فِلتر تنفُّس مُبتكر بالأشعة فوق البنفسجية البعيدة لمقاومة الكائنات الدقيقة

أ.د. صادق ساسي

عبد اللّه القاوقجي، طالب بقسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، كلية الهندسة – جامعة قطر

أ.د. صادق ساسي، أستاذ الهندسة الميكانيكية، قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية، كلية الهندسة – جامعة قطر

أ.د. عادل القصطلي، أستاذ هندسة كهربائية، ورئيس وحدة مراجعة البرامج وتقويم مخرجات التعلُّم، بمكتب التخطيط الأكاديمي وضمان الجودة – مكتب نائب رئيس الجامعة للشؤون الأكاديمية – جامعة قطر

د. سوسو زغير، أستاذ مشارك في علم الأحياء الدقيقة، كلية الطب، القطاع الصحي – جامعة قطر

د. محمود الجمل، مساعد باحث، كلية الطب، القطاع الصحي – جامعة قطر

1- مقدمة

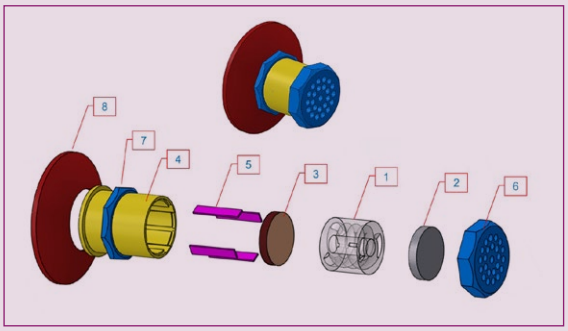
أوجدت جائحة فيروس كورونا الأخيرة حاجة مُلحة لتوفير حماية أكثر فعالية للجهاز التنفُّسي ضد الأمراض المنقولة بالهواء. ويكشف هذا المشروع البحثي النقاب عن تطوير فِلتر تنفُّس مُبتكر وقابل لإعادة الاستخدام ويعمل على دمج أضواء لِيد للأشعة فوق البنفسجية البعيدة لتعقيم عمليات تدفق الهواء عند الزفير والشهيق. ويحتوي ضوء الأشعة فوق البنفسجية البعيدة على آثار مبيدة للجراثيم، ويعد آمنًا عند تعرض الإنسان له. ويُمثل هذا المنهج المُبتكر تقدمًا مقارنة بأقنعة التنفُّس السابقة المخصَّصة للاستخدام مرة واحدة وكذا تقنيات الترشيح السلبية.

2- المنهج

2-1 مفهوم التصميم المقترح

ينطوي المفهوم الجوهري المقترح على تعقيم مُسببات الأمراض المنقولة عبر الهواء عند دخولها وخروجها من الجهاز التنفُّسي للإنسان. ويتمثل الهدف الرئيسي في ضمان سلامة الأفراد غير المصابين من خلال الحيلولة دون استنشاقهم الهواء الملوث ومنع الأفراد المصابين من نقل مُسببات الأمراض عبر هواء زفيرهم. ويُمكن تحقيق ذلك من خلال تنفيذ جهاز تنفُّس يستخدم ضوء الأشعة فوق البنفسجية البعيدة لأغراض التعقيم.

ويضع التصميم المقترح في حُسبانه تصورًا مفاده جهاز تنفُّس مزود بفِلتر مُعَد خصيصًا يحتوي على ضوء الأشعة فوق البنفسجية البعيدة (شكل 1). ويمر الهواء الذي يدخل إلى جهاز التنفُّس عبر الفِلتر ويتعرض إلى الأشعة فوق البنفسجية للتعقيم في أثناء عمليتي الشهيق والزفير. ويوفر هذا المنهج المُبتكر حاجزًا وقائيًا يحول دون استنشاق الأفراد للعوامل المُعدية ويخفف من مخاطر انتقال مسببات الأمراض عبر هواء الزفير.



الشكل (1): عرض تفصيلي يوضح فِلتر جهاز التنفُّس المقترح بالأشعة فوق البنفسجية.

2-2 تحسين التصميم

تعتمد فعالية التعرض للأشعة فوق البنفسجية المبيدة للجراثيم في فلاتر أجهزة التنفُّس المعقمة على عاملين رئيسيين: شدة الأشعة فوق البنفسجية ومدة التعرض للأشعة. ويتعين الوصول بمدة التعرض إلى أقصى قدر ممكن وصولاً إلى مستوى مرتفع من إزالة التلوث. وسيترتب على تحسين شدة الأشعة فوق البنفسجية، من خلال الاختيار المناسب لمصدر ضوء الأشعة فوق البنفسجية، ومدة التعرض الكافية تحقيق أكبر قدر فعَّال من التطهير، مما يسمح بإعادة استخدام فلاتر جهاز التنفُّس بشكل آمن.

وحيث إن أغلب أنظمة الأشعة فوق البنفسجية المتوفرة تجاريًا تعمل بحسب الطول الموجي النموذجي للقضاء على الجراثيم، تَعدُّ مدة التعرض، التي تُحدد بشكلٍ رئيسي عند تصميم الفِلتر (طول الأنبوب اللولبي)، بمثابة العامل الرئيسي في تحسين فعالية التطهير. وتؤدي زيادة مدة التعرض إلى إطالة مسار تدفق الهواء داخل الفِلتر، مما يسمح بمواصلة تعرض الهواء إلى الأشعة فوق البنفسجية لفترة زمنية أطول. ويمكن تحقيق ذلك من خلال إضافة الحواجز، والمنعطفات، والممرات المتعرجة داخل الفِلتر. ومع ذلك، تودي مسارات الهواء الممتدة إلى انخفاض كبير في الضغط، مما يجعل عمليتي الشهيق والزفير أكثر صعوبة.

2-3 معايير جهاز التنفُّس

لضمان السلامة والفعالية، يجب أن يلتزم تصميم جهاز التنفُّس بمعايير الأداء المقررة. وينص المعهد الوطني للسلامة والصحة المهنية على بروتوكولات ومتطلبات الاختبار اللازمة لمقاومة الجهاز التنفُّسي. وطبقًا للائحة رقم 42 من الجزء رقم 84 من قواعد اللوائح الاتحادية الخاصة بالمعهد الوطني للسلامة والصحة المهنية، يجب اختبار أجهزة التنفُّس بمعدل تدفق هواء 85 لترًا/دقيقة (تقريبًا 0.00142 م³/ثانية) لتحديد أقصى مقاومة للشهيق والزفير. ويقل الحد المسموح به عن 70 مم من ضغط الماء في أثناء الشهيق والزفير. ويؤدي تجاوز حدود المقاومة المذكورة إلى إعاقة تدفق الهواء، مما يجعل التنفُّس عبر جهاز التنفُّس صعبًا ومرهقًا. ويساعد الامتثال مع معايير المعهد الوطني للسلامة والصحة المهنية في ضمان ألا تتسبب أجهزة التنفُّس في إرهاق بدني غير مبرر في أثناء الاستخدام المستهدف لها.

2-4 عملية تحسين التصميم

تم تنفيذ عملية متكررة لتحسين تصميم فِلتر جهاز التنفُّس، وزيادة فعالية التعقيم بينما تقل مقاومة التنفُّس (اختلافات الضغط) وأثر العوامل البشرية على المستخدم إلى أقل حد ممكن. وتم تقييم عدة مفاهيم باستخدام المعاملات الرئيسية التالية:

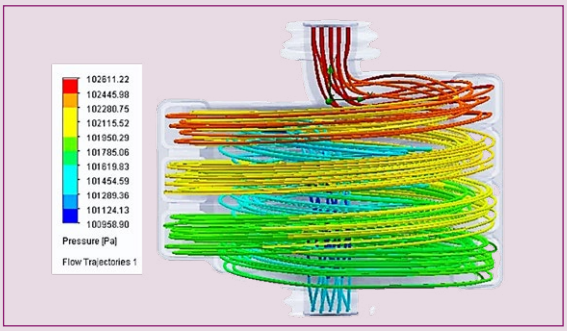
- شكل وطول مسار الهواء: يؤدي المسار الأكثر امتدادًا والتفافًا إلى زيادة مدة التعرض إلى الأشعة فوق البنفسجية ويزيد كذلك من حجم ومقاومة التنفُّس.
- المقطع العرضي من مسار الهواء: يؤدي المقطع العرضي الأكبر

إلى تقليل المقاومة لكنه يزيد كذلك من حجم الفِلتر، ويؤثر الشكل على التعرض إلى الأشعة فوق البنفسجية.

- أبعاد الفِلتر: يؤثر الارتفاع والقُطر على الملاءمة، ومجال رؤية المستخدم، والوزن الإجمالي.
- شفافية المادة: تُحسِّن المواد عالية الشفافية من انتقال الأشعة فوق البنفسجية إلى مسار الهواء. وتعتمد الشفافية على المادة المستخدمة والملمس السطحي للمنتج النهائي.
- الوزن: يُساهم الوزن الزائد في الشعور بالتعب عند الاستخدام لفترات طويلة.
- مقاومة التنفُّس: يجب أن يظل الانخفاض في الضغط عبر الفِلتر أقل من 70 مم من الماء طبقًا لمعايير المعهد الوطني للسلامة والصحة المهنية.

5-2 محاكاة ديناميكا الموائع الحسابية

تم إجراء فحص عددي باستخدام برنامج سوليد ووركس لتقييم مقاومة التنفُّس للعديد من تصميمات فِلتر جهاز التنفُّس من خلال عمليات محاكاة ديناميكا الموائع الحسابية (شكل 2). ويتمثل الهدف في تحديد الامتثال مع معيار مقاومة الشهيق والزفير بحسب المعهد الوطني للسلامة والصحة المهنية، الذي يشير إلى انخفاض الضغط لأقل من 70 مم من الماء. وتحاكي نماذج ديناميكا الموائع الحسابية تدفق الهواء ومجالات الضغط داخل الفِلتر في ظروف التنفُّس العادية. وقاست الاختبارات فرق الضغط عبر كل نموذج أولي للفِلتر حيث يبلغ معدل مدخل تدفق الهواء 85 لترًا/دقيقة (0.00142 م³/ثانية).



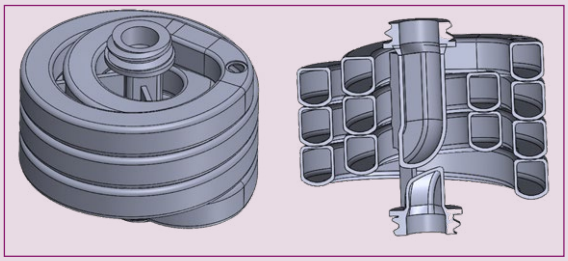
الشكل (2): نتائج محاكاة ديناميكا الموائع الحسابية.

وباختصار، يتناول التصميم المختار (شكل 3) جميع الأهداف الجوهرية للتحسين بصورة موحدة:

- يُحسِّن توصيل الأشعة فوق البنفسجية من خلال مسار لولبي ثنائي طويل.
- يمتثل مع المعايير المتعلقة بمقاومة التنفُّس.
- يضمن هيكله المُحكم والخفيف قابلية ارتدائه.
- تضمن أبعاده الانسيابية إمكانية رؤية المستخدم وحركته.

إن نقاط القوة المتكاملة للتصميم المختار جعلته المرشح المثالي للتحسين النهائي وقابلية تسويقه تجاريًا كفِلتر لجهاز التنفُّس باستخدام الأشعة فوق البنفسجية البعيدة. وستركز تحسينات التصميم الإضافية على الحالة النهائية للمواد، ومعاملات الطباعة، وعوامل الهندسة البشرية، بينما تحافظ على الأداء الفائق.

وستكون المحصلة إنتاج فِلتر مُحسَّن يجمع بين فعالية التعقيم الرائدة وسلامة المستخدم التي لا يمكن المساس بها، والراحة، والامتثال مع اللوائح المقررة. وسيتيح ذلك توفير أداة حماية للجهاز التنفُّسي يمكن إعادة استخدامها، مما يساعد في حماية الكوادر العاملة في الخطوط الأمامية ضد مسببات الأمراض المنقولة جوًا.



الشكل (3): التصميم النهائي للفِلتر مع عرض مقطع يوضح التفاصيل الداخلية.

3- التجارب المختبرية والنتائج

في تجربة إثبات المفهوم، تم اختبار فعالية القناع المُبتكر ثلاثي الأبعاد لفِلتر الأشعة فوق البنفسجية البعيدة. وطُلب من أربعة متطوعين الاستنشاق ثلاث مرات أثناء ارتداء القناع ثلاثي الأبعاد عند إطفاء أضواء الأشعة فوق البنفسجية والاستنشاق ثلاث مرات عند تشغيل أضواء الأشعة فوق البنفسجية. وتم تجميع البكتريا الفموية المتطايرة على أطباق الآجار البكتيرية قبل أن يرتدي الشخص الخاضع للاختبار القناع، ووضعت البكتيريا في حضانة عند درجة حرارة 37° مئوية طوال الليل. وتم تقييم عدد المستعمرات البكتيرية السليمة على أطباق الآجار في اليوم التالي، وتم مقارنة عدد المستعمرات بين الحالتين عند استخدام الأشعة فوق البنفسجية وعند عدم استخدامها. وكشفت البيانات أن استخدام الأشعة فوق البنفسجية البعيدة بالفِلتر في أقنعة جهاز التنفُّس يمكنها تقليل البكتيريا المتطايرة. أما نقطة ضعف الدراسة فتمثلت في أنها لم تستطع الحُكم على فعالية القناع ضد الفيروسات المتطايرة. وهناك حاجة إلى إجراء بعض الأعمال المستقبلية الخاصة بالتأكد من فعالية مكافحة الفيروسات باستخدام طرق زراعة الخلايا البشرية.

4- الاستنتاجات

ختامًا، تمكنت مجموعة الفِلتر النموذجية الناتجة من توفير التعقيم باستخدام الأشعة فوق البنفسجية البعيدة بفعالية، كما أنها تستوفي معايير مقاومة التنفُّس بحسب المعهد الوطني للسلامة والصحة المهنية، وتمنح الأولوية لسلامة المستخدم، وراحته وحركته. كما أماطت اللثام عن إمكانات واعدة على تعطيل البكتيريا، إلا أن الأمر يستدعي مزيدًا من التحقق من فعاليتها في القضاء على الفيروسات.