بناء نموذج لمحاكاة حركة الحشود حول الكعبة المشرفة

عماد عبد الرزاق فلمبان، خالد سعد القحطاني، عبد الله نور هوساوي، عبد الله سعيد الشهري
كلية الحاسب الالي و نظم المعلومات - جامعة أم القرى

ملخص البحث:

تستعمل برامج محاكاة الحشود لتحليل الحركة واختبار خطط تحريك الحشود بسهوله وسرعه. في هذه الورقة نبين الخطوات الأساسية التي قام فريق العمل بعملها لبناء نموذج لمحاكاة حركة الحشود حول الكعبة المشرفة في المسجد الحرام بالتعاون مع الرئاسة العامة لشئون المسجد الحرام والمسجد النبوي الشريف. حيث بدأت بجمع البيانات الضرورية عن طريق الكاميرات. ثم تحليل هذه البيانات للحصول على معاملات الحركة الضرورية لعمل النموذج المحاكي. مرورًا ببناء نموذج البيئة المطلوبة باستخدام برامج التصميم ثلاثي الأبعاد. ومن ثم تصميم أنماط الحركة داخل المحاكي والتي تحاكي واقع الحركة حول الكعبة المشرفة. حيث تم نمذجة حركة الدخول والخروج من حجر إسماعيل -عليه السلام -والوقوف عند خط البداية لكل شوط وحركة الحشود حول مقام إبراهيم- عليه السلام - وكذلك تأثير الوقوف للسلام على الحجر الأسود والملتزم وباب الكعبة. عمل فريق العمل على إظهار بعض النتائج مثل كثافات الحركة حول الكعبة وعند باب حجر إسماعيل -عليه السلام -وحول ركن الحجر الأسود. تم بناء النموذج باستخدام برنامج الماسموشن ((MassMotionوهو أحد أشهر برامج محاكاة الحشود ،وسيكون نموذج المحاكاة متاحًا للباحثين والمهتمين للتطوير والاستفادة منه في أبحاث أخرى.

مقدمة:

يقصد الملايين من المسلمين من شتى أرجاء المعمورة مكة المكرمة والمدينة المنورة لأداء شعائر الإسلام وزيارة مسجد المصطفى -عليه أفضل الصلاة والتسليم- ولا شك في أن هذه الحشود الكبيرة تحتاج إلى قدر كبير من التنظيم أثناء أداء الشعائر كالطواف والسعي ورمي الجمار وزيارة قبر الرسول -صلى الله عليه وسلم -وغيرها. لذلك فمن الضروري جًّا ان يتم دراسة واختبار الإنشاءات والتنظيمات قبل تطبيقها من أجل التأكد من سلامتها ومدى فعاليتها لتحقيق الأهداف المنشودة. ومن أجل ذلك تبرز أهمية نظم المحاكاة من حيث دراسة حركة الحشود واختبار الأنظمة والإنشاءات الجديدة والتنبؤ بما يمكن أن يحدث خلال حركة الحشود من تزاحم او ارتدادات بشرية أو غيرها مما يعكر صفو وقدسية المكان.

كما يُعتبر أسلوب المحاكاة أحد أنسب أساليب فهم ودراسة النظم المعقدة. إذ يتم تفكيك النظام الحقيقي إلى عدة أجزاء، ثم يتم دراسة كيفية عمل كل جزء على حدة. حيث يتم وضع أو فرض عدة معادلات لتمثيل أداء كل جزء ومقومات عمله ومحددات نتائجه. كما يتم تجربة عدة احتمالات لقيم وشكل المدخلات وطرق ترابطها ومدى تأثرها بالعوامل الخارجية. يلي ذلك دراسة طريقة تفاعل هذه الأجزاء سويًّا. وفي كل الأحوال يتم تجميع إحصائيات وبيانات كل جزء. وكلما تدارسنا تغيرات الأجزاء أو معادلاتها أو ترابطها، كلما فهمنا طريقة عمل النظام ككل. والأهم من ذلك تتيح نمزجه النظام بهذه الطريقة التعرف على مدى حساسية النظام للتغيرات التي قد تطرأ عليه نتيجة تغير العوامل المحيطة أو تغير فهمنا لمعادلات عمل أي جزء منه. وبهذا يمكنا أسلوب المحاكاة من دراسة خط وتصورات بديلة

لوضعية/شكل وطريقة عمل النظام الحقيقي باستخدام نظام افتراضي يحاكيه، وتعيين أثر ذلك على الاداء العام. كما يمكن تحديد مؤشرات الأداء المتوقعة والتنبؤ بمصادر وأسباب الخلل في النظام، بل وتحديد متى وأين يمكن أن تحدث أزمة أو كارثة، لا سمح الله.

في هذه الورقة يعرض فريق البحث تجربته في إنشاء نموذج محاكاة لصحن الطواف ،وسوف نستعرض خصائص ومميزات نموذج المحاكي مستشهدين على ذلك بنظام الماسموشن (MassMotion) كمثال لذلك. حيث يعتبر نظام الماسموشن (MassMotion) من الأدوات الأكثر تقدمًا في محاكاة المشاة وتحليل الحشد وهو قادر على محاكاة مئات الآلاف من الأشخاص في غضون ساعات، وتقليل وقت المحاكاة التي تستغرق عدة أيام حل المشكلات المعقدة بطريقة مرئية، وعالية الجودة ولتي توفر الوقت والمال والجهد والقوى العاملة خلال مرحلة التخطيط للمشاريع المستقبلية.

مراجعة أدبية:

كان هناك بعض الأعمال السابقة لدراسة حركة الحشود أثناء الطواف وغيرها من مناسك الحج والعمرة باستخدام نظم المحاكاة. موليانا وجوناوام [٤] صمموا أداة محاكاة تعتمد على أساس العملاء لشعائر مختلفة من الحج بما في ذلك محاكاة ٥٠٠ عميلًا يمثلون حجاجًا في الطواف. زين الدين وآخرون [٦] استخدموا برنامج (SimWalk) التجاري لإجراء المحاكاة المعتمدة على قوة اجتماعية تصل إلى ١٠٠٠ عميل عند أداء شعيرة الطواف. سرمدي وآخرون [٥] عملوا على محاكاة حشد كبير في مرحلة الطواف باستخدام تقنيات الخلايا ذاتية السلوك (Cellular Automata) جنبًا إلى جنب مع محاكاة منفصلة الحدث، كما تم تنفيذ بعض الدراسات على تدفق الحشود في منطقة المطاف في المسجد الحرام. الحبوبي وسليم [١] اقترحوا مسار حركة لولبية محتملة لزيادة سلامة وسرعة نقل الحجاج خلال الطواف. كوشك وفودة [٣] جمعوا مسارات الحجاج الفعلية أثناء أداء طواف الحج من خلال استخدام أجهزة الجي بي إس. الغادي ومحمصاني [٢] عملوا على محاكاة تدفق الحشود في منطقة الجمرات في الحج باستخدام نماذج متصلة، واستخدام محاكيات للحشود لتوقع الحركة في جسر الجمرات.

منهجية البحث:

جمع البيانات:

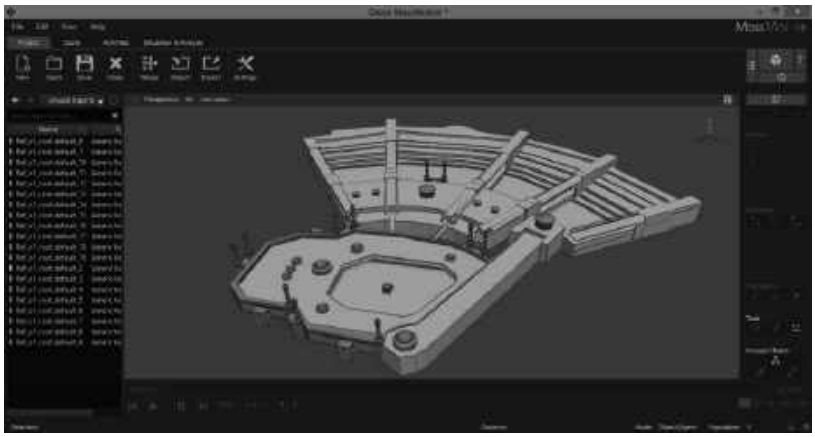
تم الاعتماد على الجهات الرسمية في المسجد الحرام كالرئاسة العامة لشؤون المسجد الحرام والمسجد النبوي للحصول على القياسات الدقيقة لصحن الطواف والكعبة المشرفة ومقام إبراهيم وحجر إسماعيل عليهما السلام. وكذلك الطاقات الاستيعابية لصحن الطواف وحجر إسماعيل عليه السلام.

كما تم رصد الطائفين بمقاطع مصورة عن طريق الآلة تصوير تم تركيبها على المطاف المعلق. وقد تم تسجيل عدة مقاطع مختلفة وفي أوقات مختلفة. ومن ثم تم تحليل محتوى هذه المقاطع من خلال طريقتين إحداها الآلية باستخدام برامج خاصة بمعالجة الصور والطريقة الأخرى كانت يدوية. وتم مطابقة نتائج كلتا الطريقتين للتأكد من صحة النتائج. ومن هذه النتائج حساب متوسط السرعة ومعدل التدفق.

تصميم نموذج المحاكي:

توفر أنظمة المحاكاة أدوات لتصميم الأشياء المراد محاكاتها. وتختلف جودة هذه الأدوات من محاكي الى محاكي آخر من حيث سهولة الاستخدام وتلبية جميع المتطلبات والاحتياجات أثناء التصميم. ولكن تبقى برامج التصميم الهندسي كبرنامج الأتوكاد وغيرها من برامج التصميم الهندسي هي الأكثر فعالية واتقان في رسم التصاميم الهندسية. وهنا تبرز مدى قدرة أنظمة المحاكاة على استيراد هذه التصاميم بمختلف الصيغ والأنواع ومواءمتها لعمل المحاكي. كل هذا يدل على جودة المحاكي ومؤشر جيد جدًّا على أن نموذج المحاكاة أقرب ما يكون لأرض الواقع. كما يظهر في الشكل (١) مقدرة نظام المحاكاة على جلب التصاميم الهندسية من البرامج المتخصصة في ذلك. وقد استخدم فريق البحث برنامج الرسم الثلاثي الابعاد سكتش اب (Sketchup) ويستخدم هذا البرنامج لأخذ الأبعاد والشكل الحقيقي للجزء المراد

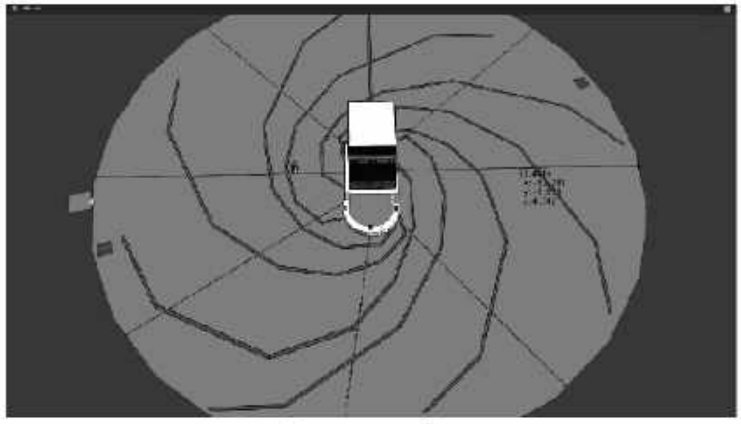
نمذجته من خرائط قوقل ومن ثم تحويلها الى رسم ثلاثي الأبعاد. وكذلك تم استخدام برنامج الرسم ثلاثي الأبعاد الأتوكاد (Autocad ٣D Max) لإضافة التفاصيل المعمارية الدقيقة.



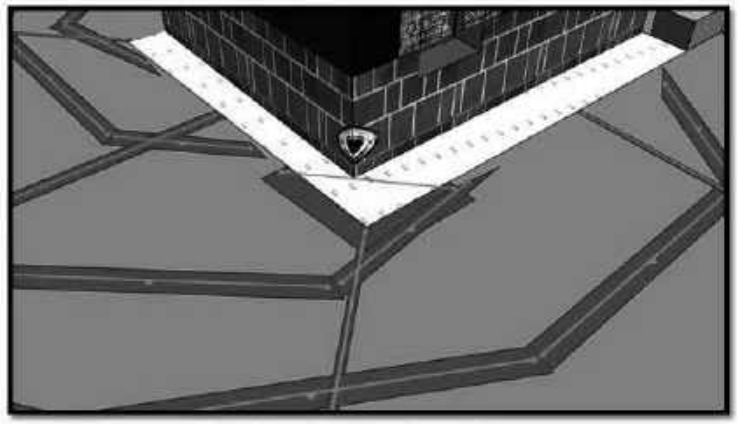
شكل ١ واجهة نظام المحاكاة

إعدادات نموذج المحاكي:

تعتبر جودة الخوارزميات الرياضية التي يعتمد عليها نظام المحاكي في محاكاة الواقع من سلوكيات وتصرفات وردود أفعال تتسم بالطبيعية من اهم مميزات المحاكي الجيد. وكذلك المرونة التي يوفرها المحاكي في تمثيل الأفعال الاعتيادية والطبيعية وتلك الأفعال التي تتسم بالخصوصية لزمان معين او مكان محدد او بهما معا كالطواف مثلاً. ويظهر في الشكل (٢) قدرة المحاكي على تمثيل الحركة الدائرية حول جسم معين كالطواف او حركة الوقوف أمام الحجر الأسود أو تحديد خط بداية الطواف.



(أ) رسم مسارات الطواف

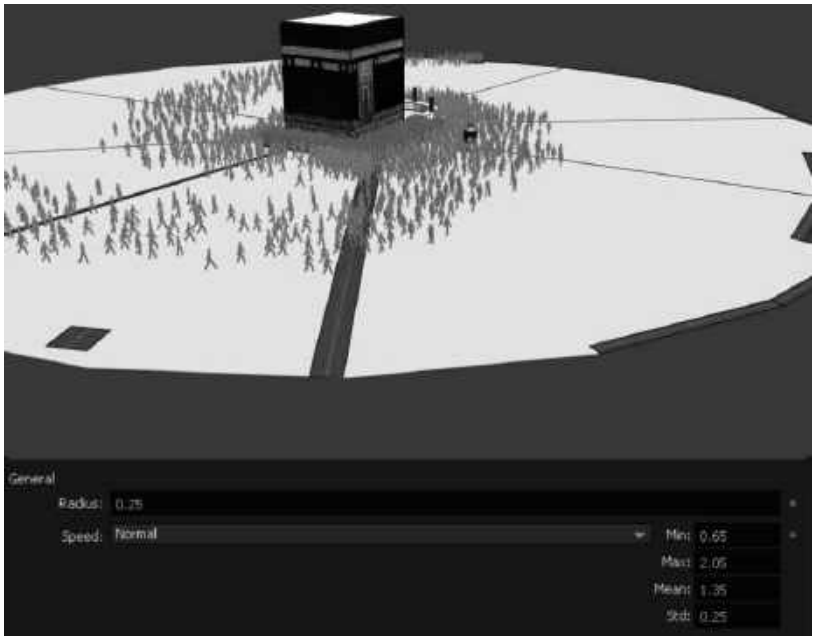


(ب) منطقة الحجر الأسود والملتزم

(ج) خط بداية الطواف

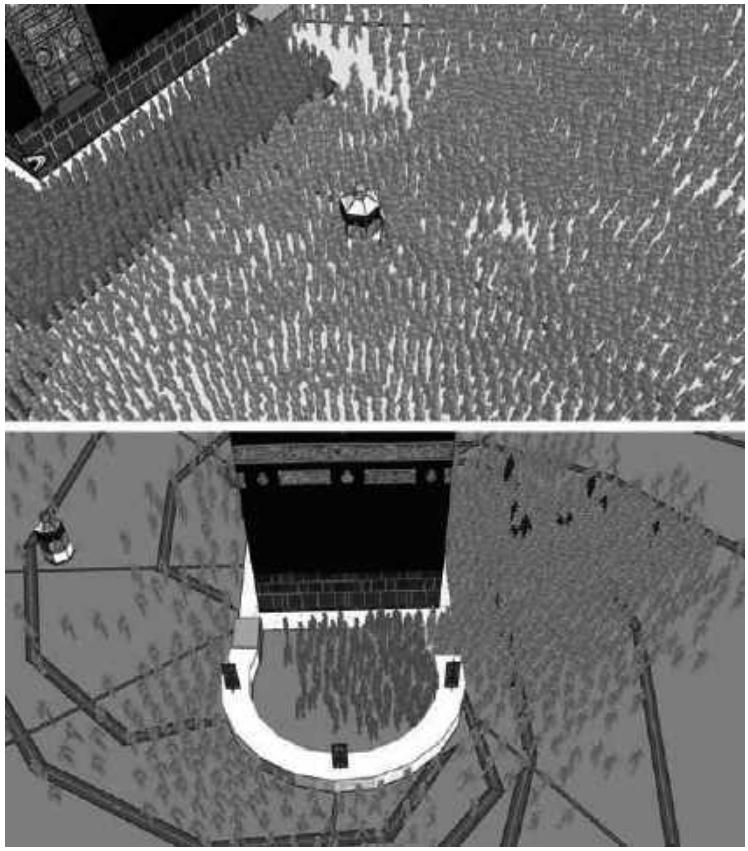
شكل ٢ بعض تفاصيل التصميم في نموذج المحاكاة

ومن ناحية أخرى، فإن المحاكي الجيد يسمح بالتنوع والاختلاف تمامًا كما هو موجود على الطبيعة ،ويبين الشكل (٣) قدرة المحاكي في تمثيل الواقع من حيث تفاوت سرعة المشي في الطواف للطائفين ومعاملة كل طائف على حدة وباستقلالية تامة عن غيره. وكذلك التفاوت في أعداد الطائفين من وقت إلى آخر وانعكاس ذلك على حركة الطواف إجمالاً من حيث ازدياد التزاحم حول الكعبة أو انخفاضه وبُعد المسافات بين الطائفين أو انعدامها ،و على الحركة الفردية لكل طائف من حيث تقييد حركة الطائف وقت الزحام الشديد ،والسماح بحرية الحركة عند انخفاض التزاحم.



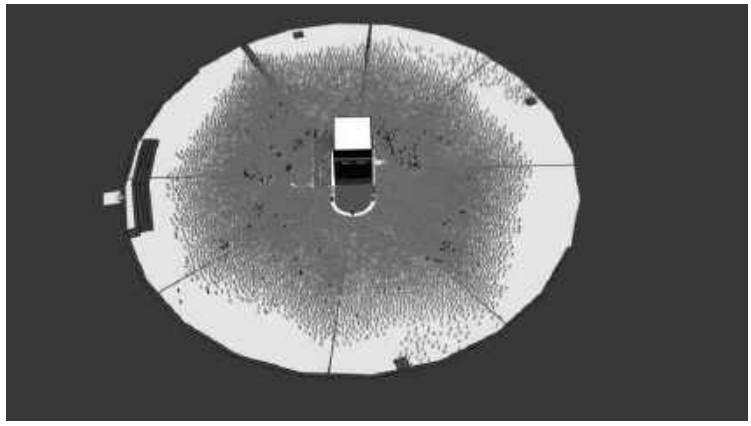
شكل ٣ معايرة السرعة في نموذج المحاكاة

وكما أن المحاكي الجيد الذي يعامل كل فرد على حدة وباستقلالية عن غيره، فإنه يميز المجموعات المختلفة عن بعضها في نفس المكان والزمان ويضمن استمرار استقلاليتها على مدى فترة المحاكاة ،ويوضح كيفية تفاعل هذه المجموعات مع بعضها البعض على صعيد المجموعة ككل أو على صعيد الأفراد وتمييزها بألوان مختلفة. ولعل الطواف خير مثال على ذلك حيث توجد مجموعة كبيرة تؤدي الطواف ومجموعة أخرى للصلاة والدعاء داخل حجر إسماعيل -عليه السلام -ومجموعة ثالثة عند الحجر الأسود والملتزم. وكل مجموعة تعمل باستقلال عن باقي المجموعات وتتفاعل معها عند الحاجة كما هو موضح بالشكل (٤) والشكل (٥).



شكل ٤ التفريق بالألوان بين الطائفين (برتقالي) والقصدين الحجر الأسود والملتزم(زيتي)

وحجر اسماعيل عليه السلام(ازرق) والمنهين طوافهم (اخضر داكن)



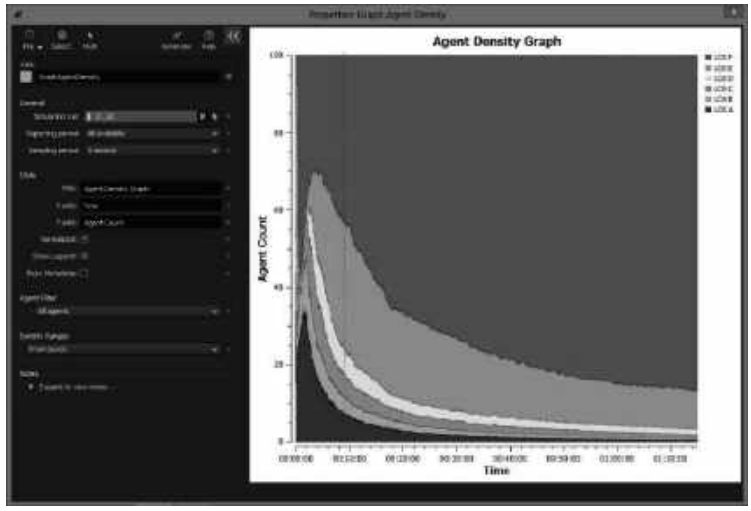
شكل ٥ منظر عام لصحن الطواف في نموذج المحاكاة

أدوات التحليل والتقارير:

توفر أنظمة المحاكاة الجيدة أدوات وقياسات لتحليل ما حدث خلل فترة المحاكاة ومثال على ذلك ما يوفره المحاكي من أدوات تحليل تنقسم حسب طريقة العرض إلى ثلاثة اقسام:

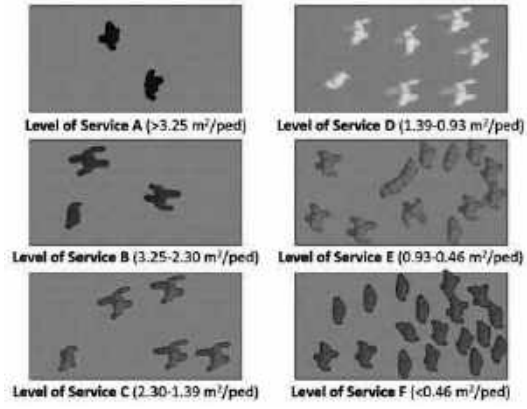
الرسوم البيانية:

الرسوم البيانية أو المخططات البيانية هي من أكثر الأدوات فهمًا لدى المستخدم النهائي حيث إنها تختصر كميات كبيرة من البيانات في رسم واحد. والرسوم البيانية تكون أسهل وأسرع للقراءة والفهم من قراءة وفهم البيانات الخام نفسها المكونة للرسم البياني نفسه. لذلك فإن أنظمة المحاكاة الجيدة توفر مخرجات التحليل بشكل يكون سهل القراءة والفهم بالاعتماد على الرسوم البيانية. ومن اهم النتائج المراد الحصول عليها من بعد عملية المحاكاة هي الكثافات مع الزمن حيث تم حساب كثافة اعداد الطائفين مع مرور زمن كما هو موضح في الشكل (٦).



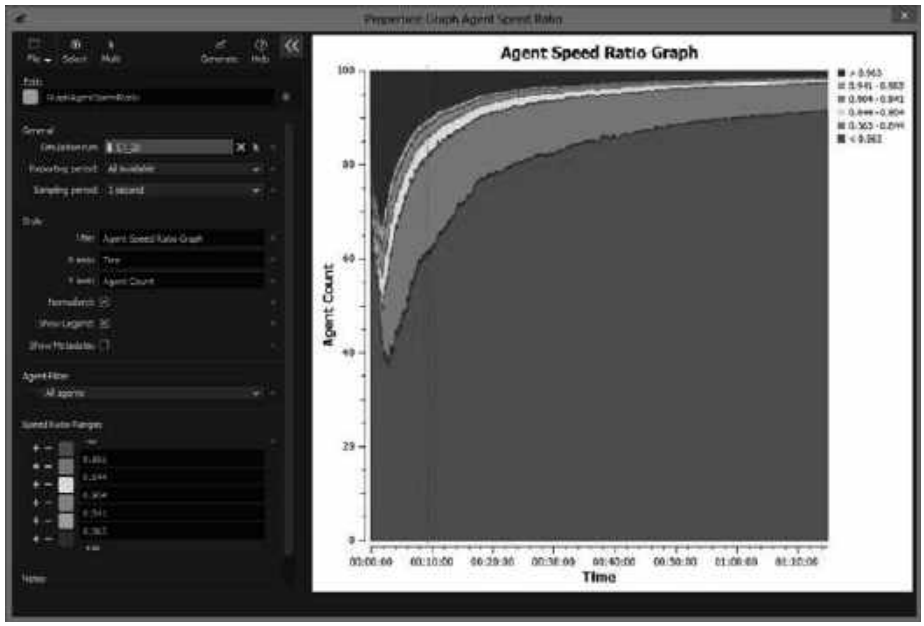
شكل ٦ كثافة الطائفين خلال فترة المحاكاة

ومعظم أنظمة المحاكاة توفر العديد من قياسات الكثافة ومن أشهرها معيار القياس فروإن (Fruin) وهو مقسم إلى ٦ مستويات، وتدعى مستويات الخدمة Level of Service (LOS) ،وقد تم التقسيم من [LOS A – LOS F]، وكان ذلك اعتمادًا على مساحة دائرة ٣,٢٤ م٢ وفي الشكل (٧) يوضح كل لون المدى المستخدم لقياس الأشخاص في المتر المربع، ويوضح كم يوجد شخص في كل مستوى.



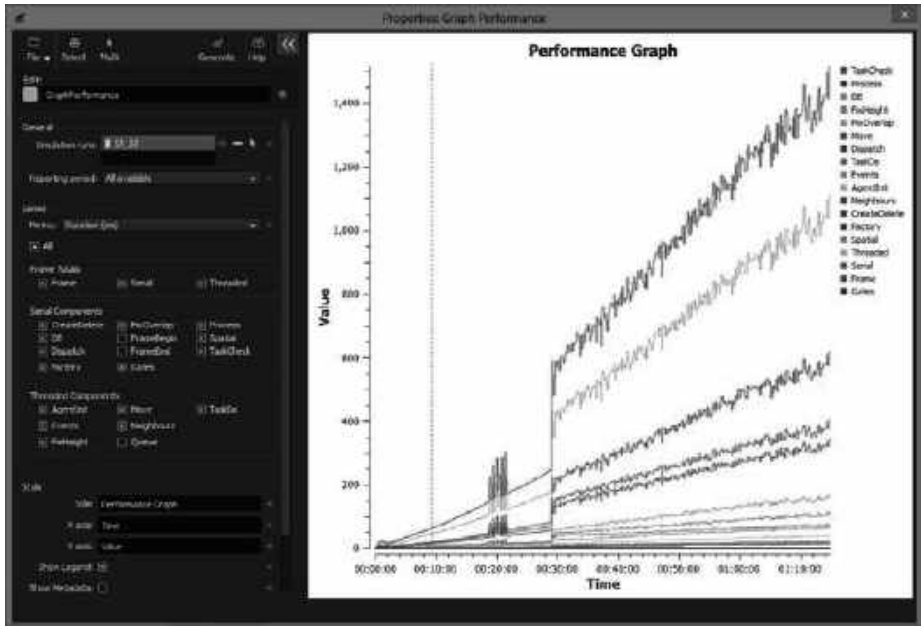
شكل ٧ يوضح معيار قياس الكثافة بمعيار فروإن (Fruin)

ومن النتائج المهمة أيضًا نسبة سرعة الطائفين خلل الزمن كما الشكل (٨). فهي تعطي قياسًا لسرعة الطائفين ومدى تأثر السرعة بأعداد الطائفين، فكلما زادت الأعداد انخفضت السرعة والعكس صحيح.



شكل ٨ تأثر سرعة الطائفين مع ازدياد أعداد الطائفين

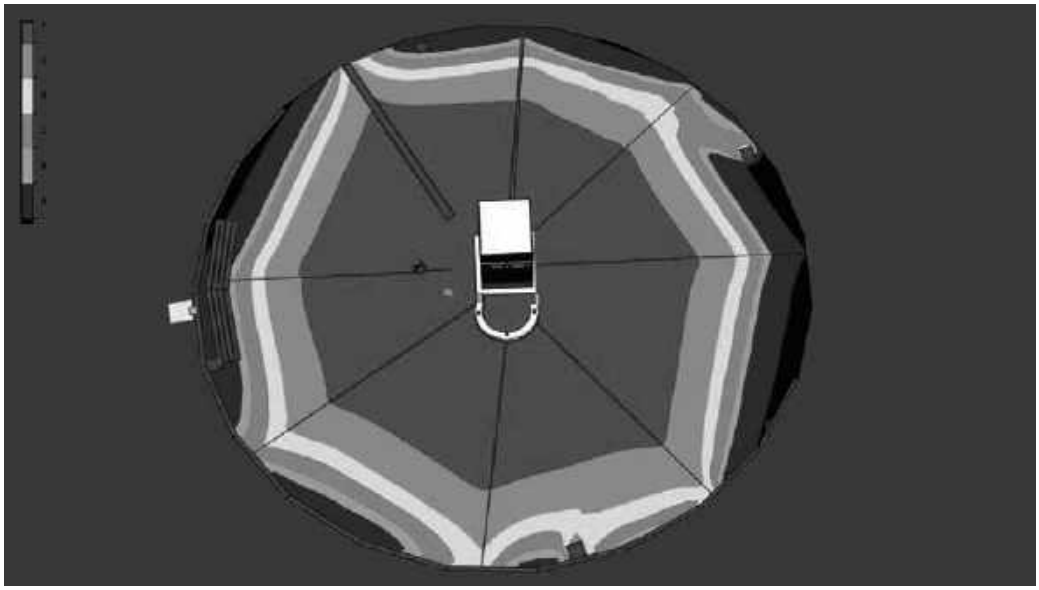
وهناك بعض الرسوم البيانية المهمة التي توضح أداء نموذج المحاكاة خلل عملية المحاكاة كما في الشكل (٩) حيث تعرض العديد من القياسات لبعض المتغيرات المهمة اثناء عملية المحاكاة. ويستفاد منها في التأكد من صحة وسلامة عملية المحاكاة.



شكل ٩ قياس الأداء لبعض المؤشرات خلال فترة المحاكاة

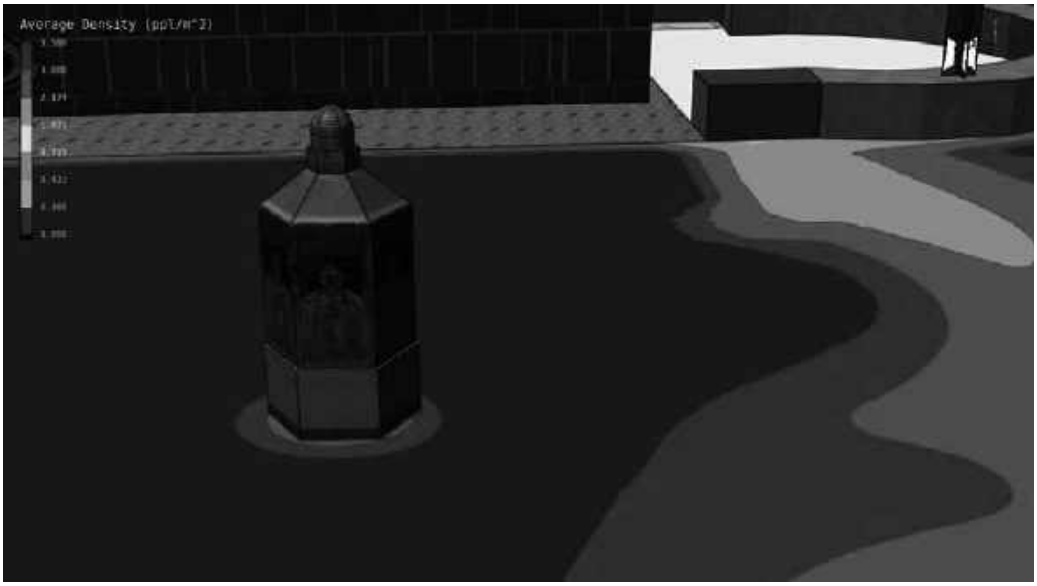
الخرائط:

عمليات المحاكاة ترتبط غالبًا بمكان معين وتتأثر بما يوجد به من عوائق وحواجز ومداخل ومخارج وممرات، لذلك كان من الطبيعي أن يكون هناك أدوات لتحليل ترتبط بالموقع الجغرافي ،ومن أشهر الأمثلة على ذلك هو تحليل الكثافات بالنسبة للموقع كما في الشكل (١٠). فكلما كان الطائف في موقعاً قريب من الكعبة المشرفة كلما زادة نسبة الكثافة البشرية في المتر المربع الواحد والعكس صحيح.



شكل ١٠ متوسط الكثافة لصحن الطواف المستخرجة من المحاكي

كما أن لقياس الكثافات بناءً على المكان فوائد عدة منها قياس متوسط الكثافة عند وجود حاجز طبيعي او مصطنع ومدى تأثيره على انسياب حركة الطواف ومن أمثلة ذلك مقام إبراهيم عليه السلام كما في الشكل (١١).

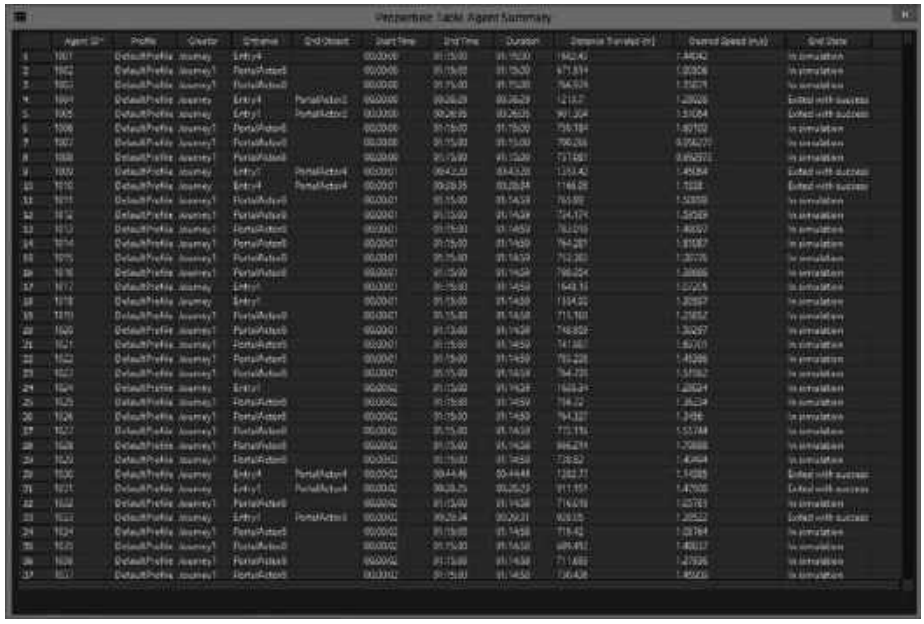


شكل ١١ تاثر الكثافة بالحواجز في صحن المطاف

جداول النتائج:

بالرغم من وجود العديد من أدوات التحليل التي توفرها أنظمة المحاكاة، إلا أن بعض الباحثين لازال يحتاج مخرجات المحاكي على شكل بيانات خام ليتمكن من تحليلها باستخدام برامج تحليل أكثر تخصص في مجال معين. وكما أن أنظمة المحاكاة الجيدة هي التي تستطيع جلب التصاميم والبيانات من أنظمة أخرى، فإنها أيضًا تكون أفضل عندما تُصدر نتائج المحاكاة بأشكال وأنواع مختلفة حتى يتسنى للباحث والمطور التدقيق والتحليل بشكل معمق بنتائج نموذج المحاكاة. ولعل الشكل (١٢) يُظهر أحد جداول النتائج لنموذج محاكاة الطواف. حيث يحتوي على الآتي: الرقم المعرف لكل طائف في نموذج المحاكاة ومن أين المداخل اتى ووقت دخوله ووقت انتهائه والمدة المستغرقة في الطواف والمسافة التي قطعها خلال فترة الطواف مقدرة بالمتر ومتوسط سرعته خلال الطواف مقدرة بالمتر لكل ثانية، وأخيرًا اين هو عند انتهاء فترة المحاكاة هل أكمل طوافه وخرج أم لازال يطوف.

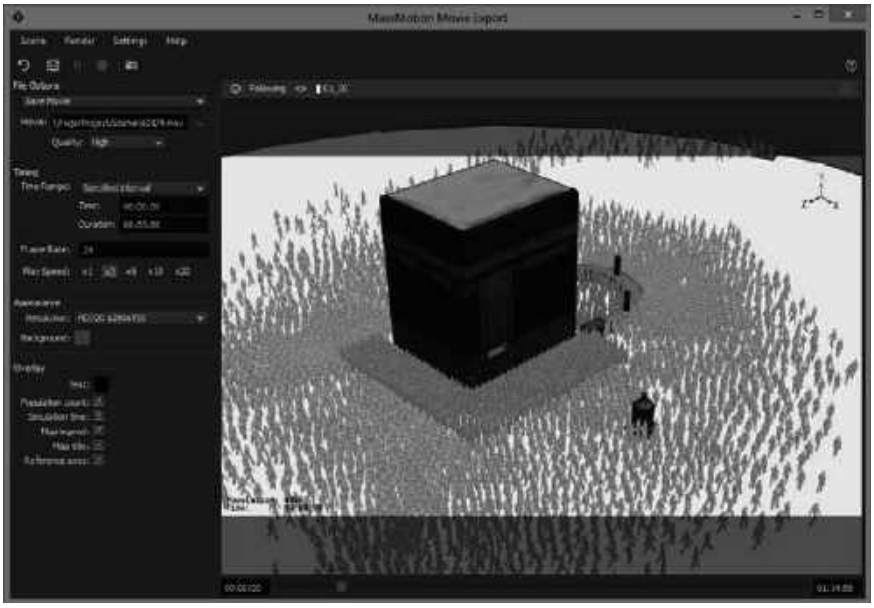
كما أن بيانات جداول النتائج يمكن فرزها واستخراج بيانات فترة محددة او مجموعة طائفين محددين او مدد طواف معينة ومن الأمثلة على استخدام هذه البيانات ما قم به فريق البحث من اخذ عينة من الطائفين في وقت معين وفي ظروف طواف معينة كبلوغ اعداد الطائفين لأكثر من نصف الطاقة الاستيعابية لصحن الطواف. ومن ثم حصر من استطاع من الطائفين اكمال طوافهم خلال ساعة واحدة أو أقل وفي أي المسارات كانوا وكم كان متوسط سرعتهم.



شكل ١٢ نموذج لجداول النتائج

وهناك العديد من جداول النتائج التي يمكن استخراجها من نموذج المحاكاة كجدول الأوقات التي قضاها كل طائف في مكان محدد وجدول مستويات الخدمة(الكثافات) حسب الزمن وجداول الأداء لنموذج المحاكاة وغيرها.

ومن أشكال النتائج الأخرى التي يمكن استخراجها من نموذج المحاكاة الصور والمقاطع المصورة. فعند الرغبة بأخذ صورة لحالة معينة خلال فترة المحاكاة كلحظة وصول عدد الطائفين إلى الذروة او تأثير مقام إبراهيم- عليه السلام -على حركة الطواف أو غيرها كثير. ولعل المقاطع المصورة هي أفضل وسيلة لعرض بعض النتائج حيث يمكن استخراج مقطع مصور لكامل فترة المحاكاة او أي جزء منها وبصيغ مختلفة. كما يوفر طريقة عرض للمقطع المصور من حيث اختيار زاوية التصوير والبعد والقرب من المكان المراد التركيز عليه وشدة الإضاءة وغيرها من إعدادات التصوير كما هو ظاهر في الشكل (١٣).



شكل ١٣ استخراج الصور والمقاطع المصورة من نموذج المحاكاة

الخاتمة:

استخدام أنظمة المحاكاة خطوة صحيحة في سبيل أمن وسلامة قاصدي الحرمين الشريفين والمشاعر المقدسة وحفظ للمال والجهد والوقت. واستشرافًا لما قد يحدث من جراء تطبيق تنظيم جديد أو إلغاء قديم أو وضع بناء جديد أو هدم آخر. ولأن كل واحد من الحرمين الشريفين كتلة واحدة تتأثر أجزاؤها ببعض، فإنه من الضروري بناء نموذج محاكاة موسع وشامل لكل واحد منها بحيث يأخذ بالحسبان جميع التأثيرات على باقي أجزاء الحرم. فلا تكتمل الصورة بمجرد محاكاة جزء من المكان فقط كصحن الطواف مثلاً دون باقي أجزاء المسجد. كما أنه من الضروري توفر البيانات الصحيحة لعمل نماذج المحاكاة والمحدثة بشكل مستمر كالأعداد الحقيقة لقاصدي الحرمين الشريفين وأنشطتهم والبيانات العمرانية للحرمين الشريفين وتحديثها حال تغيرها. كل ذلك يصب في الهدف المنشود من استخدام أنظمة المحاكاة.

المراجع:

1. Al-Haboubi, M., Selim, S.: A design to minimize congestion around the ka'aba. Computers & industrial engineering 32(2), 419–428 (1997)

2. Algadhi, S., Mahmassani, H.: Modelling crowd behavior and movement: application to makkah pilgrimage. Transportation and Traffic Theory 1990, 59–78 (1990)

3. Koshak, N., Fouda, A.: 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)

4. Mulyana, W., Gunawan, T.: Hajj crowd simulation based on intelligent agent. In: Computer and Communication Engineering (ICCCE), 2010 International Conference on, pp. 1–4. IEEE (2010)

5. Sarmady, S., Haron, F., Talib, A.: A cellular automata model for circular movements of pedestrians during tawaf. Simulation Modelling Practice and Theory (2010)

6. Zainuddin, Z., Thinakaran, K., Abu-Sulyman, I.: Simulating the circumambulation of the ka'aba using simwalk. European Journal of Scientific Research 38(3), 454–464 (2009)