

التقرير النهائي

توظيف أدوات النمذجة والمحاكاة في تعزيز إدارة الحشود بالمسجد الحرام لتيسير أداء المناسك ورفع كفاءة التشغيل الميداني

الباحث الرئيس

د. محمد صديق ياسين

الباحثين المشاركون

د. عبد الله نورالهوساوي

أ.د. عصام خان

د. صادق قاضي

١٤٤٧هـ (٢٠٢٦م)

قسم المعلومات والخدمات العلمية



قائمة المحتويات

المُلخَص.....	١
Abstract.....	٢
١. مقدمة.....	٣
٢. مشكلة الدراسة.....	٥
٣. أهداف الدراسة.....	٥
٤. منهجية الدراسة.....	٦
٥. تصميم نماذج المحاكاة للمناطق محل الدراسة.....	٨
٥-١ منطقة استخدام الحواجز لتنظيم حركة الطائفين في الأدوار.....	٨
٥-٢ منطقة انتقال الحجاج والمعتمرين من صحن المطاف إلى الأدوار العلوية للمسعى من خلال السلالم الكهربائية أو الخروج عبر باب السلام.....	٩
٦. ملخص النتائج.....	١١
٦-١ نتائج سيناريوهات محاكاة استخدام الحواجز لتنظيم حركة الطائفين في الأدوار.....	١٢
٦-٢ نتائج سيناريوهات محاكاة انتقال الحجاج والمعتمرين من صحن المطاف إلى الأدوار العلوية للمسعى عبر السلالم المتحركة.....	١٤
٦-٣ نتائج سيناريوهات محاكاة انتقال الحجاج والمعتمرين من صحن المطاف إلى الأدوار العلوية للمسعى من خلال الخروج عبر باب السلام.....	١٦
٧. الخلاصة.....	١٩
٨. التوصيات.....	٢٠
٩. المراجع.....	٢١

قائمة الأشكال

- شكل (١): تنظيم حركة الطائفين في الأدوار بواسطة حواجز تمتد بمحاذاة الأسوار المطللة على صحن المطاف. ٩
- شكل (٢): مسارات انتقال الحجاج والمعتمرين من صحن المطاف إلى الأدوار العلوية للمسعى من خلال السلالم الكهربائية. ١٠
- شكل (٣): مسارات انتقال الحجاج والمعتمرين من صحن المطاف إلى الأدوار العلوية للمسعى من خلال الخروج عبر باب السلام. ١١

الملخص

تعد أساليب إدارة الحشود أثناء أداء مناسك العمرة والحج، ولا سيما خلال الطواف بصحن الطواف والأدوار والتنقل من المطاف إلى المسعى، من العناصر الأساسية لضمان سلامة الحجاج وكفاءة التشغيل، حيث يعتمد التنظيم في المقام الأول على استخدام الحواجز لتنظيم مسارات الحركة. ورغم الدور الإيجابي لهذه الحواجز في ضبط التدفقات وتحسين الانسيابية، إلا أن تحديد مواقعها وتصميمها قد يؤثر بشكل مباشر على مدة أداء النسك من منظور الحجاج، وعلى كفاءة التشغيل من منظور الجهات التنظيمية.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أثر الحواجز التنظيمية المستخدمة في أدوار المطاف ومسارات انتقال الحجاج والمعتمرين إلى المسعى، وذلك من خلال توظيف تقنيات النمذجة والمحاكاة الحاسوبية لدراسة تأثير البدائل التنظيمية المختلفة قبل تطبيقها ميدانياً. وتم تطوير نموذج محاكاة لحركة الحشود، بحيث يمثل البيئة التشغيلية الفعلية ويتيح تحليل حركة الطائفتين والمعتمرين واختبار مجموعة من السيناريوهات التنظيمية المتعلقة بمواقع الحواجز ومسارات الحركة.

اعتمدت الدراسة على تنفيذ عدد من سيناريوهات المحاكاة التي شملت تقييم تأثير المسافة بين الحواجز التنظيمية والأسوار المطلة على صحن المطاف، بالإضافة إلى دراسة بدائل مختلفة لمسارات انتقال الحجاج والمعتمرين من المطاف إلى المسعى عبر السلالم المتحركة وباب السلام.

أظهرت النتائج أن مواقع الحواجز التنظيمية تؤثر بصورة مباشرة على مسافة الطواف والزمن اللازم لإتمامه، حيث أدى إبعاد الحواجز عن الأسوار إلى زيادة طول مسار الطواف وزمن الأداء. كما تبين أن المسارات الأكثر مباشرة بين المطاف والمسعى تقلل مسافات الحركة وأزمة الانتقال، مما يعزز انسيابية الحركة ويخفض الجهد البدني للحجاج والمعتمرين، في حين قد تسهم بعض المسارات الأطول في تحسين توزيع الحشود خلال فترات الذروة.

وتؤكد الدراسة على أهمية النمذجة والمحاكاة كأداة فعالة لدعم اتخاذ القرار في إدارة الحشود من خلال تقييم البدائل التنظيمية والهندسية قبل تطبيقها ميدانياً. كما توصي بمراعاة أثر مواقع الحواجز على مسارات الحركة، وتحقيق التوازن بين كفاءة الحركة ومتطلبات السلامة وإدارة الكثافات البشرية، بما يسهم في تحسين تجربة الحجاج والمعتمرين ورفع كفاءة منظومة إدارة الحشود في المسجد الحرام.

Abstract

Crowd management during Umrah and Hajj at (Al-Masjid Al-Haram), particularly during Tawaf and movement between the Mataf and Masaa areas, is essential for ensuring pilgrim safety and operational efficiency. Physical barriers are widely used to regulate pedestrian flows and organize movement paths; however, their placement and design can significantly influence both ritual completion time and overall operational performance.

This study evaluates the impact of organizational barriers on the Tawaf floors and the routes connecting the Mataf and Masaa areas using computer-based modeling and simulation. A pedestrian simulation model was developed to represent the operational environment and assess different barrier configurations and movement routes.

Several simulation scenarios were conducted to examine the effects of varying barrier locations and alternative routes via escalators and Bab Al-Salam. The results show that barrier placement directly affects Tawaf distance and completion time, with greater distances between barriers and perimeter railings resulting in longer travel paths and increased ritual duration. The findings also indicate that more direct routes reduce travel distance and transfer time, improving pedestrian flow and reducing physical effort, while some longer routes may help distribute crowds more effectively during peak periods.

The study demonstrates the value of simulation as a decision-support tool for evaluating organizational alternatives before field implementation. It recommends carefully considering barrier placement and route design to achieve an appropriate balance between operational efficiency, safety, and crowd distribution within the Grand Mosque.

١. مقدمة

يعد المسجد الحرام من أكثر البيئات التشغيلية تعقيدا في العالم من حيث إدارة الحشود، إذ يستقبل سنويا ملايين المعتمرين والحجاج القادمين من مختلف دول العالم لأداء مناسك الحج والعمرة. وتمتاز هذه الحشود بتنوع كبير في خصائصها العمرية والبدنية والثقافية، فضلا عن تباين أنماط الحركة وسرعات المشي ومستويات الإلمام بالموقع. ونتيجة لذلك، تواجه الجهات المسؤولة عن إدارة الحشود تحديات تشغيلية وتنظيمية معقدة تتطلب تطبيق أساليب متقدمة تضمن سلامة الزوار وتحافظ على انسيابية الحركة وكفاءة التشغيل داخل المسجد الحرام.

وتزداد هذه التحديات في المناطق التي تشهد كثافات بشرية مرتفعة وتدفقات مستمرة للحركة، ولا سيما المداخل، ومناطق الطواف والسعي ومسارات الانتقال بينهما. ففي هذه المواقع تتداخل حركة أعداد كبيرة من الحجاج والمعتمرين الساعين إلى أداء مناسكهم في أوقات محددة وضمن مساحات محدودة نسبيا، مما يستوجب تطبيق أساليب تنظيمية فعالة تحقق التوازن بين السلامة والانسيابية والطاقة الاستيعابية.

وقد شهد المسجد الحرام خلال العقود الماضية مشاريع توسعة وتطوير متتالية رمت إلى زيادة الطاقة الاستيعابية وتحسين تجربة الحجاج والمعتمرين، شملت تطوير أدوار الطواف وتوسعة المسعى وإنشاء ممرات وسلالم ومناطق انتقال متعددة المستويات. غير أن الاستفادة المثلى من هذه البنية التحتية لا تتحقق فقط بمجرد توفرها، بل تعتمد اعتمادا كبيرا على كفاءة التنظيم الميداني وإدارة الحركة البشرية داخل هذه المرافق.

وتمثل الحواجز التنظيمية ركيزة أساسية في منظومة إدارة الحشود داخل المسجد الحرام، إذ توظف لتوجيه تدفقات الحركة البشرية وتحديد المسارات المخصصة للمشاة ومنع التداخل بين الحركات المتعارضة وتنظيم الوصول إلى المرافق المختلفة. بيد أن فعالية هذه الحواجز لا تعتمد فقط على وجودها، بل تتأثر بدرجة كبيرة بمواقعها وأطوالها وطريقة توزيعها وعلاقاتها المكانية بعناصر البنية التحتية المحيطة. ففي الأدوار المطلة على صحن المطاف، قد يؤدي تغيير موقع الحاجز أو المسافة الفاصلة بينه وبين السور إلى تغيير طول مسار الطواف، مما ينعكس مباشرة على المسافة المقطوعة وزمن أداء النسك ومستوى الجهد البدني المبذول. وعليه فإن أي تعديل في التنظيم المكاني للحواجز قد تترتب عليه آثار تشغيلية مهمة على كفاءة الحركة والطاقة الاستيعابية ومستويات الخدمة المقدمة.

وتواجه الجهات المعنية بإدارة الحشود تحدياً جوهرياً يتمثل في المفاضلة بين بدائل تنظيمية متعددة، إذ قد يحقق أحدها مستويات أعلى من السلامة أو توزيعاً أفضل للحشود، في حين يفرض في الوقت ذاته مسافات أطول أو أزمات انتقال أكبر. لذا فإن اتخاذ القرارات المتعلقة بإعادة توزيع الحواجز أو تعديل مسارات الحركة يستلزم أدوات علمية قادرة على تقييم آثار هذه القرارات قبل تطبيقها ميدانياً.

وتعد أنظمة محاكاة الحشود من الأدوات الأساسية لفهم مخاطر الحشود وتعزيز السلامة، وقد استخدمت على نطاق واسع في العديد من الدراسات الكبرى حول العالم [٢٠، ١]. وتعتمد عملية تقييم كثافة الحشود على معرفة خصائص المكان ومعدلات حركة الأفراد وقدرة المساحات على الاستيعاب، بما يسهم في تجنب الازدحام الخطير [٣]. كما توفر المحاكاة بيئة افتراضية تمكن من دراسة سلوك الحشود والتفاعل بينها وبين البيئة المحيطة بصورة يصعب تحقيقها في الواقع، مما يساعد على فهم تطور المخاطر وتحويلها إلى حوادث أو كوارث [٤]. ولهذا فقد برزت تقنيات النمذجة والمحاكاة الحاسوبية كإحدى أكثر الأدوات فعالية في دراسة أنظمة الحشود المعقدة، لما توفره من قدرة على بناء نماذج رقمية تمثل البيئة التشغيلية بصورة واقعية وتحاكي سلوك الأفراد وتفاعلاتهم داخل المرافق المختلفة. كما تتيح هذه التقنيات اختبار البدائل التشغيلية والتنظيمية المختلفة في بيئة افتراضية آمنة دون التأثير على العمليات الفعلية، إلى جانب إمكانية قياس مؤشرات الأداء الرئيسية، مثل الأزمات، والمسافات المقطوعة، وتحديد مواقع الاختناقات ونقاط الضعف التشغيلية. ومع ذلك، فإن هذه الأنظمة تعتمد على نماذج رياضية وافتراضات قد تؤثر في دقة النتائج، كما أنها قد تكون مكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً في التنفيذ [٦، ٥].

ويعد تحديد مناطق الكثافة المرتفعة والمنخفضة، ومراقبة تدفقات الحشود في الوقت الفعلي، من العناصر الأساسية لضمان السلامة وإدارة المخاطر. وقد أظهرت مراجعة حوادث الحشود عالمياً أن ضعف التخطيط المسبق وقصور إدارة المخاطر أثناء الفعاليات يمثلان من أبرز أسباب الحوادث الكبرى [٧].

وقد أجريت العديد من الدراسات والأبحاث المتعلقة بحركة الطواف في المسجد الحرام، وكذلك بالمسجد النبوي لتنظيم عمليتي السلام والصلاة في الروضة الشريفة، بهدف فهم ديناميكيات الحشود وتحسين إدارتها ورفع كفاءة التشغيل والسلامة [٨-١٣].

وانطلاقاً من هذه الجهود البحثية، تركز الدراسة الحالية على تحليل أثر الحواجز التنظيمية المستخدمة في أدوار المطاف ومسارات انتقال الحجاج والمعتمرين إلى المسعى، من خلال تطوير نموذج لمحاكاة حركة الحشود يحاكي

الظروف التشغيلية الفعلية داخل المسجد الحرام، بما يساهم في تقييم كفاءة هذه الحواجز ودورها في تحسين انسيابية الحركة والحد من مناطق التكدس.. ويستخدم النموذج لدراسة عدد من البدائل التنظيمية المتعلقة بمواقع الحواجز وتصميم مسارات الحركة، وتقييم انعكاساتها على انسيابية الحركة وكفاءة استغلال المسارات ومستويات الخدمة المقدمة للحجاج والمعتمرين.

كما تسعى الدراسة إلى قياس تأثير هذه البدائل على مجموعة من مؤشرات الأداء الرئيسية، تشمل زمن الطواف، والمسافة المقطوعة، وأزمنة الانتقال إلى المسعى، وانسيابية الحركة. وتهدف في النهاية إلى تحديد الترتيبات التنظيمية الأكثر كفاءة، وتقديم توصيات عملية تستند إلى نتائج المحاكاة لدعم متخذي القرار وتعزيز كفاءة إدارة الحشود وتحسين تجربة الحجاج والمعتمرين داخل المسجد الحرام.

٢. مشكلة الدراسة

تعتمد أساليب إدارة حشود ضيوف الرحمن أثناء أداء مناسك العمرة والحج، ولا سيما خلال الطواف بالأدوار وخلال التنقل من المطاف إلى المسعى، على استخدام الحواجز لتنظيم مسارات الحركة. ورغم دورها في ضبط التدفقات وتحسين الانسيابية، إلا أن مواقعها وأساليب تصميمها قد تؤثر بشكل مباشر على مدة أداء النسك من منظور الحجاج، وعلى كفاءة التشغيل من منظور الجهات التنظيمية.

ومن هنا، تبرز الحاجة إلى دراسة الطرق المثلى لوضع الحواجز وتنظيم المسارات بما يحقق التوازن بين راحة الحجاج وسلامتهم من جهة، ورفع كفاءة التشغيل الميداني من جهة أخرى.

٣. أهداف الدراسة

- تحليل أثر الحواجز التنظيمية ومسارات الحركة على كفاءة إدارة الحشود داخل المسجد الحرام، من خلال دراسة تأثير مواقع الحواجز وتوزيعها على مسافات الحركة، وأزمنة الانتقال، وانسيابية تدفقات الحجاج والمعتمرين بين المناطق المختلفة.
- تقييم تأثير البدائل التنظيمية والهندسية المختلفة على حركة الحشود وسلامتها، بما في ذلك دراسة المسارات المباشرة وغير المباشرة، وتأثير التغيرات في تصميم الممرات ونقاط الانتقال على الكثافات البشرية ومستويات الخدمة.

- تطوير نموذج محاكاة قائم على حركة المشاة باستخدام تقنيات النمذجة والمحاكاة الحاسوبية لتمثيل حركة الحجاج والمعتمرين داخل منطقة الدراسة، واختبار مجموعة من السيناريوهات التشغيلية والتنظيمية في بيئة افتراضية آمنة قبل تطبيقها ميدانياً، ومن ثم قياس مؤشرات الأداء الرئيسية لإدارة الحشود، مثل زمن الرحلة، والمسافة المقطوعة، بهدف تحديد مواطن التحسين.
- دعم متخذي القرار في اختيار البدائل الأكثر كفاءة وفعالية من خلال مقارنة نتائج السيناريوهات المختلفة وتحديد الترتيبات التنظيمية التي تحقق التوازن بين انسيابية الحركة وسلامة الحشود والطاقة الاستيعابية للمرافق.
- صياغة توصيات تشغيلية وهندسية قابلة للتطبيق تستند إلى نتائج المحاكاة والتحليل، بهدف تعزيز كفاءة إدارة الحشود وتحسين تجربة الحجاج والمعتمرين ورفع مستويات السلامة داخل المسجد الحرام.

٤. منهجية الدراسة

تستخدم الدراسة منهجاً تحليلياً قائماً على النمذجة الحاسوبية والمحاكاة لصياغة سيناريوهات متعددة لحركة الحشود داخل المسجد الحرام. من خلال ذلك سيتم جمع البيانات التشغيلية المتعلقة بتدفق الحجاج في مواقع مختارة، تصميم وتهيئة نماذج محاكاة لتوزيع الحواجز والمسارات، بالإضافة إلى اختبار تأثير التغييرات التنظيمية والهندسية على حركة الأفراد وسرعة الإنجاز.

تصميم نموذج المحاكاة يتضمن عدة خطوات أساسية تهدف إلى إنشاء محاكاة دقيقة وفعالة لنظم إدارة الحشود، ويتم تنفيذ هذه الدراسة باستخدام برنامج Anylogic لتطوير نموذج المحاكاة، وتشمل منهجية العمل بناء النموذج، تشغيل السيناريوهات، واستخراج النتائج.

أولاً: بناء نموذج المحاكاة

- اختيار المكتبة المناسبة: استخدام مكتبة المشاة (Pedestrian Library) في AnyLogic لمحاكاة حركة الحجاج والمعتمرين ودراسة سلوك الحشود داخل منطقة الحرم ومناطق الانتقال المرتبطة بها.

- بناء البيئة المكانية: تصميم منطقة الدراسة وفق المخططات الهندسية المعتمدة، بما يشمل الممرات، ومناطق الانتظار، والمداخل والمخارج، والسلالم الثابتة والمتحركة، وبوابات الدخول والخروج، والحواجز التنظيمية المستخدمة لإدارة الحشود.
- إنشاء وكلاء المشاة (Pedestrian Agents): تمثيل الحجاج والمعتمرين كوكلاء مستقلين مع تعريف الخصائص الأساسية مثل سرعة المشي، وحجم الجسم، وسلوك اختيار المسار.
- تمثيل نقاط الخدمة والانتقال: تضمين عناصر التشغيل المختلفة مثل المداخل والمخارج والسلالم والممرات الانتقالية ونقاط الاختناق المحتملة، مع تحديد قواعد الحركة واتخاذ القرار عند نقاط التفرع والالتقاء.

ثانيا: تمثيل حركة الحشود

- يتم إنشاء تدفقات المشاة باستخدام عناصر الإدخال (PedSource) وفق معدلات وصول مختلفة تمثل الظروف التشغيلية المتوقعة خلال المواسم المختلفة.
- يتم ضبط مستويات الطلب والكثافات البشرية من خلال التحكم في معدلات وصول الحجاج والمعتمرين وأنماط توزيعهم المكاني والزمني، نظرا لأهمية هذه العوامل في التأثير المباشر على انسيابية الحركة ومستويات الخدمة والسلامة.
- يتم تمثيل تأثير الحواجز التنظيمية والمسارات البديلة على حركة الحشود، بما في ذلك تأثير أطوال المسارات، وعرض الممرات، ونقاط الدمج والتقاطع بين التدفقات المختلفة.

ثالثا: تصميم السيناريوهات (Experiments)

في بيئة AnyLogic، تم استخدام تجربة تغيير المعاملات (Parameter Variation Experiment) لدراسة تأثير المتغيرات التشغيلية المختلفة على أداء نظام الحركة داخل منطقة الحرم.

ومن أبرز السيناريوهات التي تم اختبارها:

- تغيير مواقع الحواجز التنظيمية.
- تغيير عروض الممرات ومسارات الحركة.
- مقارنة المسارات المباشرة وغير المباشرة المؤدية إلى الوجهات المختلفة.

- تقييم تأثير إغلاق أو فتح بعض المسارات والمنافذ.

وتهدف هذه التجارب إلى تقييم كفاءة البدائل المختلفة وتحديد الترتيبات التشغيلية التي تحقق أفضل توازن بين الانسيابية والسلامة والطاقة الاستيعابية.

رابعاً: عرض وتحليل النتائج

الرسوم البيانية (Charts): استخدام الرسوم البيانية لعرض مؤشرات الأداء الرئيسية، ومنها:

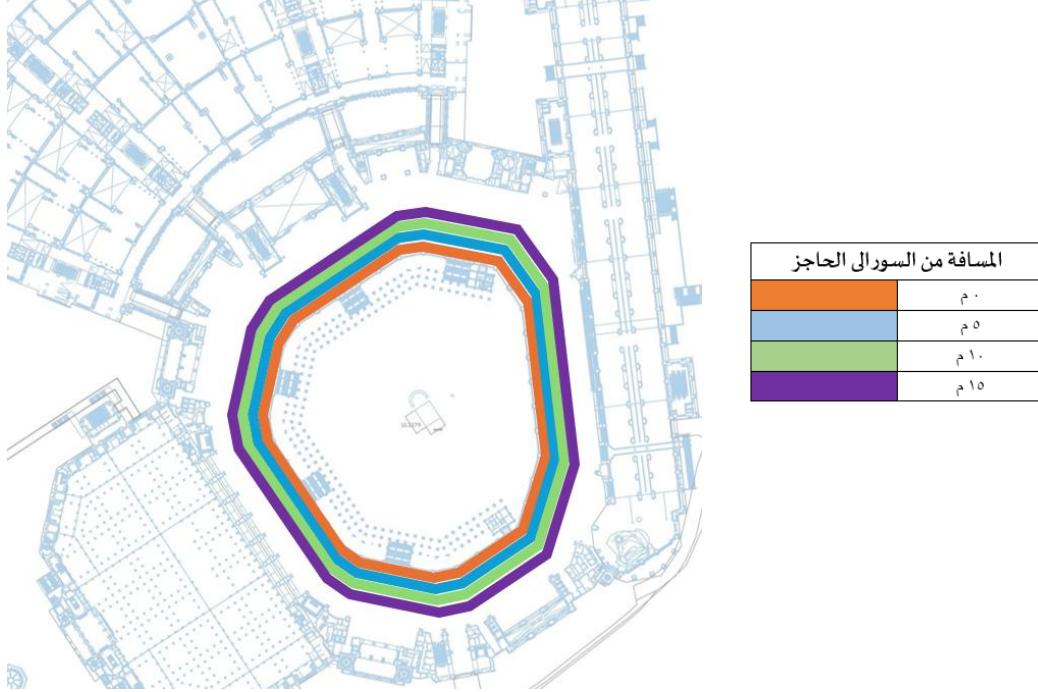
- متوسط زمن الرحلة للمشاة.
- متوسط المسافة المقطوعة.
- معدلات استخدام المسارات المختلفة.
- الطاقة الاستيعابية للممرات والمنافذ.

٥. تصميم نماذج المحاكاة للمناطق محل الدراسة

١-٥ منطقة استخدام الحواجز لتنظيم حركة الطائفين في الأدوار

يتم تنظيم حركة الطائفين في الأدوار المختلفة بواسطة حواجز تمتد بمحاذاة الأسوار المطلة على صحن المطاف، حيث تعمل هذه الحواجز على توجيه الحركة وتحديد المسارات المتاحة للطائفين بما يساهم في إدارة التدفقات البشرية وتنظيم توزيع الحشود داخل المنطقة. ويؤثر موقع هذه الحواجز والمسافة الفاصلة بينها وبين الأسوار بشكل مباشر على عرض الممرات المتاحة للحركة، وطول مسار الطواف، ومستوى انسيابية الحركة والكثافات البشرية داخل الأدوار.

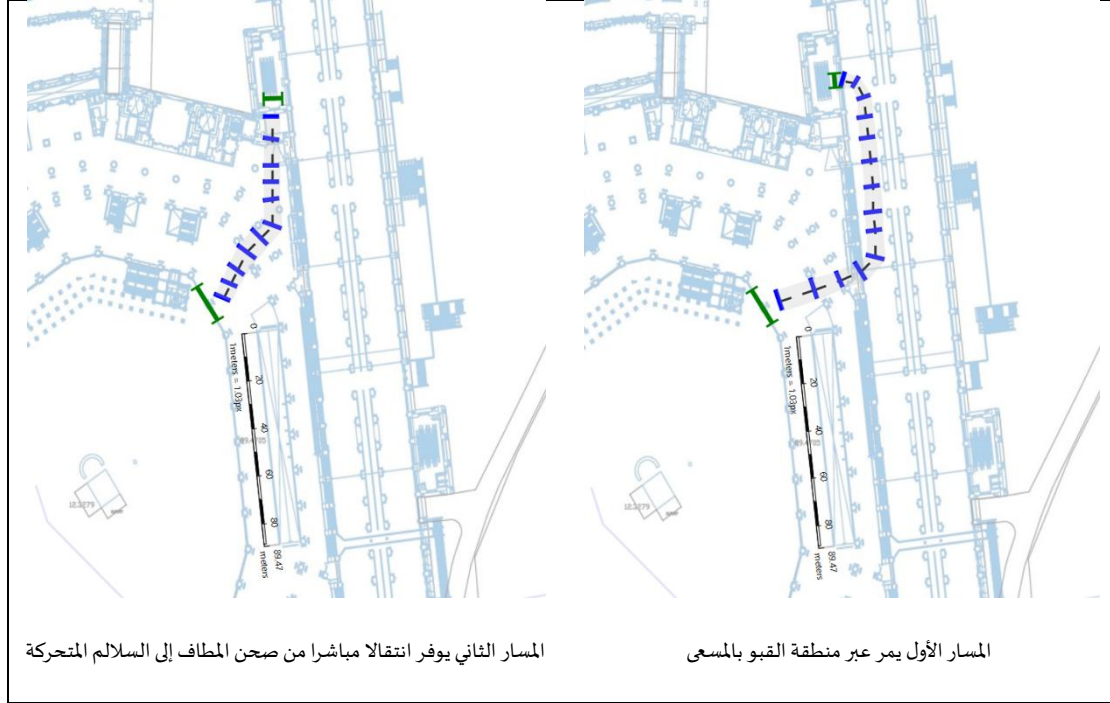
ولتقييم أثر هذه الحواجز على كفاءة الحركة، تم تطوير مجموعة من سيناريوهات المحاكاة التي تختلف فيها المسافة الفاصلة بين السور والحاجز. وقد شملت السيناريوهات المدروسة أربع حالات تمثل مسافات قدرها ٠ متر، و٥ أمتار، و١٠ أمتار، و١٥ متراً، كما يوضح شكل (١)، وذلك بهدف دراسة تأثير هذه الترتيبات التنظيمية على مسافة الطواف وزمنه ومؤشرات الأداء المرتبطة بحركة الطائفين.



شكل (١): تنظيم حركة الطائفين في الأدوار بواسطة حواجز تمتد بمحاذاة الأسوار المطلة على صحن المطاف.

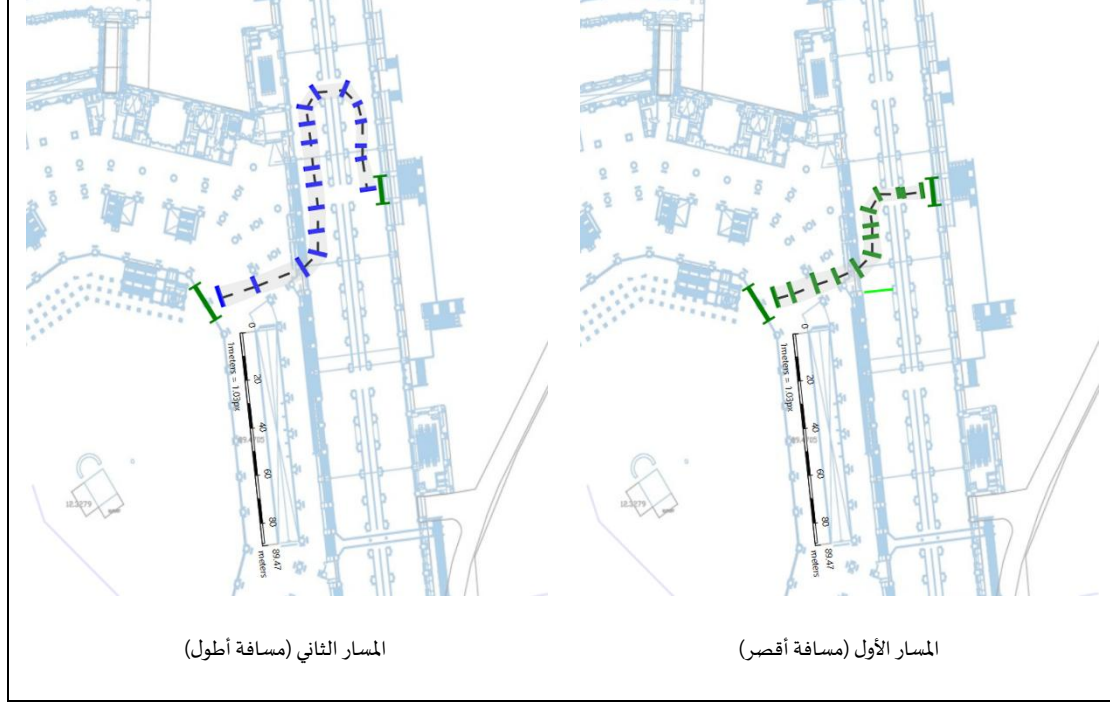
٢-٥ منطقة انتقال الحجاج والمعتمرين من صحن المطاف إلى الأدوار العلوية للمسعى من خلال السلالم الكهربائية أو الخروج عبر باب السلام

- يمكن للحجاج والمعتمرين الانتقال من صحن المطاف إلى الأدوار العلوية للمسعى من خلال السلالم المتحركة (الكهربائية) المبينة في الشكل. ويمكن الوصول إلى هذه السلالم عبر مسارين رئيسيين: الأول يمر عبر منطقة القبو للمسعى، والثاني يوفر انتقالا مباشرا من صحن المطاف إلى السلالم المتحركة، كما هو موضح في الشكل (٢)، ويمكن ان يساهم تعدد المسارات في توزيع الحركة وتقليل التكدس عند نقاط الانتقال بين المستويات المختلفة.



شكل (٢): مسارات انتقال الحجاج والمعتمرين من صحن المطاف إلى الأدوار العلوية للمسعى من خلال السلالم الكهربائية.

- كما يمكن الخروج عبر باب السلام. ويتأثر الوصول إلى هذا الباب بالتنظيمات المختلفة للحواجز المستخدمة في إدارة الحشود داخل منطقة المطاف. ويوضح شكل (٣) مثالين لمسارات الحركة المؤدية إلى باب السلام عبر قبو المسعى، حيث يلاحظ أن أحد المسارين يتضمن مسافة أطول وعددا أكبر من الالتفافات في اتجاه الحركة، في حين يوفر المسار الآخر انتقالا أكثر مباشرة. ومن المتوقع أن ينعكس ذلك على زمن الرحلة والجهد البدني المبذول من قبل الحجاج والمعتمرين، إضافة إلى تأثيره المحتمل على انسيابية الحركة وكفاءة انتقال الحشود، خاصة خلال فترات الذروة التي تشهد كثافات مرتفعة.



شكل (٣): مسارات انتقال الحجاج والمعتمرين من صحن المطاف إلى الأدوار العلوية للمسعى من خلال الخروج عبر باب السلام.

٦. ملخص النتائج

لتحليل أثر التنظيمات المختلفة للحواجز ومسارات الحركة في الأدوار المطلة على صحن المطاف ومناطق الانتقال إلى المسعى، تم تطوير وتنفيذ مجموعة من سيناريوهات المحاكاة التي تمثل الأوضاع التشغيلية والتنظيمية محل الدراسة. وقد استندت المحاكاة إلى نموذج حركة مشاة يحاكي سلوك الطائفين داخل البيئة الفعلية، مع مراعاة الخصائص المتنوعة للحشود.

شملت كل تجربة محاكاة ما يقارب ٥٠٠ طائف، بهدف تقييم أداء المسارات والتنظيمات المختلفة تحت ظروف تشغيلية متقاربة. كما تم تضمين تباين في سرعات المشي لتمثيل الاختلافات الطبيعية بين الأفراد، حيث تراوحت السرعات بين ٠,٩ و ١,٥ متر/ثانية، بما يعكس تنوع الفئات العمرية والقدرات البدنية للحجاج والمعتمرين. إضافة إلى ذلك، تم مراعاة الاختلافات في الأبعاد الجسمانية للأفراد من خلال افتراض أقطار جسمية تتراوح بين ٠,٤٠ و ٠,٥٠ متر، بما يساهم في تمثيل أكثر واقعية للكثافات البشرية والتفاعلات المكانية بين المشاة.

وتهدف هذه السيناريوهات إلى تقييم تأثير البدائل التنظيمية المختلفة على مؤشرات الأداء الرئيسية، مثل زمن الرحلة، والمسافة المقطوعة، بما يساهم في تحديد الحلول الأكثر كفاءة وملاءمة لإدارة الحشود داخل المسجد الحرام.

١-٦- نتائج سيناريوهات محاكاة استخدام الحواجز لتنظيم حركة الطائفين في الأدوار

يبين جدول (١) نتائج سيناريوهات محاكاة استخدام الحواجز التنظيمية في الأدوار المطلة على صحن المطاف. وتوضح النتائج أن زيادة المسافة الفاصلة بين السور والحاجز تؤدي إلى زيادة كل من مسافة الطواف والزمن اللازم لإتمامه، نتيجة انتقال الطائفين إلى مسارات أبعد عن مركز المطاف. وقد انعكس هذا الأثر بصورة تدريجية على طول الشوط الواحد والزمن المطلوب لإكمال الطواف كاملاً.

جدول (١): نتائج سيناريوهات محاكاة استخدام الحواجز لتنظيم حركة الطائفين في الأدوار

المسافة من السور إلى الحاجز (م)	مسافة الشوط (م)	زمن الشوط (ث)	مسافة ٧ أشواط (كم)	زمن ٧ أشواط (د)
٠	٥٢٠,٧	٤٦٠,٦	٣,٦٤	٥٣,٧٤
٥	٥٤٦,٠	٤٨٣,٥	٣,٨٢	٥٦,٤١
١٠	٥٨٦,١	٥١٣,٩	٤,١٠	٥٩,٩٦
١٥	٦١٦,٠	٥٤١,٠	٤,٣١	٦٣,١٢

يوضح تحليل البيانات الواردة في الجدول (١) مجموعة من النتائج المتعلقة بتأثير المسافة بين السور والحاجز على حركة الطائفين، ويمكن تلخيص أهم هذه النتائج فيما يلي:

- أولاً: تأثير المسافة بين السور والحاجز على طول الشوط

يوضح الجدول أن زيادة المسافة بين السور والحاجز تؤدي إلى زيادة تدريجية في طول الشوط. فعند إبعاد الحاجز بمقدار ١٥ متراً، ارتفع طول الشوط من ٥٢٠,٧ م إلى ٦١٦,٠ م، أي بزيادة قدرها ٩٥,٣ م تمثل نحو ١٨,٣٪ مقارنة بالحالة الأساسية. ويشير ذلك إلى أن موقع الحاجز يعد عاملاً مؤثراً بشكل مباشر في المسافة التي يقطعها الطائف أثناء أداء النسك.

• ثانيا: تأثير المسافة على زمن الشوط

أظهرت النتائج نمطا مشابها بالنسبة لزمن الشوط، حيث ارتفع الزمن من ٤٦٠,٦ ثانية في الحالة الأساسية إلى ٥٤١,٠ ثانية عند إبعاد الحاجز لمسافة ١٥ مترا، بزيادة بلغت ٨٠,٤ ثانية (١٧,٥٪). وتدل هذه النتيجة على أن زيادة طول المسار تنعكس مباشرة على الزمن اللازم لإتمام الشوط.

• ثالثا: تأثير المسافة على إجمالي مسافة الطواف

عند احتساب سبعة أشواط، ارتفعت المسافة الإجمالية من ٣,٦٤ كم إلى ٤,٣١ كم، أي بزيادة قدرها ٠,٦٧ كم. وتمثل هذه الزيادة ما يقارب ١٨,٤٪ من المسافة الأصلية، وهو ما يعادل تقريبا مسافة شوط إضافي كامل. ومن المتوقع أن ينعكس ذلك على مستوى الجهد البدني المبذول، خاصة لدى كبار السن وذوي القدرة البدنية المحدودة.

• رابعا: تأثير المسافة على الزمن الكلي للطواف

أدى إبعاد الحاجز إلى زيادة الزمن الكلي اللازم لإكمال الطواف من ٥٣,٧٤ دقيقة إلى ٦٣,١٢ دقيقة، أي بزيادة بلغت ٩,٣٨ دقيقة (١٧,٥٪). وعلى الرغم من أن هذه الزيادة قد تبدو محدودة على مستوى الفرد، إلا أن أثرها يصبح مهما عند التعامل مع أعداد كبيرة من الطائفين، حيث تؤدي إلى:

- زيادة مدة بقاء الطائفين داخل منطقة الطواف.
- ارتفاع عدد الطائفين الموجودين في المنطقة في الوقت نفسه.
- زيادة احتمالية ارتفاع الكثافات خلال فترات الذروة.
- انخفاض معدل دوران الطائفين والطاقة الاستيعابية الفعلية للمسار.

• استنتاج عام

- وجود علاقة طردية واضحة: تزداد مسافة وزمن الطواف بشكل منتظم مع زيادة المسافة بين السور والحاجز، مما يدل على أن موقع الحاجز يعد عاملا مؤثرا بصورة مباشرة في كفاءة حركة الطائفين.
- وجود تأثير محدود على المستوى الفردي ومتراكم على المستوى الجماعي: رغم أن الزيادة لكل شوط تبدو محدودة نسبيا، إلا أن أثرها التراكمي عبر سبعة أشواط يؤدي إلى زيادة ملحوظة في المسافة والزمن، وهو ما ينعكس على تجربة الطائفين وعلى الأداء التشغيلي للمطاف.

- انخفاض الكفاءة التشغيلية مع زيادة المسافة: كلما ابتعد الحاجز عن السور زاد الزمن اللازم لإكمال الطواف، وبالتالي ينخفض عدد الطائفين الذين يمكنهم إتمام المناسك خلال فترة زمنية معينة.
- المفاضلة بين السلامة والكفاءة: قد يحقق إبعاد الحاجز عن السور أهدافا تنظيمية أو تشغيلية مثل توفير مساحات للخدمات أو تنظيم الحركة، إلا أن ذلك يأتي على حساب زيادة زمن ومسافة الطواف. لذلك ينبغي تحقيق توازن بين المتطلبات التنظيمية والمحافظة على أقصر مسار ممكن للطائفين.

٢-٦- نتائج سيناريوهات محاكاة انتقال الحجاج والمعتمرين من صحن المطاف إلى الأدوار

العلوية للمسعى عبر السلالم المتحركة

يبين جدول (٢) نتائج محاكاة مسارين بديلين للوصول من صحن المطاف إلى السلالم المتحركة المؤدية إلى الأدوار العلوية للمسعى. ويختلف المساران في طول مسار الحركة، حيث يمثل المسار الأول المسار الأكثر مباشرة، بينما يتضمن المسار الثاني مسافة أطول وعددا أكبر من الالتفافات.

جدول (٢): نتائج محاكاة مسارات الوصول إلى السلالم المتحركة.

المسار	المسافة الكلية (م)	الزمن الكلي (ث)
الأول (Path 1)	٩٥,٠٣	٨٢,٧٨
الثاني (Path 2)	١٣١,٧٥	١١٦,٢٢

يوضح تحليل البيانات الواردة في جدول (٢) مجموعة من النتائج، والتي يمكن تلخيص أهمها فيما يلي:

• أولا: تأثير طول المسار

المسار الأول يوفر انتقالا أكثر كفاءة مقارنة بالمسار الثاني. فقد بلغ طول المسار الأول ٩٥,٠٣ مترا مقابل ١٣١,٧٥ مترا للمسار الثاني، أي بانخفاض قدره ٣٦,٧٢ مترا، ما يمثل نحو ٢٨٪ من طول المسار الثاني. أي أن الحاج أو المعتمر الذي يستخدم المسار الأول يقطع مسافة أقل بنحو ٢٨٪ مقارنة بمن يستخدم المسار الثاني. ويعد هذا الفرق مهما خصوصا في حالات:

- كبار السن.
- ذوي الإعاقة أو محدودي الحركة.

- الحجاج الذين يعانون من الإرهاق بعد أداء الطواف.
- فترات الذروة التي تتطلب تقليل الجهد البدني وزمن الانتقال.
- ثانيا: تأثير المسافة على زمن الانتقال
- انعكس الفرق في المسافة بصورة مباشرة على زمن الانتقال، حيث بلغ متوسط زمن الرحلة ٨٢,٧٨ ثانية للمسار الأول مقارنة بـ ١١٦,٢٢ ثانية للمسار الثاني، أي بانخفاض قدره ٣٣,٤٤ ثانية ونسبة تقارب ٢٨,٨٪. ومن منظور تشغيلي، فإن تقليل زمن الانتقال بحوالي ٣٣ ثانية لكل مستخدم يمكن أن يؤدي إلى آثار تراكمية كبيرة عند التعامل مع آلاف أو عشرات الآلاف من المستخدمين يوميا.
- ثالثا: التأثير على الناحية التشغيلية
- يسهم المسار الأول في تقليل مدة بقاء الحجاج والمعتمرين داخل شبكة الحركة المؤدية إلى المسعى، الأمر الذي يساعد على رفع معدلات التدفق وتحسين انسيابية الحركة وتقليل الجهد البدني المبذول، خاصة بالنسبة لكبار السن وذوي القدرة البدنية المحدودة.
- رابعا: العلاقة بين الكفاءة والسلامة
- على الرغم من تفوق المسار الأول من حيث المسافة والزمن، فإن اختيار المسار الأمثل لا ينبغي أن يعتمد على هذين العاملين فقط. فقد يوفر المسار الثاني مزايا تشغيلية أو تنظيمية أخرى مثل:
- توزيع الحركة على مساحة أوسع.
- تقليل نقاط التقاطع بين التدفقات البشرية.
- تخفيف الكثافات عند مداخل السلالم المتحركة.
- توفير مستويات أعلى من السلامة في أوقات الذروة.
- لذلك فإن المفاضلة بين المسارين يجب أن تستند إلى مزيج من مؤشرات الكفاءة التشغيلية والسلامة وإدارة الحشود، وليس إلى المسافة والزمن فقط.

• استنتاج عام

- المسار الأول هو الأكثر كفاءة من الناحية التشغيلية، حيث يقلل المسافة المقطوعة بنسبة تقارب ٢٨٪ ويخفض زمن الانتقال بنسبة تقارب ٢٩٪.
- المسار الثاني يفرض عبئا زمنيا ومكانيا أكبر على المستخدمين نتيجة طول المسار، مما يؤدي إلى زيادة مدة بقائهم داخل شبكة الحركة.
- الفارق الزمني البالغ ٣٣ ثانية لكل مستخدم يصبح ذا أثر تراكمي كبير عند الأعداد الضخمة للحجاج والمعتمرين، وقد ينعكس على معدلات التدفق والاستيعاب الكلية للنظام.
- في الظروف العادية أو عند انخفاض الكثافات، يعد المسار الأول الخيار الأكثر ملاءمة من حيث الراحة وسرعة الوصول.
- في أوقات الذروة الشديدة قد يكون للمسار الثاني دور مهم في توزيع الحشود وتخفيف التكدسات، حتى وإن كان أقل كفاءة من حيث المسافة والزمن.

٣-٦- نتائج سيناريوهات محاكاة انتقال الحجاج والمعتمرين من صحن المطاف إلى الأدوار

العلوية للمسعى من خلال الخروج عبر باب السلام

يبين جدول (٣) نتائج محاكاة مساري الحركة المؤديين إلى باب السلام عبر قبو المسعى. ويختلف المساران سواء من حيث المسافة المقطوعة أو الزمن اللازم للوصول. وتعكس هذه الفروق التأثير المباشر لتصميم المسار وترتيبات الحواجز التنظيمية على كفاءة الحركة وسهولة انتقال الحجاج والمعتمرين.

جدول (٣): نتائج محاكاة مسارات الوصول إلى باب السلام عبر قبو المسعى.

المسار	المسافة الكلية (م)	الزمن الكلي (ث)
المسار القصير (Short Path)	٩٦,٠٥	٨٦,٧٠
المسار الطويل (Long Path)	١٧٣,٧٦	١٥٤,٨٠

يوضح تحليل البيانات الواردة في جدول (٣) مجموعة من النتائج، والتي يمكن تلخيص أهمها فيما يلي:

• أولا: تأثير طول المسار على زمن الانتقال

المسار الطويل يزيد طوله بمقدار ٧٧,٧١ مترا مقارنة بالمسار القصير، وهو ما يمثل زيادة نسبتها نحو ٨٨,٩٪ كما يرتفع زمن الانتقال من ٨٦,٧ ثانية إلى ١٥٤,٨ ثانية، أي بزيادة قدرها ٦٨,١ ثانية تمثل حوالي ٧٨,٥٪. تشير النتائج إلى وجود ارتباط مباشر وقوي بين طول المسار والزمن اللازم لقطعه. فالمسار الطويل يتطلب قطع مسافة تقارب ضعف المسافة تقريبا مقارنة بالمسار القصير، الأمر الذي انعكس مباشرة على زمن الرحلة.

● ثانيا: أثر المسار على الجهد البدني

من منظور المستخدم، فإن الفرق البالغ نحو ٧٨ مترا لكل رحلة انتقال يعد فرقا ملحوظا، خاصة للفئات الأكثر تأثرا بالإجهاد مثل:

- كبار السن.
 - ذوي الاحتياجات الخاصة.
 - مستخدمي الكراسي المتحركة والمرافقين لهم.
 - الحجاج والمعتمرين بعد إتمام الطواف أو السعي.
- ومع تكرار استخدام هذه المسارات من قبل أعداد كبيرة من الزوار يوميا، فإن تقليل المسافة المقطوعة ينعكس إيجابا على مستوى الراحة وتقليل الإجهاد البدني.

● ثالثا: التأثير على الناحية التشغيلية

يؤدي طول المسار إلى زيادة مدة بقاء الأفراد داخل شبكة الحركة المؤدية إلى باب السلام. فعندما يستغرق الفرد ١٥٥ ثانية تقريبا للوصول عبر المسار الطويل بدلا من ٨٧ ثانية عبر المسار القصير، فإن ذلك يعني أن عدد الأشخاص الموجودين في المسار في أي لحظة سيكون أكبر.

ومن منظور إدارة الحشود، فإن زيادة زمن البقاء داخل الممرات قد تؤدي إلى:

- ارتفاع الكثافات البشرية على طول المسار.
- زيادة احتمالية تشكل نقاط اختناق عند مناطق الالتفاف.
- ارتفاع فرص التداخل بين التدفقات المختلفة للحركة.

- زيادة زمن الإخلاء والاستجابة التشغيلية في حالات الطوارئ.
- رابعا: تأثير الالتفافات وتغيرات الاتجاه
 - لا يقتصر الفرق بين المسارين على طول المسافة فقط، بل يرتبط أيضا بطبيعة المسار نفسه. فالمسار الطويل يتضمن عددا أكبر من الالتفافات والتغيرات في اتجاه الحركة، وهو ما قد يترتب عليه:
 - انخفاض انسيابية الحركة.
 - زيادة التباطؤ عند المنعطفات.
 - ارتفاع احتمالية التزاحم في نقاط تغيير الاتجاه.
 - صعوبة أكبر في المحافظة على تدفق منتظم للحشود.
 - في المقابل، يتميز المسار القصير بمسار أكثر مباشرة، مما يسهل حركة المشاة ويقلل من فرص التداخل والتباطؤ.
- خامسا: الأثر التراكمي خلال فترات الذروة
 - على المستوى الفردي قد يبدو الفرق الزمني البالغ ٦٨ ثانية محدودا نسبيا، إلا أن أثره يصبح كبيرا عند التعامل مع آلاف الحجاج والمعتمرين في الساعة الواحدة.
 - فكل دقيقة إضافية يقضيها الأفراد داخل مسارات الحركة تؤدي إلى زيادة عدد الأشخاص الموجودين في النظام في الوقت نفسه، وهو ما قد ينعكس على:
 - الطاقة الاستيعابية للممرات.
 - مستويات الخدمة المقدمة للمستخدمين.
 - كفاءة توزيع الحشود بين المطاف والمسعى.
 - احتمالية تشكل الكثافات المرتفعة في أوقات الذروة.
- استنتاج عام
 - المسار القصير هو الأكثر كفاءة تشغيلية، حيث يقلل مسافة الانتقال ويخفض زمن الرحلة.
 - ترتيبات الحواجز التنظيمية لها تأثير مباشر على أداء شبكة الحركة، إذ يمكن أن تؤدي بعض الترتيبات إلى فرض مسارات أطول وأقل كفاءة.

- المسارات المباشرة تسهم في تحسين انسيابية الحركة وتقليل الجهد البدني وزمن الانتقال، وهو ما ينعكس إيجاباً على تجربة الحجاج والمعتمرين.
- في فترات الذروة، تصبح أهمية تقليل طول المسارات أكبر نظراً لتأثيرها المباشر على الكثافات.

٧. الخلاصة

أظهرت الدراسة أن الحواجز التنظيمية ومسارات الحركة المستخدمة في أدوار المطاف ومناطق الانتقال إلى المسعى تمثل عناصر مؤثرة بشكل مباشر في كفاءة إدارة الحشود وانسيابية حركة الحجاج والمعتمرين. وقد بينت نتائج المحاكاة أن مواقع الحواجز وترتيباتها تؤثر على مسافات الحركة وأزمنة الانتقال، بما ينعكس على تجربة المستخدمين وكفاءة استغلال المرافق والطاقة الاستيعابية للمسارات المختلفة.

وأوضحت النتائج أن زيادة المسافة الفاصلة بين السور والحاجز من ٠ إلى ١٥ متراً أدت إلى زيادة مسافة الطواف بنحو ١٨٪ وزيادة زمن الطواف بنحو ١٧,٥٪، مما يؤكد أهمية مراعاة الأثر التشغيلي لمواقع الحواجز عند تصميم الترتيبات التنظيمية، وبما يحقق التوازن بين متطلبات إدارة الحشود وراحة الطائفين وكفاءة استيعاب منطقة المطاف.

كما أظهرت الدراسة أن المسارات الأكثر مباشرة بين المطاف والمسعى تحقق مستويات أعلى من الكفاءة التشغيلية مقارنة بالمسارات الأطول أو الأكثر التفافاً. فقد وفر المسار المباشر المؤدي إلى السلاالم المتحركة انخفاضاً في مسافة الانتقال بلغ نحو ٣٧ متراً، مع تقليل زمن الوصول بحوالي ٣٣ ثانية مقارنة بالمسار البديل. كذلك بينت النتائج أن تصميم مسارات الحركة المؤدية إلى باب السلام يؤثر بصورة جوهرية على كفاءة الانتقال، حيث أدى المسار الأول (الأطول) إلى زيادة المسافة المقطوعة بنحو ٨١٪ وزيادة زمن الرحلة بنحو ٧٩٪ مقارنة بالمسار الثاني (الأقصر).

وفي المقابل، أوضحت النتائج أن تقييم البدائل التنظيمية لا ينبغي أن يعتمد على مؤشرات المسافة والزمن فقط، إذ قد توفر بعض المسارات أو الترتيبات الأقل كفاءة من حيث زمن الرحلة مزايا إضافية تتعلق بتوزيع الحشود وتخفيف الكثافات البشرية وتحسين مستويات السلامة خلال فترات الذروة. ومن ثم، فإن اختيار البدائل التشغيلية المناسبة يتطلب الموازنة بين كفاءة الحركة ومتطلبات إدارة الحشود والسلامة التشغيلية.

وأكدت الدراسة فاعلية استخدام تقنيات النمذجة والمحاكاة كأداة علمية داعمة لاتخاذ القرار في مجال إدارة الحشود، حيث أتاحت تقييم البدائل التنظيمية والهندسية بصورة كمية وموضوعية قبل تطبيقها ميدانياً. وتشكل نتائج الدراسة أساساً يمكن الاستناد إليه عند تطوير الخطط التشغيلية المستقبلية، كما توفر دعماً علمياً للتوصيات المقترحة الرامية إلى تعزيز انسيابية الحركة ورفع كفاءة إدارة الحشود وتحسين تجربة الحجاج والمعتمرين داخل المسجد الحرام.

٨. التوصيات

في ضوء النتائج والتحليلات المستندة إلى النمذجة والمحاكاة، يمكن تلخيص أبرز التوصيات في النقاط التالية:

- مراعاة تقليل المسافة الفاصلة بين الحواجز والأسوار المطلّة على صحن المطاف قدر الإمكان عند إعداد الخطط التشغيلية، شريطة عدم الإخلال بمتطلبات السلامة وإدارة الحشود، وذلك للحد من زيادة مسافة الطواف والزمن اللازم لإتمامه.
- إعطاء الأولوية للمسارات الأكثر مباشرة عند تصميم مسارات انتقال الحجاج والمعتمرين بين المطاف والمسعى، لما أظهرته النتائج من قدرتها على تقليل مسافات الحركة وأزمة الانتقال وتحسين تجربة المستخدمين.
- موازنة الاعتبارات التشغيلية مع متطلبات إدارة الحشود والسلامة عند تحديد مواقع الحواجز ومسارات الحركة، بحيث لا يتم الاعتماد على مؤشرات الزمن والمسافة فقط، بل يؤخذ في الاعتبار أيضاً أثر البدائل المختلفة على توزيع الحشود والكثافات البشرية ونقاط الاختناق المحتملة.
- اعتماد تقييم دوري للحواجز التنظيمية والمسارات المستخدمة داخل المسجد الحرام، خاصة خلال المواسم التي تشهد كثافات مرتفعة، بهدف التحقق من استمرار ملاءمتها للمتغيرات التشغيلية وأنماط الحركة الفعلية للحشود.
- الاستفادة من نتائج المحاكاة في دعم القرارات التشغيلية قبل تنفيذ أي تعديلات ميدانية تتعلق بالحواجز أو مسارات الحركة، بما يساهم في تقليل المخاطر التشغيلية ورفع كفاءة البدائل المقترحة.
- دراسة إمكانية توفير مسارات انتقال متعددة تخدم الفئات المختلفة من المستخدمين، بحيث يتم تخصيص مسارات أكثر مباشرة لكبار السن وذوي الإعاقة والأشخاص ذوي القدرة البدنية المحدودة كلما أمكن ذلك.

- الاستفادة من المسارات البديلة خلال فترات الذروة بهدف توزيع الحشود على نطاق أوسع والحد من التكدسات في نقاط الانتقال الحرجة، مع مراعاة عدم فرض زيادات غير ضرورية في مسافات الحركة إلا عند الحاجة التشغيلية.
- تطوير مؤشرات أداء تشغيلية خاصة بإدارة الحشود في الأدوار المطلة على صحن المطاف ومناطق الانتقال إلى المسعى، تشمل زمن الرحلة، والمسافة المقطوعة، والكثافة البشرية، ومعدلات التدفق، واستخدامها بصورة مستمرة في تقييم فعالية الخطط التشغيلية.
- تعزيز استخدام النمذجة والمحاكاة كأداة داعمة للتخطيط والتطوير المستقبلي لمشروعات إدارة الحشود داخل المسجد الحرام، بما يتيح تقييم البدائل الهندسية والتنظيمية المختلفة بصورة علمية قبل تطبيقها على أرض الواقع.
- إجراء دراسات مستقبلية أكثر تفصيلاً تتناول تأثير الحواجز التنظيمية على مؤشرات إضافية، مثل مستويات الكثافة، وأزمنة الانتظار، ومعدلات التدفق عند نقاط الدمج والتقاطع، وتأثير اختلاف أحجام الحشود والظروف التشغيلية الموسمية على كفاءة الحركة وسلامة الحشود.

٩. المراجع

- [1] Mohamed S. Yasein, "Regulating Access to El-Salam Gate in the Prophet's Mosque at Peak Times During Holidays using Simulation" in Proceedings of the 16th Scientific Forum for Hajj and Umrah Research, Makkah, KSA, May 2016.
- [2] The Crowd Psychology of the Hajj, Hani Hashim Al Nabulsi, PhD thesis, May 2015.
- [3] B. Zafar. Analysis of the Mataf - Ramadan 1432 AH. Technical report, Hajj Research Institute, Umm al-Qura University, Saudi Arabia, 2011.
- [4] Eric Kolstad, "A virtual crowd-sourcing approach for pedestrian simulation", in proceedings of the 2014 SpringSim , Society for Computer Simulation International, San Diego, CA, USA, 2014.
- [5] Hao Jiang, Wenbin Xu, Tianlu Mao, Chunpeng Li, Shihong Xia, and Zhaoqi Wang, "A semantic environment model for crowd simulation in multilayered complex environment", in proceeding of the 16th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2009), ACM, New York, USA, pages 191-198.

- [6] Rahul Narain, Abhinav Golas, Sean Curtis, and Ming C. Lin, "Aggregate dynamics for dense crowd simulation", ACM Trans. Graph. 28, 5, Article 122, December 2009.
- [7] BBC News 2005: Television News Report, "Crush chaos at IKEA store opening", 10th February 2005.
- [8] Z. Zainuddin, K. Thinakaran, and I. Abu-Sulyman. Simulating the circumambulation of the ka'aba using simwalk. European Journal of Scientific Research, 38(3):454–464, 2009.
- [9] N. Koshak and A. Fouda. Analyzing pedestrian movement in mataf using gps and gis to support space redesign. In The 9th International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, 2008.
- [١٠] محمد عبد الله عثمان ادريس، "إمكانية زيادة الطاقة الاستيعابية للمطاف والمسعى في المسجد الحرام"، دراسات معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة، ١٤٢٣.
- [١١] محمد علي سلطان الشريف، "أداء القائمين على إدارة وتنظيم منطقة الطواف وما حولها"، دراسات معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة، ١٤٣٢.
- [١٢] محمد صديق ياسين، "بناء نموذج لصحن المطاف ملائم لأنظمة النمذجة والمحاكاة"، دراسات معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة، موسم رمضان ١٤٣٩.
- [١٣] تقييم وتحسين خطط إدارة الحشود في الروضة الشريفة لزيادة مستوى رضا الزوار باستخدام النمذجة والمحاكاة، دراسات معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة، موسمي رمضان وحج ١٤٤٦.



@Hajj_uqu



<https://uqu.edu.sa/hajj>



hajj@uqu.edu.sa

