مجلة جامعة الملك سعود، م١٩، العلوم الهندسية (١) ، ص ص ١-٢٨، الرياض (١٤٢٧هـ/٢٠٠٦م)

تحليل أداء النظام الجديد لنقل حجاج مؤسسة جنوب شرق آسيا بالحافلات الترددية في موسم حج ١٤٢٤هـ باستخدام نماذج المحاكاة الحاسوبية

حسام بن محمد رمضان*، سهل بن عبدالله سرور الصبان**

**قسم نظم المعلومات، كلية علوم الحاسب والمعلومات، جامعة الملك سعود، الرياض*

***وكيل وزارة الحج المساعد لشئون المشاريع والمشاعر المقدسة، وزارة الحج*

(قدِّم للنشر في ٢٠٠٥/٠٢/١٠م؛ وقبل للنشر في ٢٠٠٦/٠٥/٠١م)

ملخص البحث. يعتبر نظام النقل بالرحلات الترددية من أنجح الحلول لمشكلة ازدحام الحركة المرورية أثناء نفرة الحجاج من عرفات إلى مزدلفة ثم إلى منى. وقد أثبت هذا النظام جدواه من خلال التطبيق منذ موسم حج ١٤١٦هـ على حجاج تركيا ومسلمي وأوروبا وأمريكا واستراليا مما شجع على توسيعه في موسم حج ١٤٢٣هـ ليشمل فئة جديدة هي حجاج جنوب شرق آسيا. ونظراً للحاجة إلى تحقيق فهم أعمق لخصائص هذا النظام الموسع بغرض التوصل إلى السبل الكفيلة برفع كفاءته وتحسين أداءه، فقد تم تنفيذ مشروع لتحليل تفاصيل هذا النظام وبناء نموذج لمحاكاته وفقاً لمعطيات موسم حج ١٤٢٤هـ. وبعد تصميم النموذج باستخدام مفاهيم نظرية صفوف الانتظار تم برمجته بواسطة أداة المحاكاة (Arena) ثم اختبار صحته ومدى صلاحيته بناء على ما توفر من بيانات ميدانية وإحصاءات عن أداء النظام في موسم حج ١٤٢٤هـ. وأخيراً، تم تصميم وإجراء العديد من التجارب الافتراضية على نموذج المحاكاة بغرض التعرف على الآفاق الممكنة لتحسين أداء نظام النقل بالرحلات الترددية في المشاعر المقدسة في ظل القيود المكانية والزمانية والاقتصادية التي يعمل هذا النظام في إطارها. وتقدم هذه الورقة

وصفاً كاملاً لمشروع نمذجة ومحاكاة نظام النقل بالرحلات الترددية لموسم حج ١٤٢٤هـ لمؤسسة حجاج جنوب شرق آسيا بما في ذلك ملخص خصائص ومعطيات النظام وفرضيات نموذج المحاكاة واختبارات صحة وصلاحية النموذج وتجارب المحاكاة ونتائجها، بالإضافة إلى الاستنتاجات التي يمكن استخلاصها من هذه النتائج لدعم اتخاذ القرار التشغيلي والاستراتيجي في هذا النظام.

مقدمـــة

تعتبر عملية نقل الحجاج في المشاعر المقدسة بين مكة المكرمة وعرفات ومزدلفة من أهم العمليات الحرجة في مواسم الحج. ويرجع السبب في ذلك إلى الحاجة لنقل ملايين الحجاج بين تلك المشاعر خلال فترة زمنية وجيزة عبر مجموعة محدودة من الطرق منخفضة السعة والتي تربط بين تلك المناطق. وتؤدي هذه القيود في العادة إلى حدوث التنامي السريع لطوابير المركبات على الطرق الموصلة بين المشاعر بعد فترة قصيرة من بدء حركة الحجيج. ويؤدي الزحام الشديد إلى حدوث الاختناقات المرورية والتي ينتج عنها تأخر زمني كبير للمركبات على الطريق ومن ثم زيادة زمن الرحلة بشكل كبير، مما يمثل إرهاقاً ومشقة كبيرة للحجاج وتفويت الفرصة على بعضهم للاستفادة من الفترة الزمنية الطويلة للرحلة في إتمام النسك والعبادة، فضلاً عن حدوث فوضى كبيرة على الطريق وشلل في الحركة المرورية.

ونظراً لما يمثله الحج من تجمع بشري فريد يمثل تحدياً في تنظيمه، ونظراً لضرورة تقديم الخدمات فيه من سكن ونقل وتغذية ورعاية صحية لأكثر من مليوني حاج، فقد حظت عملية تطوير أساليب النقل للحجاج بين المشاعر المقدسة باهتمام كبير من قبل المسؤولين والباحثين، حيث تعاني الحركة المرورية من مشكلات عدة تتمثل في التأخير والازدحام الشديدين مع تدني مستوى الخدمات على الطرق أثناء الزحام وارتفاع نسبة الملوثات الهوائية.

وقد توالت الدراسات المتعلقة بنظام نقل الحجاج خلال العشر سنوات الأخيرة. فعلى سبيل المثال، قام أحد الباحثين بدراسة لتقويم حركة المركبات أثناء النفرة ولقياس مقدار التأخر لكل من المركبات والمشاة [١ ، ٢]. ومن الملفت للنظر في نتائج إحدى تلك الدراسات أن متوسط زمن الرحلة للمركبات في موسم حج ١٤١٤هـ من عرفات إلى مزدلفة بلغ ٣ ساعات بينما لم يتجاوز للحجاج المشاة ساعتين فقط .

وقد تطرق تقرير من وزارة المواصلات في ١٤١٢هـ [٣] إلى اقتراح تطبيق استخدام الرحلات "المكوكية" بالحافلات بين عرفات ومزدلفة. كما أشار التقرير الموحد للجنة الحركة والنقل لعام ١٤١٣هـ [٤] والذي شارك في إعداده العديد من الجهات المشاركة في الحج إلى ضرورة البدء في تطبيق نقل الحجاج بين المشاعر بالحافلات المكوكية عبر طرق مستقلة (Exclusive Bus Ways). كما ظهرت دراسة لعثمان عام ١٤١٣هـ [٥] تقترح استخدام نظام نقل الحجاج باستخدام الحافلات الترددية أثناء النفرة . ثم أعقب ذلك إجراء دراسة متكاملة عن إمكانية تطبيق الفكرة عملياً صادرة عن معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج في ١٤١٦هـ [٦]. وقد كان أول تطبيق عملي لمشروع الرحلات الترددية في النفرة في موسم حجم ١٤١٦هـ وذلك لمرحلة عرفات مزدلفة فقط، وكان أول تطبيق على حجاج مؤسسة تركيا ومسلمي أوروبا وأمريكا واستراليا ولعدد ١٣٠ ألف حاج . وقد تطلب ذلك إنجاز العديد من المهام لتهيئة كافة الاستعدادات للتطبيق من إنشاء حواجز لطريق الحركة الترددية وتهيئة مخزن للحافلات وتجهيزه ووضع خطط التشغيل لجميع الجهات المشاركة في تنفيذ المشروع. ثم ظهر عدد من الدراسات المرورية ودراسات تقويم الأداء لنظام النقل الترددي بين المشاعر المقدسة على مدار مواسم الحج المتعاقبة (على سبيل المثال [٧ ، ٨]).

ومن الممكن تلخيص أهداف مشروع استخدام الحافلات الترددية في النفرة حسب ما ورد في الدراسات السابقة كالتالي :

١- تقليل متوسط زمن انتقال الحجاج بين المشاعر إلى أدنى حد ممكن .

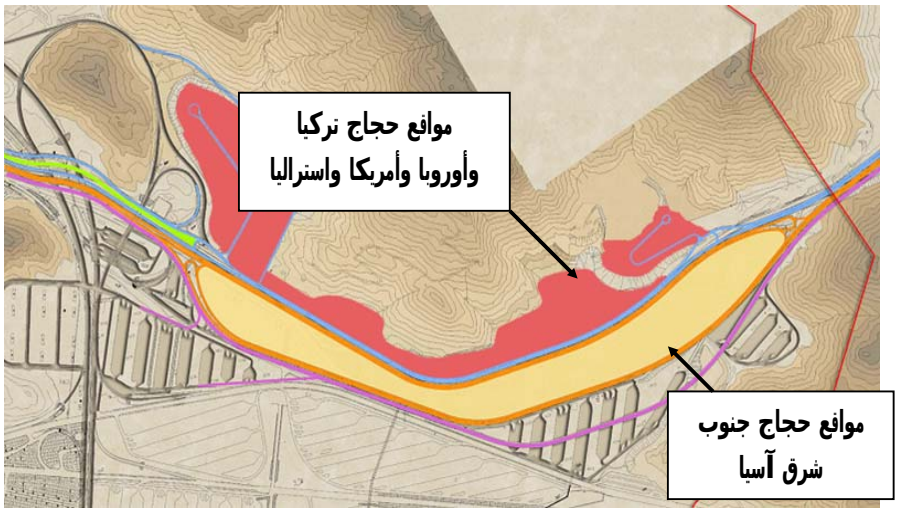
٢- تقليل عدد الحافلات المطلوبة لنقل الحجاج في المدة الزمنية المتاحة إلى أقل حد ممكن.

٣- تخفيف معاناة الحجاج في الانتقال أثناء النفرة .

٤- تحسين استخدامات المساحات الخالية بعرفات ومزدلفة ومنى وتسخيرها لأغراض خدمة الحجاج وإعاشتهم بعد أن كانت مواقف للحافلات نتيجة لانخفاض عدد الحافلات المشاركة.

ثم أعيدت تجربة الحافلات الترددية في النفرة خلال مواسم الحج من ١٤١٧هـ وحتى ١٤٢١هـ بعد إضافة مرحلة مزدلفة - منى إلى المشروع. وفي عام ١٤٢٣هـ، تم توسيع نظام النقل الترددي ليشمل أيضاً مؤسسة حجاج جنوب شرق آسيا ليصبح بذلك مجموع عدد الحجاج الذين ينقلون بالرحلات الترددية حوالي ٤٥٠,٠٠٠ حاج. وقد تطلب ذلك بالطبع العديد من الأعمال الإنشائية بمنطقة المشاعر المقدسة منها إجراء تعديلات على مسارات الحركة الترددية القائمة وتوفير مسارات إضافية جديدة، بالإضافة إلى توفير وتهيئة مواقع ملائمة لحجاج مؤسسة جنوب شرق آسيا على هذه المسارات بعرفات ومزدلفة ومنى. كما شمل مشروع التوسعة أيضاً إنشاء مخزن جديد للحافلات على مسار الحركة الترددية لمؤسسة جنوب شرق آسيا مع تجهيزه بشكل كامل وحديث ليكون مقراً لإسكان سائقي الحافلات العاملة على هذا المسار. وتوضح الأشكال (١) و (٢) و (٣) خرائط لمواقع مجموعات الخدمة الميدانية المشمولة بنظام النقل الترددي الموسع في كل من عرفات ومزدلفة ومنى.

شكل رقم (١). مواقع الحجاج بعرفات في نظام النفل الترددي الموسع.



شكل رقم (٢). مواقع الحجاج بمزدلفة في نظام النفل الترددي الموسع.

شكل رقم (٣). مواقع الحجاج بمنى في **نظام النقل الترددي الموسع.**

وتصف الورقة الحالية نتائج الدراسة التي قام بها المجلس التنسيقي للنقل بالرحلات الترددية بالاشتراك مع جمعية الحاسبات السعودية لاستخدام نماذج المحاكاة لدراسة نظام النقل الترددي في المشاعر المقدسة لمؤسسة حجاج جنوب شرق آسيا في موسم حج ١٤٢٤هـ والتي أثبتت فعالية نماذج المحاكاة كأداة يمكن الاعتماد عليها في اختبار جودة البدائل المتوفرة لصانع القرار بهدف التنبؤ بالأفضل منها للتطبيق قبل حلول موسم الحج. وسنقدم في فقرة ٢ التالية لمحة عن أداة برمجة نماذج المحاكاة المستخدمة في المشروع، كما سنتعرض في فقرة ٣ إلى كيفية تصميم نماذج المحاكاة في تلك الأداة. أما في فقرة ٤ فسنوضح معطيات نظام النقل الترددي لمؤسسة حجاج جنوب شرق آسيا في موسم حج ١٤٢٤هـ، وفي فقرة ٥ سنعرض لمحة عن النموذج النظري التصوري (Conceptual Model) الذي تم تصميمه لهذا النظام بناء على المعطيات المتوفرة عنه. أما في فقرة ٦ فسنقوم بعرض الخطوات التي تم إتباعها للتأكد من صحة وصلاحية نموذج المحاكاة

المبرمج، كما سنعرض ونناقش في فقرة ٧ النتائج الإحصائية التي تم استخراجها من نموذج المحاكاة، وأخيراً سنقوم بتقديم الخلاصة وتوصيات الدراسة في فقرة ٨.

اختيار لغة وبيئة المحاكاة الحاسوبية

ينبغي في دراسات المحاكاة أن تتم عملية تحويل للنموذج النظري المطلوب محاكاته إلى نموذج حاسوبي يمثل تصميماً مفصلاً لبرنامج المحاكاة المطلوب تطويره. وتتطلب هذه الخطوة بالضرورة تثبيت نوعية نموذج المحاكاة واختيار الأسلوب الأمثل لبنائه. وتتراوح هذه الأساليب بين النمذجة باستخدام النماذج الإعلانية (Declarative Models) أو النماذج الوظيفية (Functional Models) أو غيرها من أنواع نماذج المحاكاة المختلفة. وبتثبيت نوعية وأسلوب بناء نموذج المحاكاة نكون قد ثبتنا أيضاً العديد من التفاصيل المتعلقة بالكيفية التي يتم بها توصيف الخصائص الديناميكية للنظام المطلوب محاكاته، وبالكيفية التي يتم بها تحريك العامل الزمني في المحاكاة، فضلاً عن الشكل العام لبرنامج المحاكاة والذي سيُطور بناء على نموذج المحاكاة. وبعد تثبيت نوعية نموذج المحاكاة ينبغي أيضاً اختيار أسلوب من أساليب هيكلة برنامج المحاكاة والتي عادة ما تتراوح بين أسلوب قوائم الأحداث (Event List) أو أسلوب تفاعل العمليات (Process Interaction) . بعد ذلك، على المصمم تحديد نوعية برنامج المحاكاة. ونوعية برنامج المحاكاة هنا تمليها نوعية بيئة المحاكاة المستخدمة لتطوير البرنامج. ويقصد ببيئة المحاكاة البرنامج الحاسوبي المتكامل الذي يوفر للمبرمج واجهة رسومية وتسهيلات برمجية عديدة تمكنه من تطوير برنامج المحاكاة المطلوب بسهولة ويسر. وتوجد اليوم نوعيات مختلفة من بيئات المحاكاة ذات نوعيات تعتمد على البرمجة اليدوية بإحدى لغات برمجة المحاكاة أو البرمجة المرئية باستخدام القوالب (Blocks) التي ترمز إلى مكونات نموذج المحاكاة.

وفيما يتعلق بالدراسة الحالية، فمن الأنسب اختيار النماذج الوظيفية لتمثيل نموذج المحاكاة النظري الذي تم تطويره. أما عن بيئة المحاكاة، فقد وقع الاختيار على بيئة (Arena) والتي تنتجها شركة (Rockwell Software) لما لها من خصائص فنية متميزة [٩]. وبيئة (Arena) تستخدم أسلوب تفاعل العمليات (Process Interaction) لهيكلة برامج المحاكاة، وتعتمد على البرمجة المرئية باستخدام القوالب، والتي تسمى في (Arena) بالوحدات (Modules)، كما تقوم (Arena) على لغة المحاكاة المعروفة باسم (SIMAN).

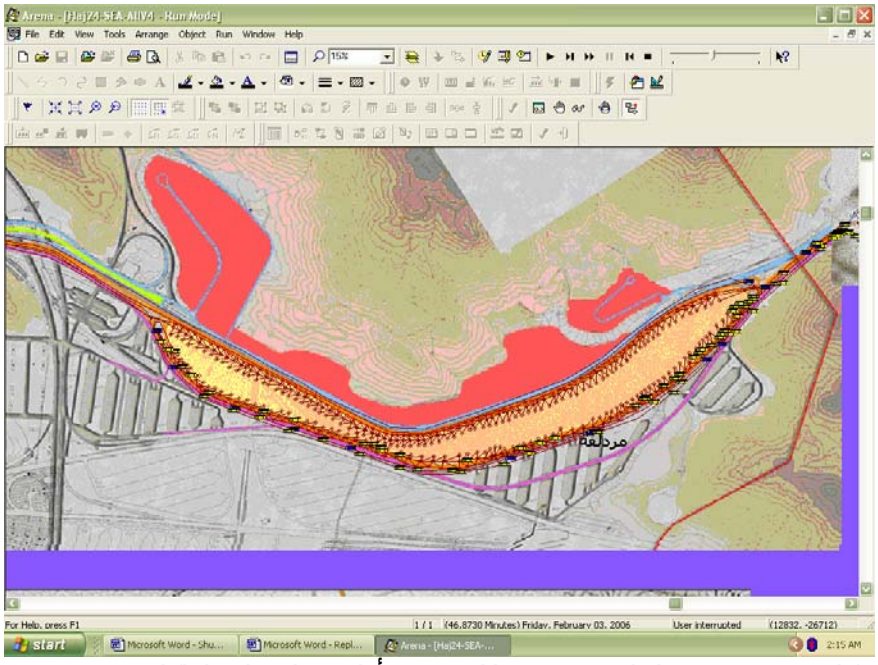
تصميم برامج المحاكاة الحاسوبية باستخدام (Arena)

تتطلب (Arena) عند نمذجة أنظمة النقل تعريف نوعين من المكونات: ١) النموذج المنطقي المرئي و٢) الخريطة الموضحة للمواقع التي تتحرك بينها الوحدات الناقلة. وفي النموذج الحالي، فقد تم إعداد الخريطة لتشمل جميع المعالم المهمة على مسار الرحلات الترددية لمؤسسة حجاج جنوب شرق آسيا، بما في ذلك بوابات التحميل والإنزال وموقف الحافلات ونقاط الدوران. كما تضمنت خريطة النموذج كافة التفاصيل المتعلقة بالمسافات التقريبية بين المواقع المختلفة، وكذلك الأماكن التي يجب على الوحدات الناقلة فيها إما التسارع أو التباطؤ، هذا بخلاف سرعة الوحدات الناقلة على الطريق، وكذلك المنحنيات (إن وجدت) والسرعة القصوى عندها. ويوضح شكلا (٤) و (٥) خريطة المواقع في منطقتي بوابات عرفات ومزدلفة أثناء تشغيل برنامج المحاكاة.

أما عن النموذج المنطقي المرئي، فيتضمن الخطوات المنطقية التي يجب اتباعها لمحاكاة نظام النقل الترددي. ويتكون هذا النموذج من مجموعة من وحدات بيئة (Arena)، والتي تمثل لبنات البناء لأي برنامج محاكاة في (Arena). ويتم التوصيف المنطقي للنموذج من خلال تعريف مسار منطقي أو أكثر تتبعها كيانات النموذج تحت الظروف

والأوضاع المختلفة. وقد تم تعريف نوع واحد من الكيانات في النموذج الحالي هو "السائق". وعند بوابات الإنزال، تقوم كل حافلة في البرنامج بإنزال حمولتها من الركاب عند المحطة المخصصة لها ثم يقرر برنامج المحاكاة ما إذا كانت الحافلة عليها العودة للتحميل مرة أخرى أم عليها العودة إلى موقف الحافلات، وذلك بناءا على ما إذا كان هناك حجاج ينتظرون عند بوابات التحميل. أما عن زمن التحميل والإنزال، فقد تم افتراضه في النموذج على أنه متغير عشوائي ذو توزيع إحصائي (Normal) ومتوسط يعتمد على البيانات التي جمعت ميدانياً، كما هو موضح في الفصول القادمة.

شكل رقم (٤). خريطة المواقع في منطقة بوابات عرفات أثناء تشغيل برنامج المحاكاة .



شكل رقم (٥). خريطة المواقع في منطقة بوابات مزدلفة أثناء تشغيل برنامج المحاكاة .

معطيات المشروع الجديد للنقل الترددي بين المشاعر المقدسة

فيما يلي تلخيص لأبرز عناصر نظام نقل الحجاج بالرحلات الترددية الجديد لمؤسسة جنوب شرق آسيا خلال موسم حج ١٤٢٤هـ من واقع الخطة التشغيلية للنقل الترددي لموسم حج ١٤٢٤هـ [١٠]:

١- يعتمد النظام الحالي على تخصيص مسارين مفصولين أحدهما لحافلات النقل الترددي لحجاج مؤسسة تركيا ومسلمي أوروبا وأمريكا واستراليا والآخر لحجاج مؤسسة جنوب شرق آسيا. ويقع مسار حافلات مؤسسة حجاج تركيا ومسلمي أوروبا

وأمريكا واستراليا في الجهة الشمالية حيث يستفيد بنسبة كبيرة من المسار القديم للرحلات الترددية مع بعض التعديلات على مواقع المجموعات الميدانية في عرفات ومزدلفة. بينما يقع مسار حافلات مؤسسة جنوب شرق آسيا في الجهة الجنوبية حيث تم إنشاء هذا المسار الجديد للحركة الترددية بحيث يستفيد من بعض الطرق القائمة بمنطقة المشاعر المقدسة بعد إجراء التعديلات اللازمة عليها لتتأهل لخدمة الحركة الترددية. ويشمل المشروع أيضاً إنشاء منطقة بوابات للتحميل بعرفات وبوابات للتحميل وأخرى للإنزال بمزدلفة، بخلاف إعادة تخطيط منطقة المخيمات بمنى. كما يشمل المشروع إنشاء موقف جديد للحافلات (مركز خدمات النقل) على مسار مؤسسة جنوب شرق أسيا فيما بين عرفات ومزدلفة تتوفر به كافة الخدمات.

٢- تتوزع مواقع المجموعات الميدانية لمؤسسة جنوب شرق آسيا في كل من عرفات ومزدلفة ومنى بحسب التوزيع المعتمد من المؤسسة لموسم حج ١٤٢٤هـ.

٣- بلغ عدد الحجاج المنقولين بالرحلات الترددية خلال موسم حج ١٤٢٤هـ حوالي ٢٣٢٠٩٩ حاجاً من مؤسسة جنوب شرق آسيا. ويتوزع حجاج مؤسسة جنوب شرق آسيا على ٨٩ مجموعة خدمة ميدانية، وتم نقل حجاج ١٠ مجموعات خدمة ميدانية إلى مواقع مخيمات الظل بمزدلفة بواسطة ١٤٠ حافلة تم تخزينها في عرفات في موقع قريب من طريق الوادي الأخضر، وقد تم تحميل هذه المجموعات من بوابتين بعرفات.

٤- يشارك في النقل بالرحلات الترددية من عرفات لمزدلفة لحجاج مؤسسة حجاج جنوب شرق آسيا حوالي ٥٦٠+١٤٠ = ٧٠٠ حافلة بواقع ٧ قوافل لكل مجموعة من غير مجموعات الظل، وحوالي ٦٣٠ حافلة في مرحلة مزدلفة – منى بواقع ٨ قوافل لكل مجموعة.

٥- تتواجد الحافلات الأساسية قبل بداية النفرة في الموقف المخصص للمؤسسة ما عدا حافلات منطقة الظل.

٦- تخرج الحافلات المتواجدة بالمخزن في قوافل متتالية كل فترة زمنية قدرها ٨ دقائق في المتوسط خلال المرحلة الأولى (عرفات – مزدلفة)، بينما تخرج الحافلات من مكان تخزينها بمزدلفة في قوافل متتالية كل فترة زمنية قدرها ١٠-١٥ دقائق في المتوسط خلال المرحلة الثانية (مزدلفة – منى). ويكون تحرك الحافلات عند غروب شمس يوم التاسع من ذي الحجة وتستمر الحركة الترددية حتى الساعات الأولى من بعد منتصف الليل لمرحلة عرفات – مزدلفة، بينما تتحرك الحافلات قبل منتصف ليلة العاشر من ذي الحجة وتستمر الحركة الترددية حتى الساعات الأولى من ضحى ذلك اليوم لمرحلة مزدلفة - منى. وتتكون القافلة الواحدة من عدد من الحافلات يساوي عدد مجموعات الخدمة الميدانية للمؤسسة.

٧- نفترض متوسط زمن تحميل وإنزال الركاب للحافلة الواحدة بحسب القياسات الميدانية في موسم حج ١٤٢٤هـ لكل من مرحلتي عرفات – مزدلفة و مزدلفة – منى [١١]، ويتم التحميل من بوابة واحدة في عرفات فيما عدا مجموعة ٩٧ والتي حوت حوالي ٥٠٠٠ حاج تم تحميلهم من بوابتين، ويكون التحميل والإنزال من خلال بوابة واحدة في مزدلفة لكل مجموعات الخدمة الميدانية.

٨- تنطلق الحافلات من بوابات عرفات إلى مزدلفة عبر المسار المخصص لحافلات المؤسسة ثم تقوم بإنزال الحجاج أمام بوابات مجموعاتهم ثم تقوم بالدوران من فتحة الدوران المحددة لها في مزدلفة للعودة إلى عرفات.

٩- تعود الحافلة بعد إنزال الركاب في عرفات لنفس المجموعة المخصصة لها إذا كان هناك حجاج متبقون بموقع المجموعة بعرفات، أو تعود الحافلة إلى مخزن الحافلات ولا تشارك مرة أخرى في النقل في هذه المرحلة.

١٠- تبدأ مرحلة مزدلفة – منى من قرابة الحادية عشرة ليلاً وحتى الساعات الأولى من ضحى يوم العاشر من ذي الحجة، وتتم عملية نقل الحجاج بالرحلات الترددية في هذه المرحلة بنفس الطريقة، حيث تنطلق قوافل الحافلات من موقع تخزينها لمؤسسة حجاج جنوب شرق آسيا لتحميل الركاب من البوابات ثم تتوجه باتجاه منى، حيث تقوم بإنزال الركاب عند موقع مخيمات المجموعة في منى ثم الالتفاف للعودة مرة أخرى للتحميل من مزدلفة.

١١- تتداخل حركة قطع المشاة عرضياً لمسار الحركة الترددية مع حركة الحافلات في مرحلة مزدلفة– منى، وتتركز هذه الظاهرة عند مستشفى منى الوادي.

١٢- تم تمثيل عملية إطلاق حافلات منع الافتراش (قافلة من ٤٠ حافلة) بعد ساعة من غروب الشمس والتي تقوم بنقل الحجاج المرضى وكبار السن إلى منى مروراً بمزدلفة.

تصميم النموذج النظري

بناء على ما تم الحصول عليه من معلومات وبيانات مشروع نقل حجاج مؤسسة جنوب شرق آسيا بالرحلات الترددية - بما في ذلك الأبعاد المساحية للمواقع على مسار الرحلات الترددية بالمشاعر المقدسة - وبالاستعانة بما تم جمعه من بيانات إحصائية زمنية خلال موسم حج ١٤٢٤هـ [١٠]، فقد تم تصميم نموذج المحاكاة النظري لنظام نقل حجاج مؤسسة جنوب شرق آسيا والذي اشتمل على الآتي:

١- تمثيل الخطوات المنطقية وتسلسل المراحل الزمنية لعملية نقل الحجاج بالرحلات الترددية لحجاج المؤسسة وبحسب متطلبات أداة التطوير المستخدمة في المشروع (Arena).

٢- تمثيل المواقع الجغرافية والمعالم الرئيسية لمساري الرحلات الترددية من واقع الخرائط الهندسية على هيئة خارطة رمزية تعرف المواقع والنقاط الهامة للنموذج وتعرف الوصلات الرابطة بينها بحسب متطلبات أداة التطوير (Arena). وقد تم تحديد الأبعاد الهندسية لتلك المعالم والمسافات الطولية للوصلات بحسب مقياس رسم الخرائط الهندسية المعتمدة. كما تم تمثيل التوزيع الفعلي لمواقع المجموعات الميدانية على قطع الأراضي في موقع المؤسسة بكل من عرفات ومزدلفة ومنى.

٣- تم تمثيل حركة وتفاعل الحافلات الداخلة إلى منطقة البوابات والخارجة منها بحسب المشاهدات الميدانية خلال موسم حج ١٤٢٤هـ.

اختبارات البرنامج والتحقق من صحة وصلاحية النموذج

تمت عملية التأكد من صحة النموذج من خلال عقد اجتماعات متكررة مع أعضاء المجلس التنسيقي للنقل بالرحلات الترددية لاستعراض ما يتوفر من معلومات عن نظام النقل الترددي لمؤسسة حجاج جنوب شرق آسيا ومراجعة الفرضيات والمعطيات حوله قبل إدراجها في النموذج، كما تم الرجوع أيضاً إلى البيانات الإحصائية التي جمعت في موسم حج ١٤٢٤هـ عن خصائص النظام [١٠]. بعد ذلك تم تشغيل البرنامج مع افتراض المدخلات التي تتوفر بيانات ميدانية عنها بنفس قيمها في موسم الحج ١٤٢٤هـ، ومنها - على سبيل المثال - عدد الحافلات المشاركة في النقل الترددي ومتوسط أزمنة تحميل وإنزال الركاب من الحافلات، ثم جمعت بيانات المخرجات التي يتوفر بيانات ميدانية

عنها من برنامج المحاكاة وتم أُخذ المتوسط. ويوضح جدول (١) متوسط القيم التي تم استخراجها من برنامج المحاكاة مع القيم النظيرة التي تم استخلاصها من البيانات الميدانية. وقد خلصت المقارنة إلى وجود تقارب كافٍ لأغراض الدراسة الحالية في قيم المخرجات بنسب تتراوح بين ٩-١١٪ بين النظام الحقيقي ونموذج المحاكاة مما يبرر إجازة برنامج المحاكاة المطور كنموذج صالح لتمثيل نظام النقل بالرحلات الترددية.

جدول رقم (١). مقارنة متوسط قيم المخرجات بين البيانات الميدانية وبيانات المحاكاة.

المرحلة	الزمن الكلي (ساعة)		
	ميدانياً	محاكاة	نسبة الفرق
عرفات – مزدلفة	٥,٥	٦,٠	٩٪
مزدلفة – منى	٩,٥	٨,٤	١١٪

عملية استخراج النتائج من نموذج المحاكاة

تشتمل هذه العملية على إجراء البحث عن القيم من المتغيرات التي يمكن التحكم بها والتي تؤدي إلى الحصول على قيم مناسبة من مقاييس أداء النظام - حسب تنبؤات المحاكاة - وذلك في حال تثبيت العوامل الأخرى. وبالتحديد، فقد تم القيام بإيجاد عدد الحافلات الأساسية المستخدمة (ع) التي تعطي قيماً مناسبة من مقاييس الأداء مع تثبيت باقي العوامل الأخرى، وذلك من خلال تكرار تجارب المحاكاة بعدد يتراوح ما بين ٥-١٠ تجربة لكل نقطة من نقاط المخرجات ثم أخذ المتوسط الحسابي لهذه النتائج.

ويعرف المدخل المستخدم في تجارب المحاكاة لمؤسسة جنوب شرق آسيا (ع) على أنه العدد الكلي للحافلات الأساسية المشاركة فعلياً في النقل الترددي لحجاج المؤسسة في المرحلة الواحدة.

وسوف نعرف لهذه التجارب مقاييس الأداء التالية :

١- (ن): الزمن الكلي المطلوب لإخلاء حجاج نظام الرحلات الترددية في كل مرحلة.

٢- (ز): متوسط زمن الرحلة للحافلة ذهاباً في كل مرحلة.

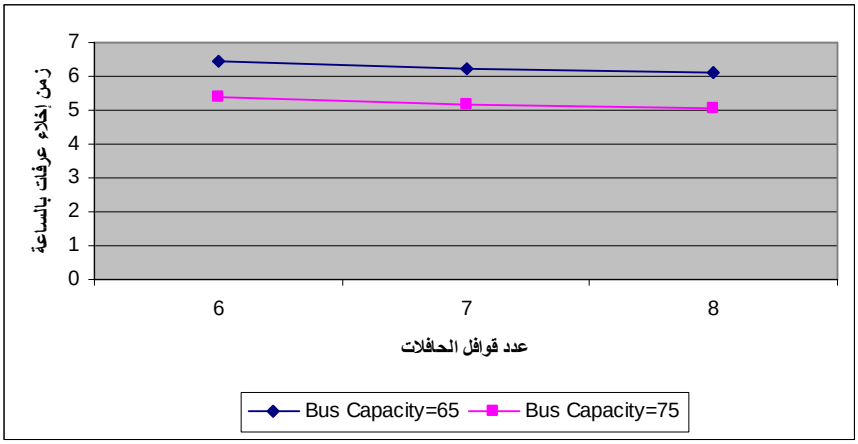
٣- (ر): متوسط عدد الردود المنفذة لكل حافلة.

مرحلة عرفات – مزدلفة

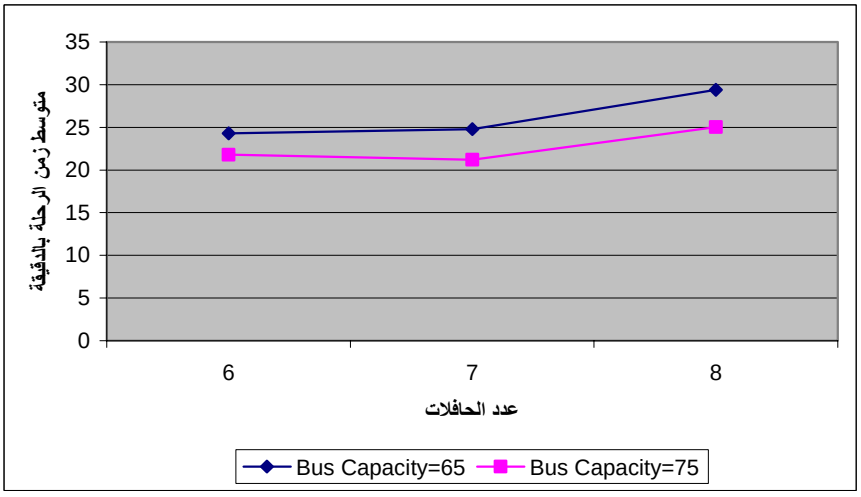
يوضح شكل (٦) العلاقة بين الزمن اللازم لإخلاء عرفات من الحجاج وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة عرفات – مزدلفة حيث تراوح زمن الإخلاء بين ٥,٩٦- ٦,٤ ساعة في حال تحميل حافلات مجموعات الساحة بمزدلفة بسعة ٥٦ راكباً للحافلة الواحدة، وبين ٥,٠٧- ٥,٣٨ ساعة في حال تحميل هذه الحافلات بسعة ٧٥ راكباً للحافلة الواحدة. ويدل ذلك على أن زيادة سعة الإركاب للحافلة الواحدة يتوقع أن تؤدي إلى تحسن ملموس في أداء النظام. كما يوضح شكل (٧) العلاقة بين متوسط زمن الرحلة من بوابة عرفات إلى بوابة مزدلفة للحافلة الواحدة وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة عرفات – مزدلفة حيث يلاحظ زيادة متوسط زمن الرحلة بصورة مطردة مع زيادة كثافة الحافلات على المسارات نظراً لزيادة عدد القوافل المستخدمة. كما يلاحظ أن متوسط زمن الرحلة تراوح بين ٢٤,٣- ٢٩,٤ دقيقة في حال تحميل حافلات الساحة بسعة ٥٦ راكباً، وبين ٢١,٢- ٢٥ دقيقة في حال تحميل الحافلات بسعة ٧٥ راكباً، وهو ما يعتبر تحسناً طفيفاً في أداء النظام. كما يوضح شكل (٨) العلاقة بين متوسط عدد الردود المنفذة للحافلة الواحدة في مرحلة عرفات – مزدلفة وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في تلك المرحلة لحالتي التحميل بسعة ٥٦ راكباً و٧٥ راكباً. ويلاحظ هنا عدم تأثر متوسط عدد الردود للحافلة تقريباً بزيادة مقدار التحميل للحافلات، كما يلاحظ الانخفاض الخطي لمتوسط عدد الردود التي تؤديها الحافلة الواحدة مع زيادة عدد قوافل الحافلات المستخدمة في هذه المرحلة. وأخيراً،

نلاحظ هنا أيضاً أن عدد القوافل المستخدمة في موسم حج ١٤٢٤هـ لمرحلة عرفات – مزدلفة كان من الممكن تخفيضه إلى ٦ قوافل بدلاً من ٧ قوافل بدون إحداث زيادة كبيرة في زمن إخلاء عرفات إلا أنه سيؤدي إلى ارتفاع طفيف في متوسط عدد الردود للحافلة.

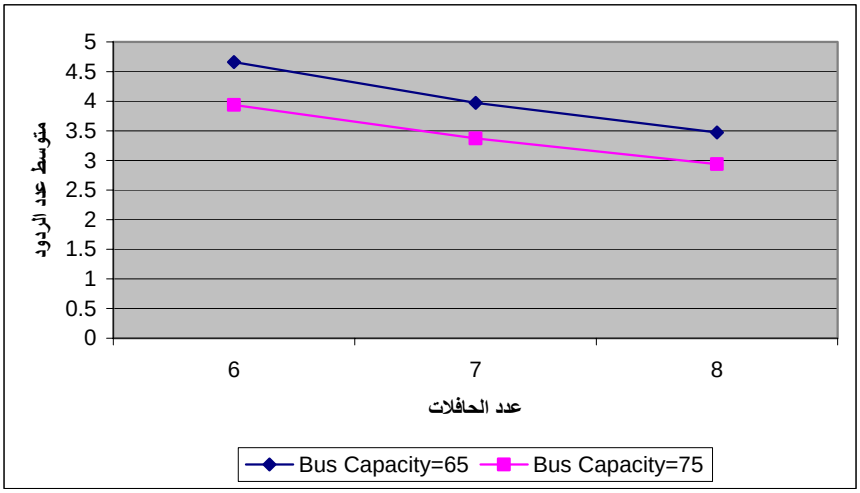
كما توضح الأشكال (٩) و (١٠) و (١١) العلاقة بين كل من الزمن اللازم لإخلاء عرفات من الحجاج ومتوسط زمن الرحلة ومتوسط عدد الردود للحافلة مع عدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة عرفات – مزدلفة في حالة تحميل ٦٥ راكب في الحافلة الواحدة مع التحميل والإنزال بمتوسط زمني منخفض (كما هو الحال في معطيات موسم حج ١٤٢٤هـ) ومع التحميل والإنزال بمتوسط زمني مرتفع يزيد عنه بنسبة دقيقة. وتشير النتائج في الحالتين إلى أن الفارق في زمن إخلاء عرفات لا يتجاوز ١٢ دقيقة، بينما بلغ الفرق في متوسط زمن الرحلة حوالي ٤ دقائق، كما تطابق متوسط عدد الردود في الحالتين. ونستدل من هذه النتيجة أن استعجال ركوب ونزول الحجاج من الحافلات بمعدلات أكبر من تلك التي تحققت في موسم حج ١٤٢٤هـ غير مفيد لأداء النظام فضلاً على أنه يسبب إرهاقاً ومشقة على الحجاج. ويلاحظ في شكل (١٠) أنه عندما يتم التحميل والإنزال بمتوسط زمني منخفض ويكون - في نفس الوقت - عدد القوافل مرتفعاً فإن ذلك يدفع بمتوسط زمن الرحلة إلى الارتفاع قليلاً وبقيمة أقل من خمس دقائق. ويعود سبب هذا الارتفاع الطفيف إلى أن التحميل السريع في عرفات يؤدي إلى تزايد معدل تدفق هذا العدد الكبير من الحافلات خروجاً من عرفات وبالتالي دخولاً إلى منطقة بوابات الإنزال في مزدلفة، مما يؤدي بطبيعة الحال إلى تكدس مروري أكبر وتداخل حركة الحافلات – وخاصة عند منطقة بوابات الإنزال بمزدلفة – وهو ما يؤدي في النهاية إلى رفع متوسط زمن الرحلة (والذي يحسب من لحظة انطلاق الحافلة من أمام بوابة المجموعة في عرفات وحتى توقفها تماماً وبدء نزول الحجاج أمام بوابة المجموعة في مزدلفة).



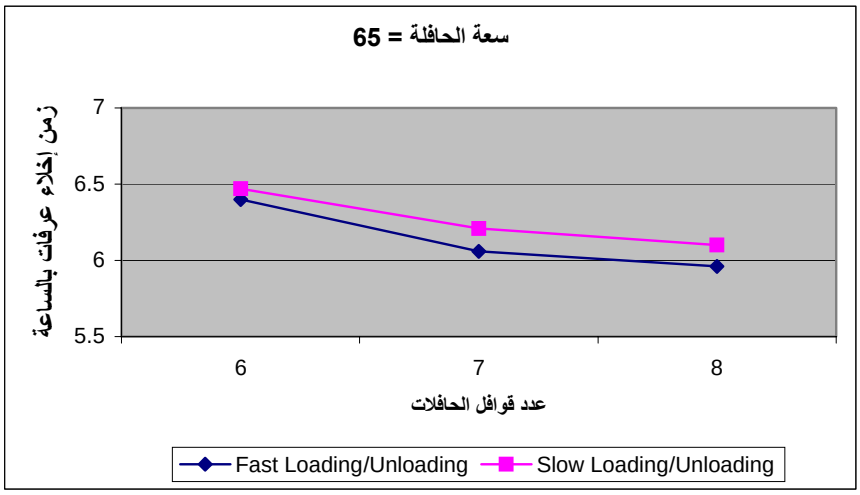
شكل رفم (٦). العلاقة بين الزمن اللازم لإخلاء عرفات من الحجاج وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة عرفات – مزدلفة.



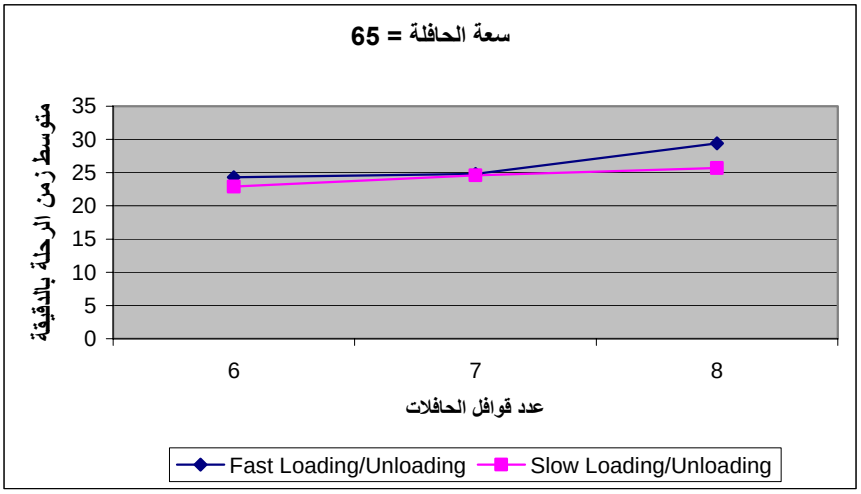
شكل رفم (٧). العلاقة بين متوسط زمن الرحلة من بوابة عرفات إلى بوابة مزدلفة للحافلة الواحدة وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة عرفات – مزدلفة.



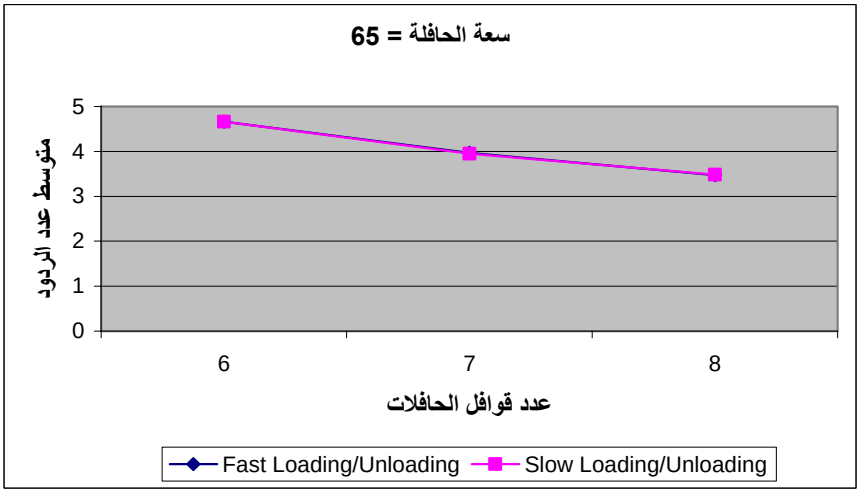
شكل رقم (٨). العلاقة بين متوسط عدد الردود المنفذة للحافلة الواحدة في مرحلة عرفات – مزدلفة وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في تلك المرحلة.



شكل رقم (٩). العلاقة بين الزمن اللازم لإخلاء عرفات من الحجاج وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة عرفات – مزدلفة في حال تغيير متوسط زمني التحميل والإنزال.



شكل رقم (١٠). العلاقة بين متوسط زمن الرحلة وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة عرفات – مزدلفة في حال تغيير متوسط زمني التحميل والإنزال.



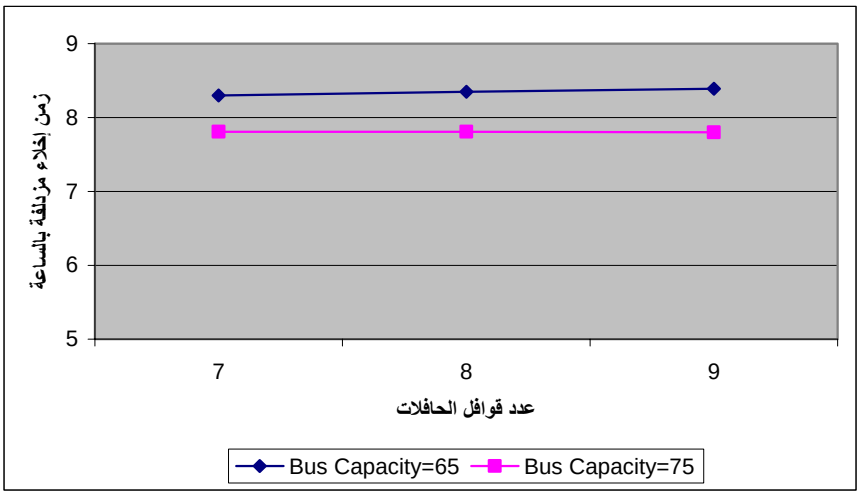
شكل رقم (١١). العلاقة بين متوسط عدد الردود وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة عرفات – مزدلفة في حال تغيير متوسط زمني التحميل والإنزال.

مرحلة مزدلفة - منى

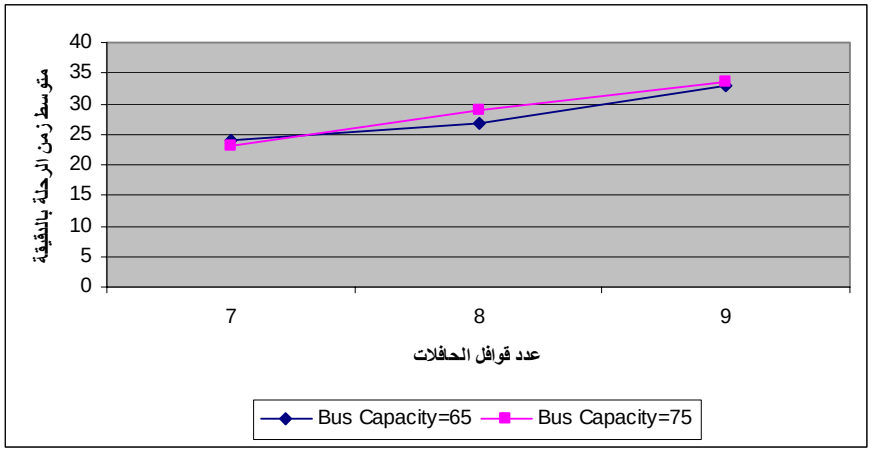
أما مرحلة مزدلفة – منى ، فيوضح شكل (١٢) العلاقة بين الزمن اللازم لإخلاء مزدلفة من الحجاج وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة مزدلفة – منى. ويلاحظ هنا أنه في حالة تحميل الحافلات بعدد ٧٥ حاجاً فإن زمن إخلاء مزدلفة سيقل بحوالي ٣٢ دقيقة عند استخدام ٨ قوافل أساسية عن حالة تحميل ٦٥ حاجاً في الحافلة الواحدة الواردة في الخطة التشغيلية [١٠]. ويستدل من ذلك على أنه في حال توفير حافلات ذات سعة عالية تسمح بإركاب ٧٥ حاجاً في الحافلة فإن التحسن المتوقع في زمن الإخلاء في مرحلة مزدلفة - منى مقارنة بحالة إركاب ٦٥ حاجاً في كل حافلة سيكون نسبياً أقل من المتوقع وذلك نظراً لضيق المسارات وكثافة حركة المشاة على الطرق في منطقة منى. كما يوضح شكل (١٣) العلاقة بين متوسط زمن الرحلة من بوابة مزدلفة إلى بوابة مخيم المجموعة في منى للحافلة الواحدة وبين عدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة مزدلفة – منى. ويلاحظ تساوي متوسط زمن الرحلة ومتوسط عدد الردود تقريباً في حالتي التحميل بـ ٦٥ و٧٥ راكباً، وذلك أيضاً نظراً للتأثير الكبير لضيق المسارات وحركة المشاة. ويوضح شكل (١٤) العلاقة بين متوسط عدد الردود المنفذة للحافلة الواحدة في مرحلة مزدلفة - منى وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في تلك المرحلة في حال إركاب ٦٥ حاجاً و٧٥ حاجاً في الحافلة الواحدة . ويلاحظ هنا عدم تأثر متوسط عدد الردود للحافلة بزيادة سعة الإركاب لنفس الأسباب المذكورة آنفاً.

كما توضح الأشكال (١٥) و(١٦) و(١٧) العلاقة بين كل من الزمن اللازم لإخلاء مزدلفة من الحجاج ومتوسط زمن الرحلة ومتوسط عدد الردود للحافلة وبين عدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة مزدلفة- منى في حال تحميل ٦٥ راكباً في الحافلة الواحدة مع التحميل والإنزال بمتوسط زمني منخفض (كما هو الحال في معطيات

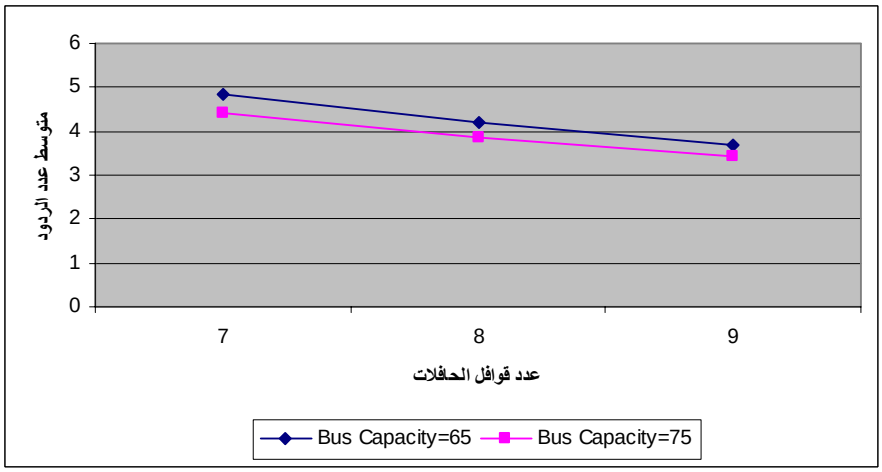
موسم حج ١٤٢٤هـ) ومع التحميل والإنزال بمتوسط زمني مرتفع يزيد عنه بمقدار دقيقة. وتشير النتائج في الحالتين إلى أن الفارق في كل من زمن إخلاء مزدلفة ومتوسط زمن الرحلة ومتوسط عدد الردود في الحالتين لا يذكر. وكما في مرحلة عرفات – مزدلفة، نستدل من هذه النتيجة أن استعجال ركوب ونزول الحجاج من الحافلات بمعدلات أكبر من تلك التي تحققت في موسم حج ١٤٢٤هـ غير مفيد لأداء النظام فضلاً على أنه يسبب إرهاقاً ومشقة على الحجاج. ونلاحظ هنا أيضاً أن عدد القوافل المستخدمة في موسم حج ١٤٢٤هـ لمرحلة مزدلفة – منى كان من الممكن تخفيضه إلى ٧ قوافل بدلاً من ٨ قوافل بدون إحداث زيادة كبيرة في زمن إخلاء مزدلفة إلا أنه سيؤدي إلى ارتفاع طفيف في متوسط عدد الردود للحافلة.



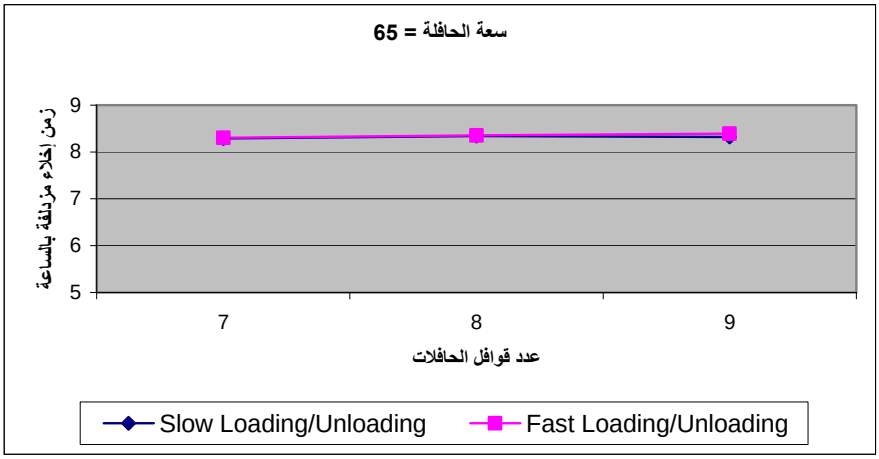
شكل رقم (١٢). العلاقة بين الزمن اللازم لإخلاء مزدلفة من الحجاج وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة مزدلفة – منى.



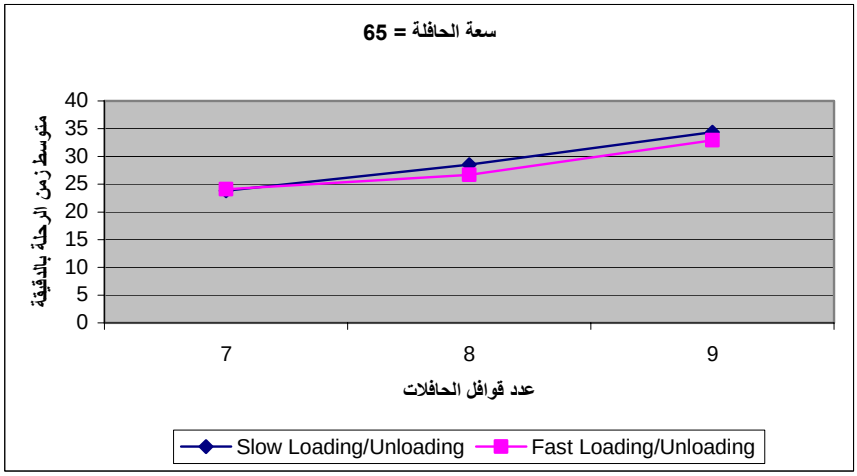
شكل رقم (١٣). العلاقة بين متوسط زمن الرحلة من بوابة مزدلفة إلى بوابة مخيم المجموعة في منى للحافلة الواحدة وبين عدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة مزدلفة - منى.



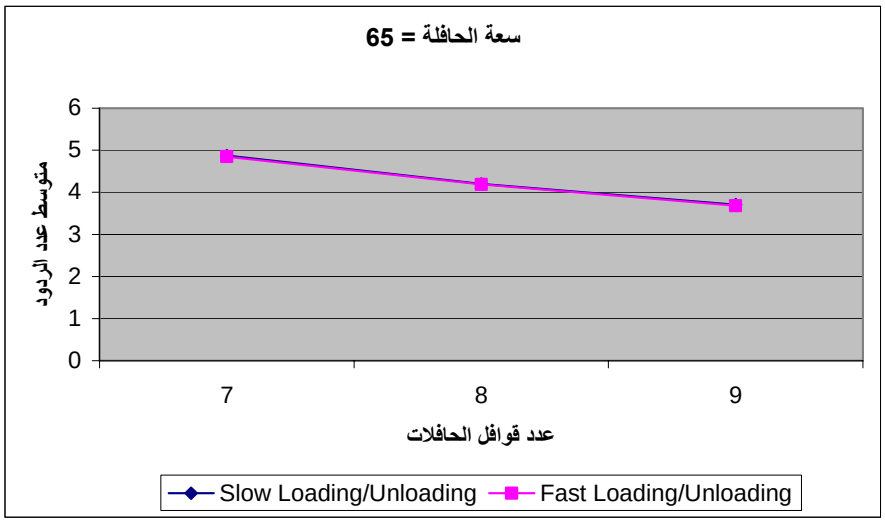
شكل رقم (١٤). العلاقة بين متوسط عدد الردود المنفذة للحافلة الواحدة في مرحلة مزدلفة - منى وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في تلك المرحلة.



شكل رقم (١٥). العلاقة بين الزمن اللازم لإخلاء مزدلفة من الحجاج وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة عرفات – مزدلفة في حال تغيير متوسط زمني التحميل والإنزال.



شكل رقم (١٦). العلاقة بين متوسط زمن الرحلة وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة مزدلفة-منى في حال تغيير متوسط زمني التحميل والإنزال.



شكل رقم (١٧). العلاقة بين متوسط عدد الردود وعدد قوافل الحافلات الرئيسية المستخدمة في مرحلة مزدلفة-منى في حال تغيير متوسط زمني التحميل والإنزال.

الخلاصة والتوصيات

تم خلال هذه الدراسة تصميم وتطوير واختبار نموذج المحاكاة الحاسوبي لنظام النقل الترددي لحجاج مؤسسة جنوب شرق آسيا لموسم حج ١٤٢٤هـ، كما تم أيضاً إجراء العديد من التجارب على نموذج المحاكاة لكل من مرحلتي عرفات- مزدلفة ومزدلفة-منى. وقد استعرضنا في الورقة الحالية تلخيصاً لنتائج هذه التجارب كما ناقشنا أيضاً مدلولاتها ومعناها في واقع النظام. وقد تضمنت الورقة أهم التوصيات التي توصلت إليها الدراسة الحالية من واقع نتائج تجارب المحاكاة عن نظام النقل بالرحلات الترددية لمؤسسة حجاج جنوب شرق آسيا لموسم حج ١٤٢٤هـ. وتشير النتائج المستخلصة إلى إمكانية تخفيض عدد قوافل الحافلات المستخدمة في موسم حج ١٤٢٤هـ بمقدار قافلة بدون المساس بزمن الإخلاء اللازم لكل من عرفات ومزدلفة وبدون احداث زيادة مهمة في

متوسط عدد الردود للحافلة، حيث إن خفض أعداد الحافلات بوجه عام يساعد على تحسين الاستفادة من طاقة هذه الحافلات وخفض كمية التلوث البيئي في المشاعر المقدسة الناتج عنها. كما تشير النتائج أيضاً إلى أهمية عامل سعة الإركاب للحافلات المستخدمة في خدمة النقل الترددي في اختصار كل من زمن الإخلاء ومتوسط زمن الرحلة ومتوسط عدد الردود المنفذة للحافلة. ويوصى في هذا الصدد بالتوسع في استخدام الحافلات ذات السعة العالية في خدمة النقل الترددي والتي تتسع لعدد من الركاب وقوفاً وعدد آخر جلوساً. أما عن متوسط زمن التحميل والتفريغ للحافلات فقد وجد أن المعدلات المتحققة في موسم حج ١٤٢٤هـ لحجاج مؤسسة جنوب شرق آسيا كافية ولا تستدعي محاولة الإسراع في عملية التحميل والتفريغ أكثر من هذا الحد لعدم ثبوت جدوى ذلك من ناحية الأداء ولما يسببه ذلك من مشقة على الحجاج.

وفي المستقبل يمكن توسعة نطاق هذا العمل ببناء نموذج محاكاة يأخذ في الحسبان المزيد من الجوانب المتعلقة بالنظام والتي لم يشملها النظام الحالي مثل سلوكيات السائقين وقضايا الحد من التلوث والضوضاء والتي قد تتطلب استخدام أدوات نمذجة أخرى غير تلك المستخدمة في هذه الدراسة.

المراجـــــع

[١] عبد المجيد، أحمد البدوي " تقويم حركة المركبات أثناء النفرة إلى مزدلفة" *مركز بحوث العلوم التطبيقية والهندسية – معهد البحوث العلمية وإحياء التراث الإسلامي – جامعة أم القرى* (١٤١٦هـ).

[٢] عبد المجيد، أحمد البدوي "تقويم الحركة المرورية – حج عام ١٤١٣هـ" مركز أبحاث الحج – جامعة أم القرى (١٤١٣هـ).

[٣] وزارة المواصلات "*دراسة توفير رحلات مكوكية للنفرة بين عرفات ومزدلفة*" (١٤١٢هـ).

[٤] وزارة المواصلات، وزارة الحج، وزارة التخطيط، الإدارة العامة للمرور"التقرير الموحد للجنة الحركة والنقل لحج ١٤١٣هـ - مشروع تطوير منى وأمانة العاصمة المقدسة" – *مركز أبحاث الحج، جامعة أم القرى* (١٤١٣هـ).

[٥] عثمان، فاضل "نظام نقل الحافلات بين المشاعر عبر حلقة مغلقة وتكامله مع المشي" - *سجل أبحاث الندوة السادسة للنقل في الحج*، وزارة المواصلات – الرياض (١٤١٣هـ).

[٦] حريري، مجدي وآخرون "دراسة إمكانية استخدام الحافلات الترددية كنظام نقل بين المشاعر المقدسة" - *مركز أبحاث الحج – جامعة أم القرى* (١٤١٦هـ).

[٧] البار، حامد و الزهراني، عبد الرحيم، " استخدام الحافلات الترددية بين المشاعر المقدسة" – *سجل أبحاث المؤتمر الهندسي السعودي الخامس جامعة أم القرى* (١٤١٩هـ) – صـ١٩٣-٢٠١.

[٨] البار، حامد و آخرون، " تقويم مشروع استخدام الحافلات الترددية بين المشاعر المقدسة لعام ١٤١٧هـ في نقل حجاج مؤسسة تركيا" – *مركز أبحاث الحج – جامعة أم القرى* (١٤١٨هـ).

[٩] Kelton, W. D.; Sadowski, R. P. and Sadowski, D. A. *Simulation with Arena*. USA: McGraw-Hill, 2002.

[١٠] وزارة الحج- المجلس التنسيقي للنقل بالرحلات الترددية "الخطة التشغيلية لمشروع نقل حجاج جنوب شرق آسيا بالحركة الترددية" - *مكتب الدكتور محمد منذورة الاستشاري* (١٤٢٤هـ).

[١١] وزارة الحج- المجلس التنسيقي للنقل بالرحلات الترددية وجمعية الحاسبات السعودية "التقرير الختامي لدراسة التوسع في استخدام نماذج المحاكاة لدراسة نظام نقل الحجاج بالرحلات الترددية لموسم حج ١٤٢٤هـ" (١٤٢٥هـ).

Performance Analysis of the New Shuttle-bus Pilgrim Transportation System for the Pilgrims of South East Asia in the 1424 Hajj Season Using Computer Simulation Models

Hussam M. Ramadan* and Sahl A. Al-Sabban**

** Department of Information Systems, College of Computer and Information Sciences, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia*

*** Assistant Deputy Minister for Projects and Holy Sites, Ministry of Hajj*

(Received 10 February 2005; accepted for publication 01 May 2006)

Abstract. The shuttle-bus pilgrim transportation system is among the most successful solutions to the traffic congestion problem during Al-Nafrah. This system has proven effective since it was first applied on the pilgrims of Turkey, Europe, America and Australia in the 1416H Hajj season. This success has motivated its recent expansion to include pilgrims of South East Asia starting from the 1423H Hajj season. Due to the need to achieve a deeper understanding of this system, a project was initiated to analyze the system's details and build a simulation model for it according to the inputs of the 1424H Hajj season. A simulation model was designed using queuing theory concepts, and the model was implemented using the Arena simulation tool. The model was then verified and validated based on the available performance field data and statistics from the 1424H Hajj season. Several experiments were designed and executed on the simulation model with the aim to determine the achievable performance limits given the space, time, and economic constraints within which the system operates. In this paper, a complete description of the modeling and simulation project of the 1424H Hajj season shuttle-trip system for the pilgrims of south east Asia is given. It includes a summary of the system characteristics, inputs and assumptions. Model verification and validation tests and the simulation experiments and results are also presented. Finally, conclusions are drawn to support operational and strategic decision making in this system.