلل التهوية من خطر العدوى وانتشار الميكروبات والجزيئات المسببة لها في الغرفة من خلال أسلوبين رئيسين:[6]

1. التخفيف (dilution):عندما يتم تزويد الهواء النقي إلى الغرفة فإنه يخفف من تركيز الميكروبات والجزيئات المسببة للعدوى في الغرفة حيث يقلل من احتمالية أن يقوم شخص في الغرفة باستنشاق هواء يحتوي على هذه الجزيئات.
2. الإزالة (removal): يتم تحقيق تأثير الإزالة بشكل كامل عندما يتم إما بسحب هواء الغرفة بشكل كامل إلى الخارج إلى مكان تصريف أمن، أو من خلال تمرير هواء الغرفة عبر عدة طبقات قبل أن يتم عملية إعادة تدويره، مثل (HEPA filter, trap droplet nuclei)

خلط (مزج) الهواء:

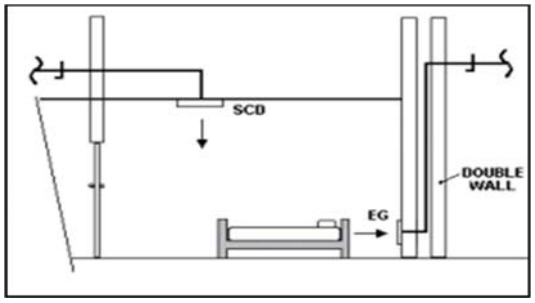
بشكل عام يتم تصميم نظام التهوية داخل الغرفة بحيث يحقق أكبر نسبة خلط للهواء النقي الداخل مع هواء الغرفة، وذلك لتخفيف تركيز الميكروبات في الغرفة، حيث أن عملية التهوية تتم عن طريق ضخ أو تزويد الغرفة بالهواء النظيف الذي سوف يختلط مع الهواء الموجود أصلاً في الغرفة وهذا المزيج يتم لاحقاً طرده أو تصريفه للخارج، وبالتالي تعتمد فعالية عمليتي التخفيف والإزالة المذكورتين سابقاً بشكل أساسي على فعالية الاختلاط ما بين الهواء النظيف الداخل والهواء الموجود في الغرفة، فكلما كان الاختلاط أفضل كلما كانت نتائج العمليتين أفضل، ولتحقيق ذلك يجب تجنب نقطتين أساسيتين هما:[6]

1. ركود الهواء داخل الغرفة (Stagnation): ويحدث عندما لا يستفيد جزء من الغرفة من الهواء النظيف الداخل للغرفة، وبالتالي تركيز الجزيئات المعدية في تلك البقعة لا يتم تخفيفه أو إزالته.
2. الرجوع الفوري أو السريع: ويحدث عندما يكون مصرف الهواء قريب بشكل كبير من منفذ الهواء الداخل، حيث يتم تصريف الهواء النظيف الداخل وإزالته من الغرفة قبل أن يمتزج بشكل فعال مع الهواء الموجود في الغرفة ويخفف من الملوثات الموجودة فيه.

توجيه تدفق الهواء:

إن التهوية وكما تم ذكره سابقاً تساعد على تخفيض التركيز المحلي للميكروبات المعدية في أماكن محددة من الغرفة، ويتم تحقيق ذلك عن طريق التنسيق والربط بين أماكن فتحات منافذ دخول الهواء مع الأماكن المحتملة لمواقع

الأشخاص في الغرفة، وبشكل أوضح يجب أن يتم تزويد الهواء بالقرب من الطاقم الطبي ويتم تصريفه بالقرب من المريض، كما هو موضح بالشكل (1).



الشكل -1- يوضح كيفية توجيه تدفق الهواء[7]

الضغط السالب:

إن الضغط السالب يتم تصميمه أو تأمينه في الغرفة لاحتواء الميكروبات والجزيئات المعدية داخل الغرفة عن طريق إعداد نظام التهوية بحيث يكون الهواء المسحوب (المصرف) من داخل الغرفة بمعدل أكبر من الهواء الذي يتم تزويده أو ضخه أو إعادة تدويره إلى داخل الغرفة، وهذا يشكل عدم توازن في التهوية يدعى بالإزاحة (offset) وإن الغرفة تساهم في بقاء واستمرار هذه الإزاحة عن طريق الاستمرار في سحب الهواء الذي سوف يقوم بتشكيل هذا الفرق من خارج الغرفة.[6]

إن غرفة الضغط السالب يجب أن تكون محكمة الإغلاق قدر الإمكان لمنع الهواء من أن يتسرب عبر الشقوق أو الفجوات الأخرى وهذا ما يسمى إغلاق الغرفة (sealing) حيث في الغرفة المغلقة الهواء الذي يتم تزويده يمكن التحكم باتجاهه وبالسرعة التي يتحرك بها، وبشكل مثالي فإن الغرفة يجب أن تكون مغلقة بشكل جيد ماعدا فتحة صغيرة (بارتفاع نصف إنش) وهي الفتحة الفاصلة بين الباب والغرفة (عقب الباب) وهذا ما يؤدي إلى تشكيل تيار هواء قوي من أسفل الباب إلى داخل الغرفة.[6]

الاعتبارات المعمارية لتصميم غرفة العزل ذات الضغط السالب

معمارياً، فإن غرفة العزل يجب أن تطابق كل المتطلبات والتفاصيل المطلوبة لغرفة لمريض واحد متضمنة حمام خاص بالغرفة (مستقل)، ولزيادة فعالية الضغط السالب فإن المواد والعناصر المستخدمة لتنفيذ التصميم يجب أن تؤمن الإغلاق المحكم للغرفة، بالإضافة إلى أنها يجب أن تحقق مجموعة من المواصفات التي هي:[8]

- يجب اختيار موقع الغرفة بعيداً عن أماكن التيارات الهوائية كأبواب المصاعد وأبواب الدرج.
- يجب ألا يزيد حجم الغرفة عن المواصفات العالمية لهذا النوع من الغرف.
- يجب أن تشتمل الغرفة على حمام خاص كما تم ذكره سابقاً.
- يجب أن يفتح باب الغرفة باتجاه الضغط الأقل (بمعنى أنه في حالة الغرفة ذات الضغط السالب، باب الغرفة يفتح باتجاه داخل الغرفة وليس باتجاه الممر).
- يجب تزويد باب الغرفة بمانع تسرب (Gasket) في أعلى الباب وجانبيه فقط.
- يجوز تزويد باب غرفة العزل بنافذة زجاجية مما يساعد على تقليل فتح وإغلاق الباب.
- يجب أن تعزل جميع الفتحات بمانع تسرب مناسب (حول النافذة – حول مداخل أنابيب المياه والصرف والغازات الطبية ومخارجها – حول كابلات الكهرباء ومخارجها) .
- بشكل عام يجب أن تعزل الغرفة ضد تسرب الهواء ماعدا الفتحة الفاصلة بين الباب وأرضية الغرفة (عقب الباب) وبارتفاع أقصاه نصف إنش.
- عدم تركيب مقبض للنافذة بحيث لا يمكن فتحها من قبل المريض والأشخاص العاديين وتفتح من خلال أداة أو مفتاح من قبل الفني المختص (وذلك تلافياً لفقدان الضغط في الغرفة).
- يجب أن تكون أبواب غرفة العزل ذاتية الإغلاق (من خلال التصميم أو مزودة بجهاز).
- يشتمل التصميم في بعض الحالات على غرفة فصل (anteroom).

غرفة الفصل

هي منطقة تفصل بين غرفة العزل والممر الخارجي (Corridor)، بحيث تفصل غرفة العزل عن التيارات الهوائية الخارجية وكذلك تعمل كمصيدة لأي كمية هواء تخرج من غرفة العزل أثناء فتح الباب وبالتالي تمنع خروجها للممر الخارجي، ويراعي أن يكون باب غرفة العزل وباب غرفة الفصل علي استقامة واحدة لتسهيل

دخول المعدات (كأجهزة الأشعة) إلى الغرفة، ويمكن الاستعاضة عن ذلك بتوفير باب أخر للمعدات علي أن يكون مغلقاً دائماً (Normally closed) ومزود بمانع للتسرب، وتجدر الإشارة هنا إلى أن هذا الحل غير مفضل نظراً لإمكانية تسرب الهواء منه بالإضافة لاحتياجه للكشف والصيانة الدورية لتلافي تسرب الهواء.[8]

وبشكل أوضح فإن غرفة الفصل تشكل حاجزاً في مواجهة فقدان الضغط المطلوب داخل الغرفة ودخول أو خروج هواء ملوث من وإلى غرفة العزل، عندما يكون الباب الفاصل بين غرفة العزل وغرفة الفصل مفتوحاً تكون قيمة الضغط في غرفة الفصل أعلى من قيمة الضغط في غرفة العزل الموجود فيها المريض وتكون أيضا أقل من قيمة الضغط في الممر الخارجي وبالتالي عند فتح الباب الفاصل ما بين غرفة العزل وغرفة الفصل أو ما بين غرفة الفصل والممر الخارجي تكون حركة الهواء متحكم بها عن طريق فرق الضغط ولا يتم انتقال للهواء الملوث للممر الخارجي.[9]

خصائص نظام التدفئة والتكييف والتهوية (HVAC) الخاص بغرف العزل ذات الضغط السالب

معدل تهوية الغرفة (Ventilation Rate):

عند تصميم نظام التدفئة والتكييف والتهوية (HVAC) فإن كمية الهواء الذي يتم تغذيته أو تزويده لكل غرفة أو مساحة محددة يتم اختيارها على أساس اعتبارات الراحة، إلا إذا كان هناك قواعد يجب مطابقتها ونتيجة لذلك فإن نظام HVAC يقوم بتزويد الهواء لكل مساحة وفق الحدود المطلوبة، ولكن في أغلب الأحيان تكون هذه الكمية من الهواء عادةً أقل من الكمية المطلوبة لحدوث تخفيف أو إزالة فعالية الجزيئات المسببة للعدوى، لذلك في غرف العزل فإن كمية الهواء لا تتعلق بأن تكون مناسبة وباعتبارات الراحة فقط وإنما أيضاً بالتحكم بالعدوى كمطلب رئيسي لذلك يقوم المهندسون القائمون على تصميم HVAC بزيادة معدل تدفق الهواء لهذه النقاط وفقاً لذلك.

يوصي ICS (Institutional Consultation Services) بأن يتم تهوية غرف العزل ذات الضغط السالب عن طريق تغيير هواء الغرفة بمعدل تهوية حوالي (12 ACH) حيث تتطابق هذه التوصيات مع توجيهات ودليل CDCأيضاً. والشكل (2) يوضح القيم المعيارية لمعدل تغير الهواء وقيم الضغط وغيرها من البارامترات المهمة وفقاً لعدة منظمات في بلدان مختلفة.

Airborne infection isolation room design standards in various contries

	Organization	Air Change rate (ACH)	Pressure Differential	Recirculation	Anteroom
	Centers for Disease Control and Prevention	More than 12	More than 2.5 Pa	Yes (w/HEPA Filter)	Recommend
ıada	Public Health Agency	More than 9	-	Yes (w/HEPA Filter)	Recommend
	Department of Health	More than 10	More than 5 Pa	No	Recommend
way	Folkehelseinstitutt	More than 12	More than 5 Pa	No	Mandatory
tralia	Department of Health And Human Services	More than 15	More than 15 Pa	No	Mandatory
g Kong	Infection Control Committee Department of Health	More than 12	More than 2.5 Pa	Yes (w/HEPA Filter)	-
th Korea	Centers for Disease Control and Prevention	More 12	More than 2.5 Pa	Yes (w/HEPA Filter)	Mandatory

(source: ASHRAE Journal)

الشكل -2- يوضح القيم المعيارية المختلفة لمعدل التهوية والضغط.[10]

من الأفضل أن تزود الغرفة بالهواء المكيف من خلال وحدة خاصة بها(handling unit or Fan coil Fresh air unit)، وكذلك مروحة شفط مستقلة وليس من خلال وحدات مركزية تغذي مجموعة من الغرف وذلك لعدة أسباب، نذكر منها:[7]

1. تبسيط نظام التحكم الآلي.
2. إمكانية تغذية الوحدة من خلال المولد الكهربائي الاحتياطي في حالة انقطاع التيار.
3. الفصل التام بين دكتات غرفة العزل وباقي الغرف.

توزيع الهواء (air distribution):

- يجب اختيار موقع منافذ تزويد أو تصريف الهواء بحيث تحقق مزج هواء أعظمي ما بين الهواء الذي يتم تزويده للغرفة (الهواء النظيف) وهواء الغرفة ولتعطي شكل تدفق هواء من نقطة البداية في مكان الوقوف المحتمل للطاقم الطبي وحتى الانتهاء بالقرب من المريض، حيث يجب سحب وتصريف الهواء

بالقرب من مصدر أو موقع العدوى أو التلوث المحتمل. إن أفضل تركيبة لذلك تغذية الهواء سقفياً من خلال مشتت سقفي (Ceiling diffuser) في المنطقة أعلى نهاية سرير المريض أي فوق قدم المريض وسحب الهواء من خلال موجه هواء حائطي (Wall grill) بالقرب من أعلى بداية السرير (فوق رأس المريض).

- مشتت (موزع) الهواء الذي يتم تزويده للغرفة يجب أن يكون من نوع (louvered blade type) عبارة عن كوة معدنية مستطيلة الشكل ذات شفرات مائلة بدلاً من أن يكون (perforated face type) عبارة عن كوة معدنية مستطيلة مثقبة بثقوب صغيرة، وحجم فتحة (عنق) الموزع (نقطة اتصاله مع أنبوب الهواء) ونمط توزيع الهواء يتم اختيارهما بحيث يتم توجيه الهواء لكل أجزاء الغرفة كما يجب عدم تواجد أي عناصر تعيق تدفق الهواء من موزع الهواء (الإضاءة المعلقة، جهاز تلفاز).

- تصريف وسحب الهواء يتم طريق موجه تصريف هواء حائطي (exhaust wall grill) بحيث يجب أن تكون حافة الموجه السفلية ترتفع عن الأرضية تقريباً بحوالي inch6 وكونه لا يقوم بتوجيه الهواء فإن الشكل الخارجي لا يكون بنفس الأهمية مثل حالة موزع الهواء، دكتة (مجرى) الهواء المسحوب من الغرفة يجب أن تتوضع داخل جدار الغرفة وبشكل عامودي لذلك يجب التنسيق مع المعماري للانتباه لهذه النقطة خلال مرحلة التصميم ولتخفيف الضجيج يتم وضع مخمدات ضجيج (dampers) داخل أنبوبة التهوية وتكون بنقطة بعيدة نسبياً عن المنفذ.

ترشيح الهواء:

يجب تنقية الهواء من خلال الفلتر عالي الكفاءة HEPA filterقبل طرده للهواء الخارجي وفيما يلي بعض النقاط الواجب مراعاتها:[11]

- يراعى اختيار الفلتر عالي الكفاءة بحيث ينقى كل الهواء المسحوب من الغرفة، بمعنى تركيبه على أنابيب سحب الهواء الرئيسية بما يسمح بتنقية الهواء المسحوب من كل من غرفة العزل وغرفة الفصل والحمام. يمكن أيضاً تركيب فلتر كربوني Carbon filterلإزالة الروائح ويمكن الاستغناء عنه حيث لا توجد روائح نفاذة بشكل دائم داخل الغرفة.
- يجب فحص ال فلتر عالي الكفاءة بشكل دوري لاكتشاف أية شروخ أو تمزقات بالفلتر، وإن وجدت يتم استبداله، ويراعى عند تغيير الفلتر الملوث أنه يجب تعقيمه أولاً قبل إخراجه من أنبوب الهواء وذلك برشه بمادة معقمة مناسبة، ثم يترك لمدة ساعة واحدة على الأقل لضمان اكتمال تعقيمه من الداخل بعد ذلك يسحب الفلتر ويوضع في كيس محكم للتخلص منه كنفايات طبية، ويتم تركيب الفلتر الجديد.

تصريف(طرد) الهواء المسحوب من غرفة العزل:

إن الهواء المسحوب من غرفة العزل غالباً ما يكون يحتوي على الجزيئات المسببة للعدوى ونتيجة لذلك فإن هذا الهواء يجب أن يتم توجيهه وتصريفه مباشرة إلى خارج المستشفى حيث يتم تخفيف تركيز هذه الجزيئات بفعل الهواء الخارجي وقتلها بواسطة أشعة الشمس، وحسب توجيهات CDC فإن نظام تصريف وسحب الهواء من غرفة العزل (غرفة الفصل والحمام الخاص بالغرفة في حال تواجدهما) يجب أن يكون خاصاً بها فقط ولا يشترك معها أي غرفة أو مساحات أخرى منعاً لانتقال العدوى.

إن الهواء المسحوب من غرفة العزل يتم طرده خارجاً بعيداً عن المستشفى، لذلك فإن المروحة التي تقوم بسحب هذا الهواء من المجرى يتم اختيار موقعها وتصميمها لتقلل إمكانية أن يقوم الأشخاص في محيط المستشفى باستنشاق هذا الهواء إلى الحد الأدنى أو أن يتسرب من جديد إلى مداخل الهواء النقي للمستشفى، لذلك يتم توجيه هذا الهواء بعيداً عن الأماكن المجاورة عند طرده خارجاً حيث يتم توجيهه عامودياً للأعلى بسرعة 2000 FPM (feet per minute) كما أن موقع طرد هذا الهواء يجب أن يكون بعيداً على الأقل بمسافة 25 قدم أي ما يعادل 7.62 متراً عن أي مناطق مجاورة أو مداخل الهواء للمستشفى.

في أغلب الأحيان يكون من الصعب القيام بهذه الطريقة حيث يصعب توافر مثل هذه المساحة عند التنفيذ وأيضا يجب الأخذ بعين الاعتبار التوسعات المستقبلية بالمستشفى أو المباني المجاورة له والتي من الممكن ألا ينتبه القائمون على التصميم على وجود هذه المسافة المحظورة عنها.

من الممكن عندها تطهير أو فلترة هذا الهواء عن طريق HEPA فلتر، في هذه الحالة فإن HEPA فلتر يجب أن

يتوضع داخل دكت السحب الرئيسي للهواء الذي يتم طرده بعد مروحة الشفط، وقد يعد خياراً غير مرغوباً بشكل واضح كونه أكثر كلفة من حيث التركيب والتشغيل والصيانة مقارنة بتصريف هذا الهواء مباشرة عن طريق مروحة الشفط.[11]

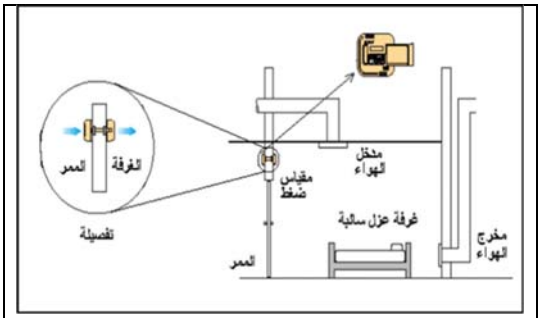
المراقبة المستمرة لقيمة الضغط في الغرفة:

بعد أن يتم تجهيز غرفة العزل ذات الضغط السالب وقبل أن يتمم استقبال أي مريض فيها، يجب التأكد من ضبط كميات تدفق الهواء (الداخل والخارج) حسب توجيهات المهندس في التصميم للتأكد من أنها تعمل على نحو الذي صممت لأجله وبشكل عام الأنظمة الميكانيكية من الممكن أن يختل عملها أحياناً وتبتعد عن حالة التوازن المطلوب لذلك فإنه من الضروري التأكد بشكل دائم من أن الغرفة مازالت تحت الضغط السالب.

التخطيط لهذه العملية يجب أن يكون ضمن عملية التصميم الأولي للغرفة والطريقة الأكثر موثوقية لمراقبة الضغط السالب هو تركيب مقياس ضغط كهربائي وذلك للتأكد من أن ضغط الغرفة سالب (بالنسبة للممر أو غرفة الفصل) على مدار 24 ساعة كجزء من مشروع تصميم وبناء الغرفة.

عندما يتم اختيار وتركيب مقياس الضغط بشكل صحيح ومناسب كما هو موضح في الشكل (3)، فإنه يؤمن مؤشرات نوعية وكمية مستمرة للتحقق من ضمان الضغط السالب عبر حدود الغرفة.

وتؤمن المراقبة المستمرة إنذاراً فورياً في حالة فشل الضغط السالب أو تقلب قيمته خلال فترات اليوم، في حالة ارتفاع الضغط داخل الغرفة إلى قيمة معينة يتم ضبطها مسبقاً على المقياس، فإن المقياس يعطى إنذار صوتي وضوئي لإنذار طاقم التمريض أو طاقم الصيانة.



الشكل -3- يوضح كيفية قياس فرق الضغط بين الغرفة والممر[7]

النتائج

تمكنّا من الوصول إلى تصميم غرفة عزل متكاملة لمرضى الكورونا، تؤمن العزل التام لهم عن المحيط الخارجي، وتحد من انتشار العدوى ضمن المستشفى، وإلى الكادر الطبي المسؤول عن متابعة الحالة، وهي من نوع class Q، متبعين بذلك التصميم المستخدم في إحدى الدراسات السابقة[6] ، وذلك لأنه يعتمد على شكل نموذجي لتصميم غرف المستشفيات، مع القيام بتعديل على مساحة الغرفة، وما يترافق مع ذلك من تعديلات على الحسابات المتعلقة بنظام التهوية، وحصلنا بذلك على غرفة تتمتع بالمواصفات التالية:

- عبارة عن غرفة مؤلفة من:

1- غرفة خاصة بالمريض.

2- غرفة الفصل.

3- دورة مياه خاصة بالمريض.

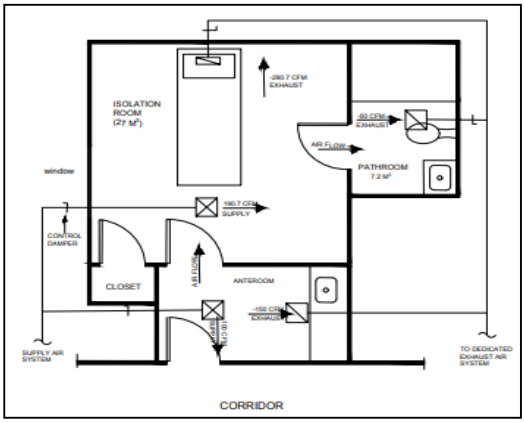
- المساحة الكلية للغرفة: 14.2 متر مربع بالإضافة إلى 0.5 متر مربع متمثلة بمساحة خزانة جدارية صغيرة لمستلزمات المريض.
- معدل ضخ الهواء إلى الغرفة: وهو مجموع ضخ الهواء في كل من غرفة المريض، وغرفة الفصل على التوالي

190.7+100=290.7 CFM

- معدل سحب الهواء من الغرفة: وهو مجموع الهواء المسحوب من كل من غرفة المريض ودورة المياه وغرفة الفصل على التوالي

290.7+50+150=490.7 CFM

- ويجب أن ننوه أن نظام التهوية المستخدمة هو نظام تهوية متجدد حيث يتم طرد الهواء إلى خارج الغرفة عبر أنابيب تهوية خاصة وذلك بعد مروره بالمرشح عالي الكفاءة للبكتريا.



الشكل -4- المخطط العام لغرفة العزل سالبة الضغط

مواصفات غرفة المريض

عبارة عن غرفة مفردة بسرير واحد، لها نافذة زجاجية غير قابلة للفتح مطلة على الجهة الشمالية، صُممت نقاط التقاء الجدران والأرضية بحيث لا تكون زوايا حادة لمنع تجمع الغبار والبكتريا.

لها المواصفات التالية:

a) مساحة الغرفة:

9متر مربع، بأبعاد (3_x3_x3) متر، ولقد قمنا باختيار هذه المساحة وفق المعايير الخاصة بوزارة الصحة التي توصي بأن تكون مساحة غرفة مشفى بسرير واحد لا تقل عن 3*3 متر مربع.

b) مواصفات نظام التهوية المستخدم:

i) نظام تهوية باتجاه واحد بحيث لا يعاد تدوير الهواء.

ii) يتم طرد الهواء مباشرة إلى الخارج بعد مروره بفلتر عالي الكفاءة HEPA Filter.

iii) مدخل سقفي لضخ الهواء فوق سرير المريض من جهة الأقدام بحيث لا يوجد أي عائق لتدفق الهواء.

iv) يتم سحب الهواء من قبل مخرج سقفي بجوار رأس المريض، حيث يكون مخرج الهواء بعيد عن مدخله لتأمين الخلط الجيد للهواء.

v) معدل تغيير الهواء:

يجب أن يتم تغيير الهواء في الغرفة بمعدل 12 ACH

$$12\ Air\ change = 12 \times (3 \times 3 \times 3)$$
$$= 324m^3 = 11441.95\ ft^3$$

وهذا يؤدي إلى أن معدل تدفق الهواء إلى الغرفة:

$$Supply\ air\ flow\ rate = 11441.95\ CFH$$
$$= 190.7\ CFM$$

vi) كمية الهواء المسحوب:

$$Extract\ air = 100CFM + 190.7$$
$$= 290.7\ CFM$$

viii) الفرق بين معدل السحب والتزويد هو 100- CFM

مواصفات غرفة الفصل:

- اعتمدنا على وجود هذه الغرفة لأنها تزيد من فعالية العزل.
- تفصل بين غرفة المريض والممر الخارجي.
- المساحة:2.8 متر مربع، بأبعاد ($2.3_x1.2_x3$) متر
- باب هذه الغرفة على استقامة واحدة مع باب غرفة المريض لتسهيل دخول المعدات والأجهزة الطبية، ويكون مزود بنافذة زجاجية للتقليل من عملية فتح وإغلاق الباب.
- الباب يفتح للداخل لتفادي انتقال الميكروبات مع التيار الهوائي الناتج عن فتح الباب.

- الضغط إيجابي بالنسبة لغرفة المريض.
- تحتوي على: مغسلة بصنابير تفتح أوتوماتيكياً، تجهيزات غسل وتطهير الأيدي، تجهيزات لتخزين معدات الوقاية الشخصية وتجهيزات للتخلص من المعدات الملوثة.
- يتم ضخ الهواء إلى هذه الغرفة بمعدل 100CFM
- يتم سحب الهواء منها بمعدل 150 CFM.

دورة المياه:

- عبارة عن غرفة صغيرة تحتوي على مرحاض وحوض استحمام ومغسلة للأيدي خاصة بالمريض فقط، وتتصل مع غرفة المريض عبر باب ينفتح باتجاه الخارج للمحافظة على فرق الضغط، ولا توجد أية مخارج أخرى لهذه الغرفة.
- مساحة دورة المياه:2.4 متر مربع، بأبعاد (2×1.2×3) متر.
- ضغط دورة المياه سالب بالنسبة لغرفة المريض للتحكم بحركة انتقال الهواء.
- يوجد فيها مأخذ واحد لسحب الهواء ولا يوجد مأخذ لتغذية الهواء.
- معدل سحب الهواء من الحمام 50CFM.

الآفاق المستقبلية

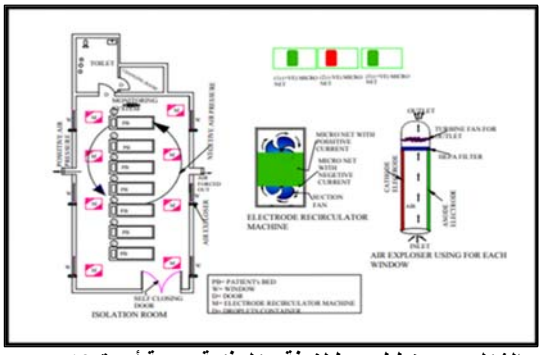
غرفة العزل الذّكية (Smart isolation room):

هي عبارة عن إجراء وقائي لإبطاء انتقال COVID-19 يقلل من الحمل الفيروسي في غرفة العزل، كما أنه يخفض احتمالية انتقال العدوى من المريض إلى الكادر الطبي، ويزيد فرصة الشفاء للمريض بشكل أسرع مما يقلل نسبة الوفيات بالمقارنة مع السيناريو الحالي لغرف العزل. يمكن أن يستخدم هذا النوع من الغرف لعزل أكثر من مريض معاً [14].

تحتوي هذه الغرفة على:

- المفجر هوائي(air exploser) : يستخدم بشكل أساسي لقتل الفيروسات وتقليل عددها داخل الغرفة، يوضع على النوافذ والتي تكون مغلقة وغير قابلة للفتح، يحتوي هذا الأنبوب على قطب سالب وآخر موجب، عندما تتحرك الفيروسات أو الجزيئات بين هذين القطبين سوف تشحن وبعدها الهواء المشحون سوف يتدفق خلال HEPA Filterثم يتم تصريف الهواء النقي الخالي من الفيروسات إلى خارج الغرفة.
- جهاز التدوير القطبي (Electrode recirculator machine): تتألف من مراوح لشفط الهواء الملوث من الغرفة وإعادة تدويره بعد فاصل زمني معين. حيث يدخل الفيروس الموجود بالهواء إلى هذا الجهاز ويحترق عند جهد معين متولد في الجهاز، وهذا يؤدي إلى تقليل الحمل الفيروسي في الغرفة إلى الصفر.
- حاوية الرذاذ(Droplet container) : يوصى باستخدام حاوية الرذاذ المطورة لمرضى COVID-19 وكذلك لمختلف مرضى الأمراض التنفسية التي الأخرى الذين يعانون من العطاس والسعال المستمر. وهي عبارة عن جهاز يمكن للمريض أن يقوم بتشغيله بنفسه من خلال مفتاح يوضع على السطح الخارجي للحاوية. وتعمل على مبدأ أنه عندما يعطس المريض داخل الجهاز ينتشر الرذاذ وفق الجهاز حيث يتم حرق الفيروسات في الرذاذ بسبب جهد متولد بين المصعد والمهبط، كما يتم التعقيم بالكحول بتركيز 70% مما يمنع انتشار الفيروس في جو الغرفة.

ويظهر الشكل -5- مخطط بسيط لغرفة عزل ذكية بسبعة أسرة، تحتوي على: باب ذاتي الإغلاق، ست نوافذ مغلقة بشكل دائم، كل نافذة مزودة بأنبوب مفجر هوائي كما تحتوي الغرفة على ثماني وحدات إعادة تدوير قطبية، بالإضافة إلى حاوية رذاذ خاصة لكل مريض.

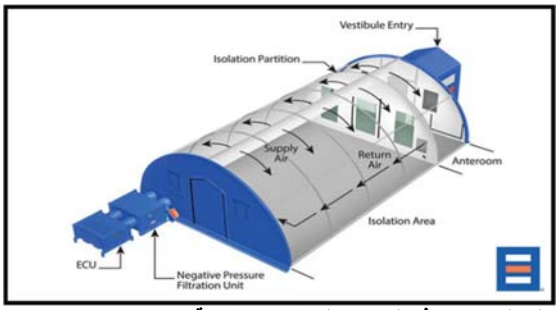


الشكل -5- مخطط بسيط لغرفة عزل ذكية بسبعة أسرة[12]

عنابر العزل (Isolation shelters):

في ظل معطيات الوضع الراهن والظروف التي فرضتها جائحة الكورونا التي أثبتت الحاجة إلى عدد كبير من غرف العزل لتستوعب العدد الهائل من المصابين الذين يحتاجون لعزل وعناية خاصة على اختلاف وتفاوت درجات المرض وكونه من المستحيل وجود عدد كافي من الغرف لهذا العدد من الإصابات لذلك كان هناك حاجة لإجراء واستجابة أكثر مرونة وسرعة ومن هذا المنطلق جاءت فكرة عنابر العزل (isolation shelters) التي وفرت خياراً مناسباً من الناحية الطبية والصحية والمالية، حيث يتم شراء تجهيزات هذه العنابر من خلال الشركات المتخصصة ولا تحتاج الكثير من الوقت لكي تكون جاهزة للاستخدام.[15]

لقد أجاز مركز مكافحة والتحكم في الأمراض (cdc) استخدام عنابر العزل بمواصفات محددة كبيئة عزل سالبة الضغط للمرضى المصابين بأمراض معدية تنتقل عن طريق الهواء.



***الشكل-6-* نموذج لعنبر عزل مقدم من شركة BLU-MED .[15]**

إن التصميم المذكور هو من إنتاج شركة BLU-MED وهو مزود بنظام عزل سالب الضغط يحقق متطلبات العزل سالب الضغط ويتحكم بالعوامل الثلاث لجودة الهواء الداخلي (جزيئية- بيولوجية-غازية).

المكونات الرئيسية لوحدات العزل سالبة الضغط من الشركة المذكورة:

1-عنبر عزل طبي (عرضه 20 قدم، طوله 32.5 قدم) ويتوفر أحجام مختلفة

2- وحدة تحكم بيئية بالتهوية تطابق معيار (12ACH) الذي يفرضه (cdc)

3- نظام توزيع الهواء (عبارة عن مجاري هوائية وصندوق تكييف بداخلها للتحكم بدرجة الحرارة)

4- أجهزة لتنقية الهواء سالب الضغط (HEPA FILTER، UVGI FILTER)

5-نظام إنذار ومراقبة لقيمة الضغط

6- نظام إضاءة وتوزيع كهربائي (مصابيح LED ومخارج كهربائية 220 فولت و50 أو 60 هرتز)

كما أن الشكل السابق يمكن تحويله بسهولة إلى نمط العزل موجب الضغط.

الخلاصة

من خلال بحثنا نكون قد قدمنا شرحاً عن مفهوم غرف العزل الخاصة بالمرضى المصابين بفيروس الكورونا وهي غرف العزل سالبة الضغط، موضحين الاختلاف بينها وبين أنواع غرف العزل الأخرى.

وقد تم بشكل كامل ومفصل ذكر الاعتبارات والمتطلبات الأساسية المتعلقة بالتصميم المعماري ونظام التهوية الخاص بالغرفة التي تفرضها أهم المراكز والمؤسسات الناظمة لعمل القطاع الصحي وتلك المختصة بتقييم جودة عمله مع شرح الأساليب والتقنيات الهندسية اللازمة لتطبيق المتطلبات السابقة بشكل سليم محققين بذلك التصميم الأمثل لغرفة العزل سالبة الضغط، وباستخدام ما سبق قمنا بتصميم نموذج مثالي لغرفة عزل سالبة الضغط يمكن تطبيقه عملياً. إن الانتشار المفاجئ والسريع للجائحة أوضح العديد من العيوب التي تتعلق بقلة جاهزية وضعف القطاع الصحي على المستوى الدولي وعدم قدرته على التعامل مع هذا النوع من الأوبئة لذلك نأمل أن يساهم هذا البحث في

المساعدة في علاج وإصلاح تلك النقاط بما يتعلق بمفهوم العزل بشكل عام.

المراجع

1- World Health Organization. Novel Coronavirus (2019-ncov) situation reports.
2- https://www.who.int/ar/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19 (2021-9-10)
3- "Airborne Infection Isolation Rooms –A Review of Experimental Studies". Indoor and Built Environment. (2011)
4- "Implementing a negative-pressure isolation ward for a surge in airborne infections patients". American Journal of Infection Control. (2020)
5- Guidelines for the classification and design of isolation rooms in health care facilities, Victorian Advisory Committee on Infection Control, (2007).
6- Curry.F (2000)" Isolation rooms: design, assessment, and upgrade", National Tuberculosis Center.
7- مواصفات مكافحة العدوى لغرف عزل الأمراض المعدية عن طريق الهواء (سالبة الضغط)، الإدارة العامة لمكافحة عدوى المنشآت الصحية، وزارة الصحة السعودية، نوفمبر 2020
8- Guidelines for construction and equipment of hospital and medical facilities. American Institute of Architects. 1992-93
9- International Health Facility Guidelines, Part B: version 5 2017.
10- Removal of Airborne Contamination in Airborne Infectious Isolation Rooms, ASHRAE Journal, February 2019.
11- HVAC Design for Healthcare Infection Control - Isolation Rooms, Riyadh international convention and exhibition center, 30 January 2019.
12- "Operational considerations for case management of COVID-19 in health facility and community", World Health Organization' (19 March 2020).
13- Z. Xu and B. Zhou, Dynamic Isolation Technologies in Negative Pressure Isolation Wards, Nature Singapore Pte Ltd. 2017, chapter 7, page181-216.
14- Panda.S, Khatua.D, Samanta.E, Ahmed.A "A smart isolation room for COVID-19", Global Institute of Science & Technology, Haldia, India, 28 May 2020.
15- https://blu-med.com ,(July 2021).