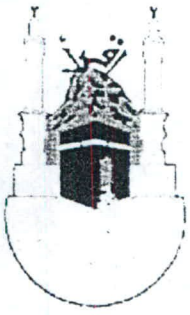
المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
جامعة أم القرى
معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج



نموذج محاكاة لحركة الحافلات أثناء النفرة

د. عبد الباسط أنديجاني ، د. محمد بنديه ، د. عمر التركي
د. محمد الحبوبي ، د. صالح دفوعة، د. شكري سليم، أنس وقار
هندسة النظم – جامعة الملك فهد للبترول والمعادن

ذو القعدة ١٤٢٢هـ

نموذج محاكاة لحركة الحافلات أثناء النفرة

د. عبد الباسط انديجاني ، د. محمد بنديه ، د. عمر التركي ،
د. محمد الحبوبي ، د. صالح دفوعه ، د. شكري سليم ، أنس وقار *
قسم هندسة النظم – جامعة الملك فهد للبترول والمعادن
الظهران ٣١٢٦١

* رتبت أسماء المؤلفون حسب الترتيب الأبجدي.

((شكر و عرفان))

الحمد لله و الصلاة و السلام على رسول الله نبيا محمد وعلى آله و صحبه أجمعين، و بعد حمد الله سبحانه و تعالى و توفيقه و مساعدته في هذه الدراسة، يود المؤلفون أن يتقدموا بالشكر والعرفان لمعالي وزير الحج الأستاذ إياد مدني و وكلاء الوزارة سعادة الدكتور محمد صالح بنتن و الدكتور سهل الصبان و فريق وزارة الحج الذين لم يألوا جهدا في تقديم كل التسهيلات اللازمة لنجاح هذه الدراسة.

كما يشكر المؤلفون معالي الدكتور عبد العزيز الدخيل مدير جامعة الملك فهد للبترول والمعادن لتشجيعه و مساندته للفريق للقيام بهذه الدراسة

ونخص بالشكر سعادة الدكتور أسامة البار مدير معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج و فريق المعهد للتسهيلات التي قدموها لهذه الدراسة.

وينوه المؤلفون بكل من محمد الحسن سليمان و عارف السلام و حسن رياض و عتيق صديقي و عبد الله البزرون للمساندة التي قدموها لهذه الدراسة.

مستخلص

يقصد المملكة العربية السعودية أكثر من مليوني حاج في كل عام لأداء فريضة الحج. وينتقل هؤلاء الحجاج بين الأماكن المقدسة لأداء شعائر الحج ولا تألو حكومة المملكة العربية السعودية جهداً في تنظيم وتيسير عملية تنقل الحجاج بين هذه المشاعر. وعملية تنظيم ونقل الحجاج من مكان لآخر عملية شائكة ولها أبعاد كثيرة. وأكثر مسائل النقل أهمية وإلحاحاً هي عملية نقل الحجاج أثناء النفرة. وتبدأ النفرة عند غروب شمس اليوم التاسع إلى فجر اليوم العاشر من ذي الحجة. ويعتبر العامل الزمني من أهم القيود في عملية نقل الحجاج أثناء النفرة بالإضافة إلى قيود أخرى منها سعة الطرق وسعة المواقف في مزدلفة وبالتالي أصبح من الضروري إيجاد الحلول المناسبة لتنظيم حركة الحافلات لتسهيل أداء مناسك الحج بأمان للأعداد المتوقعة من الحجاج.

في هذه الورقة تم تطوير نموذج تصوري لحركة السير حيث شمل العناصر والخصائص الأساسية لهذه الحركة المتمثلة في تنظيم حركة الحافلات في عرفات، والحركة المرورية على الطرق، وتنظيم الحافلات في مزدلفة ومنى ومقاييس الأداء. وبعد اعتماد بعض الافتراضات تم تحويل النموذج التصوري إلى نموذج محاكاة حاسوبي باستخدام حزمة المحاكاة بروموديل (PROMODEL) . وتم اختبار نموذج المحاكاة والتحقق من صحته ودراسة بعض الحالات عن طريقه. وقد دلت النتائج الأولية أنه بالإمكان استخدام هذا النموذج لإدارة حركة نقل الحجاج خلال النفرة واتخاذ القرارات اللازمة للتحكم في عملية إخلاء عرفات أثناء النفرة.

١ ـ المقدمة

يقصد المشاعر المقدسة بالمملكة العربية السعودية أكثر من مليوني حاج في كل عام لأداء فريضة الحج. وتقوم حكومة المملكة العربية السعودية باستضافة هذا الجمع من الحجيج وتوفر له كل التسهيلات لتأدية مناسك الحج في سهولة ويسر. ويتطلب العناية بالحجاج توفير العناية الطبية والمؤن الغذائية والحافلات اللازمة لنقل الحجاج بين المشاعر المقدسة. وأهم هذه المشاكل التي تتطلب تنظيم وإدارة هي مشكلة النقل في الحج وقد عقدت وزارة المواصلات عدة ندوات عن مشكلة النقل في الحج لدراستها وتوفير الحلول المناسبة لها. وتعتبر مشكلة نقل الحجاج أثناء النفرة أهم التحديات في نقل الحجاج لما لهذه المشكلة من طابع خاص وقيود أهمها التمكن من تفريغ عرفات من الحجاج في وقت النفرة الذي يمتد من غروب شمس يوم التاسع من ذو الحجة وحتى فجر اليوم العاشر، ويعتبر هذا وقت وجيز لنقل كل الحجاج من عرفات إلى مزدلفة ومن ثم إلى منى.

وتعرض هذه الورقة دراسة مسألة نقل الحجاج أثناء النفرة. وتم تطوير نموذج تصوري يمثل حركة الحجاج أثناء النفرة وبعد اعتماد بعض الافتراضات تم تحويله إلى نموذج محاكاة حاسوبي باستخدام حزمة المحاكاة بروموديل (PROMODEL) واستخدم لدراسة حركة النفرة. ويأخذ النموذج في عين الاعتبار أهم عناصر الحركة أثناء النفرة وهي :

١ – العلاقة بين تدفق الحجاج وكثافتهم.
٢ – إمكانية تغيير المسارات أثناء الحركة.
٣ – بقاء الحجاج في مزدلفة حسب المذهب.
٤ – تعطل الحافلات.
٥ – تردد الحافلات بين مزدلفة وعرفات لنقل الحجاج.
٦ – معالجة وقوف الحافلات في مزدلفة.

هناك عدة دراسات طرقت مواضيع لها علاقة بحركة الحجاج نعرض أهمها في ما يلي :

عقدت وزارة المواصلات عدة ندوات عن النقل في الحج لإعطاء فرصة للباحثين عرض بعض أعمالهم المتعلقة بهذا الموضوع. وكانت بعض المواضيع المنشورة مفيدة من جهة نشر بعض المعلومات الإحصائية وبعض الحلول العملية للنقل في الحج. ومن أهم المقالات المنشورة تلك التي تتعلق بالتنقل من عرفات لمزدلفة ثم لمنى مثل مقالات العقاد (١٩٨٨) ؛ عبد القادر (١٩٨٨)، عبده وسليم (١٩٨٩)، والمشعي (١٩٨٩).

لكن أول دراسة علمية عن النقل في الحج هي للدكتور عادل بشناق (١٩٧٧) والذي ضم في دراسته رقعة جغرافية أكبر حول مكة المكرمة وقيم عدة وسائط نقل باستخدام نظرية المنفعة (Utility theory) والتقييم ذو الخصائص المتعددة. كما كان للدكتور عدنان اليافي دراسة داخلية عن النقل في الحج (١٩٨٣)، والذي اشترك بدوره مع الدكتور تشارنس والدكتور صاح دفوعه لتطوير نموذج رياضي لنمذجة الازدحام على الطرقات قرب مكة ثم تطوير إجراءات لتقليل الازدحام على الطرقات ويقدر هذا النموذج عدد الحجاج الذاهبين والعائدين من مكان ما وفي وقت معين، بصرف النظر عن وسيطة النقل. وفي دراسة أحدث للدكتور اليافي (١٩٩٣) شرح نموذج خطي وغير خطي لحل مشكلة نقل الحجاج في أماكن مشابهة و لكن لم يتطرق هذا البحث إلى حركة النقل الاهم بين عرفات ومزدلفة. وبالمقابل ركز الدكتور محمد الحبوبي والدكتور شكري السنان (١٩٩٢) على حركة النفرة من عرفات إلى مزدلفة. تحتوي تلك الدراسة على نموذج خطي لتعيين وسائط النقل على المسارات الموجودة بين هاتين المنطقتين المقدستين بهدف زيادة كمية تدفق الحجاج. وفي دراسة حديثة للدكتور الحبوبي مكملة للدراسة السابقة تحتوي على تكلفة النقل وبعض الإضافات المهمة. طور الباحث في هذه الدراسة نموذجاً رياضياً غير خطي وطبقه على حركة النفرة لتحصر الحركة بالمشاة و الحافلات المطورة . ومن المجهودات المهمة دراسة المخطط الشامل لمنطقة المشاعر المقدسة التي تهدف إلى تطوير مخطط استراتيجي شامل لتسهيل أداء مناسك الحج بأمان للأعداد المتوقعة من الحجاج.

وتتكون هذه الورقة من عدة فصول يعرض الفصل الثاني صياغة دقيقة لمسألة النفرة ويلي ذلك النموذج التصوري في الفصل الثالث، بينما يعرض الفصل الرابع نموذج المحاكاة، ويلي ذلك النتائج والتحليل في الفصل الخامس، بينما يعرض الفصل السادس الخاتمة واتجاهات الأبحاث المستقبلية.

٢ - صياغة المسألة

يؤدي حوالي أكثر من مليوني مسلم مناسك حجهم كل عام. وتكون فترة الذروة في الحج ما بين الثامن والثاني عشر من شهر ذي الحجة. وفي صبيحة اليوم التاسع يتحرك الحجاج باتجاه عرفات حيث يتوجب عليهم البقاء في عرفات إلى قبيل الغروب. وعند الغروب يبدأ الحجاج بالتحرك صوب مزدلفة والتي تبعد حوالي ثمانية كيلو مترات إلى الغرب ومن ثم إلى منى والتي تبعد أربعة كيلو مترات عن مزدلفة في نفس الاتجاه. وتختلف فترة بقاء الحجاج في مزدلفة حسب مذهبهم حيث يعبرها بعض الحجاج في حين يبقى بها بعض الحجاج إلى منتصف الليل ويبقى البعض الآخر إلى فجر العاشر من ذي الحجة.

وتتصل مزدلفة بعرفات بتسع طرق للمركبات وطريقين للمشاة. وتتنوع المركبات من حيث الحجم فمنها الحافلات الكبيرة، ومنها الحافلات الصغيرة، والسيارات التي تسع ٩ مقاعد للركاب. حيث تختلط تلك السيارات ببعض وقد يختلط معها بعض المشاة. ويحتوي كل طريق على عدة مسارات قد تصل إلى ثلاثة،

وتتصل منى بمزدلفة عبر ست طرق، أما طرق المشاة القادمة من عرفات فتندمج لتصبح طريقاً واحداً بعد مزدلفة حتى منى. كما أن هناك خط الطائف السريع الذي يستخدم لعودة الحافلات إلى عرفات لنقل الحجاج في الرد الثاني. ويتوجب على جميع الحجاج البقاء في منى من اليوم العاشر من ذي الحجة إلى ظهر اليوم الثاني عشر حيث يتنقل الحجاج خلال تلك الأيام إلى مكة التي تبعد حوالي ١٢كم إلى الغرب ويعودون في نفس اليوم. ويغادر أغلب الحجاج إلى مناطقهم قبل غروب اليوم الثاني عشر إلا أن بعضهم يبقى إلى ظهر اليوم الثالث عشر.

والجدير بالذكر أن حوالي نصف الحجاج يفدون من خارج المملكة والنصف الآخر من داخلها حيث يقوم بخدمة الحجاج الوافدين من خارج المملكة مؤسسات خدمية (مؤسسات الطوافة) تتولى نقلهم والعناية بهم، أما حجاج الداخل فيتولون حالياً أمور تنقلهم بأنفسهم وأما مستقبلاً فسوف يطلب منهم التعاقد مع مؤسسات خدمية مثل حجاج الخارج. وتنقل مؤسسات الطوافة الحجاج الوافدين من الخارج بتخصيص حافلة لكل مائة حاج ماعدا حجاج إيران حيث تخصص حافلة لكل خمسين حاج. وبذلك يصل مجموع عدد الحافلات حوالي ١٢٠٠٠ مخصصة لنقل حجاج الخارج يضاف إليها ٤٠٠٠٠ مركبة لنقل حجاج الداخل. وتستخدم جميع المركبات شبكة الطرق الحالية للانتقال إلى مزدلفة. يبين جدول (١) التوزيع العام لحجاج الخارج وعدد الحافلات المخصصة لكل مجموعة والطرق المخصصة لكل مجموعة خلال النفرة معتمدين الخريطة الرئيسية للطرق لعام ١٤١٥هـ في النموذج المطور.

مجموعات الحجاج	عدد الحجاج	عدد الحافلات	الطرق المستخدمة أثناء النفرة	وقت الخروج من مزدلفة
١. جنوب شرق آسيا	٢٥٠ر٠٠٠	٢٥٠٠	٢	عند الشروق
٢. جنوب آسيا	٣٠٠ر٠٠٠	٣٠٠٠	٤ و ٥	عند الشروق
٣. إيران	٩٠ر٠٠٠	١٨٠٠	٨	الثلث عند منتصف الليل ثلثين عند الشروق
٤. العرب	٢٦٠ر٠٠٠	٢٦٠٠	٦ و ٧	٨٠ % بعد ساعة ٢٠ % عند الشروق
٥. أفريقيا (غير العرب)	٩٠ر٠٠٠	٩٠٠	٢	بعد ساعة من الوصول
٦. تركيا وأوربا	١٤٠ر٠٠٠	١٤٠٠	٩	عند الشروق
المجموع	١ر١٣٠ر٠٠٠	١٢٣٠٠		

جدول (١) عدد الحجاج الوافدين من الخارج وتوزيعهم على الطرق

وأهم عناصر مسألة النقل أثناء النفرة هي :

٢ – ١ أبعاد المسألة

يؤثر البعد المكاني والزمني في عملية نقل الحجاج أثناء النفرة. ويبدأ البعد الزمني من غروب الشمس في اليوم التاسع وينتهي بفجر اليوم العاشر من ذي الحجة حيث يقوم جميع الحجاج بمغادرة عرفات عند غروب الشمس ويجب أن يكونوا في مزدلفة قبل شروق اليوم العاشر. أما البعد المكاني فهي محصورة بحدود عرفات ومزدلفة ومنى.

٢ – ٢ تداخل حركة النقل

حيث أن حافلات حجاج الخارج تختلط مع مركبات حجاج الداخل في الطرق بين عرفات ومزدلفة ومنى والتي لها طاقة استيعاب محدودة يجب أخذ ذلك في الاعتبار عند تطوير النموذج.

٢ – ٣ – نمط الحركة

كثافة الحركة على الطرق عنصر هام من عناصر المسألة والتي تؤثر في زمن الانتقال والأمان ومستوى الاستخدام للطرق ويعتبر التحكم في كثافة الحركة مؤثر فعّال في إدارة الحركة. كما يؤثر تعطل الحافلات على حركة النقل تأثيراً كبيراً يؤدي إلى تأخير عملية النقل.

يعتبر توفر المساحات الكافية للمواقف عنصراً هاماً لانسيابية الحركة المرورية ولسرعة إفراغ عرفات. وكذلك تعتبر مزدلفة عنق الزجاجة الرئيسي لحركة النفرة وكذلك شبكة الطرق بين منى ومزدلفة. وللمسألة قيوداً عديدة نذكر منها :

١– الوقت المحدود للنفرة.
٢– سعة الطرق.
٣– سعة المواقف.
٤– المتطلبات الشرعية.

وتبعاً لما مضى يمكن صياغة مسألة النفرة على أنها الاستخدام الأمثل لشبكة الطرقات ما بين عرفات ومزدلفة ومنى لنقل الحجاج بأمان وبأقل ازدحام والتمكن من تفريغ عرفات في أقل وقت آخذين في الاعتبار كل العناصر الهامة والقيود الأساسية للمسألة.

٣ – النموذج التصوري

النموذج التصوري هو عبارة عن نموذج حركة يمثل تدفق الحافلات من عرفات إلى مزدلفة ثم منى. يتكون النموذج من العناصر التالية :

١– إدارة الحافلات في عرفات.
٢– نمذجة الحركة على الطرق.
٣– إدارة الحافلات في مزدلفة.
٤– الحركة من مزدلفة إلى منى.
٥– مقاييس الأداء.

وفيما يلي نعرض تفاصيل كل عنصر :

٣ ـ ١ – إدارة الحافلات في عرفات

يتم تخصيص طريق أو طرق معينة لحافلات كل مؤسسة من مؤسسات الطوافة وذلك حسب قرب هذه الطريق لموقع المؤسسة في عرفات. يفترض النموذج أن الحافلات تكون متواجدة على الطرق في حدود عرفات عند بداية النفرة.

٣ ـ ٢ ـ نمذجة الحركة على الطريق

تم استخدام قوانين انسياب الحركة لتحديد سرعة الحافلات على الطريق، يستخدم النموذج الافتراضات التالية :

- يمكن حصول أعطال للحافلات على الطريق.
- يمكن للحافلات تغيير حارة السير عندما يتعطل السير أمامها أو عندما يكون السير في حارة مجاورة أقل كثافة.
- السرعة والكثافة ترتبطان بمعادلات انسياب الحركة كما هو موضح في الفصل الرابع.

٣ ـ ٣ – إدارة الحافلات في مزدلفة

يتم تخصيص مواقف للحافلات قرب طريقها عند وصولها إلى مزدلفة. بعض هذه الحافلات ينزل الحجاج منها وتعود إلى عرفات للقيام برد ثاني، أما بقية الحافلات فتبقى مع الحجاج في مزدلفة مدة طولها يعتمد على مذهب الحجاج كالتالي :

- بعض الحجاج يتوقفون في مزدلفة لصلاة المغرب والعشاء وجمع الحصى ثم يواصلون إلى منى.
- البعض الآخر يتوقفون في مزدلفة إلى منتصف الليل قبل المواصلة إلى منى.
- البعض الآخر يبيتون في مزدلفة ويغادرونها بعد صلاة الفجر.
- بعض الحافلات تعود إلى عرفات للقيام برد ثاني.

٣ ـ ٤ ـ الحركة من مزدلفة إلى منى

بعد قضاء بعض الوقت في مزدلفة كما هو موضح في ٣ ـ ٣ أعلاه يتحرك الحجاج إلى منى. بعض الطرق القادمة من عرفات تتواصل إلى منى ولكن البعض الآخر يندمج مع طرق أخرى. وحسب الخارطة فإن طريقي ١ و ٢ تنتهيا في مزدلفة أو تصل إلى مزدلفة عبر جسر الملك ليصل. أما طريقي ٤ و ٨ فتواصل إلى منى.

٣ ـ ٥ ـ مقاييس الأداء

لابد من اختيار مقاييس أداء يتم بواسطتها تقييم الوضع الحالي أو أي اقتراح جديد. يستخدم نموذج المحاكاة المقاييس التالية :

- زمن إخلاء الحجاج من عرفات : إن زمن إخلاء الحجاج من عرفات قبل الفجر هو مقياس مهم. هذا المقياس يعكس مدى نجاح الخطة المرورية في بلوغ أهدافها.
- متوسط زمن الرحلة من عرفات إلى مزدلفة ثم إلى منى : هذا المقياس يبين مستوى جودة خدمة النقل للحجاج أثناء النفرة.
- متوسط كثافة الحركة على الطريق : يعكس هذا المقياس مدى اختناق الحركة على الطريق.
- عدد الحافلات التي تعود إلى عرفات في الوقت المناسب للقيام بالرد الثاني : نستفيد من هذا المقياس لتحديد العدد الإحتياطي من الحافلات لإستخدامة في حالة عدم عودة حافلات كافية للرد الثاني .

٤ - نموذج المحاكاة

لقد قمنا بتحويل النموذج التصوري إلى نموذج محاكاة تم تنفيذه باستخدام حزمة بورمودل للمحاكاة ولقد وضعنا عدة افتراضات لكي تتمكن من تصميم نموذج محاكاة أولي. هذه الافتراضات ضرورية نظراً لعدم توفر بيانات وتلخصها فيما يلي :

١. جميع الحافلات جاهزة للانطلاق من عرفات إلى مزدلفة عند غروب الشمس.
٢. سيشمل هذا النموذج الحافلات التي تنقل حجاج الخارج فقط. فلا يضم النموذج أي حافلات أخرى.
٣. يتضمن النموذج الطرق ٢ الي ٩ حيث يتكون كل منهما من حارتين.
٤. بالنسبة لأعطال الحافلات فإن الزمن بين عطلين هو متغير أسي متوسطة مذكور في الجزء ٤ - ٣ - ٤ كما أن الأعطال تحدث عند نقاط معينة على كل طريق.
٥. العلاقة بين السرعة والكثافة حصلنا عليها من معدلات السياب الحركة تم تقريبها باستخدام أجزاء مستقيمة.
٦. افترضنا أن كل حارة في الطريق تضم موقفين في مزدلفة.

تحتاج حزمة بورمودل إلى ثلاثة أنواع من المدخلات هي مدخلات بيانية - مخطط للمسارات - ومنطق التشغيل. وفيما يلي نشرح كلاً منهم :

تتكون شبكة الطرق الحالية من تسعة طرق لنقل الحجاج من عرفات إلى مزدلفة. لقد قمنا بمسح خريطة عرفات - مزدلفة - منى واستعملت في برنامج المحاكاة لتكون خلفية بيانية ضرورية للرسوم المتحركة.

٤ ـ ١ ـ المدخل البياني

تم إعداد مخطط لشبكة الطرق واختيرت عدة نقاط عليها. هذه النقاط أستفيد منها في مخطط المسارات ومنطق التشغيل ولقد افترض أن كل طريق طوله ٩ كيلو متر (كم) فيما عدا الطريق رقم ٢ فطوله ٩ر٥ كم. ويبلغ متوسط طول الطريق بين مزدلفة ومنى ٥ر٥ كم. وتم تقسيم الطرق ٢ إلى ٩ بين عرفات ومزدلفة إلى ١٢ جزء طول كل من الأجزاء الثمانية الأولى واحد كم بينما الجزئين ٩ و ١١ طول كل منها ٩٥٠ متر. بينما الجزئين ١٠ ، ١٢ طول كل منهما ٥٠ م. وذلك تكوين تأثير مشابه للمواقف، الجزء رقم ٩ في الطريق ٢ طوله ٥ر١٤٥ كم. أما الطرق بين مزدلفة ومنى فقد قسمت إلى ٧ أجزاء الثلاثة الأولى طول كل منها كم. بينما طول الأجزاء ٤ ، ٥ ، ٦ ، ٧ هي ٥ر١٤٥ كم ـ ٩٥٠متراً ـ ٥٠ متراً و٥٠ متراً على التوالي. توجد سبعة طرق بين مزدلفة ومنى. ولقد سميت نقطة البداية لكل جزء في كل طريق " موقع " في برنامج برمودل. كل طريق في مزدلفة له موقف حافلات حيث تم تقسيم الموقف إلى جزئين. وتم تحديد مواقف حافلات في نهاية كل طريق ينتهي في منى.

و سوف نناقش آلية ملء هذه المواقف في الجزء ٤ ـ ٣ ـ ٥. في بداية كل طريق في عرفات حدد موقع لانتظار الحافلات حيث تطلق كل واحدة على حدة في توقيت على حسب قاعدة إطلاق الحافلات المستخدمة .

٤ ـ ٢ مخطط المسارات

هناك هدفان لهذا المخطط. أولاً : تحديد مسارات الحافلات أو الطرق المسموح باستخدامها لتصل إلى نقطة النهاية وتم تنفيذ ذلك بتوصيل هذه المواقع. ثانياً : يستخدم هذا المخطط في تصوير حركة الحافلات على هذه الطرق. وتم ذلك بتتبع الطرق ٢ إلى ٩ يدوياً في الخريطة التي سبق مسحها.

٤ ـ ٣ منطق التشغيل

يتضمن هذا المدخل كل العناصر التي يشملها النموذج التصوري. ويتضمن برمجة حركة المرور. وعلى كل طريق يمكن الانتقال من حارة إلى أخرى عند مواقع محددة مسبقاً. ولا يسمح بتخطي سيارة لأخرى. نناقش عملية انطلاق الحافلات من عرفات في الجزء ٤ ـ ٣ ـ ١ أما الأجزاء ٤ ـ ٣ ـ ٢، ٤ ـ ٣ ـ ٣ ، ٤ ـ ٣ ـ ٤ فتصف عملية نمذجة الحركة على الطرق. والجزء ٤ ـ ٣ ـ ٥ يناقش عملية وقوف السيارات في مزدلفة. والجزء ٤ ـ ٣ ـ ٦ يناقش إدارة الحافلات في مزدلفة ومواصلة السير إلى منى وأخيراً يعرض الجزء ٤ ـ ٣ ـ ٧ مقاييس الأداء المستخدمة.

٤ – ٣ ـ ١ انطلاق الحافلات من عرفات

يضم الجدول ١ عدد الحافلات على كل طريق. وهذه الحافلات تتواجد في موقع البدء على كل طريق. وعند الغروب تصطف الحافلات على الطرق ٢ ـ ٩ وتنطلق تلو الأخرى بفاصل زمني بينهم يتبع التوزيع المنتظم بين ٢ ـ ١٠ ثانية. وتم تحديد ذلك تقديراً. ولقد حددنا الحد الأقصى لكثافة السيارات على الطرق بثمانية حافلات لكل كم. وتخصص الحارة للحافلة عشوائياً.

٤ ـ ٣ ـ ٢ السرعة

السرعة على كل جزء من الطريق تتوقف على كثافة الحافلات على هذا الجزء. علماً بأن الحد الأقصى للسرعة هو ٧٠ كم / الساعة. وتحدد السرعة كما يلي :

الكثافة هي عدد الحافلات في الكيلو متر وترمز ك للكثافة في المعادلات التالية :

إذا كانت ك $\leq$ ١٠ فإن السرعة = ٧٠ كم.

إذا كانت ٢٠ $\geq$ ك > ١٠ فإن السرعة = ٦٠ – ٥, (ك – ١٠).

إذا كانت ٣٣ $\geq$ ك > ٢٠ فإن السرعة = ٥٥ – ٣٨, (ك – ٢٠).

إذا كانت ٥٠ $\geq$ ك > ٣٣ فإن السرعة = ٥٠ – ٥٩ , (ك – ٣٣).

إذا كانت ك > ٥٠ فإن السرعة = ٤٠ – ٩١ , (ك – ٥٠).

وتوجد الدوال الأساسية التي تربط الكثافة بالتدفق في دليل سعة الطرقات السريعة (١٩٨٩).

٤ – ٣ – ٣ تغيير الحارات

يتم تغيير الحارات عند مواقع محددة فقط و هي بداية كل جزء من الطريق و ذلك حسب الشروط التالية :

١. يمكن للسيارة ا لانتقال من حارة لأخرى بشرط عدم وجود سيارة معطلة على الحارة المنتقل إليها.

٢. تنتقل السيارة من حارة لأخرى مجاورة إذا كانت الكثافة في الحارة المنتقل إليها أقل من الحارة المنتقل منها بأربعة سيارات / كم على الأقل.

٤ – ٣ – ٤ التعطل

تعطل السيارات يكون عند المواقع فقط الموقع وهو بداية كل جزء من الطريق. ويتبع العطل انسداد الحارة وتراكم السيارات خلف السيارة المعطلة. وفي النموذج يمكن للسيارات في الحارة المعطلة الانتقال للحارة الأخرى بشروط وردت في الجزء ٤ – ٣ – ٣ . أما زمن تعطل السيارة فيتبع توزيع المنحنى الطبيعي المقطوع عند الصفر ومتوسطة دقيقتان وتباينه دقيقة مربعة. أما الزمن بين عطلين فيتبع التوزيع الأسي بالمتوسطات الواردة في الجدول (٢).

الموقع	متوسط الزمن بين العطلين بالدقائق
٢	٤٠
٣	٣٥
٤	٣٠
٥	٢٥
٦	٢٠
٧	١٥
٨	١٠
٩	٥

جدول رقم (٢) متوسط الزمن بين العطلين حسب الموقع

٤ – ٣ – ٥ المواقف في مزدلفة

ينقسم الموقف في نهاية الطريق عند مزدلفة إلى جزئين. الجزء الأول في نهاية الطريق ويجب أن يمتلئ بالكامل قبل استقبال الجزء الثاني للحافلات طول كل من الجزئين ١٠ و ١٢ هو ٥٠ م. ويتم تخفيض سرعة السيارة قبل الدخول إلى الموقف.

٤ - ٣ - ٦ إدارة السيارات في مزدلفة واستكمال السير إلى منى

خصصت ١٠ % من السيارات في نموذج المحاكاة للعودة إلى عرفات أما باقي السيارات فتغادر إلى منى أما بعد ساعة من الوصول أو بعد منتصف الليل أو بعد الفجر. ويضم الجدول رقم (١) النسبة المئوية للحجاج الذين يتبعون كل من الخيارات أعلاه .

٤ - ٣ - ٧ مقاييس الأداء

نستخدم في نموذج المحاكاة ثلاثة مقاييس هي :

١- زمن إخلاء عرفات من الحجاج.

٢- كثافة الحركة.

٣- متوسط زمن الرحلة بين عرفات ومزدلفة.

٤ - ٥ التحقق من صحة النموذج

استخدم في التحقق من النموذج طريقتين. في الطريقة الأولى تنطلق الحافلات بفترة زمنية ثابتة بين كل حافلة والتي تليها وبسرعة ثابتة. ونقارن زمن الوصول الناتج من النموذج مع الزمن المحسوب. أما في الطريقة الثانية فإن زمن عطل السيارة يبالغ في إطالته حتى تتراكم السيارات ويظهر هذا في الصور المتحركة الناتجة من النموذج كما هو متوقع.

٥ - النتائج والتحليل

لقد تم استخدام نموذج المحاكاة المبدئي لتقدير زمن إخلاء جميع الحجاج باستخدام الحافلات كوسيلة لنقل جميع الحجاج. الجدول رقم (٣) يعرض عدد الحافلات والزمن التقديري لإخلاء جميع الحجاج.

كما يمكن استخدام نموذج المحاكاة لتقدير معدل السرعة والكثافة لحركة الحافلات على جميع الخطوط و يوضح جدول رقم (٤) معدل السرعة والكثافة لحركة الحافلات لخط رقم (٢) من عرفة ومزدلفة.

عدد الحافلات	زمن الإخلاء بالدقائق
١٢٠٠٠	١٤٨
١٥٠٠٠	١٧٥
١٨٠٠٠	٢٠٠
٢١٠٠٠	٢٣٠
٢٤٠٠٠	٢٥٧

جدول (٣) عدد الحافلات مقابل زمن الإخلاء

عدد الخطوط	معدل السرعة (كم / الساعة)	معدل الكثافة (حافلة / كم)
١	٥٥ر٨	١٣ر٧١
٢	٥٤ر٦٧	١٤ر٨٣

جدول (٤) معدل السرعة والكثافة

٦ ـ الخاتمة

في هذه الورقة تم تطوير نموذج تصوري لحركة الحافلات أثناء النفرة، وبناءً على هذا النموذج التصوري وبعد إضافة عدة افتراضات تم تطوير وبرمجة نموذج محاكاة أولى باستخدام حزمة المحاكاة بروموديل (PROMODEL) . كان التركيز في هذه الورقة على توضيح إمكانية تطوير نموذج محاكاة يمكن من خلاله تخطيط وإدارة حركة الحجاج أثناء النفرة ودلت النتائج الأولية أنه بالإمكان تطوير مثل هذا النموذج. ولاستخدام نموذج المحاكاة واقعياً لابد من إضافة عناصر لهذا النموذج وأهم هذه العناصر هي :

١- معالجة انطلاق السيارات من عرفات بدقة أكثر.
٢- دراسة المساحات المتاحة للوقوف في مزدلفة واستخدامها في النموذج.
٣- جمع معلومات دقيقة عن تعطل السيارات وإدخال توزيعات التعطل في النموذج.
٤- إدخال الحافلات والمركبات الأخرى في النموذج.
٥- معالجة حركة المشاة أثناء النفرة.
٦- تطوير أسلوب دقيق لتقليل حركة السيارات عند الوقوف.

ويحتاج إدخال هذه العناصر في النموذج إلى مزيد من البحث والدراسة نتمنى أن تتاح الفرصة للفريق للقيام بها.

٧ – المراجع باللغة العربية :

١ – لجنة الحج المركزية " المخطط الشامل لمنطقة المشاعر المقدسة، رجب ١٤١٧هـ.

1. Akkad, S.A. 1988. The importance of public transport in serving pilgrims. Proceedings of Transportation in Al-Hajj Symposium, Makkah, 123-141.

2. Al-Abdul-Gader, A. 1989. Parking problem in Arafat. Proceeding of the Transportation in Al-Hajj Symposium, Makkah, 221-233.

3. Abduh, O. I. And Selim, F. 1989. Measuring trip time between Arafat and Muzdalifa, Makkah, Proceeding of the Transportation in Al-Hajj Symposium, Makkah , 169-192

4. Al-Haboubi,M. and Al-Senan,S.1992.Optimizing the Utilization of Space in a Congested Corridor: The Pilgrimage to Makka, Transportation Planning and Technology, 16 , p. 209.

5. Al-Haboubi,M.1999.Optimizing model split during pilgrims' movement from Arafat to Muzdalifa (Ifadhah), The Arabian Journal for Science and Engineering,24,p.95.

6. Al-Mushabi, O.A. and Shabeeb, A.T. 1989, Proposal plan to Manager, Transportation and traffic, proceedings of the Transportation in Al-Hajj Symposium, Makkah, 205-228.

7. Al-Yafi, A. 1983, Management of Some Large Logistical Problems of Hajj, Ph.d Dissertation , The University of Texas at Austin.

8. Al-Yafi,A.1993 Management of Hajj Mobility Systems. Amsterdam: Joh. Enschede, BV.

9. Bushnak,A., 1977.Planning and Evaluation of Special Event Transportation Systems with application to the Hajj, Dissertation, University of Michigan .

10. Chranes,A., Duffuaa,S., and Yafi,A.1989. A Non-Linear Congestion network Model for Planning Internal Movement in the Hajj, European Journal of Operational Research, 40 (1989), p. 31.

11. Highway Capacity Manual ,1965. Highway Research Board, Special Report 87, Wasghington.

12. Office of Engineer Zaki M. A. Farsi, (1415H). Master Plan For Almashaer Roads Makkah Mina-Muzdalifa-Arafat.