

## محاكاة حركة الدخول والخروج للكراسي المتحركة إلى المسجد الحرام وتطويرها Simulating and Improving the Flow of Wheelchairs in Makkah Holy Mosque

م. عائشة بنت حمد العبدالعظيم

معيدة بقسم التصميم الداخلي ، كلية التصاميم ، جامعة الدمام ، ص.ب. ٢٣٩٧ ، الدمام ٣١٤٥١ ،  
المملكة العربية السعودية ، بريد إلكتروني: [3aisha.7mad@gmail.com](mailto:3aisha.7mad@gmail.com)

د. عبدالسلام بن علي السديري

أستاذ مشارك ، عميد كلية العمارة والتخطيط ، جامعة الدمام ، ص.ب. ٢٣٩٧ ، الدمام ٣١٤٥١ ،  
المملكة العربية السعودية ، بريد إلكتروني: [dr.alsudairi@yahoo.com](mailto:dr.alsudairi@yahoo.com)

### الخلاصة:

تهدف هذه الورقة إلى محاكاة حركة الدخول والخروج لأصحاب الكراسي المتحركة إلى المسجد الحرام وتطويرها، والتي أتاحت طرح عدة خيارات وتحليلها للوصول إلى النظام الأمثل لعملية الدخول والخروج، وذلك بتقييم وسائل الانتقال العمودية في الوضع الراهن للحرم من عام ١٤٣١ هـ لمعرفة مواطن الضعف والقصور فيها، ومن ثم اقتراح بدائل تنظيمية ومعمارية لرفع كفاءة وسائل الانتقال العمودية للمستخدمين. بينت نتائج الدراسة أن الحل التنظيمي هو أكثر الحلول كفاءة، والذي يقتضي السماح لبعض الحالات الخاصة باستخدام المصاعد، بينما يفرض على بقية الحجاج من أصحاب الكراسي المتحركة استخدام منحدر أجياد. يساهم هذا الحل (يساهم) في زيادة كفاءة حركة الدخول والخروج بنسبة تصل إلى ١٥%. أما الحل المعماري الذي يقتضي إضافة منحدرات خارجية متحركة فيساهم في زيادة كفاءة حركة الدخول والخروج بنسبة تصل إلى ٨,٨% والذي يمثل الحل الأنسب من (ناحية) حيث توفير الراحة لمستخدم الكرسي المتحرك ولدافعه. أضف إلى ذلك الزيادة المتوقعة في أعداد الحجاج والمعتمرين.

الكلمات الرئيسية: الحرم المكي، مكة المكرمة، مصاعد، منحدرات، كراسي متحركة، محاكاة

### Abstract:

The aim of this study is to simulate and improve the flow of wheelchairs in Mecca Makkah Holy Mosque. To do so, the existing vertical circulations in the Holy Mosque were analyzed to identify their capacities and weaknesses in the year of 1431A.H. Based on the analysis and review of related work, there were two types of recommendations in order to improve the flow of wheelchairs: (1) administrative solution, and (2) architectural changes. The simulation model showed that the administrative solution (which allows only specific users of wheelchairs who are severely handicapped to utilize elevators while others are directed towards Ajyad ramp) enhanced the flow by 15%. On the other hand, the architectural solution was accomplished by providing external travelators which again enhanced the flow by almost 9%. This is the best solution because it avoids fatiguing its users and can accommodate more users in case of an increased flow of pilgrims. (151 words)

## ١- المقدمة

بعد المسجد الحرام في مكة المكرمة أعظم المساجد قاطبة وأشرفها على الإطلاق، حيث تتجه إليه جباه المسلمين كافة في كل صلاة. كما أن ازدياد أعداد المسلمين عاماً بعد عام، ورغبتهم في زيارة المسجد الحرام وتأييدهم فريضة الحج يحتم علينا التفكير في التوسع المستمر للمسجد الحرام. إلا أن هذا التوسع لم يعد كافياً، فما زالت هناك حاجة للتفكير والتحليل لوضع التوصيات لحل مشاكل الوضع الراهن.

من تلك المشاكل الازدحام الشديد عند المداخل، وبالذات فيما يختص بدخول أصحاب الكراسي المتحركة ووصولهم إلى مساراتهم المخصصة للطواف والسعي عبر بطاريات الحركة الرأسية. وهذا ما تم التركيز عليه في هذه الدراسة.

لأنك أن الحلول الحالية المتاحة لدخول أصحاب الكراسي المتحركة وصعودهم في حاجة إلى إعادة نظر، بدليل وجود طابور بشري في أوقات الذروة - قد يمتد من بوابة الصفا إلى بوابة الملك عبدالعزيز- يبنى بعدم فعالية وسائل الصعود الحالية. فالمصاعد المتاحة (أجساد والصفا) لا يمكن الاعتماد عليهما كناقل حركة رئيسي للكراسي المتحركة لعدة أسباب منها: إنها لم تخصص لذوي الاحتياجات الخاصة فحسب، بل قد تستخدم لأغراض الخدمات (نظافة وسقيا). كما أنها ليست مواجهة لخط سير الكراسي المتحركة. أيضاً يشترك في البوابة المؤدية للمصاعد الجميع من مشاة وذوي احتياجات خاصة (السديري، ٢٠٠٨)، إضافة إلى احتمال تعطل هذه المصاعد. أما بالنسبة لسلاسل أجساد المتحركة، فبرغم تحقيقها لانسايبة الحركة، فقد تعرض مستخدمي الكراسي المتحركة للخطر لأنها لم تصمم لهم. كما أن صعود هذا السلم قد يستغرق الكثير من الوقت والجهد بحسب جنس الشخص الذي يقوم بدفع الكرسي وعمره (السديري، ٢٠٠٨). تبقى الوسيلة الثالثة والمتمثلة في منحدر أجساد. فبرغم كونها وسيلة جيدة لنقل الكراسي المتحركة، فإنها بعيدة نسبياً عن الحرم خاصة بالنسبة للقادمين من مناطق أخرى غير أجساد، إضافة إلى طول المسار مما قد يرهق من يقوم بدفع الكراسي لاسيما كونه يتحرك باتجاه معاكس للجاذبية في حال الصعود.

لذلك دعت الحاجة لإيجاد بدائل وطول إضافية تساهم في انسيابية حركة دخول الكراسي المتحركة ووصولهم إلى المسارات المخصصة للطواف والسعي، دون أن تتقاطع مع حركة بقية الحجاج.

وسنفترض أن إضافة منحدرات خارجية متحركة سيسهم في تحسين وصول الكراسي المتحركة إلى المسارات المخصصة لهم في الطواف والسعي. لذا تهدف هذه الورقة إلى دراسة مدى فعالية إضافة هذه المنحدرات لتحسين حركة دخول الكراسي المتحركة من الخارج باتجاه مسار الطواف والسعي المخصص لهم لها في الدور الأول. وتم ذلك بتحقيق ما يلي:

- ١- محاكاة الوضع الراهن.
- ٢- رصد مشاكل وسائل الصعود الحالية المخصصة للكراسي المتحركة.
- ٣- دراسة مدى فعالية منحدر أجساد الحالي.
- ٤- حساب مساحات المنحدرات المقترحة.
- ٥- تقدير الزمن الافتراضي لعبور المنحدر.
- ٦- حساب سعة المنحدر بأقصى عدد للكراسي المتحركة.
- ٧- محاكاة الوضع المقترح.
- ٨- المقارنة بين النموذج الحركي المقترح والنموذج الحالي.
- ٩- وضع توصيات وتوجيهات لتحسين وصول الكراسي المتحركة لمسار الطواف المخصص لهم.

## وسائل الانتقال العمودية للكراسي المتحركة

لاختيار الوسيلة الأكثر ملاءمة لحالة الحرم، كان لابد من إلقاء الضوء على وسائل الانتقال العمودية للكراسي المتحركة:

## - المنحدرات (Ramps):

تعتبر المنحدرات الوسيلة الأكثر انتشاراً لانتقال الكراسي المتحركة من مستوى لآخر، كما أنها مفيدة جداً للنقل المتواصل للأعداد الكبيرة من الناس، كما هي الحال في الملاعب والمعارض ومحطات سكة الحديد (Merritt & Ricketts, 2000).

ويعاب عليها أنها تحتل مساحات كبيرة من الفراغات الداخلية أو الخارجية خاصة في حال ارتفاع منسوب الدور الأول حيث يصل إلى ما يقارب ١٠,٥م في حال الحرم مما يستلزم أن يكون طول مسار المنحدر حوالي ١٠٠م. وهذه المسافة الكبيرة مرهقة جداً لمن يستخدم كرسيًا يعتمد على الدفع الذاتي، ولمن يدفع الكرسي المتحرك، خاصة في حالة الصعود.

## - المصاعد (Elevators):

هي إحدى وسائل الانتقال بين الأدوار لنقل الركاب من المشاة أو مستخدمي الكراسي المتحركة. وعادة ما تستخدم في الأبراج العالية وناطحات السحاب، حيث يتم حساب حجمها وعددها بناء على نوعية المبنى وعدد الأدوار، وحجم المستخدمين له، وأوقات الانتقال داخل المبنى صعوداً أو هبوطاً، خصوصاً في ساعات الذروة (Merritt & Ricketts, 2000).

وبرغم أن التحكم بالمصاعد يتم بشكل آلي لتقليل وقت الانتظار أمام المصعد (Kubba, 2008)، فإن ما يعيب المصعد هو طول وقت الانتظار الذي يقضيه الشخص منذ طلبه للمصعد وحتى وصوله إليه، خاصة عند تعدد الأدوار وكثرة الطلب على المصعد. وإن تقليل وقت الانتظار مشكلة معقدة للغاية لعدم اليقين بوجهة الراكب حتى لحظة دخوله للمصعد وطلبه للدور الذي يريد (Nikovski & Brand, 2004)، وبذلك لا يمكن الاعتماد عليها كوسيلة نقل رئيسية في أوقات الذروة، وهذا ما تم إثباته من خلال النموذج المحاكي للوضع الراهن للحرم.

## - المنحدرات المتحركة (travelators):

صُممت هذه الوسيلة لنقل الناس بطريقة سريعة وآمنة، وخاصة في الأماكن التي تتميز بكثرة الزوار كالمعارض والمطارات. كما تتيح إمكانية نقل الركاب وبصحبهم عربات الأطفال أو عربات التسوق (Kubba, 2008) (Kubba, 2007). وقياساً على العربات، يمكننا القول إن المنحدرات المتحركة وسيلة مناسبة لانتقال الكراسي المتحركة.

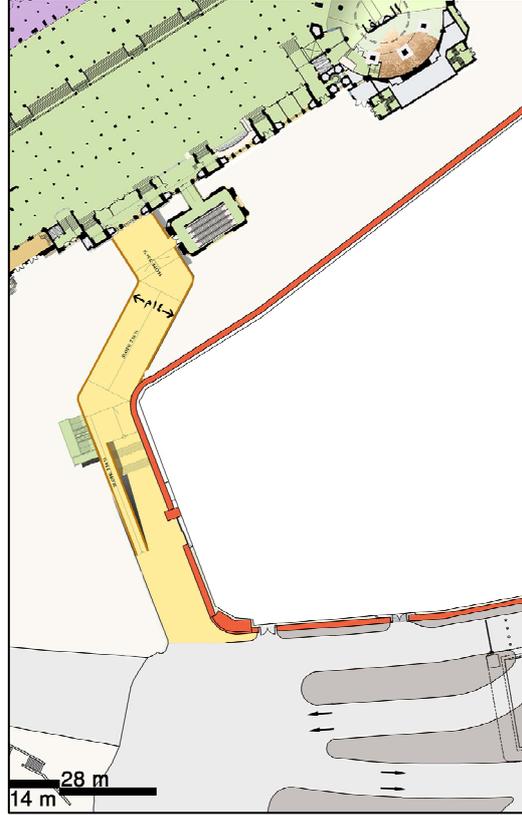
وتتميز المنحدرات المتحركة بكونها أكثر راحة من المنحدر العادي، خاصة في حال طول منسوب الدور، حيث أنها تتحرك بشكل أوتوماتيكي وبسرعة ثابتة قد تصل إلى ٠,٧٥م/ثانية (n.d.)، وهذا ما نحتاجه لضمان استمرارية الحركة بسرعة ثابتة لجميع مستخدمي الكراسي المتحركة، وبالتالي تفادي حدوث أي إعاقات في عملية الصعود أو النزول بسبب تأخر أحد الكراسي المتحركة، مما يؤثر سلباً على كل جميع من يقف خلفه، وبالتالي تتغلب على مشكلة المنحدر العادي.

كما أنها أكثر كفاءة من المصاعد حيث تتغلب على مشكلة انتظار الناس أمام المصعد، إضافة إلى أنها تتحول إلى منحدرات عادية في حال تعطل المنحدر أو انقطاع التيار الكهربائي. لكن إلا أنه يعاب عليها أنها تحتل مساحة كبيرة كما هي الحال في المنحدرات.

## ٢- الوضع الراهن للحرم المكي

## آلية دخول الكراسي المتحركة للحرم:

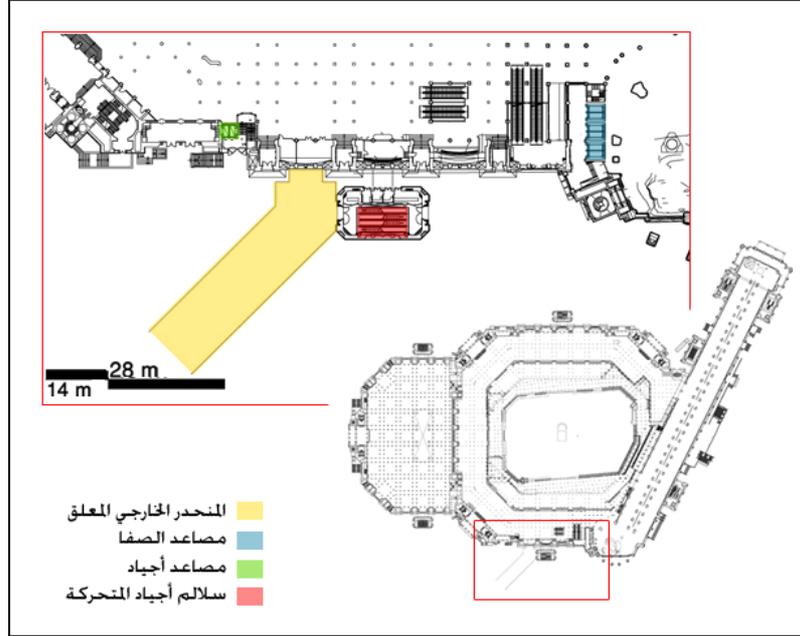
هناك أربع وسائل متاحة لدخول الكراسي المتحركة ووصولهم إلى مسارات الطواف والسعي المخصصة لهم، وهي:



شكل ١ منحدر أجياد كما يظهر في المخطط  
المصدر: الرئاسة العامة لشؤون المسجد الحرام والمسجد النبوي

- الدخول عن طريق منحدر أجياد الخارجي المعلق والذي يصل مباشرة إلى الدور الأول، والشكل (١) يوضح مخططاً لمنحدر أجياد.
- الدخول من باب الصفا، ثم الصعود عبر مصاعد الصفا وعددها ست مصاعد.
- الدخول من باب أجياد، ثم الصعود عبر مصاعد أجياد، وعددها مصعدان.
- الصعود عبر سلالم أجياد المتحركة، وقد خصص سلمان للصعود وسلمان للنزول.

والشكل (٢) يوضح بطاريات الحركة العمودية المتاحة للكراسي المتحركة.



شكل ٢ بطاريات الحركة العمودية المخصصة للكراسي المتحركة

### الطواف بالكراسي المتحركة:

عند الوصول إلى الدور الأول بغرض الطواف يتم الانتقال إلى مسار الطواف المخصص للكراسي المتحركة في الدور الأول. وعندما يصل إلى أقصى استيعاب (٤٥٠ كرسيًا متحركًا) فإن القادم لأداء الطواف ينتقل إلى مسار المشاة المحاذي لمسار الكراسي المتحركة في الدور الأول، والذي يبلغ أقصى استيعاب له (١٢٠٠ كرسي متحرك). وبعد أن يصل مسار المشاة في الدور الأول لأقصى استيعاب له، فإن القادم لأداء الطواف ينتقل إلى مسار المشاة في السطح، وبعدها يؤدي الحاج سنة الطواف.

لا بد من الأخذ بعين الاعتبار أن المسار المخصص لطواف الكراسي المتحركة يقع في الدور الأول فقط، وما يحدث من انتقال الكراسي المتحركة لمسارات المشاة في الدور الأول أو السطح هو نتيجة حتمية لضيق المساحة الحالية للمسار مقارنة بعدد الحجاج من أصحاب الكراسي المتحركة في أوقات الذروة.

### السعي بالكراسي المتحركة:

ثم يتم الانتقال عبر بطاريات الحركة إلى مسارات السعي المخصصة لذوي الاحتياجات الخاصة وهي:

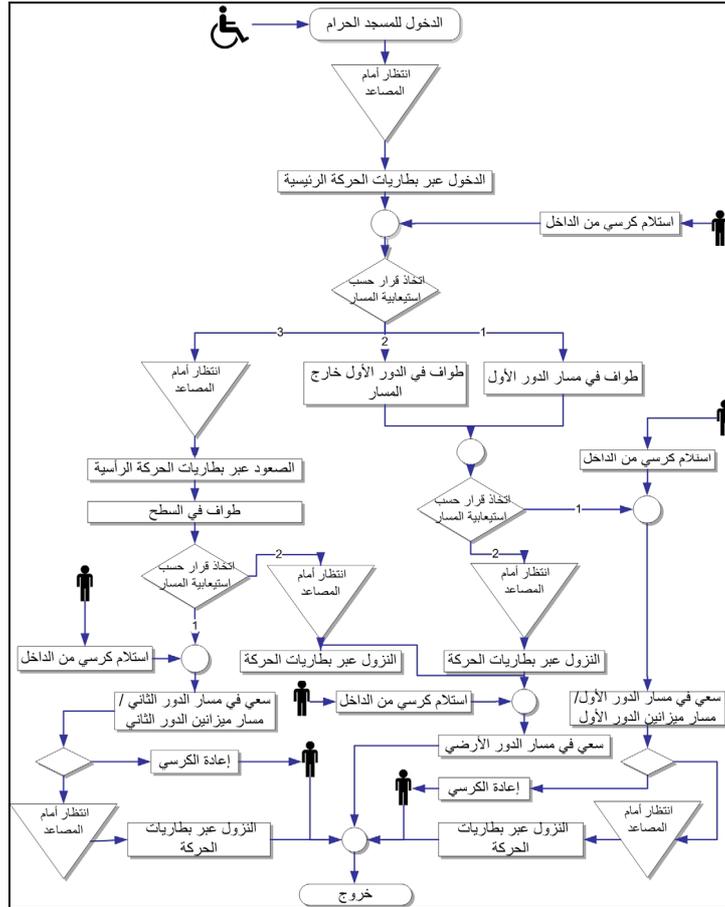
- مسار الدور الأرضي
- مسار الدور الأول
- مسار ميزانين الدور الأول
- مسار الدور الثاني
- مسار ميزانين الدور الثاني

وقد خصصت ثمانية مصاعد إضافية موزعة حول المسعى ومجهزة بمداخل ومخارج من وإلى المسعى وإليه إضافة إلى مصاعد الصفا السنة التي سبق ذكرها.

ولا بد عند تصميم نموذج المحاكاة من مراعاة كون الطاقة الاستيعابية لسعي ذوي الاحتياجات الخاصة أكبر بكثير من الطاقة الاستيعابية المخصصة للطواف، كما أن عملية الدخول للحرم غير متناسبة مطلقاً مع الطاقة الاستيعابية للطواف والسعي، مما يستلزم تصميم النموذج بأقصى استيعابية يتحملها الطواف لا السعي.

## خروج الكراسي المتحركة:

بعد الانتهاء من تأدية السعي يتم خروج الكراسي المتحركة عبر المصاعد الموزعة حول المسعى أو مصاعد الصفا. وفي حال بلوغ هذه المصاعد لطاقتها الاستيعابية القصوى، يمكن للحاج الانتقال إلى منحدر أو مصاعد أجياد، وهذا ما حدث فعلاً في النموذج الحركي حيث سيرد ذلك لاحقاً، مما يبنى بعدم كفاءة الاعتماد على المصاعد في أوقات الذروة.



شكل ٢ المخطط التتابعي لحركة الكراسي المتحركة

يوضح الشكل السابق - شكل ٣- الخطوات التي يمر بها الحاج من لحظة دخوله للحرم وحتى خروجه منه، مع ملاحظة أنه تم الأخذ بعين الاعتبار وجود محطات داخلية لتسلم الكراسي المتحركة عند الطواف والسعي. وبعد الانتهاء من تأدية العمرة، تتم إعادة الكرسي والخروج من مخارج المشاة.

## ٣- منهجية البحث

في البداية تم استخدام المنهج الوصفي لتتبع حركة الكراسي المتحركة من لحظة دخولها إلى الحرم وحتى خروجها منه اعتماداً على إحدى الدراسات السابقة (السديري، ٢٠٠٨) والتي تناولت "تحسين حركة الكراسي المتحركة لذوي الاحتياجات الخاصة داخل الحرم المكي باستخدام المحاكاة" في فترة الحج من عام ١٤٢٥ هـ.

إضافة إلى ذلك استخدام المنهج التجريبي عن طريق استعمال النموذج الحركي المستخدم في البحث السابق باستخدام برنامج إكستيند+بي-آر-بي (Extend+BRP) (السديري، ٢٠٠٨)، مع إضافة بعض التغييرات على النموذج والتي لحقت بالحرم من عام ١٤٢٥ هـ إلى عام ١٤٣١ هـ بهدف الوصول إلى نموذج يحاكي الوضع الراهن للحرم، ثم إضافة بعض التحسينات على النموذج وعمل مقارنة بين نتيجة النموذج الحالي والنموذج المحسن، بغية الوصول لحلول مقترحة تحسن من حركة دخول وخروج الكراسي المتحركة وخروجها.

**أداة المحاكاة إكستيند :**

كما ذكر آنفاً فقد تم استخدام المحاكاة والتي تعرف بأنها نموذج رياضي لتصوير سلوك أو أداء العنصر المراد محاكاته في نظام ما ومدى استجابته للبيئة المحيطة به وماهي العوامل أو المتغيرات المؤثرة على ذلك العنصر وعلى النظام ككل، وبالتالي تقييم أداء التصميم المقترح ومعاينة الإيجابيات والسلبيات التي تظهر في نموذج المحاكاة قبل تنفيذه على أرض الواقع (Bandini et al., 2009). في هذا البحث تم استخدام المحاكاة كأداة لنمذجة الحشود ، والتي ذكر عنها أيساك وآخرون (Isaacs and others) بأنها تُظهر كيف لهذه الحشود أن تتحرك داخل المبنى. كما تُظهر نتيجة تفاعل الفرد مع الآخر داخل هذا الحشد ومع البيئة المحيطة به. كما أنها مفيدة في تحديد مدى استجابة الحشود للسيناريوهات المقترحة سواء أكانت تنظيمية أو أم معمارية. كما يمكن بواسطتها تحديد الأماكن ذات الحركة الانسيابية ، والمناطق ذات الاختناق الحركي والتي تمثل عنق الزجاجة (Isaacs et al., 2008).

وقد تم استخدام برنامج والذي يعتبر أحد برامج المحاكاة من إنتاج شركة. يعتمد هذا البرنامج على نموذج المحاكاة والذي يتكون من مجموعة من الأيقونات، كل أيقونة تصف عملية حسابية أو تمثل خطوة من خطوات النظام المراد محاكاته بحيث يتم إدخال قيم رقمية داخل كل أيقونة سواء أكانت زمناً أم تكلفة أو الموارد المستخدمة سواء أكانت مادية أم بشرية. ترتبط هذه الأيقونات ببعضها بعضاً بروابط لتشكل نموذج المحاكاة. وبعد بناء هذا النموذج، تبقى عملية تشغيله واستخراج النتائج منه على شكل قيم رقمية أو مخرجات رسومية (Krahl, 2001).

وتجدر الإشارة إلى أن هناك العديد من الدراسات التي استخدمت أداة المحاكاة لفهم حركة الحشود وتحليلها - وقد أثبتت نجاحها في العديد من بغية اقتراح حلول تضمن السلامة للمستخدمين، كدراسة حركة الدخول والخروج في الملاعب الرياضية (Still, 2000) و (Brocklehurst et al (2005)، وفي العديد من الدراسات المستفيضة لمحاكاة حركة الحشود في جسر الجمرات (القاضي؛ سنيل، ١٤٢٧) والنابلسي، ٢٠٠٩ وكوشاك، ٢٠٠٥). وهذا ما يؤكد فعالية استخدام المحاكاة في الحالة الدراسية المقترحة للوصول إلى حلول معمارية أكثر فعالية.

**أدوات جمع البيانات:**

- تم استيفاء جميع البيانات اللازمة لبناء النموذج عن طريق:
- طرح بعض الأسئلة على أحد مسؤولي الرئاسة العامة لشؤون المسجد الحرام والمسجد النبوي<sup>١</sup>.
  - جمع البيانات الكمية اعتماداً على الأرقام المسجلة في النموذج الحركي المستخدم في البحث السابق (السديري، ٢٠٠٨).
  - افتراض بعض القيم عن طريق عمل حسابات بسيطة كما سيرد ذلك لاحقاً.

**نمذجة الوضع الراهن للحرم:**

قبل الحديث عن نمذجة الوضع الراهن، لا بد من التنويه بأنه تمت دراسة حركة الحجاج من مستخدمي الكراسي المتحركة منذ دخولهم الحرم وحتى خروجهم منه، لضمان عدم وجود انتظار أمام الطواف. لذا راعت المقترحات التي ستناقش لاحقاً الطاقة الاستيعابية لمسارات الطواف للكراسي المتحركة. كما أنه تمت دراسة رحلات المصاعد ليس للدخول والخروج فحسب، بل وعند التحرك داخل الحرم أيضاً، لأن المصاعد منظومة متكاملة وأي تأخير يمكن أن يحدث في أحد الأدوار سيتسبب في تأخير كامل النظام. "إذن نحن بحاجة إلى نظرة نظامية في اقتراح الحلول فالتركيز على جزئية في النظام قد ينقل المشكلة إلى جزئية أخرى وبالتالي فإن أداء النظام ككل سيبقى كما هو أو لن يتحسن إلا بشكل بسيط، وهذا سبب اختيار المحاكاة كأداة لأنها ستبين الأعراض الجانبية لأي اقتراح" (السديري، ٢٠٠٨، صفحة ٢٢).

ولبناء النموذج الحركي بواسطة برنامج Extend كان لا بد من إدخال كافة البيانات اللازمة والتي تسمى بالمدخلات. ويبين جدول (١) البيانات المدخلة على النموذج.

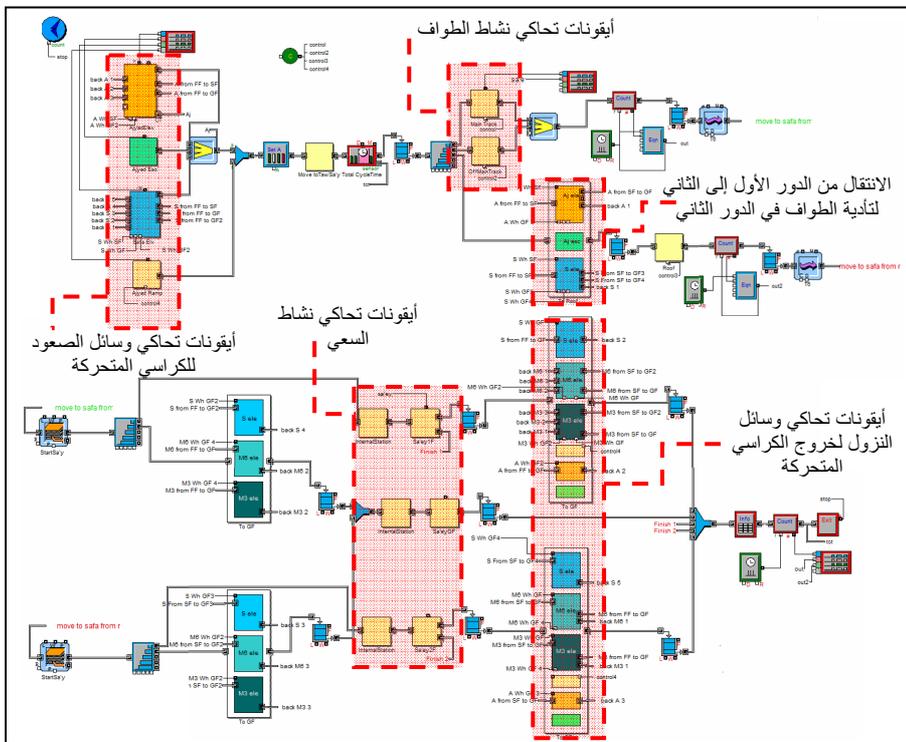
١ مدير عام المشاريع والدراسات/ م. عبدالمحسن بن حميد

جدول (١) البيانات المدخلة على النموذج الحركي في برنامج إكستيند (Extend) ١

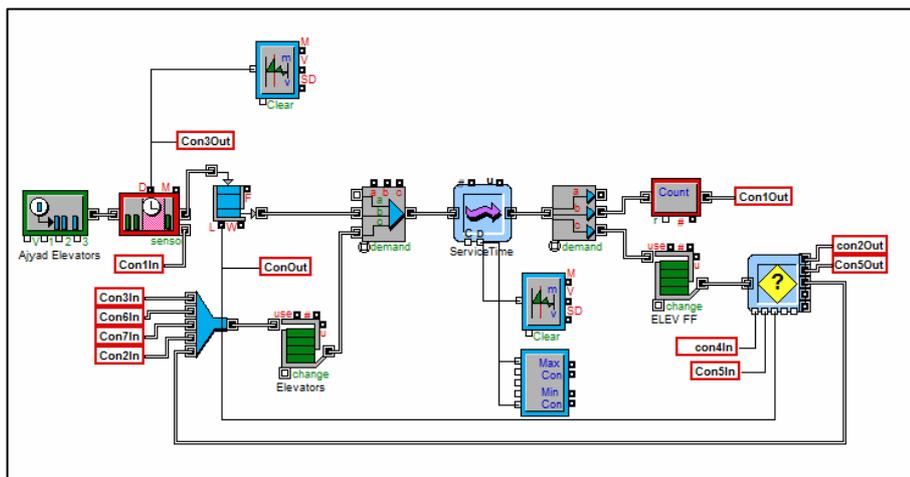
ملاحظات	البيانات المدخلة	وسيلة الانتقال العمودية	
* تم افتراض وقت خدمة المصعد	استيعابية المصعد الواحد=٤ كراسي مقدار التدفق=١ كراسي في الدقيقة وقت خدمة المصعد=١,٥-٣ دقائق* نوع التوزيع: real-uniform	مصاعد أجياد	عملية الدخول
* تم افتراض وقت خدمة المصعد	استيعابية المصعد الواحد=٦ كراسي مقدار التدفق=١ كراسي في الدقيقة وقت خدمة المصعد=١,٥-٣ دقائق* نوع التوزيع: real-uniform	مصاعد الصفا	
	مقدار التدفق=١ كراسي في ٥٥ ثانية	سلام أجياد المتحركة	
* تم افتراض مقدار التدفق بافتراض مساواته لمقدار التدفق عند سلام أجياد ** تم حساب الوقت اللازم للصعود بناء على سرعة الكرسي المتحرك حيث تبلغ ٤١م/د في حالة السرعة العادية، و ٢٤م/د في حالة السرعة المنخفضة (Koontz, Alicia M.; et al., 2005)، ويقسم طول المسار على السرعة نحصل على الوقت الأدنى لكلا الحالتين، وبقيّة الأوقات تم افتراضها.	مقدار التدفق=١ كراسي في ٥٥ ثانية* استيعابية المنحدر=٣١٨ كراسي الوقت اللازم لعبور المنحدر = السرعة المنخفضة بنسبة ٦٠%: الأدنى=٥ دقائق الأقصى=٧ دقائق الأكثر تكراراً=٦ دقائق السرعة العادية بنسبة ٤٠%: الأدنى=٢,٥ دقيقة الأقصى=٤ دقائق الأكثر تكراراً=٣ دقائق	منحدر أجياد	
* تم افتراض وقت خدمة المصعد	سعة المصاعد: ٤ مصاعد بسعة=٦ كراسي ٤ مصاعد بسعة=٣ كراسي وقت خدمة المصعد = ١,٥-٣ دقائق* نوع التوزيع: real-uniform	المصاعد حول المسعى	عملية الخروج
* تم افتراض وقت خدمة المصعد	استيعابية المصعد الواحد=٦ كراسي مقدار التدفق=١ كراسي في الدقيقة وقت خدمة المصعد=١,٥-٣ دقائق* نوع التوزيع: real-uniform	مصاعد الصفا	
* تم افتراض الوقت اللازم للنزول من المنحدر باعتباره أقل من الوقت اللازم للصعود بفارق دقيقة واحدة، لأن النزول أسهل وأسرع من الصعود.	استيعابية المنحدر=٣١٨ كراسي الوقت اللازم لعبور المنحدر = السرعة المنخفضة بنسبة ٦٠%: الأدنى=٤ دقائق الأقصى=٦ دقائق الأكثر تكراراً=٥ دقائق السرعة العادية بنسبة ٤٠%: الأدنى=١,٥ دقيقة الأقصى=٣ دقائق الأكثر تكراراً=٢ دقائق	منحدر أجياد	

١ جميع البيانات المذكورة هنا تم استيفائها من النموذج المستخدم في دراسة "تحسين حركة الكراسي المتحركة لذوي الاحتياجات الخاصة داخل الحرم المكي باستعمال المحاكاة" مالم يذكر غير ذلك

ومن ثم تم الخروج بنموذج المحاكاة الحركي، كما يتضح في شكل ٣ وشكل 4.



شكل ٣ النموذج الحركي المحاكي للوضع الحالي للحرم من برنامج المحاكاة Extend



شكل 4 النموذج الحركي المحاكي للوضع الحالي للحرم (مصعد أجياد كتمثال) من برنامج المحاكاة Extend

## ٤- النتائج والمناقشة

### نتائج النموذج المحاكي لوضع الحرم الراهن:

تم استخراج نتائج النموذج المحاكي لوضع الحرم الراهن بعد أن تم بناؤه ببرنامج Extend ثم عمل تدوير للنموذج ١٠ دورات بحيث تنتهي كل دورة بخروج ١٠,٠٠٠ عنصر (كرسي متحرك) من النظام.

وقد تم قراءة النتائج بالتركيز على عامل الوقت الذي يعد مقياساً لمدى كفاءة وسائل الانتقال العمودية، حيث تم استخراج معدل الدورة الزمنية لكل وسيلة من الوسائل، الذي يتأثر بوقت الخدمة ومعدل الانتظار قبل الركوب في حال المصاعد، وبسرعة حركة الكراسي المتحركة في حالة المنحدرات، وبسرعة حركة المنحدرات والسلالم المتحركة.

وبناء على ذلك كانت القراءات على النحو التالي:

#### ■ تحليل عملية الدخول:

- ١- مصاعد أجياد: يبلغ متوسط المدة الزمنية من لحظة انتظار وصول المصعد وحتى الخروج منه ١٠,٦ دقيقة، وقد تصل إلى ٤١,٨ دقيقة كأعلى تقدير مما يقتضي انتظار ٩٦ كرسي متحرك أمام المصعد، ولاشك أن هذه المدة طويلة نسبياً مقارنة بمقدار تدفق الكراسي المتحركة لمصاعد أجياد (كرسي واحد/دقيقة)، وبرغم توفر مصعدين، يشير النموذج إلى استخدام مصعد واحد في عملية الدخول، أما المصعد الآخر فيستخدم للانتقال من الدور الأول إلى الثاني لتأدية الطواف في السطح في أوقات الذروة.
- ٢- سلالم أجياد المتحركة: حيث يبلغ متوسط المدة الزمنية لعبور السلم شاملاً بذلك انتظار ما قبل السلم حوالي ٦,٨ دقيقة وقد يصل إلى ٢٨ دقيقة كأعلى تقدير.
- ٣- مصاعد الصفا: بعد عمل تدوير للنموذج، اتضح أن متوسط المدة الزمنية التي يقضيها الحاج من لحظة دخوله وانتظاره للمصعد وحتى خروجه منه تقدر بـ ٣,٣ دقيقة، وإن زيادة عدد المصاعد من مصعدين إلى ٦ مصاعد قلل وقت الانتظار من ٢٠ دقيقة كما كان في حج ١٤٢٥ هـ (السديري، ٢٠٠٨) إلى دقيقتين.
- ٤- منحدر أجياد: وتشير القراءات إلى أن منحدر أجياد هو أفضل من الوسائل السالفة الذكر، حيث يبلغ متوسط الوقت اللازم لعملية الدخول ٣ دقائق، ولا يوجد أي انتظار قبل المنحدر بسبب طوله بحيث يستوعب ٣١٨ كرسي متحرك.

كما أظهرت نتائج النموذج المحاكي بأن المعدل العام لدخول مستخدمي الكراسي المتحركة = ٥٦٤ كرسي/ساعة.

#### ■ تحليل عملية الخروج:

- ١- مصاعد المسعى التي تستوعب ستة كراسي متحركة: يبلغ متوسط المدة الزمنية من لحظة انتظار وصول المصعد وحتى الخروج منه ٧,٣ دقيقة وهو وقت معقول نسبياً.
- ٢- مصاعد المسعى التي تستوعب ثلاثة كراسي متحركة: ويبلغ متوسط المدة الزمنية من لحظة انتظار وصول المصعد وحتى الخروج منه ٩ دقائق. والسبب في تباين الوقت بين هذا وسابقه اختلاف الطاقة الاستيعابية للمصاعد، حيث تبلغ في الأول ٦ كراسي وفي الثاني ٣.
- ٣- مصاعد الصفا: ويبلغ متوسط المدة الزمنية من لحظة انتظار وصول المصعد وحتى الخروج منه ٢٠,٧ دقيقة والسبب في ارتفاع المعدل هو طلب المصعد المستمر في الدور الأرضي والدور الأول للوصول إلى الطواف في الدور الأول والثاني.

وبرغم بُعد منحدر أجياد ومصاعده عن نقطة انتهاء السعي (المروة)، يشير النموذج المحاكي إلى انتقال بعض الكراسي المتحركة إلى مصاعد ومنحدر أجياد للخروج من الحرم. وهذا ما يؤكد عدم كفاءة المصاعد في أوقات الذروة.

وتجدر الإشارة إلى أن نتائج هذا النموذج قد بينت بأن معدل خروج مستخدمي الكراسي المتحركة = ٥٨٣ كرسي/ساعة.

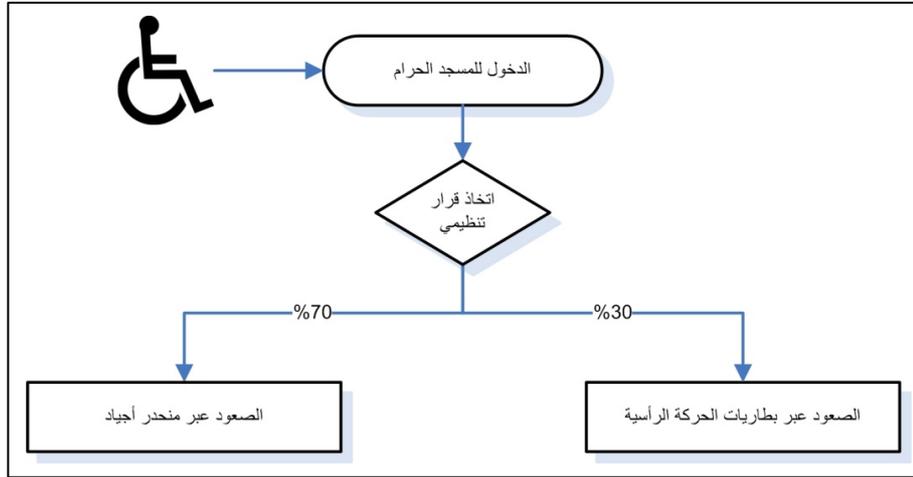
## الحلول المقترحة:

## المقترح الأول (دراسة مدى فعالية منحدر أجياد المعلق):

في هذا المقترح تم افتراض وجود تنظيم بحيث يتم إقناع الحجاج من مستخدمي الكراسي المتحركة -من خلال حملات الحج التابعين لها أو في منطقة بعيدة قبل وصولهم للمصاعد- باستخدام منحدر أجياد. فهو الأفضل والأسرع لهم. وبذلك تم افتراض نسبة ٣٠% لمستخدمي المصاعد، بينما على بقية الحجاج من مستخدمي الكراسي المتحركة (٧٠%) (السديري، ١٤٢٥هـ) استخدام منحدر أجياد المعلق.

وفي حال الانتهاء من الطواف والسعي، فيمكن للكراسي المتحركة استخدام المصاعد أو منحدر أجياد على حد سواء نظراً لصعوبة وصول الكراسي المتحركة بعد الانتهاء من السعي من المروة إلى منحدر أجياد لطول المسافة، فمن الأسلم لهم استخدام المصاعد الموزعة حول المسعى، أو مصاعد الصفا. وعند حدوث ازدحام، فلهم استخدام منحدر أو مصاعد أجياد. وهذا ما يوحي لنا بفكرة إضافة منحدرات متحركة خارجية متصلة بالمروة حيث نهاية السعي كنقطة خروج من الحرم كما سيرد ذلك لاحقاً.

كما تم الاستغناء عن سلالم أجياد المتحركة لما قد تتسبب به من أضرار لمستخدمي الكراسي المتحركة. يوضح الشكل (٦) المخطط التتابعي لعملية دخول الكراسي المتحركة ضمن هذا المقترح.



شكل ٥ المخطط التتابعي لعملية دخول الكراسي المتحركة ضمن مقترح (دراسة مدى فعالية منحدر أجياد المعلق)

تم اختصار نتائج هذا المقترح ومقارنتها بالوضع الراهن في جدول ٢.

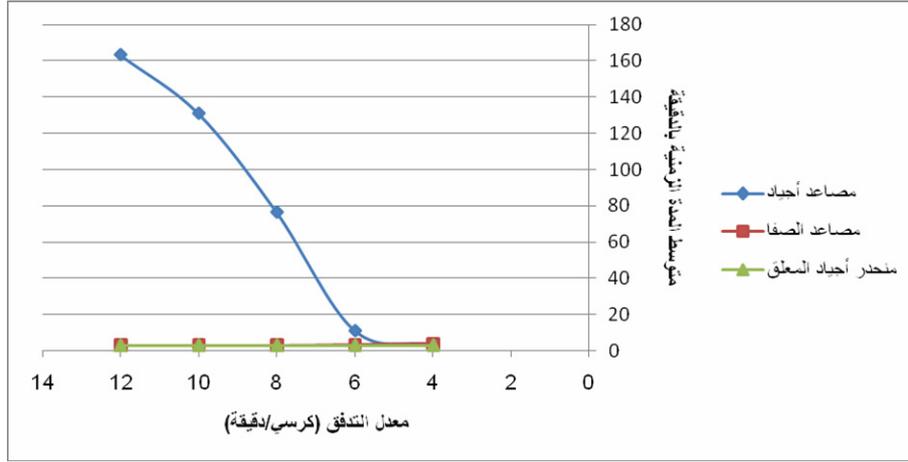
## جدول (٢) نتائج النموذج الجري للمقترح الأول

ملاحظات	متوسط المدة الزمنية *		عملية الخروج
	(الوضع الراهن للحرم)	(المقترح الأول)	
تعتبر نسبة معقولة جداً مقارنة بالوضع الراهن	١٠,٦	٤,١	مصاعد أجياد
	٣,٣	٣,٨	مصاعد الصفا
	٣	٢,٧	منحدر أجياد
لم يلحظ وجود تغير يذكر عما كان عليه نموذج الوضع الراهن للحرم	٧,٣	٥,٣	مصاعد المسعى التي تستوعب ستة كراسي متحركة
	٩	٧,١٥	مصاعد المسعى التي تستوعب ثلاث كراسي متحركة
	٢٠,٧	٢٢,٨	مصاعد الصفا

\* متوسط المدة الزمنية بالدقيقة من لحظة انتظار وصول المصعد -أو الزحام في حال المنحدر- وحتى الخروج منه

من الملاحظ أن المعدل العام لدخول الكراسي المتحركة في هذا المقترح = ٦٦٣ كرسي/ساعة، بينما في الوضع الراهن = ٥٦٤ كرسي/ساعة، كما أن المعدل العام لخروج الكراسي في هذا المقترح = ٦٧٧ كرسي/ساعة بينما في الوضع الراهن = ٥٨٣ كرسي/ساعة، مما يدل على أن مجرد وجود قانون تنظيمي أدى إلى رفع كفاءة المصاعد بنسبة تصل إلى ١٥% عما كانت عليه في الوضع الراهن.

ومما تجدر الإشارة إليه أن هذه القراءات مبنية على معدل وصول أربعة كراسي متحركة في الدقيقة، لكن ماذا لو زاد معدل التدفق؟ لأجل ذلك تم قياس أداء هذا المقترح برفع معدل تدفق الكراسي المتحركة إلى الحرص زيادةً تدريجية. يبين الخطأ! لم يتم العثور على مصدر المرجع. شكل ١٠ نتيجة هذه الفرضية.



شكل ٦ العلاقة بين معدل وصول الكراسي المتحركة ومتوسط المدة الزمنية منذ انتظار وصول المصعد وحتى الخروج منه في المقترح الأول

بعد زيادة معدل التدفق إلى ١٢ كرسي/دقيقة، ظهرت النتائج التالية:

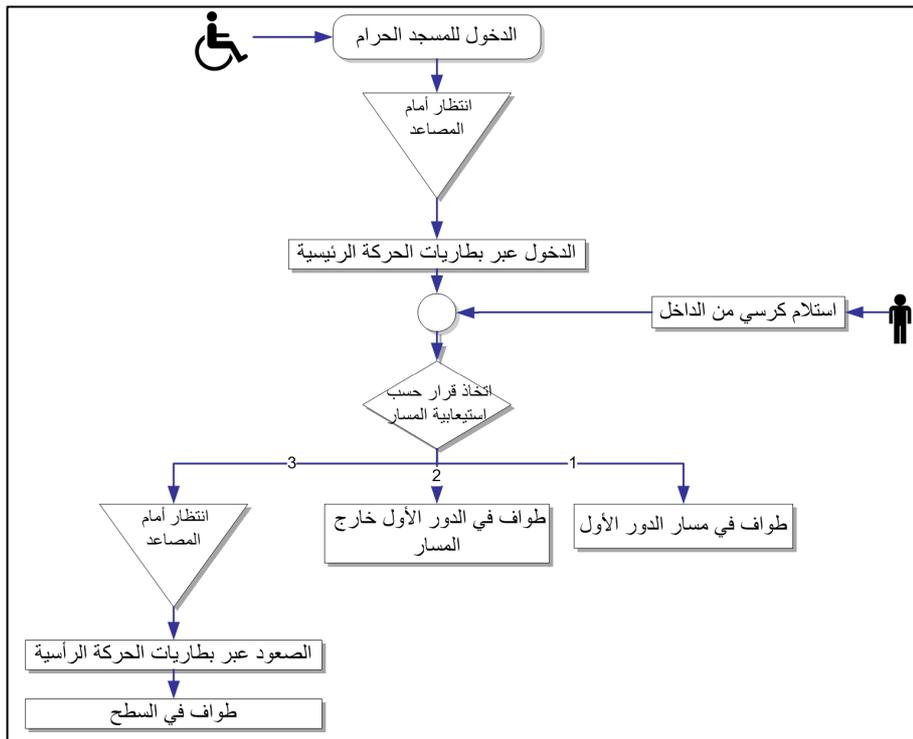
في عملية الدخول: زاد متوسط المدة الزمنية عند مصاعد أجياد من وقت انتظار وصول المصعد وحتى الخروج منه حيث بلغ ١٦٣,٣ دقيقة، وقد يصل إلى ٣٣٧,٥ كأقصى تقدير، و ٢,٢ كأدنى تقدير. كما يبلغ متوسط طول الانتظار ٦٢٤,٧ كرسي متحرك، مما يعني أن زيادة معدل التدفق يؤثر سلباً على أداء مصاعد أجياد.

كما يتضح أنه برغم زيادة معدل التدفق إلى ١٢ كرسيًا في الدقيقة، فإن مصاعد الصفا لم تبدِ تغييراً زمنياً يذكر، بل إن متوسط المدة الزمنية يكاد يكون ثابتاً. يعود السبب في ذلك إلى أن أداء مصاعد الصفا في الوضع الراهن يعتبر ممتازاً مقارنة بمصاعد أجياد لأن زيادة عدد المصاعد من ٢ إلى ٦ - كما ذكر ذلك في الصفحة ٢٤ - يعني زيادة استيعابية المصاعد من ١٢ كرسيًا في عام ١٤٢٥هـ إلى ٣٦ كرسيًا متحركًا في عام ١٤٣١هـ. من الجدير بالذكر أن معدل التدفق يتم توزيعه على وسائل الصعود الحالية. ففي هذا المقترح: ٧٠% من الكراسي المتحركة تتجه لمنحدر أجياد، و ٣٠% موزعة بين مصاعد أجياد والصفا، مما يعني أنه سيصل ما يقارب كرسيين في الدقيقة الواحدة إلى مصاعد الصفا الستة التي تستوعب ٣٦ كرسيًا. يشير ذلك إلى كفاءة أداء مصاعد الصفا في هذا المقترح حتى مع زيادة معدل التدفق إلى ١٢ كرسيًا في الدقيقة.

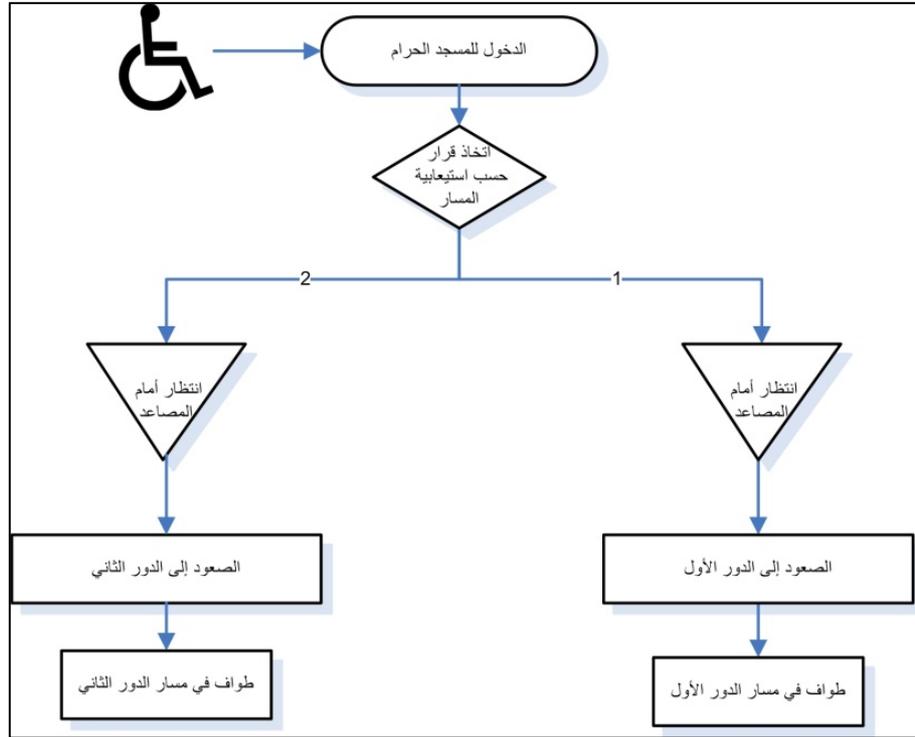
أما بالنسبة لمنحدر أجياد فما زال محافظاً على متوسط المدة الزمنية نفسه = ٢,٧ دقيقة، مما يعني كفاءة منحدر أجياد حتى مع زيادة معدل التدفق.

### المقترح الثاني (النتبؤ بالمسار المتاح للطواف من لحظة الدخول للحرم):

في هذا المقترح، تم افتراض وضع قرارات تنظيمية حسب استيعابية مسارات الطواف تهدف إلى إرشاد الحاج من لحظة وقوفه أمام المصعد للمسار المتاح للطواف، بحيث يتخذ قرار الانتقال للدور مباشرةً ومباشرةً الطواف بدلاً عن النموذج الحالي حيث يصل الحاج إلى مسار الطواف في الدور الأول. وبعد معيّنته للمسار يتخذ قرار طوافه بالدور الأول أو انتقاله للدور الثاني في حال وصول المسار للطاقة الاستيعابية القصوى. ويمكن تطبيق هذا النظام عن طريق وضع مجسات في المسارات متصلة بلوحات إلكترونية عند المصاعد توجه الحاج للمسار المتاح للطواف. يوضح الشكل ٧ مقارنة بين الوضع الحالي (أ) والمقترح (ب).



شكل ٨- أ آلية الدخول الحالية للحرم



شكل ٨- ب آلية الدخول المقترحة للحرم

شكل ٧ مقارنة بين آلية الدخول الحالية للحرم وآلية الدخول المقترحة

ويوضح جدول ٣ نتائج هذا المقترح مقارنة بالوضع الراهن للحرم:

جدول (٣) نتائج النموذج الحركي للمقترح الثاني

ملاحظات	متوسط المدة الزمنية *			
	(الوضع الراهن للحرم)	(المقترح الثاني)		
يلاحظ وجود تحسن كبير مقارنة بالوضع الراهن	١٠,٦	٢,٨	مصاعد أجياد	عملية الدخول
	٣,٣	٣,٢	مصاعد الصفا	
	٣	٢,٧	منحدر أجياد	
لم يلاحظ وجود تغير يذكر عما كان عليه نموذج الوضع الراهن للحرم	٧,٣	٥,٢	مصاعد المسعى التي تستوعب ست كراس متحركة	عملية الخروج
	٩	٤	مصاعد المسعى التي تستوعب ثلاثة كراسي متحركة	
تعتبر نسبة معقولة جداً مقارنة بالوضع الراهن	٢٠,٧	١٧	مصاعد الصفا	

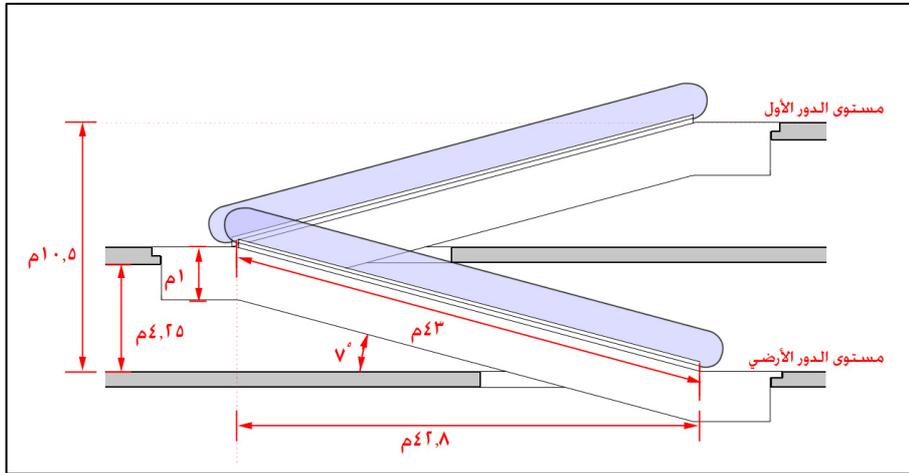
\* متوسط المدة الزمنية بالدقيقة من لحظة انتظار وصول المصعد - أو الزحام في حال المنحدر - وحتى الخروج منه

وأظهرت النتائج أن المعدل العام لدخول الكراسي المتحركة في هذا المقترح = ٥٨٩ كرسي/ ساعة، بينما في الوضع الراهن = ٥٦٤ كرسي/ ساعة، كما أن المعدل العام لخروج الكراسي في هذا المقترح = ٦١٨ كرسي/ساعة بينما في الوضع الراهن = ٥٨٣ كرسي/ساعة.

بذلك يساهم استخدام مثل هذه التقنية في تقليل الوقت الذي قد يقضيه الحاج في التنقل ضمن الناقلات الرأسية لعدم علمه المسبق بازدهامها. كما أنه يزيد من كفاءة المصاعد بنسبة ٥% تقريباً عما كانت عليه في الوضع الراهن.

### المقترح الثالث (دراسة مدى فعالية إضافة منحدرات متحركة):

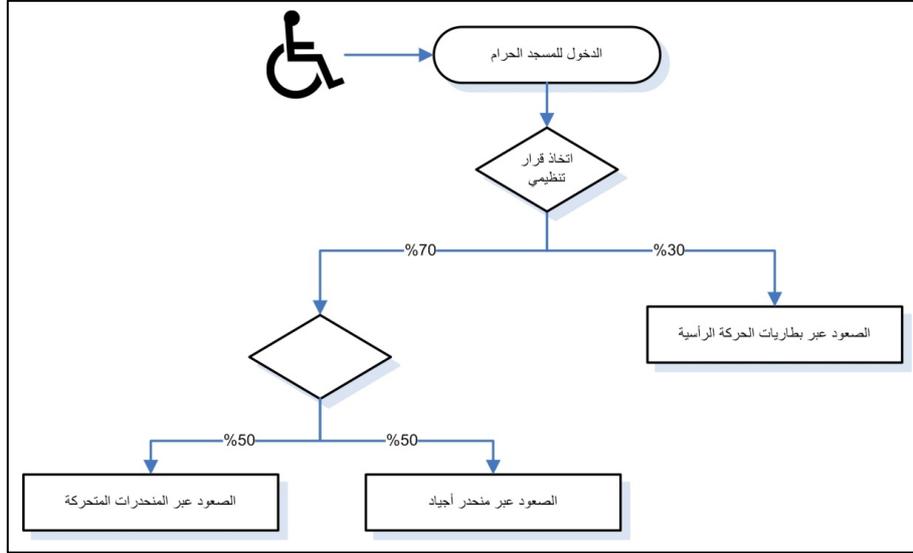
في هذا المقترح تم الاحتفاظ بالقوانين التنظيمية السابقة في المقترح الأول مع إضافة منحدرات متحركة بعدد ٣ منحدرات للصعود و٣ للنزول - وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن عكس اتجاه الحركة حسب الطلب. ففي وقت ذروة الدخول يمكن توجيه خمسة منها للصعود وتخصيص واحد للنزول. والعكس عند ازدياد الطلب على النزول- وتثبيتهم بمحاذاة سلالم أجياد المتحركة على أن يكون لهم مدخل منفصل مختلف عن مدخل سلالم أجياد المتحركة لتفادي حدوث ازدحام عند الدخول، لاسيما وأن هناك ارتفاعاً في الطلب على الباب المجاور لباب أجياد والموصل للطابق العلوي (الحلبي، ٢٠٠٨). أيضاً تمت إضافة منحدرات بنفس بالخصائص السابقة نفسها مثبتة عند نقطة الانتهاء من السعي حيث المروءة، لتمثل نقطة خروج من الحرم مع استحداث بوابة جديدة للخروج. ويمثل الشكل ٨ أبعاد المنحدرات المقترحة.



شكل ٨ أبعاد المنحدرات المقترحة ضمن مقترح دراسة مدى فعالية إضافة منحدرات متحركة

تتراوح سرعة المنحدر بين ٠,٥-٠,٦ م/ثانية (Neufert et al., 2002). وتم حساب المدة الزمنية التي يستغرقها الكرسي المتحرك لعبور المنحدر بناء على سرعة الحركة الإلكترونية للمنحدر حيث بلغت ٨٥,٦ ثانية، أما استيعابيته فتقدر بـ ٢٦ كرسيًا متحركًا لكل منحدر.

يوضح الشكل ٩ المخطط التتابعي لهذا المقترح.



شكل ٩ المخطط التتابعي لحركة الدخول ضمن مقترح دراسة مدى فعالية إضافة منحدرات متحركة

وبعد إدخال القيم المفترضة كانت نتائج النموذج كما هي في جدول ٤

جدول (٤) نتائج النموذج الحركي للمقترح الثالث

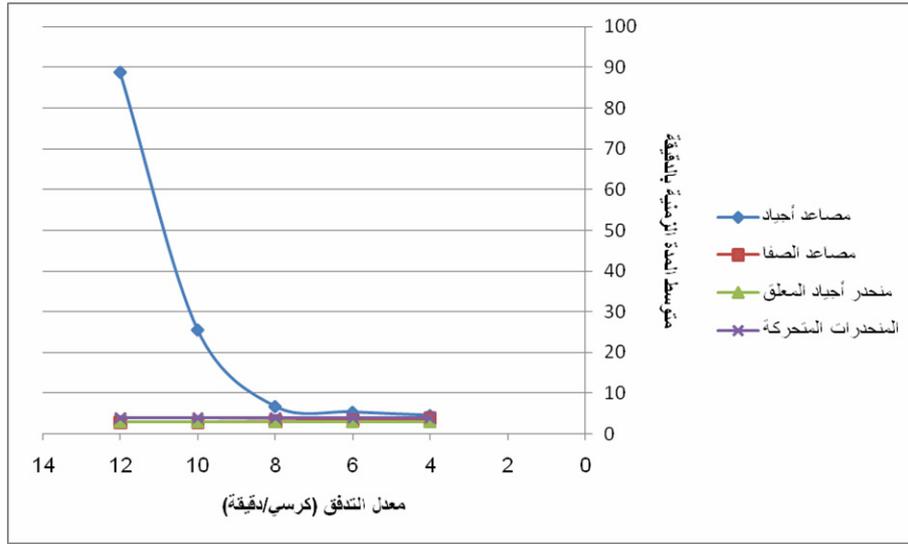
ملاحظات	متوسط المدة الزمنية *			
	(الوضع الراهن للحرم)	(المقترح الثالث)		
يلاحظ وجود تحسن كبير مقارنة بالوضع الراهن	١٠,٦	٣,٢	مصاعد أجياد	عملية الدخول
نسبة مقارنة للوضع الراهن	٣,٣	٣,٧	مصاعد الصفا	
كما كان عليه نموذج الوضع الراهن	٣	٢,٧	منحدر أجياد	
وهي نسبة شبه ثابتة لأن الذي يتحكم بسرعة المنحدر ليست حركة الكرسي المتحرك وإنما حركة المنحدر الإلكترونية، ولذلك تم اقتراح هذه الإضافة، كما أنه لا يوجد أي انتظار قبل المنحدر المتحرك حاله كحال منحدر أجياد.		٣,٨	المنحدرات المتحركة	
لم يلاحظ وجود تغير يذكر عما كان عليه نموذج الوضع الراهن للحرم	٧,٣	٦,٩	مصاعد المسعى التي تستوعب ستة كراسي متحركة	عملية الخروج
تعتبر نسبة معقولة جداً مقارنة بالوضع الراهن	٩	٦,٢	مصاعد المسعى التي تستوعب ثلاثة كراسي متحركة	
	٢٠,٧	١٠	مصاعد الصفا	
٣,٨ دقيقة في حال النزول من الدور الأول إلى الأرضي، و٧,٧ دقيقة في حال النزول من الدور الثاني إلى الأرضي		٧,٧-٣,٨	المنحدرات المتحركة	

\* متوسط المدة الزمنية بالدقيقة من لحظة انتظار وصول المصعد -أو الزحام في حال المنحدر- وحتى الخروج منه

وما يميز هذا المقترح أنه تم انتقال بعض الكراسي المتحركة إلى منحدر أجياد للخروج من الحرم، بينما لم تكن هناك حاجة لانتقالهم إلى مصاعد أجياد كما في المقترحات السابقة، مما يزيد من كفاءة هذا المقترح.

ومن الملاحظ أن المعدل العام لدخول الكراسي المتحركة في هذا المقترح = ٦١٠ كرسي/ساعة، بينما يساري في الوضع الراهن = ٥٦٤ كرسي/ساعة، كما أن المعدل العام لخروج الكراسي في هذا المقترح = ٦٣٩ كرسي/ساعة بينما في الوضع الراهن = ٥٨٣ كرسي/ساعة، مما يدل على أن مقترح إضافة منحدرات متحركة أدى إلى رفع كفاءة وسائل الانتقال العمودية بنسبة ٨% تقريباً عما كانت عليه في الوضع الراهن.

وقد تم قياس أداء المقترح برفع معدل تدفق الكراسي المتحركة إلى الحرم زيادةً تدريجية. يبين الشكل ١٠ نتيجة هذه الفرضية.



شكل ١٠ العلاقة بين معدل وصول الكراسي المتحركة ومتوسط المدة الزمنية منذ انتظار وصول المصعد وحتى الخروج منه في المقترح الثالث

وبشيءٍ من التفصيل، بعد زيادة معدل التدفق إلى ١٢ كرسي/دقيقة، كانت النتيجة:

في عملية الدخول: زاد متوسط المدة الزمنية عند مصاعد أجياد من لحظة انتظار وصول المصعد وحتى الخروج منه حيث بلغ ٨٨,٨ دقيقة، وقد يصل إلى ١٤٠,٢ كأقصى تقدير، و ١,٨ كأدنى تقدير. كما يبلغ متوسط طول الانتظار ٣١٢ كرسيًا متحركًا، مما يعني أن زيادة معدل التدفق يؤثر سلبًا على أداء مصاعد أجياد.

بالنسبة لمصاعد الصفا يشير هذا المقترح إلى كفاءة أداء مصاعد الصفا حتى مع زيادة معدل التدفق إلى ١٢ كرسيًا في الدقيقة، للأسباب ذاتها التي ذكرت في صفحة ١٥.

أما بالنسبة لمنحدر أجياد والمنحدرات المتحركة فما زال محافظين على متوسط المدة الزمنية نفسه، حيث تبلغ عند منحدر أجياد = ٢,٧ دقيقة وعند المنحدرات المتحركة = ٣,٨ دقيقة، مما يعني كفاءتهما في حال زيادة معدل التدفق. وهذا أمرٌ متوقع لأن أعداد الحجاج والمعتمرين دائماً في ازدياد. كما أن توجه الدولة هو رفع الطاقة الاستيعابية لكافة فراغات الحرم بما فيها المداخل والمخارج.

#### المقترح الرابع (دراسة مدى فعالية إضافة منحدرات متحركة في حال إلغاء استخدام المصاعد):

في هذا المقترح تم افتراض منع صعود الكراسي المتحركة ونزولها باستخدام المصاعد لتعطيلها - وهو أمر محتمل حدوثه - أو تخصيص هذه المصاعد لخدمة الحجيج كالسقيا والنظافة. وبالتالي يفرض على مستخدمي الكراسي المتحركة استخدام المنحدرات المتحركة بالمواصفات السالف ذكرها إضافة إلى منحدر أجياد كوسائل انتقال عمودية.

يختصر الجدول ٥ نتائج هذا المقترح مقارنة بالوضع الراهن للحرم.

جدول (٥) نتائج النموذج الحركي للمقترح الرابع

ملاحظات	متوسط المدة الزمنية *		منحدر أجياد	عملية الدخول
	(المقترح الرابع)	(الوضع الراهن للحرم)		
لم يلاحظ وجود تغير يذكر عما كان عليه نموذج الوضع الراهن للحرم	٣	٢,٧		
		٣,٨	المنحدرات المتحركة	
٣,٨ دقيقة في حال النزول من الدور الأول إلى الأرضي، و٧,٧ دقيقة في حال النزول من الدور الثاني إلى الأرضي		٧,٧-٣,٨	المنحدرات المتحركة	عملية الخروج

\* متوسط المدة الزمنية بالدقيقة من لحظة انتظار وصول المصعد -أو الزحام في حال المنحدر- وحتى الخروج منه

ومن الملاحظ أن المعدل العام لدخول الكراسي المتحركة في هذا المقترح = ٥٧٠ كرسي/ساعة، بينما يساوي في الوضع الراهن = ٥٦٤ كرسي/ساعة. كما أن المعدل العام لخروج الكراسي في هذا المقترح = ٦٥٥ كرسي/ساعة بينما يساوي في الوضع الراهن = ٥٨٣ كرسي/ساعة، مما يدل على أن مقترح إلغاء استخدام المصاعد من الكراسي المتحركة زاد من معدل خروج هذه الكراسي في الساعة بنسبة ١١% تقريباً عما كانت عليه في الوضع الراهن.

وبعد زيادة معدل التدفق إلى ١٢ كرسيًا/دقيقة، لوحظ أن هذه الزيادة لم تؤثر سلباً على كفاءة المنحدرات المتحركة ومنحدر أجياد، حيث ما زال محافظين على متوسط المدة الزمنية ذاتها، مما يعني كفاءتهما في حال زيادة معدل التدفق إلى ١٢ كرسيًا/دقيقة.

أيضاً تمت محاكاة هذا المقترح بعد زيادة معدل التدفق إلى ٣٠ كرسيًا/دقيقة ووجد أن هذه المنحدرات ما زالت محافظة على كفاءتها، حيث بلغ أطول وقت انتظار عند المنحدرات المتحركة ما يقارب الدقيقة ونصف الدقيقة، وعند مقارنتها بمصاعد أجياد في الوضع الراهن - فقد سجل أطول وقت انتظار: ٤ دقيقة- تتجلى كفاءة إضافة هذه المنحدرات وإلغاء استخدام المصاعد لمستخدمي الكراسي المتحركة.

يمكن تلخيص نتائج المقترحات الأربعة - السالفة الذكر- في الجدول ٦.

جدول (٦): مقارنة نتائج الحلول المقترحة بالوضع الراهن

٥٦٤				معدل الدخول (كرسي/ساعة)	نتائج النموذج في الوضع الراهن
٥٨٣				معدل الخروج (كرسي/ساعة)	
مقترح (٤)	مقترح (٣)	مقترح (٢)	مقترح (١)	المقترح	نتائج المقترح
إضافة منحدرات خارجية متحركة وإلغاء استخدام المصاعد	إضافة منحدرات خارجية متحركة	التنبؤ بالمسار المتاح للطواف من لحظة الدخول للحرم	فرض قوانين تنظيمية للتخفيف من معدل التدفق على المصاعد		
٥٧٠	٦١٠	٥٨٩	٦٦٣	معدل الدخول (كرسي/ساعة)	
٦٥٥	٦٣٩	٦١٨	٦٦٧	معدل الخروج (كرسي/ساعة)	
١,١	٧,٥	٤,٢	١٥	نسبة زيادة كفاءة الدخول عن الوضع الراهن (%)	
١١	٨,٨	٥,٧	١٢,٥	نسبة زيادة كفاءة الخروج عن الوضع الراهن (%)	

يتبين من الجدول السابق أن فرض قوانين تنظيمية للتخفيف من معدل التدفق على المصاعد مع التركيز على منحدر أجياد كوسيلة انتقال عمودية هو الأكثر كفاءة من حيث زيادة معدل الدخول والخروج في الساعة الواحدة. السبب في ذلك هو أن متوسط الوقت اللازم لعبور منحدر أجياد = ٢,٧ دقيقة، بينما متوسط الوقت اللازم لعبور المنحدرات المتحركة = ٣,٨ دقيقة. أما إذا نظرنا لها من زاوية الأسهل استخداماً والأكثر راحة لمن يستخدم الكرسي المتحرك ولدافعه، فلا شك أن المنحدرات المتحركة هي الأكثر كفاءة حيث الاعتماد على الحركة الذاتية للمنحدر.

وبذلك يمكننا القول إن استخدام أحد برامج المحاكاة مثل إكستيند يساعد في الوصول إلى أكثر الحلول كفاءة، وبالتالي تلافي الخسائر المادية الناتجة عن قرارات من دون دراسة مسبقة.

## ٥- الخلاصة

خلصت هذه الدراسة إلى إثبات أنه لا يمكن الاعتماد على المصاعد كوسيلة انتقال عمودية أساسية للكراسي المتحركة خاصة في أوقات الذروة. كما أثبتت أن استخدام المنحدرات المتحركة أو الثابتة يساهم في انسيابية الحركة من دون وجود انتظار أمام هذه المنحدرات.

وعليه فإن هذه الدراسة توصي بما يلي:

- دراسة الفراغ في منطقة سلالم أجياد المتحركة وعند نهاية المسعى (في الساحة الخارجية)، والتأكد من وجود فراغات تسمح بإضافة منحدرات خارجية متحركة بمحاذاة سلالم أجياد وعند نهاية المسعى. إضافة إلى دراسة مدى إمكانية تخصيص مدخل منفصل لهذه المنحدرات.
  - منع استخدام السلالم المتحركة من قبل مستخدمي الكراسي المتحركة لما في ذلك من خطورة بالغة عليهم وعلى من يسير خلفهم.
  - عمل أبحاث لدراسة تأثير تخصيص مسارات حركة لمستخدمي الكراسي المتحركة على أن تكون مستقلة تماماً عن حركة المشاة، واستخدام المحاكاة كأداة لقياس فعالية هذا المقترح.
- كذلك يجب مراعاة حركة مستخدمي الكراسي المتحركة على أنها نظام يتكون من عدة عناصر مرتبطة مع بعضها بعضاً وتتأثر بأي تغيير يطرأ على أي عنصر. لذا يفضل النظر لهذا النظام بشمولية وعدم التركيز على جزئية منه. فتطوير أي عنصر في ذلك النظام لا يعني بالضرورة تطوير النظام ككل، بل على العكس قد يزيد من حجم المشكلة أو ينقل تلك المشكلة من عنصر إلى آخر، وبالتالي لا تزيد من فعالية النظام أو تكون الزيادة قليلة جداً لا توازي حجم التغيير، خصوصاً في المشاريع الكبيرة المعقدة، مثل الحالة الدراسية لهذه الورقة والتي ترتبط وبشكل مباشر براحة المستخدمين وسلامتهم.

## شكر وتقدير

حظيت هذه الدراسة بدعم من الإخوة المسؤولين في الرئاسة العامة لشؤون المسجد الحرام والمسجد النبوي، وعلى رأسهم مدير عام المشاريع والدراسات، المهندس / عبد المحسن بن حميد، الذي لم يأل جهداً في دعم هذه الدراسة، مما كان له بالغ الأثر في الرقي بها.

## المراجع

- الحلبي، وائل صالح. (٢٠٠٨). أثر فتح أبواب جديدة على تدفق المصلين بالمسجد الحرام. مجلة تقنية البناء ، وزارة الشؤون البلدية والقروية ، المملكة العربية السعودية ، العدد السادس عشر ، الصفحات ٢٦-٣٢.
- السديري، عبدالسلام علي. (١١، ٢٠٠٨). تحسين حركة الكراسي المتحركة لذوي الاحتياجات الخاصة داخل الحرم المكي باستعمال المحاكاة. مجلة تقنية البناء ، وزارة الشؤون البلدية والقروية ، المملكة العربية السعودية ، العدد السادس عشر ، الصفحات ١٤-٢٤.
- السديري، عبدالسلام بن علي. (١٤٢٥هـ). تقييم حركة العربات داخل الحرم المكي. الرئاسة العامة لشؤون المسجد الحرام والمسجد النبوي، دراسة أعدت في حج ١٤٢٥هـ.
- القاضي، سعد عبدالرحمن؛ ستيل، جورج كيث. (١٤٢٧). جسر الجمرات: المحاكاة بالحاسب الآلي وتحليل سلامة الحجاج". مجلة تقنية البناء ، وزارة الشؤون البلدية والقروية ، المملكة العربية السعودية ، العدد العاشر ، الصفحات ٨٨-٩١.
- Al Nabulsi, H. H. (2009). *How can vulnerability and risk be reduced in large-scale gatherings? An assessment of vulnerability and risk in mass gatherings*. PhD thesis, Risk Management. Oxford Brookes University.
- Bandini, S., Bonomi, A., Vizzari, G., & Acconci, V. (2009). Simulation of Alternative Self-Organization Models for an Adaptive Environment. Proceedings of MALLOW (pp. 1-8).
- BROCKLEHURST, D., BOUCLAGHEM, D., PITFIELD, D., PALMER, G. STILL, K. (2005). Crowd circulation and stadium design: low flow rate systems. Proceedings of the institution of Civil Engineers (pp. 281-289.). Structures and Buildings.
- Inclusive mobility. (n.d.). Retrieved 6 25, 2010, from Department for transport: <http://www.dft.gov.uk/transportforyou/access/peti/inclusivemobility?page=8>
- Isaacs, J., Falconer, R., & Blackwood, D. (2008). A Unique Approach to Visualising Sustainability in the Built Environment. 2008 International Conference Visualisation, 3-10. Ieee. doi: 10.1109/VIS.2008.17.
- Koontz, Alicia M.; Cooper, Rory A. ; Boninger, Michael L.; Yang, Yusheng ; Impink, Bradley G. ; van der Woude, Lucas H. V. (2005, July/August). A kinetic analysis of manual wheelchair propulsion during start-up on select indoor and outdoor surfaces. Journal of Rehabilitation Research & Development , 42, pp. 447–458.
- Koshak, N. (2005). A GIS-BASED SPATIAL-TEMPORAL VISUALIZATION OF PEDESTRIAN GROUPS MOVEMENT TO AND FROM JAMART AREA. Proceedings of Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM '05) Conference (pp. 1-12).
- Krahl, D. (2001). THE EXTEND SIMULATION ENVIRONMENT. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference (pp. 217-225).
- Kubba, S. A. (2008). *Architectural Forensics*. United States of America: McGraw-Hill Professional.
- Kubba, S. A. (2007). *Property Condition Assessments*. McGraw-Hill Professional: The McGraw-Hill.

- Merritt, F. S., & Ricketts, J. T. (2000). *Building Design and Construction Handbook*. United States of America: McGraw-Hill Professiona.
- Nikovski, D., & Brand, M. (2004, 12). Exact Calculation of Expected Waiting Times for Group Elevator Control. *IEEE Trans. Automatic Control*, Vol. 49, No. 10, pp. 1820-1823.
- Neufert, Ernst; Neufert, Peter; Baiche, Bousmaha ; Walliman, Nicholas ;. (2002). *Neufert's Architect's Data* (Third edition ed.). UK: Wiley-Blackwell.
- Still, G. K. (2000). *Crowd Dynamics*. PhD Thesis, Mathematics department, University of Warwick

*Received 16/1/1432; 22/12/2010, accepted 14/11/1432; 12/10/2011*

