

الملخص التنفيذي

تحسين كفاءة التشغيل بنقطة فرز السيارات والحافلات بالنوارية باستخدام النمذجة والمحاكاة

الباحث الرئيسي

د. محمد صديق ياسين

الباحثون المشاركون

د. عبد الله هوساوي | د. عبد الله أسرة

١٤٤٧هـ (٢٠٢٦م)

قسم المعلومات والخدمات العلمية - قسم البحوث الهندسية والعمرانية

أولاً: مقدمة

تعد نقاط فرز المركبات والحافلات من العناصر التشغيلية الرئيسية في منظومة إدارة الحركة المرورية خلال مواسم الحج، إذ تمثل نقطة التحكم الأولى لتنظيم تدفق المركبات قبل دخولها إلى المناطق التشغيلية، ويؤثر أداؤها بصورة مباشرة في انسيابية الحركة ومستوى الخدمة والطاقة الاستيعابية للمنظومة ككل. ومع الزيادة الكبيرة في أحجام الطلب خلال مواسم الذروة، تصبح كفاءة تشغيل نقاط الفرز عاملاً حاسماً في الحد من الازدحام وتقليل أزمّة الانتظار وتحسين تجربة المستفيدين.

وانطلاقاً من ذلك، هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الأداء التشغيلي الحالي لنقطة فرز النوارية وتحليل أثر عدد من البدائل التشغيلية والهندسية المقترحة على كفاءة النظام باستخدام تقنيات النمذجة والمحاكاة، بما يوفر أساساً علمياً لدعم اتخاذ القرار واختيار البدائل الأكثر كفاءة قبل تطبيقها ميدانياً. وقد اعتمدت الدراسة على تطوير نموذج محاكاة يمثل الواقع التشغيلي للنقطة، واستخدامه لاختبار مجموعة من السيناريوهات المختلفة وقياس تأثيرها على مؤشرات الأداء الرئيسة.

ثانياً: منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على منهجية النمذجة والمحاكاة الحاسوبية، حيث تم تطوير نموذج يحاكي التشغيل الفعلي لنقطة فرز النوارية بالاستناد إلى البيانات التشغيلية المتاحة، بما يشمل معدلات وصول السيارات والحافلات، وعدد مسارات الخدمة، وأزمّة المعالجة الحالية.



وقيم النموذج الأداء التشغيلي باستخدام مجموعة من مؤشرات الأداء الرئيسة، شملت:

- عدد المركبات والحافلات التي تم خدمتها.
- متوسط وأقصى زمن الانتظار.
- متوسط وأقصى طول للطوابير.

كما تم استخدام النموذج لاختبار أربعة سيناريوهات تشغيلية رئيسة:

- تقييم الوضع التشغيلي الحالي.
- زيادة عدد مسارات خدمة السيارات.
- تقليل زمن المعالجة عند نقطة الفرز.
- إنشاء نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات.

وقد أتاحت هذه المنهجية مقارنة البدائل المختلفة بصورة كمية وموضوعية، وتحديد البديل الأكثر تأثيراً في تحسين الأداء التشغيلي للنظام.

ثالثاً: أبرز نتائج الدراسة

١- تقييم الوضع التشغيلي الحالي

أظهرت نتائج المحاكاة أن نقطة الفرز تعمل بالقرب من حدودها التشغيلية في ظل معدلات الطلب المفترضة، مما أدى إلى تشكل طوابير طويلة وارتفاع ملحوظ في أزمدة الانتظار، خاصة في مسارات الحافلات.

فقد بلغ متوسط انتظار السيارات نحو ٣٨,٩ دقيقة، بينما تجاوز متوسط طول الطابور ٩٥ سيارة، ووصل الحد الأقصى للطابور إلى ١٤٣ سيارة. أما الحافلات، فقد سجلت متوسط انتظار بلغ ٥٦,٥ دقيقة، مع متوسط طابور يقارب ٧٥ حافلة، وهو ما يعكس محدودية الطاقة التشغيلية الحالية وعدم قدرتها على استيعاب الطلب بكفاءة خلال فترات الذروة.

٢- تأثير تقليل زمن المعالجة

- بينت نتائج المحاكاة أن تقليل زمن المعالجة يمثل أحد أكثر العوامل تأثيراً في تحسين أداء النظام، حيث أدى إلى زيادة إنتاجية نقطة الفرز ورفع عدد المركبات المخدومة بصورة ملحوظة.
- فقد ارتفع عدد السيارات المخدومة بنسبة تقارب ٢٦,٧٪، بينما ارتفع عدد الحافلات المخدومة بنسبة ١١,٣٪.
- كما انخفض متوسط انتظار السيارات من نحو ٣٩ دقيقة إلى أقل من ١٠ دقائق، مع انخفاض مماثل في أطوال الطوابير تجاوز ٧٥٪.

ورغم التحسن الملحوظ في أداء الحافلات، إلا أن نتائج الدراسة أوضحت استمرار ارتفاع مؤشرات الانتظار والطوابير مقارنة بالسيارات، مما يشير إلى أن مشكلة الحافلات ترتبط أيضا بعدد مسارات الخدمة وليس بزمان المعالجة فقط.

٣- تأثير زيادة عدد مسارات السيارات

- أظهرت الدراسة أن زيادة عدد مسارات خدمة السيارات تعد من أكثر الحلول فاعلية لتحسين الأداء التشغيلي عند ارتفاع الطلب.
- فقد أدى رفع عدد المسارات من أربع إلى خمس إلى تحسين كبير في جميع مؤشرات الأداء، حيث انخفض متوسط زمن انتظار السيارات بنسبة تقارب ٧٧٪، كما انخفض متوسط طول الطابور بصورة كبيرة.
- أما تشغيل ست مسارات فقد وفر مستوى خدمة مرتفعا جدا، حيث انخفض متوسط زمن الانتظار إلى نحو ١,٥ دقيقة فقط، مع اختفاء معظم الطوابير، إلا أن الدراسة أوضحت أن العائد التشغيلي للمسار السادس كان أقل من العائد المتحقق عند إضافة المسار الخامس، مما يشير إلى ظاهرة تناقص العائد مع زيادة السعة التشغيلية.

٤- تأثير إنشاء نقطة معالجة مسبقة للحافلات

أثبت هذا السيناريو أنه الأكثر فاعلية بين جميع البدائل التي تمت دراستها.

- فقد أدى إنشاء نقطة معالجة مسبقة للحافلات إلى مضاعفة عدد الحافلات المخدومة تقريبا، حيث ارتفع العدد من ٤٤٢ إلى ٨٩٨ حافلة بنسبة تجاوزت ١٠٠٪.
- كما انخفض متوسط زمن الانتظار من ٥٦,٤٥ دقيقة إلى ١,٥٧ دقيقة فقط، بنسبة تحسن بلغت نحو ٩٧٪، في حين انخفض متوسط طول الطابور من ٧٥ حافلة إلى أقل من ٤ حافلات، مع اختفاء معظم حالات التكدس.
- وتوضح هذه النتائج أن نقل جزء من إجراءات الفرز إلى نقطة جانبية قبل الوصول إلى نقطة الفرز الرئيسية يسهم بصورة مباشرة في تخفيف العبء التشغيلي ورفع الطاقة الاستيعابية وتحسين انسيابية الحركة.

رابعا: الاستنتاجات الرئيسية

- أكدت الدراسة أن أداء نقطة فرز النوارية يتأثر بصورة مباشرة بعدد مسارات الخدمة وكفاءة إجراءات المعالجة، وأن النظام الحالي يواجه تحديات تشغيلية تتمثل في ارتفاع أزمان الانتظار وتراكم الطوابير، ولا سيما في مسارات الحافلات خلال فترات الذروة.

- كما أظهرت نتائج المحاكاة أن جميع البدائل المقترحة أسهمت في تحسين الأداء التشغيلي بدرجات متفاوتة، إلا أن أثرها اختلف تبعاً لطبيعة الاختناق التشغيلي. فقد كان تقليل زمن المعالجة وزيادة عدد مسارات السيارات فعالين في تحسين أداء حركة السيارات، في حين حقق تطبيق المعالجة المسبقة للحافلات أعلى مستويات التحسن من خلال مضاعفة الطاقة التشغيلية وتقليل أزمدة الانتظار والطوابير إلى مستويات شبه معدومة.
- وتؤكد الدراسة كذلك أهمية استخدام النمذجة والمحاكاة كأداة داعمة لاتخاذ القرار، لما توفره من إمكانية تقييم البدائل التشغيلية والهندسية بصورة كمية قبل تنفيذها ميدانياً، بما يقلل المخاطر ويرفع كفاءة التخطيط التشغيلي.

خامساً: التوصيات

استناداً إلى نتائج الدراسة، يوصى بما يلي:

- إعطاء أولوية لتطبيق نقطة معالجة مسبقة للحافلات، باعتبارها البديل الأكثر تأثيراً في تحسين الأداء التشغيلي ورفع الطاقة الاستيعابية.
- إعادة توزيع إجراءات الفرز بما يضمن تنفيذ أكبر قدر ممكن من عمليات التحقق خارج نقطة الفرز الرئيسية، بما يقلل زمن الخدمة عند المسارات الرئيسية.
- مراجعة إجراءات الفرز الحالية والعمل على تبسيطها وتقليل زمن المعالجة دون الإخلال بالمتطلبات الأمنية والتنظيمية.
- دراسة زيادة عدد مسارات خدمة السيارات، خاصة عند استمرار ارتفاع الطلب أو خلال فترات الذروة الموسمية.
- تطوير آليات إدارة الطوابير والتدفقات المرورية لتحقيق الاستخدام الأمثل لمسارات الخدمة وتقليل التكدسات.
- الاستمرار في استخدام تقنيات النمذجة والمحاكاة لتقييم أي تعديلات تشغيلية أو هندسية مستقبلية قبل تنفيذها، مع تحديث النموذج بصورة دورية وربطه بالبيانات التشغيلية الفعلية لضمان دقة التنبؤات.
- إنشاء منظومة متابعة مؤشرات الأداء الرئيسية، تشمل أزمدة الانتظار، وأطوال الطوابير، ومعدلات الخدمة، والتدفقات المرورية، بما يدعم التحسين المستمر للأداء التشغيلي.



@Hajj_uqu



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



hajj@uqu.edu.sa

