

## التقرير النهائي

# 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



## قائمة المحتويات

|    |                                                                                 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|
| ٦  | المُلخَص                                                                        |
| ٧  | Abstract                                                                        |
| ٨  | ١. المقدمة                                                                      |
| ٩  | ٢. مشكلة الدراسة                                                                |
| ١٠ | ٣. أهداف الدراسة                                                                |
| ١٠ | ٤. أهمية الدراسة                                                                |
| ١٠ | ٥. حدود الدراسة وقيودها                                                         |
| ١١ | ٦. المنهجية المستخدمة بالدراسة                                                  |
| ١٢ | ٧. تصميم نموذج المحاكاة                                                         |
| ١٥ | ٨. دراسة مقترحات التحسين باستخدام النمذجة المحاكاة                              |
| ١٥ | ٨-١. مقترحات التحسين                                                            |
| ١٧ | ٨-٢. تقييم فعالية مقترحات التحسين                                               |
| ١٨ | ٩. ملخص نتائج السيناريوهات المحاكاة                                             |
| ١٨ | ٩-١. نتائج محاكاة الوضع التشغيلي الحالي في نقطة فرز النوارية                    |
| ٢١ | ٩-٢. نتائج محاكاة اختبار تغيير زمن المعالجة للسيارات والحافلات                  |
| ٢٣ | ٩-٢. نتائج محاكاة زيادة عدد مسارات السيارات                                     |
| ٢٧ | ٩-٣. نتائج محاكاة استخدام نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات على أداء نقطة الفرز |
| ٣١ | ١٠. الخلاصة                                                                     |
| ٣٢ | ١١. التوصيات                                                                    |
| ٣٤ | ١٢. المراجع:                                                                    |

## قائمة الأشكال

- شكل ١ : صورة توضيحية لمخططات العمليات بالنموذج ..... ١٤
- شكل ٢ : تمثيل بصري ثلاثي الأبعاد يوضح النموذج ..... ١٤
- شكل ٣ : منطقة التحسين في المقترح الاول ..... ١٦
- شكل ٤ : منطقة التحسين في المقترح الثاني بتطبيق محطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات ..... ١٦
- شكل ٥ : التوزيع الإحصائي لأزمنة الانتظار في كل مسار من مسارات السيارات ..... ٢٠
- شكل ٦ : التوزيع الإحصائي لأزمنة الانتظار في مسارات الحافلات ..... ٢٠
- شكل ٧ : تطور أطوال طوابير انتظار السيارات والحافلات بالمسارات خلال مدة المحاكاة ..... ٢١
- شكل ٨ : خريطة حرارية توضح طوابير الانتظار لكلا من السيارات والحافلات ..... ٢١
- شكل ٩ : خريطة حرارية توضح طوابير الانتظار لكلا من السيارات والحافلات: (أ) ٤ مسارات للسيارات، (ب) ٥ مسارات للسيارات، و(ج) ٦ مسارات للسيارات ..... ٢٤
- شكل ١٠ : خريطة حرارية توضح طوابير الانتظار لكلا من السيارات والحافلات: (أ) الوضع العادي (بدون نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات)، و(ب) بوجود نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات ..... ٢٨

## قائمة الجداول

- جدول ١ : المعاملات التشغيلية للوضع الحالي لنقطة فرز. .... ١٨
- جدول ٢ : ملخص نتائج تشغيل مسارات السيارات. .... ١٩
- جدول ٣ : ملخص نتائج تشغيل مسارات الحافلات. .... ١٩
- جدول ٤ : نتائج سيناريوهات تشغيلية لنقطة فرز السيارات والحافلات مع ثبات عدد المسارات وتغيير أزمته  
المعالجة فقط. .... ٢١
- جدول ٥ : نتائج سيناريوهات تشغيلية لنقطة فرز السيارات والحافلات مع ثبات جميع المتغيرات وتغيير عدد  
مسارات السيارات فقط. .... ٢٤
- جدول ٦ : نتائج سيناريوهات تشغيلية لنقطة فرز السيارات والحافلات في حالة استخدام نقطة معالجة  
مسبقة جانبية للحافلات. .... ٢٨

## الملخص

تعد نقاط الفرز والتفتيش والمرافق التشغيلية المرتبطة باستقبال مركبات الحجاج والمعتمرين بمدينة مكة المكرمة من العناصر الأساسية في منظومة النقل وإدارة الحشود، نظرا لما تمثله من نقاط تحكم رئيسية تؤثر بصورة مباشرة على انسيابية الحركة وكفاءة التشغيل ومستوى الخدمة المقدمة لضيوف الرحمن. ومع تزايد أعداد المستفيدين خلال مواسم الذروة، تبرز الحاجة إلى تطوير أساليب علمية لتقييم الأداء التشغيلي واختبار البدائل التحسينية بما يضمن رفع الطاقة الاستيعابية وتقليل أزمدة الانتظار والحد من التكدسات.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الأداء التشغيلي الحالي لنقطة فرز النوارية وتحليل أثر مجموعة من المقترحات الهندسية والتشغيلية الرامية إلى تحسين كفاءة التشغيل. ولتحقيق ذلك، تم توظيف تقنيات النمذجة والمحاكاة الحاسوبية لتطوير نموذج محاكاة يمثل الواقع التشغيلي للنقطة، ويأخذ في الاعتبار معدلات وصول المركبات والحافلات، وعدد مسارات الخدمة، وأزمدة المعالجة والتفتيش، بما يتيح دراسة سلوك النظام تحت ظروف تشغيلية مختلفة وقياس مؤشرات الأداء الرئيسية بصورة كمية وموضوعية.

وشملت الدراسة تحليل الوضع التشغيلي الحالي وتقييم عدد من سيناريوهات التحسين، من أبرزها زيادة عدد مسارات خدمة السيارات، وتحسين إجراءات التفتيش والمعالجة، وتطبيق نظام المعالجة المسبقة للحافلات. وقد تم تقييم هذه البدائل باستخدام مؤشرات الأداء الرئيسية، مثل عدد المركبات المخدومة، وأزمدة الانتظار، وأطوال الطوابير، ومستوى انسيابية الحركة.

وأظهرت نتائج المحاكاة وجود فرص واعدة لتحسين الأداء التشغيلي، حيث أسهمت زيادة عدد المسارات وتحسين إجراءات المعالجة في رفع الطاقة الاستيعابية وتقليل أزمدة الانتظار والتكدسات. كما تبين أن تطبيق المعالجة المسبقة للحافلات يعد من أكثر البدائل فعالية، إذ أسهم في تقليص أطوال طوابير الحافلات عند نقطة الفرز بنسبة تجاوزت ٩٥٪، مما أدى إلى تحسين استغلال المساحات التشغيلية والحد من التكدسات في منطقة الفرز، وانعكس ذلك في تحسن ملحوظ في كفاءة التشغيل وانسيابية الحركة.

وتؤكد الدراسة أهمية استخدام النمذجة والمحاكاة كأداة لدعم اتخاذ القرار وتقييم البدائل التشغيلية والهندسية قبل تنفيذها ميدانيا. كما تقدم نتائج وتوصيات تسهم في تطوير الخطط التشغيلية المستقبلية لنقطة فرز النوارية ورفع كفاءة التشغيل خلال فترات الذروة.

## Abstract

Vehicle and bus inspection checkpoints serving pilgrims and Umrah visitors in Makkah are critical components of the transportation and crowd management system, as they directly influence traffic flow, operational efficiency, and service quality. With increasing travel demand during peak seasons, there is a growing need for scientific approaches to evaluate operational performance and assess improvement alternatives that can enhance capacity, reduce waiting times, and mitigate congestion.

This study evaluates the current operational performance of the Al-Nawariyah Checkpoint and assesses the impact of selected engineering and operational improvements using a computer simulation model. The model represents the checkpoint's operational environment, including vehicle and bus arrivals, service lanes, and inspection processing times. Several improvement scenarios were analyzed, including increasing vehicle inspection lanes, improving inspection procedures, and implementing a bus pre-processing facility. Their effectiveness was evaluated by using key performance indicators such as throughput, waiting times, queue lengths, and traffic flow efficiency.

The simulation results showed considerable potential for improving system performance. Increasing service capacity and improving processing efficiency reduced waiting times and queue lengths, while the bus pre-processing facility achieved the most significant improvements in throughput and operational efficiency.

The findings demonstrate the effectiveness of simulation modeling as a decision-support tool for evaluating operational and engineering alternatives before implementation and provide practical recommendations for enhancing checkpoint performance during peak demand periods.

## ١. المقدمة

تعد إدارة حركة دخول المركبات والحافلات إلى مدينة مكة المكرمة خلال مواسم العمرة والحج من المهام التشغيلية الحيوية التي تتطلب تنسيقاً عالياً بين الجهات الأمنية والمرورية والتشغيلية، وذلك لضمان انسيابية الحركة والمحافظة على أمن وسلامة ضيوف الرحمن. وتكتسب هذه المهمة أهمية خاصة خلال فترات الذروة التي تشهد تدفقات كبيرة من الحجاج والمعتمرين، الأمر الذي يستلزم تطبيق إجراءات تنظيمية فعالة لضبط حركة الدخول والتحقق من استيفاء المتطلبات النظامية.

تعد نقطة فرز النوارية إحدى نقاط التحكم الرئيسية على مداخل مكة المكرمة، حيث تضطلع بتنظيم حركة المركبات والحافلات والتحقق من التصاريح النظامية دعماً للخطط الأمنية والمرورية. وتزداد أهمية النقطة خلال موسمي رمضان والحج نظراً لدورها في تنظيم دخول المعتمرين والحجاج والعاملين المصريح لهم، بما يساهم في إدارة الحشود والمحافظة على انسيابية الحركة داخل مكة المكرمة.

وتمثل نقطة الفرز جزءاً أساسياً من المنظومة التشغيلية لنقل ضيوف الرحمن، إذ تتولى استقبال الحافلات وإنهاء الإجراءات اللازمة قبل السماح لها بالعبور. وتعتمد كفاءة تشغيلها على عدة عوامل، أبرزها تخطيط المسارات، وعدد نقاط الخدمة، وآليات المعالجة والتفتيش، ومستويات الطلب، وكفاءة إدارة الطوابير والتدفقات المرورية. ويؤدي أي قصور في هذه العناصر إلى زيادة أزمات الانتظار وظهور الاختناقات والتكدسات التشغيلية.

وقد تناولت العديد من الدراسات تخطيط النقل وإدارة الحركة المرورية خلال الأحداث الكبرى [١-٤]، كما بحثت دراسات أخرى موضوع حجز المركبات وإدارة نقاط الفرز على مداخل مكة المكرمة [٥-٧]، وفي هذا السياق، يمكن أن يساهم توظيف التقنيات الحديثة، ولا سيما أساليب النمذجة والمحاكاة [٨-٩]، في رفع الكفاءة التشغيلية لنقاط الفرز والتفتيش بالمداخل الرئيسية لمكة المكرمة. إذ تتيح هذه الأساليب تحليل أداء الأنظمة التشغيلية، ودراسة العوامل المؤثرة في كفاءتها، وتحديد مواطن الاختناق والقصور، بالإضافة إلى تقييم البدائل التشغيلية والهندسية المقترحة قبل تطبيقها ميدانياً، بما يدعم اتخاذ القرارات الرامية إلى تحسين الأداء ورفع مستوى الخدمة.

وانطلاقاً من ذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نموذج محاكاة لنقطة فرز النوارية وتحليل أدائها التشغيلي في ظل ظروف الطلب المتوقعة، إضافة إلى تقييم مجموعة من المقترحات الهندسية والتشغيلية الهادفة إلى تحسين مستوى الخدمة ورفع الطاقة الاستيعابية. كما تسعى الدراسة إلى قياس أثر هذه المقترحات على مؤشرات الأداء الرئيسية، مثل أعداد المركبات والحافلات المخدمية، وأزمنة الانتظار، وأطوال الطوابير، ومستويات انسيابية الحركة، بما يساهم في دعم متخذي القرار وتوفير أساس علمي لتطوير الخطط التشغيلية المستقبلية وتعزيز كفاءة منظومة استقبال ضيوف الرحمن في مكة المكرمة.

## ٢. مشكلة الدراسة

تتمثل مشكلة الدراسة في الحاجة إلى تقييم وتحسين كفاءة التشغيل بنقطة فرز النوارية بمكة المكرمة، التي تعد إحدى نقاط التحكم الرئيسية لاستقبال وتنظيم حركة المركبات الناقلة لضيوف الرحمن قبل دخولهم إلى العاصمة المقدسة. ومع تزايد أعداد المركبات خلال مواسم الذروة، ولا سيما في رمضان والحج، تواجه هذه النقاط تحديات تشغيلية تتمثل في ارتفاع أحجام الطلب وتباين معدلات الوصول، مما قد يؤدي إلى زيادة أزمنة الانتظار وتكون الطوابير والتكدسات المرورية، وانخفاض مستوى الخدمة المقدم للمستفيدين.

كما أن كفاءة أداء نقطة الفرز تتأثر بعدد من العوامل التشغيلية والهندسية، من أبرزها تخطيط المسارات، وعدد نقاط الخدمة، وآليات التفريش والمعالجة، وتوزيع الموارد التشغيلية، وآليات إدارة التدفقات المرورية. وقد يؤدي عدم مواءمة هذه العناصر مع حجم الطلب الفعلي إلى ظهور اختناقات تشغيلية تؤثر سلباً على انسيابية الحركة والطاقة الاستيعابية للنقطة، وما يترتب على ذلك من آثار على كفاءة منظومة نقل ضيوف الرحمن بشكل عام.

وفي ظل صعوبة اختبار البدائل التشغيلية والهندسية في بيئة العمل الفعلية وما قد يترتب على ذلك من مخاطر أو تأثيرات تشغيلية، تبرز الحاجة إلى استخدام أساليب النمذجة والمحاكاة لدراسة أداء نقطة الفرز وتحليل سلوك التدفقات المرورية داخلها، وتحديد مواطن الاختناق والتكدس، وتقييم أثر البدائل المقترحة قبل تطبيقها ميدانياً.

### ٣. أهداف الدراسة

- تقييم الأداء التشغيلي الحالي لنقطة فرز النوارية من خلال قياس مؤشرات الأداء الرئيسة، مثل أزمدة الانتظار، وأطوال الطوابير.
- تحديد مواقع الاختناقات والتكدسات التشغيلية والعوامل المؤثرة في كفاءة التشغيل باستخدام نموذج محاكاة يعكس الواقع التشغيلي للنقطة.
- قياس أثر زيادة عدد مسارات الخدمة على أزمدة الانتظار، وأطوال الطوابير، والطاقة الاستيعابية للنقطة.
- تقييم فعالية تطبيق المعالجة المسبقة للحافلات في تقليل التكدسات وتحسين انسيابية الحركة ورفع كفاءة التشغيل.
- مقارنة البدائل الهندسية والتشغيلية المقترحة وتحديد البديل الأكثر كفاءة في تحسين الأداء التشغيلي لنقطة الفرز.

### ٤. أهمية الدراسة

- ينعكس التخطيط الجيد والتشغيل بكفاءة بمحطات استقبال الحافلات بصورة مباشرة على انسيابية وأمن وصول ضيوف الرحمن لمكة المكرمة، كما يكفل لضيوف الرحمن سرعة الوصول إلى الحرم المكي بكل يسر وسهولة.
- تعمل الدراسة على توظيف التقنيات في تحسين جودة خدمات النقل وإدارة الحشود، وبالتالي رفع مستوى جودة الخدمات المقدمة لضيوف الرحمن. ويأتي ذلك تماشياً مع أهداف برنامج خدمة ضيوف الرحمن ويساعد على تحقيق مستهدفات رؤية المملكة ٢٠٣٠.
- تقديم الخدمة بكفاءة يعمل على رفع مستوى رضا ضيوف الرحمن على الخدمات المقدمة لهم.

### ٥. حدود الدراسة وقيودها

تقتصر هذه الدراسة على بحث طرق رفع كفاءة التشغيل بنقطة فرز النوارية. وتشمل حدود الدراسة:

- حدود مكانية: نقطة فرز النوارية، مكة المكرمة.
- حدود زمانية: خلال مواسم العمرة والحج.

أما قيود الدراسة، فقد تتمثل في قلة أو عدم توفر البيانات والتفاصيل اللازمة عن تصميم وتشغيل النقطة.

## ٦. المنهجية المستخدمة بالدراسة

تركز الدراسة على طرق تخطيط وتشغيل نقطة فرز السيارات والحافلات الخاصة بضيوف الرحمن المتجهين لمكة خلال مواسم رمضان والحج. يتم تحقيق ذلك من خلال صياغة وتطوير نماذج لنقطة فرز النوارية، بمكة المكرمة، وتحويل تلك النماذج لبرامج المحاكاة، بالإضافة إلى التحقق من صحة النموذج ومن أن نموذج المحاكاة يعمل على النحو المنشود.

تصميم نموذج المحاكاة يتضمن عدة خطوات أساسية تهدف إلى إنشاء محاكاة دقيقة وفعالة لنظام العمل بنقطة الفرز. وفيما يلي الخطوات الرئيسية لتصميم النموذج:

- تحديد الهدف والمقاييس:
  - تحديد الأهداف الأساسية للمحاكاة مثل تحسين تدفق حركة المركبات والحافلات وتقليل الازدحام.
  - اختيار المقاييس المناسبة لتقييم أداء النظام مثل وقت الانتظار، إلخ.
- تحليل النظام:
  - دراسة النظام الحالي وفهم كيفية عمله، بما في ذلك تحديد المدخلات (مثل عدد الحافلات، سرعة السير) والمخرجات (مثل وقت الانتظار، الكثافة المرورية).
- تحديد المتغيرات والمعاملات المؤثرة:
  - اختيار المدخلات والمتغيرات التي تؤثر في سلوك النظام مثل أعداد الحافلات، عدد المسارات.
- برمجة النموذج:
  - استخدام البرمجيات المناسبة لتحويل النموذج إلى برنامج محاكاة.
  - تضمين مختلف العمليات مثل تحديد أوقات الوصول، معالجة الحافلات، وتوجيه الحافلات إلى المسارات المتاحة.
- التحقق والمعايرة

- تم التحقق من صحة نموذج المحاكاة ومعايرته من خلال مقارنة نتائجه بالبيانات والتقارير الميدانية المقدمة من الجهات المشغلة، والاستفادة من مخرجات ورش العمل والملاحظات التشغيلية، بما يضمن تمثيل النموذج للواقع التشغيلي بدرجة مناسبة من الدقة.
  - إجراء التجارب والمحاكاة:
  - تشغيل النموذج تحت مختلف السيناريوهات والظروف، مثل زيادة عدد الحافلات أو تقليل سعة المركز.
  - جمع البيانات وتحليل النتائج لتحديد مدى كفاءة النظام.
  - تحليل النتائج:
  - تقييم أداء النظام بناء على المقاييس المحددة، مثل وقت الانتظار أو مستوى التكديس.
  - مقارنة النتائج مع الأهداف المراد تحقيقها وتحديد أية تحسينات أو تعديلات قد تكون ضرورية.
- من خلال هذه الخطوات، يمكن تصميم نموذج محاكاة فعال يساعد في تحسين وتطوير العمليات بنقطة الفرز، وضمان سيرها بشكل انسيابي وآمن.
- لتصميم النموذج، ورسم المخطط بالنموذج، وأيضا لمعرفة كيفية سير العمل، يتم زيارة نقطة الفرز. كما يتم الاستعانة بالجهات المعنية للحصول على البيانات اللازمة لاختيار تصميم المحاكاة التجريبي المناسب واجرائه، يشمل ذلك اختيار مقاييس الأداء، وعدد من المدخلات والمتغيرات التي من المحتمل أن تؤثر عليه، وتحديد طول مدى تنفيذ المحاكاة، الخ.

## ٧. تصميم نموذج المحاكاة

تتمثل الخطوة التالية في إنشاء النموذج من خلال تطوير المخططات الخاصة بنظام العمل في نقطة الفرز، ويشمل ذلك تحديد السمات الأساسية للنظام وبرمجة عملياته لتوصيف وظائفه. في النموذج المطور، أمثلة للمعاملات المؤثرة في سلوك النظام تشمل العناصر التالية:

- معدل قدوم العربات والحافلات
- عدد المسارات
- سرعة المركبات

- أبعاد المركبات
- زمن المعالجة للمركبة

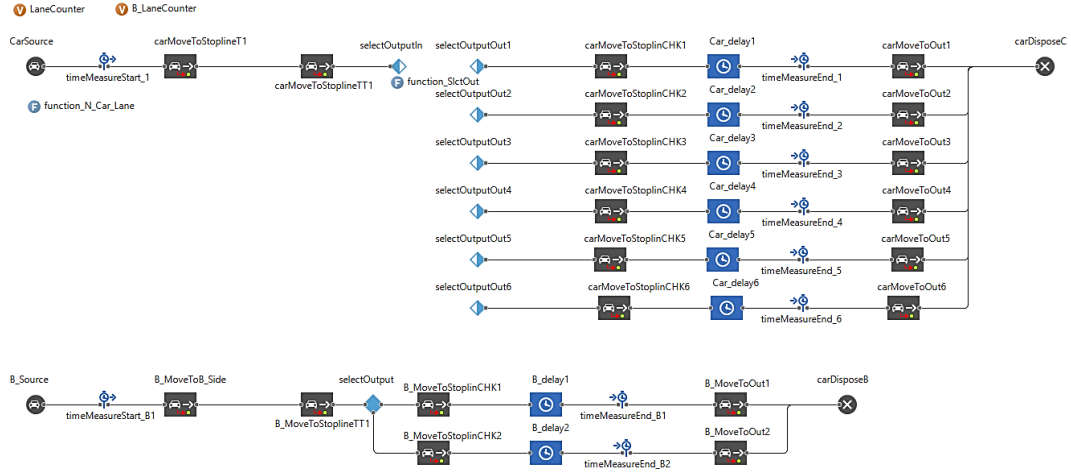
يتم قياس تأثيرات تغيير معاملات النظام باستخدام العديد من مؤشرات الأداء الرئيسية. أمثلة لتلك المؤشرات تشمل التالي:

- مؤشرات زمنية: (١) زمن الانتظار، وهو يمثل متوسط الزمن الذي تقضيه المركبات في الطوابير قبل بدء تقديم الخدمة، (٢) زمن الخدمة، وهو يشير إلى الزمن اللازم لإنهاء إجراءات التفتيش أو المعالجة لكل مركبة.
- مؤشرات التدفق والسعة: (١) معدل التدفق، ويقاس بعدد المركبات التي يتم التعامل معها خلال فترة زمنية محددة، ويستخدم لتقييم الطاقة الاستيعابية للنقطة، (٢) معدل الوصول، ويقاس بعدد المركبات الواصلة إلى النقطة خلال فترة زمنية معينة، ويستخدم لفهم الضغط التشغيلي على النظام.
- مؤشرات الازدحام: (١) متوسط وعدد المركبات المنتظرة في نقاط الخدمة، وتستخدم لتقييم مستوى الازدحام.

تم الاعتماد في هذه الدراسة على برنامج AnyLogic لتطوير نموذج المحاكاة، نظرا لما يتمتع به من قدرات متقدمة كمنصة متكاملة لنمذجة الأنظمة المعقدة. إذ يوفر البرنامج بيئة نمذجة متعددة المنهجيات (Multi-method Modeling Environment)، تتيح دمج عدة تقنيات في إطار واحد، تشمل نمذجة العمليات (Process Modeling)، وديناميكيات الأنظمة (System Dynamics)، ونمذجة الوكلاء (Agent-Based Modeling)، وهو ما يعزز من دقة تمثيل الأنظمة الواقعية متعددة الأبعاد.

ويتميز البرنامج بواجهة رسومية تفاعلية تسهل بناء النماذج وتحليلها، إضافة إلى احتوائه على مكتبات جاهزة (Libraries) تدعم مجموعة واسعة من التطبيقات، ومن أبرزها مكتبة محاكاة حركة المرور (Road Traffic Library)، التي تتيح تمثيل سلوك المركبات وتدفقات الحركة بشكل واقعي ودقيق. وبناء على ذلك، يعد البرنامج خيارا مناسباً لتطبيقه في هذه الدراسة، نظرا لقدرته على تمثيل الأنظمة الحركية المعقدة وتحليل سيناريوهات التشغيل المختلفة.

يوضح شكل ١ الهيكل العام للعمليات ضمن نموذج المحاكاة، حيث يعرض تسلسل الأنشطة والعلاقات بينها، بينما يبين شكل ٢ تمثيلا بصريا ثلاثي الأبعاد للنموذج.



شكل ١ : صورة توضيحية لمخططات العمليات بالنموذج



شكل ٢ : تمثيل بصري ثلاثي الأبعاد يوضح النموذج.

## ٨. دراسة مقترحات التحسين باستخدام النمذجة المحاكاة

الخطوة التالية تتضمن دراسة مقترحات التحسين باستخدام أساليب المحاكاة، حيث يتم عرض المقترحات الهندسية الهادفة إلى تحسين كفاءة التشغيل وزيادة انسيابية الحركة. ويتبع ذلك تقييم مدى فعالية هذه المقترحات من خلال تقنيات النمذجة والمحاكاة.

### ٨-١. مقترحات التحسين

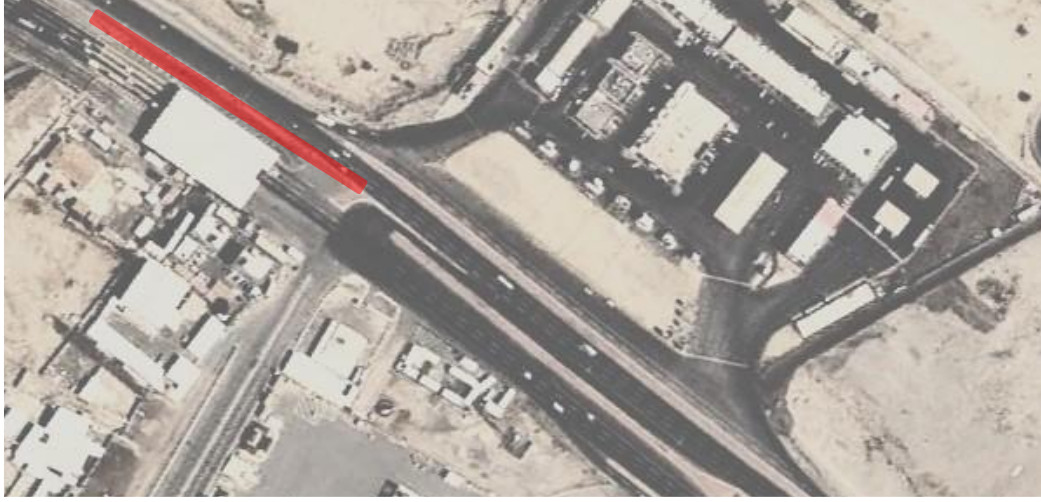
يتم تحليل وتقييم مقترحات التحسين باستخدام تقنيات المحاكاة، وذلك من خلال اختبار مجموعة من السيناريوهات الهندسية المقترحة التي تهدف إلى رفع كفاءة التشغيل وتعزيز انسيابية الحركة. يتيح هذا النهج تقييم الأثر المتوقع لكل مقترح قبل تطبيقه ميدانياً، مما يدعم اتخاذ القرار المبني على الأدلة.

وقد تم حصر هذه المقترحات استناداً إلى مخرجات ورش العمل والاجتماعات الفنية واللجان المتخصصة التي شارك فيها المعهد، حيث شملت مجموعة من الحلول التشغيلية والهندسية المصممة لمعالجة التحديات القائمة وتحسين الأداء.

**المقترح الأول:** إعادة تطوير المنطقة المحيطة بالنقطة، بما يشمل تحسين المسارات الحالية وإضافة مسارات جديدة؛ لرفع كفاءة الحركة وانسيابية دخول الحافلات. ويتضمن المقترح ما يلي:

- إعادة تنظيم المنطقة المميزة باللون الأحمر بإضافة مسار أو مسارين إضافيين للمتجهين إلى مكة، وذلك بالاستفادة من حرم الطريق، كما يوضح شكل ٣.

يسهم هذا المقترح في تقليل زمن الانتظار، وتحسين انسيابية الحركة.



شكل ٣ : منطقة التحسين في المقترح الاول.

**المقترح الثاني:** إعادة تنظيم المنطقة المؤدية إلى نقطة الفرز وتطبيق محطة معالجة مسبقة للحافلات. يتضمن هذا المقترح إعادة تنظيم مسارات الحركة المؤدية إلى نقطة الفرز، وإنشاء محطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات، كما يوضح شكل ٤، يتم من خلالها تنفيذ جزء من إجراءات التفتيش والمعالجة قبل الوصول إلى نقطة الفرز الرئيسية. ويسمح ذلك بمرور الحافلات عبر نقطة الفرز الحالية بإجراءات مبسطة وسريعة، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على كفاءة التشغيل ويحد من أزمّة انتظار وتكدسات الحافلات.



شكل ٤ : منطقة التحسين في المقترح الثاني بتطبيق محطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات.

## ٨-٢. تقييم فعالية مقترحات التحسين

يتم تقييم مدى فعالية مقترحات التحسين من خلال توظيف تقنيات النمذجة والمحاكاة، حيث تهدف هذه المرحلة إلى إجراء تقييم منهجي شامل لقياس الأثر التشغيلي للمقترحات. ويعتمد هذا التقييم على استخدام المحاكاة كأداة تحليلية تتيح اختبار السيناريوهات المختلفة ضمن بيئة افتراضية تمثل الواقع التشغيلي بدقة عالية، مما يساهم في استشراف الأداء المتوقع قبل التطبيق الفعلي.

وتكمن أهمية هذه المرحلة في دعم عملية اتخاذ القرار من خلال توفير مؤشرات دقيقة حول جدوى كل مقترح، وتقليل المخاطر المرتبطة بتطبيق الحلول غير المدروسة ميدانياً.

٨-٢-١. منهجية التقييم:

تم اعتماد منهجية تقييم قائمة على المقارنة المرجعية بين حالتين رئيسيتين:

١. الوضع الحالي: ويمثل الحالة التشغيلية القائمة لنقطة فرز النوارية، كما تم رصدها وتحليلها ميدانياً، ويستخدم هذا السيناريو كنقطة مرجعية لقياس مدى التحسن.

٢. سيناريوهات التحسين المقترحة: وتشمل مجموعة المقترحات الهندسية والتشغيلية التي تم اقتراحها لمعالجة التحديات الحالية، حيث يتم تمثيل كل مقترح على حدة داخل نموذج المحاكاة، بالإضافة إلى دراسة بعض السيناريوهات المركبة التي تجمع بين أكثر من مقترح لتحقيق أقصى كفاءة ممكنة.

٨-٢-٢. آلية تطبيق منهجية التقييم:

يتم تنفيذ عملية التقييم على النحو التالي:

١. استخدام نموذج المحاكاة الأساسي، حيث يحاكي الوضع الحالي، اعتماداً على البيانات التشغيلية الفعلية، بما يشمل معدلات الوصول، وأزمنة الخدمة، وأنماط الحركة داخل النقطة.

٢. تمثيل سيناريوهات التحسين: يتم إدخال كل مقترح تحسين بشكل مستقل داخل نموذج المحاكاة.

٣. تشغيل النموذج تحت ظروف تشغيل واقعية: يتم تشغيل نموذج المحاكاة لفترات زمنية تماثل ظروف التشغيل الفعلية، مع التركيز على أوقات الذروة، فترات الكثافة العالية، والسيناريوهات الحرجة للتشغيل، وذلك لضمان تمثيل دقيق لسلوك النظام تحت الضغوط التشغيلية.

٤. جمع وتحليل مؤشرات الأداء: يتم استخراج مجموعة من مؤشرات الأداء الرئيسية لكل سيناريو، ومقارنتها مع الوضع الحالي لتحديد مستوى التحسن.

## ٩. ملخص نتائج السيناريوهات المحاكاة

### ٩-١. نتائج محاكاة الوضع التشغيلي الحالي في نقطة فرز النوارية

تم تطوير نموذج محاكاة للوضع التشغيلي الحالي لنقطة فرز السيارات والحافلات بهدف تقييم كفاءة التشغيل تحت مستويات الطلب المتوقعة، وقد تم افتراض المعاملات التشغيلية الموضحة في جدول ١.

جدول ١ : المعاملات التشغيلية للوضع الحالي لنقطة فرز.

| المعامل             | القيمة         |
|---------------------|----------------|
| عدد مسارات السيارات | ٤              |
| عدد مسارات الحافلات | ٢              |
| معدل وصول السيارات  | ٦٠٠ مركبة/ساعة |
| معدل وصول الحافلات  | ٣٠٠ حافلة/ساعة |
| زمن معالجة السيارة  | ١٠-٢٠ ثانية    |
| زمن معالجة الحافلة  | ٢٠-٤٠ ثانية    |
| مدة المحاكاة        | ٣ ساعات        |

#### • أولاً: نتائج تشغيل مسارات السيارات

يوضح جدول ٢ ملخص نتائج تشغيل مسارات السيارات، وتظهر نتائج المحاكاة عبور ١,٣٢٦ سيارة خلال فترة التشغيل البالغة ثلاث ساعات، كما سجلت السيارات متوسط زمن انتظار بلغ ٣٨,٨٨ دقيقة، بينما وصل الحد الأقصى لزمن الانتظار إلى ٦٠,٨٢ دقيقة.

أما فيما يتعلق بالطوابير، فقد بلغ متوسط طول طابور انتظار السيارات ٩٥,٦٨ سيارة، في حين وصل الحد الأقصى للطابور إلى ١٤٣ سيارة خلال فترة المحاكاة.

جدول ٢ : ملخص نتائج تشغيل مسارات السيارات.

| مؤشر الأداء                 | القيمة      |
|-----------------------------|-------------|
| عدد السيارات التي تم خدمتها | ١٣٢٦ سيارة  |
| متوسط زمن الانتظار          | ٣٨,٨٨ دقيقة |
| أقصى زمن انتظار             | ٦٠,٨٢ دقيقة |
| متوسط طول الطابور           | ٩٥,٦٨ سيارة |
| أقصى طول للطابور            | ١٤٣ سيارة   |

● ثانيا: نتائج تشغيل مسارات الحافلات

يوضح جدول ٣ ملخص نتائج تشغيل مسارات الحافلات، وتظهر النتائج عبور ٤٤٢ حافلة خلال فترة المحاكاة، وبلغ متوسط زمن انتظار الحافلات ٥٦,٤٥ دقيقة، بينما وصل الحد الأقصى إلى ٦٣,٨٨ دقيقة. كما سجلت طوابير الحافلات متوسط طول بلغ ٧٥ حافلة، مع وصولها إلى حد أقصى قدره ٧٧ حافلة.

جدول ٣ : ملخص نتائج تشغيل مسارات الحافلات.

| مؤشر الأداء                 | القيمة      |
|-----------------------------|-------------|
| عدد الحافلات التي تم خدمتها | ٤٤٢ حافلة   |
| متوسط زمن الانتظار          | ٥٦,٤٥ دقيقة |
| أقصى زمن انتظار             | ٦٣,٨٨ دقيقة |
| متوسط طول الطابور           | ٧٥ حافلة    |
| أقصى طول للطابور            | ٧٧ حافلة    |

● ثالثا: تحليل النتائج

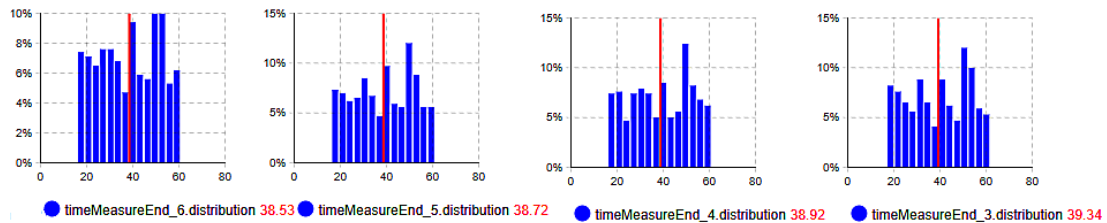
تعرض الأشكال ٥ و ٦ التوزيع الإحصائي لأزمنة الانتظار في مسارات السيارات والحافلات، بما يوفر مؤشرا على مستوى الخدمة والتباين في أوقات الانتظار بين المركبات. ويبين الشكل ٧ التغير الزمني في أطوال طوابير الانتظار لكلا النوعين من المركبات خلال فترة المحاكاة، في حين يقدم الشكل ٨ خريطة حرارية توضح أماكن

تركز الطوابير ومستويات الكثافة التشغيلية داخل منطقة الفرز، الأمر الذي يساعد في تحديد نقاط الاختناق وتقييم كفاءة توزيع الحركة.

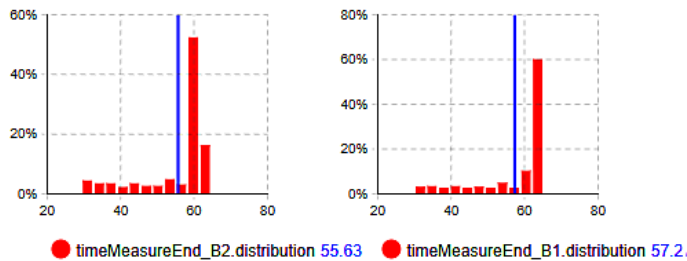
تشير النتائج إلى أن نقطة الفرز تعمل تحت ضغط تشغيلي مرتفع في ظل معدلات الوصول المفترضة، حيث نتج عن ذلك تشكل طوابير انتظار كبيرة وارتفاع ملحوظ في أزمدة الانتظار لكل من السيارات والحافلات.

وعلى الرغم من تخصيص ٤ مسارات للسيارات، فقد تجاوز متوسط طول الطابور ٩٥ سيارة، ووصل في بعض الفترات إلى ١٤٣ سيارة، مما يعكس ارتفاع الطلب مقارنة بالطاقة الاستيعابية المتاحة. كما أظهرت النتائج أن الحافلات واجهت ظروفًا تشغيلية أكثر تحديًا، إذ بلغ متوسط زمن الانتظار نحو ٥٦ دقيقة.

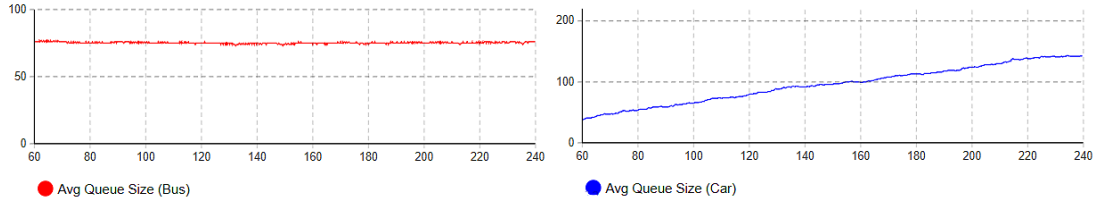
وتشير هذه المؤشرات إلى أن الطاقة التشغيلية الحالية للنقطة قد لا تكون كافية لاستيعاب أحجام الطلب المفترضة بكفاءة، الأمر الذي يستدعي دراسة بدائل تشغيلية إضافية، مثل زيادة عدد مسارات الفرز، أو تقليل زمن المعالجة، أو تطبيق إجراءات تشغيلية تسهم في رفع معدل الخدمة وتقليل أزمدة الانتظار والطوابير المتشكلة عند نقاط الفرز.



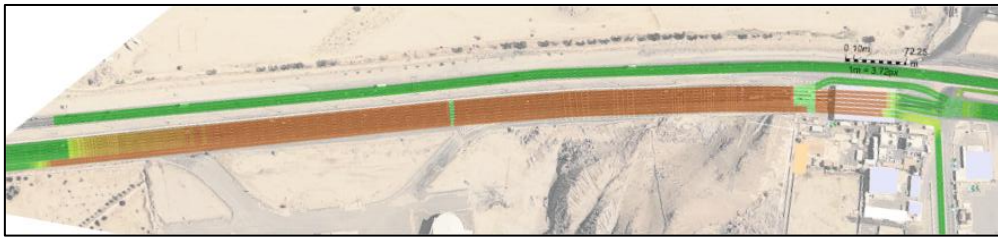
شكل ٥: التوزيع الإحصائي لأزمدة الانتظار في كل مسار من مسارات السيارات.



شكل ٦: التوزيع الإحصائي لأزمدة الانتظار في مسارات الحافلات.



شكل ٧: تطور أطوال طوابير انتظار السيارات والحافلات بالمسارات خلال مدة المحاكاة.



شكل ٨: خريطة حرارية توضح طوابير الانتظار لكلا من السيارات والحافلات.

## ٩-٢. نتائج محاكاة اختبار تغيير زمن المعالجة للسيارات والحافلات

يعرض جدول ٤ نتائج ثلاثة سيناريوهات تشغيلية لنقطة فرز السيارات والحافلات مع ثبات عدد المسارات (٤) مسارات للسيارات و٢ للحافلات)، وتغيير أزمدة المعالجة فقط.

جدول ٤ : نتائج سيناريوهات تشغيلية لنقطة فرز السيارات والحافلات مع ثبات عدد المسارات وتغيير أزمدة المعالجة فقط.

| المؤشر                          | زمن المعالجة:<br>للسيارة: ١٠-٢٠ ث<br>للحافلة ٢٠-٤٠ ث | زمن المعالجة:<br>للسيارة: ٧-١٧ ث<br>للحافلة ١٧-٣٧ ث | زمن المعالجة:<br>للسيارة: ٤-١٤ ث<br>للحافلة ١٤-٣٤ ث |
|---------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| مؤشرات تشغيل<br>مسارات السيارات | عدد السيارات التي تم خدمتها (سيارة)                  | ١٣٢٦                                                | ١٦٨٠ ↑                                              |
|                                 | متوسط زمن الانتظار (دقيقة)                           | ٣٨,٨٨                                               | ٩,٣٥ ↓                                              |
|                                 | أقصى زمن انتظار (دقيقة)                              | ٦٠,٨٢                                               | ١٩,٠٧ ↓                                             |
|                                 | متوسط طول الطابور                                    | ٩٥,٦٨                                               | ٢٣,١ ↓                                              |
|                                 | أقصى طول للطابور                                     | ١٤٣                                                 | ٤٤ ↓                                                |
| مؤشرات تشغيل<br>مسارات الحافلات | عدد الحافلات التي تم خدمتها (حافلة)                  | ٤٤٢                                                 | ٤٩٢ ↑                                               |
|                                 | متوسط زمن الانتظار (دقيقة)                           | ٥٦,٤٥                                               | ٤٣,٧٤ ↓                                             |
|                                 | أقصى زمن انتظار (دقيقة)                              | ٦٣,٨٨                                               | ٥٦,٦٨ ↓                                             |
|                                 | متوسط طول الطابور (حافلة)                            | ٧٥                                                  | ٦٨,١٤ ↓                                             |
|                                 | أقصى طول للطابور (حافلة)                             | ٧٧                                                  | ٧٤ ↓                                                |

ويمكن استخلاص عدد من الملاحظات المهمة كما يلي:

- أولاً: أثر زمن المعالجة على إنتاجية النظام
    - تظهر النتائج وجود علاقة عكسية واضحة بين زمن المعالجة وعدد المركبات التي يتم خدمتها خلال فترة التشغيل.
    - عند تقليل زمن المعالجة من (١٠-٢٠ ثانية) إلى (٤-١٤ ثانية):
      - ارتفع عدد السيارات المخدومة من ١٣٢٦ إلى ١٦٨٠ سيارة بزيادة بلغت ٣٥٤ سيارة (+) ٢٦,٧٪.
      - ارتفع عدد الحافلات المخدومة من ٤٤٢ إلى ٤٩٢ حافلة بزيادة بلغت ٥٠ حافلة (+) ١١,٣٪.
- وتشير هذه النتائج إلى أن تقليل زمن الفرز يترجم مباشرة إلى زيادة القدرة التشغيلية لنقطة الفرز ورفع معدل الخدمة.

- ثانياً: أثر زمن المعالجة على زمن الانتظار
  - السيارات: انخفض متوسط زمن انتظار السيارات من ٣٨,٨٨ دقيقة إلى ٩,٣٥ دقيقة، أي بتحسين يقارب ٧٦٪، كما انخفض أقصى زمن انتظار من ٦٠,٨٢ دقيقة إلى ١٩,٠٧ دقيقة، وهو تحسن كبير يعكس اختفاء معظم حالات التكدس الطويلة.
  - الحافلات: رغم أن التحسن في الحافلات كان أقل من السيارات، إلا أن متوسط الانتظار انخفض بنحو ٢٥,٥٪، من ٥٦,٤٥ دقيقة إلى ٤٣,٧٤ دقيقة. ويعكس ذلك أن مسارات الحافلات ما زالت تعمل بالقرب من حدود طاقتها الاستيعابية حتى بعد تحسين زمن الخدمة.

- ثالثاً: أثر زمن المعالجة على أطوال الطوابير
  - طوابير السيارات: انخفض متوسط طول طابور السيارات من ٩٥,٦٨ سيارة إلى ٢٣,١ سيارة، أي انخفاض يقارب ٧٦٪، كما انخفض أقصى طول للطابور من ١٤٣ سيارة إلى ٤٤ سيارة فقط، مما يشير إلى تحسن كبير في انسيابية الحركة وتقليل التكدسات.
  - طوابير الحافلات: في المقابل، لم تشهد طوابير الحافلات تحسناً مماثلاً، حيث بقي متوسط الطابور قريباً من ٧٥ حافلة في معظم السيناريوهات، مع انخفاض محدود فقط في السيناريو الثالث. وهذا

يشير إلى أن المشكلة الرئيسة للحافلات ليست زمن الخدمة فقط، بل ترتبط أيضا بمحدودية عدد مسارات الفرز المخصصة لها مقارنة بحجم الطلب.

- رابعاً: تقييم تأثير التحسينات على مؤشرات أداء السيارات والحافلات

تكشف النتائج أن السيارات استفادت بصورة أكبر من تقليل زمن المعالجة مقارنة بالحافلات، ويرجع ذلك إلى:

- وجود أربع مسارات خدمة للسيارات مقابل مسارين فقط للحافلات.
- ارتفاع معدل وصول الحافلات مقارنة بالطاقة الخدمية المتاحة.
- استمرار تشكل طوابير كبيرة للحافلات حتى مع تحسن زمن الفرز.

وعليه فإن تحسين إجراءات الفرز وحده قد يكون كافياً لتحسين أداء مسارات السيارات بصورة كبيرة، بينما قد تحتاج مسارات الحافلات إلى تدخلات إضافية مثل زيادة عدد المسارات أو تخصيص موارد تشغيلية إضافية.

- خامساً: الاستنتاجات الرئيسية

تشير النتائج إلى أن تقليل زمن المعالجة يمثل العامل الأكثر تأثيراً في تحسين أداء نقطة الفرز، حيث أدى إلى زيادة الإنتاجية وتقليل أ زمن الانتظار وأطوال الطوابير بشكل ملحوظ، خاصة بالنسبة للسيارات. ومع ذلك، فإن استمرار ارتفاع مؤشرات الانتظار والطوابير للحافلات حتى في أفضل السيناريوهات يدل على وجود اختناق هيكلي في مسارات الحافلات، الأمر الذي يستدعي دراسة زيادة عدد مسارات الفرز المخصصة للحافلات أو إعادة توزيع الطاقة التشغيلية بين أنواع المركبات لتحقيق توازن أفضل في الأداء.

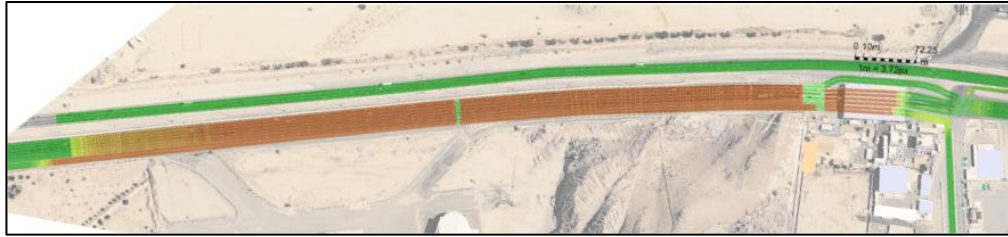
## ٩-٢. نتائج محاكاة زيادة عدد مسارات السيارات

تم في هذا السيناريو دراسة تأثير زيادة عدد مسارات فرز السيارات من ٤ مسارات إلى ٥ ثم ٦ مسارات، مع ثبات جميع المتغيرات الأخرى، بما في ذلك معدل وصول المركبات والحافلات وأ زمن المعالجة وعدد مسارات الحافلات. ويعرض جدول ٥ نتائج السيناريوهات التشغيلية لنقطة الفرز مع ثبات جميع المتغيرات وتغيير عدد مسارات السيارات فقط. كما يعرض شكل ٩ خريطة حرارية توضح طوابير الانتظار لكلاً من السيارات

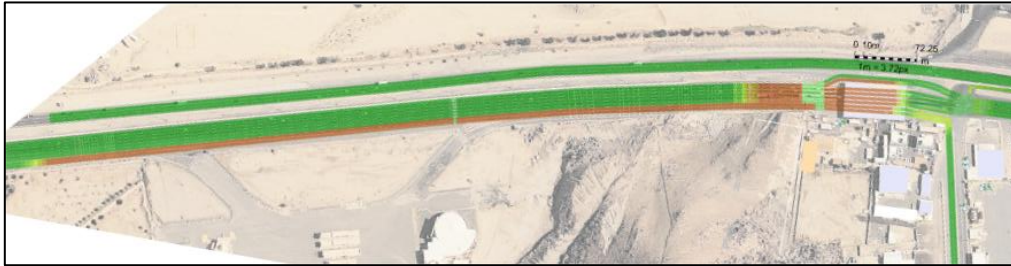
والحافلات في حالات تطبيق ٤، ٥، و٦ مسارات للسيارات.. الأمر الذي يساعد في تحديد نقاط الاختناق وتقييم كفاءة توزيع الحركة.

جدول ٥ : نتائج سيناريوهات تشغيلية لنقطة فرز السيارات والحافلات مع ثبات جميع المتغيرات وتغيير عدد مسارات السيارات فقط.

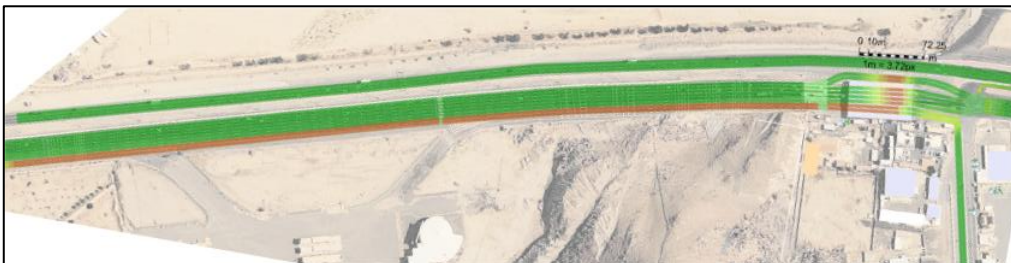
| عدد مسارات السيارات |        |       | المؤشر                              |                                 |
|---------------------|--------|-------|-------------------------------------|---------------------------------|
| ٦                   | ٥      | ٤     |                                     |                                 |
| ↑١٧٨٢               | ↑١٧٠٩  | ١٣٢٦  | عدد السيارات التي تم خدمتها (سيارة) | مؤشرات تشغيل<br>مسارات السيارات |
| ↓١,٥٤               | ↓٩,٠٦  | ٣٨,٨٨ | متوسط زمن الانتظار (دقيقة)          |                                 |
| ↓٢,٨٨               | ↓١٤,٩٥ | ٦٠,٨٢ | أقصى زمن انتظار (دقيقة)             |                                 |
| ↓١,٦٨               | ↓١٧,٢٣ | ٩٥,٦٨ | متوسط طول الطابور                   |                                 |
| ↓٤                  | ↓٢٨    | ١٤٣   | أقصى طول للطابور                    |                                 |



(أ)



(ب)



(ج)

شكل ٩: خريطة حرارية توضح طوابير الانتظار لكلا من السيارات والحافلات: (أ) ٤ مسارات للسيارات، (ب) ٥ مسارات للسيارات، و(ج) ٦ مسارات للسيارات.

وبصفة عامة، توضح النتائج وجود تحسن كبير في مؤشرات الأداء التشغيلية مع زيادة عدد المسارات المتاحة للسيارات.

● أولاً: تأثير عدد المسارات على عدد السيارات المخدومة

أظهرت النتائج أن زيادة عدد المسارات من ٤ إلى ٥ أدت إلى ارتفاع عدد السيارات التي تم خدمتها بمقدار ٣٨٣ سيارة، أي بنسبة تقارب ٢٨,٩٪. كما أدى رفع عدد المسارات إلى ٦ إلى زيادة إضافية بلغت ٧٣ سيارة مقارنة بسيارتي الخمسة مسارات.

وتشير هذه النتائج إلى أن النظام في حالة ٤ مسارات كان يعمل بالقرب من حدوده التشغيلية، وأن إضافة مسار خامس أسهم بشكل كبير في رفع الطاقة الاستيعابية وتقليل الاختناق.

● ثانياً: تأثير عدد المسارات على زمن الانتظار

يتضح أن زيادة عدد المسارات أحدثت تحسناً جذرياً في أزمدة الانتظار:

- انخفض متوسط زمن الانتظار من ٣٨,٨٨ دقيقة إلى ٩,٠٦ دقيقة عند إضافة المسار الخامس، أي بنسبة تحسن تقارب ٧٧٪.
- ومع إضافة المسار السادس انخفض المتوسط إلى ١,٥٤ دقيقة فقط، أي انخفاض إجمالي يقارب ٩٦٪ مقارنة بالحالة الأساسية.
- كما انخفض أقصى زمن انتظار من أكثر من ساعة تقريباً إلى أقل من ٣ دقائق عند تشغيل ٦ مسارات، وهو مؤشر على اختفاء التكدسات الكبيرة وتحسن مستوى الخدمة بصورة ملحوظة.

● ثالثاً: تأثير عدد المسارات على أطوال الطوابير

تظهر النتائج أن زيادة عدد المسارات انعكست مباشرة على تقليل أطوال الطوابير:

- انخفض متوسط الطابور من ٩٥,٦٨ سيارة إلى ١٧,٢٣ سيارة عند تشغيل ٥ مسارات.
- ومع تشغيل ٦ مسارات انخفض المتوسط إلى أقل من سيارتين فقط.
- كما انخفض أقصى طول للطابور من ١٤٣ سيارة إلى ٤ سيارات فقط، وهو ما يشير إلى اختفاء حالات التراكم الكبيرة وتحقيق تدفق شبه مستمر للمركبات.

• رابعا: التحليل التشغيلي

تشير النتائج إلى أن المسار الخامس يمثل نقطة تحول رئيسية في أداء النظام، حيث أدى إلى تحسن كبير في جميع المؤشرات التشغيلية. أما إضافة المسار السادس فقد استمرت في تحسين الأداء، ولكن بمعدل أقل من التحسن الناتج عن إضافة المسار الخامس، وهو ما يعكس ظاهرة تناقص العائد التشغيلي.

فعلى سبيل المثال:

- إضافة المسار الخامس خفض متوسط الانتظار بحوالي ٣٠ دقيقة.
- بينما أدى المسار السادس إلى خفض إضافي قدره نحو ٧,٥ دقائق.
- وبالمثل، فإن أكبر مكاسب الطاقة الاستيعابية تحققت عند الانتقال من ٤ إلى ٥ مسارات، بينما كانت الزيادة الإضافية عند الانتقال إلى ٦ مسارات أكثر محدودة.

• خامسا: الاستنتاجات الرئيسية

- أربع مسارات غير كافية لاستيعاب حجم الطلب المفترض، حيث نتج عنها طوابير طويلة وأزمنة انتظار مرتفعة.
- إضافة مسار خامس تحقق تحسنا كبيرا في جميع مؤشرات الأداء، وترفع القدرة الاستيعابية للنقطة بصورة ملحوظة.
- تشغيل ٦ مسارات يوفر مستوى خدمة مرتفعا جدا، حيث تنخفض أزمنة الانتظار إلى مستويات شبه معدومة وتختفي معظم الطوابير.
- من منظور الكفاءة التشغيلية، يبدو أن ٥ مسارات تمثل حلا فعالا لمعالجة معظم الاختناقات، بينما يوفر المسار السادس مستوى إضافيا من المرونة التشغيلية والاحتياط الاستيعابي، وهو ما قد يكون مهما خلال فترات الذروة الاستثنائية أو عند حدوث تقلبات مفاجئة في معدلات الوصول.
- تؤكد النتائج أن زيادة عدد مسارات الفرز تعد من أكثر البدائل فعالية لتحسين أداء النظام عندما يكون قريبا من حدوده الاستيعابية، إذ تسهم بشكل مباشر في رفع مستوى الخدمة وتقليل الازدحام وأزمنة الانتظار.

### ٩-٣. نتائج محاكاة استخدام نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات على أداء نقطة الفرز

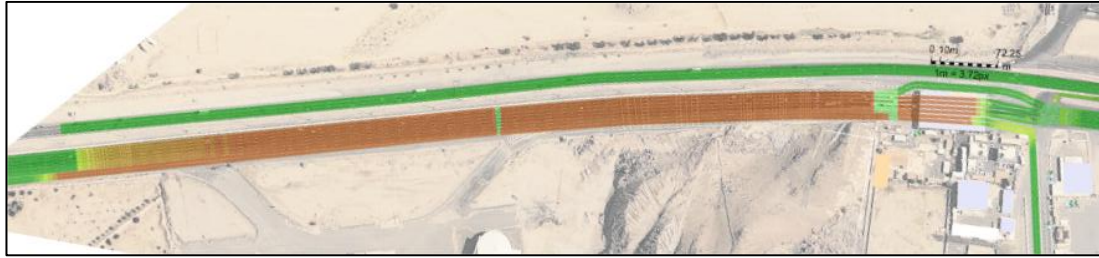
في سيناريو المعالجة المسبقة للحافلات، تم افتراض نقل جزء من إجراءات التحقق والتفتيش من نقطة الفرز الرئيسية إلى موقع سابق لها، بحيث تصل الحافلات إلى نقطة الفرز بعد استكمال المتطلبات الأولية. وبناء على ذلك، تم تقليل زمن المعالجة عند نقطة الفرز الرئيسية بما يتناسب مع حجم الإجراءات المنقولة، مع الإبقاء على إجراءات التحقق النهائية اللازمة قبل السماح بالعبور. وقد تم تمثيل ذلك في نموذج المحاكاة من خلال تخفيض زمن الخدمة للحافلات عند نقطة الفرز الرئيسية، مع افتراض عدم تغير معدلات الوصول أو خصائص التدفقات المرورية مقارنة بالوضع الحالي، وذلك بهدف قياس الأثر التشغيلي الناتج عن إعادة توزيع إجراءات المعالجة فقط.

ولتقييم فعالية هذا الإجراء، تمت مقارنة أداء نظام فرز الحافلات بين حالتين تشغيليتين: الأولى تمثل الوضع الحالي دون وجود نقطة معالجة مسبقة، والثانية تمثل تطبيق نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات. وأظهرت نتائج المحاكاة تحسناً ملحوظاً في مؤشرات الأداء التشغيلية، حيث أسهمت المعالجة المسبقة في تقليل أزمات الانتظار وأطوال الطوابير، وتحسين انسيابية الحركة واستغلال المساحات التشغيلية، مما انعكس إيجاباً على كفاءة التشغيل والطاقة الاستيعابية للنظام.

ويعرض جدول ٦ نتائج السيناريوهات التشغيلية لنقطة الفرز في حالة استخدام نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات. كما يعرض شكل ١٠ خريطة حرارية توضح طوابير الانتظار للحافلات في حالة الوضع العادي (بدون نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات)، وفي حالة وجود نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات.

جدول ٦ : نتائج سيناريوهات تشغيلية لنقطة فرز السيارات والحافلات في حالة استخدام نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات.

| المؤشر                              | الوضع العادي (بدون نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات) | بنقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|
| عدد الحافلات التي تم خدمتها (حافلة) | ٤٤٢                                                   | ٨٩٨ ↑                              |
| متوسط زمن الانتظار (دقيقة)          | ٥٦,٤٥                                                 | ١,٥٧ ↓                             |
| أقصى زمن انتظار (دقيقة)             | ٦٣,٨٨                                                 | ٢,٨٨ ↓                             |
| متوسط طول الطابور (حافلة)           | ٧٥                                                    | ٣,٦٥ ↓                             |
| أقصى طول للطابور (حافلة)            | ٧٧                                                    | ٨ ↓                                |



(أ)



(ب)

شكل ١٠: خريطة حرارية توضح طوابير الانتظار لكلا من السيارات والحافلات: (أ) الوضع العادي (بدون نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات)، و (ب) بوجود نقطة معالجة مسبقة جانبية للحافلات.

#### • أولاً: تأثير المعالجة المسبقة على عدد الحافلات المخدومة

أظهرت النتائج أن إنشاء نقطة معالجة مسبقة أدى إلى زيادة عدد الحافلات التي تم خدمتها من ٤٤٢ حافلة إلى ٨٩٨ حافلة خلال فترة المحاكاة، أي بزيادة قدرها ٤٥٦ حافلة، ما يمثل تحسناً بنسبة ١٠٣,٢٪.

ويشير ذلك إلى أن الطاقة التشغيلية للنظام تضاعفت تقريبا نتيجة تخفيف العبء عن نقطة الفرز الرئيسية وتقليل زمن الخدمة الفعلي عندها.

• ثانيا: تأثير المعالجة المسبقة على زمن الانتظار

تشير النتائج إلى انخفاض استثنائي في أزمدة الانتظار بعد تطبيق المعالجة المسبقة:

- انخفض متوسط زمن الانتظار من ٥٦,٤٥ دقيقة إلى ١,٥٧ دقيقة فقط.
- بلغت نسبة التحسن نحو ٩٧,٢٪.
- كما انخفض أقصى زمن انتظار من ٦٣,٨٨ دقيقة إلى ٢,٨٨ دقيقة، أي بنسبة انخفاض تقارب ٩٥,٥٪.

وتدل هذه النتائج على أن الحافلات أصبحت تعبر نقطة الفرز الرئيسية بصورة شبه فورية، مع اختفاء معظم فترات التكدس والانتظار الطويل.

• ثالثا: تأثير المعالجة المسبقة على أطوال الطوابير

أدى تطبيق نقطة المعالجة المسبقة إلى انخفاض جذري في أطوال الطوابير:

- انخفض متوسط طول الطابور من ٧٥ حافلة إلى ٣,٦٥ حافلة فقط، أي بنسبة تحسن تقارب ٩٥,١٪.
- كما انخفض أقصى طول للطابور من ٧٧ حافلة إلى ٨ حافلات فقط، بانخفاض يقارب ٨٩,٦٪.

ويعكس ذلك تحسنا كبيرا في انسيابية الحركة وتقليص المساحات المطلوبة لتكدس الحافلات وانتظارها قبل الفرز.

• رابعا: التحليل التشغيلي

توضح النتائج أن الاختناق التشغيلي الرئيسي لم يكن مرتبطا بعدد المسارات فقط، وإنما كان ناتجا بصورة أساسية عن زمن المعالجة المرتفع عند نقطة الفرز الرئيسية. وقد أسهمت نقطة المعالجة المسبقة في نقل

جزء من إجراءات الفرز إلى موقع جانبي، مما خفف العبء التشغيلي على نقطة الخدمة الرئيسية ورفع قدرتها الاستيعابية بشكل كبير.

كما تشير النتائج إلى أن إنشاء نقطة معالجة مسبقة حقق أثراً أكبر بكثير من معظم التحسينات التشغيلية التقليدية، حيث أدى في الوقت نفسه إلى:

- مضاعفة عدد الحافلات المخدمة.
- تقليل أزمان الانتظار إلى مستويات شبه معدومة.
- القضاء على الطوابير الطويلة.
- تحسين انسيابية حركة الحافلات عند مداخل النقطة ومخارجها.
- رفع موثوقية التشغيل وتقليل احتمالية تشكل الاختناقات خلال فترات الذروة.

● خامساً: الاستنتاجات الرئيسية

- تعد نقطة المعالجة المسبقة من أكثر الحلول التشغيلية فعالية لتحسين أداء مسارات الحافلات ضمن السيناريوهات المدروسة.
- أسهمت المعالجة المسبقة في مضاعفة الطاقة التشغيلية للنظام تقريبا، حيث ارتفع عدد الحافلات المخدمة بأكثر من ١٠٠٪ مقارنة بالوضع الحالي.
- انخفض متوسط زمن انتظار الحافلات من نحو ٥٦ دقيقة إلى أقل من دقيقتين، وهو تحسن استثنائي ينعكس مباشرة على جودة الخدمة وكفاءة التشغيل.
- أدى تقليص أطوال الطوابير بنسبة تجاوزت ٩٥٪ إلى تحسين استغلال المساحات التشغيلية وتقليل التكدسات في منطقة الفرز.
- توصي النتائج بدراسة تطبيق مفهوم المعالجة المسبقة للحافلات كأحد البدائل التشغيلية الرئيسية لرفع كفاءة محطات الفرز ذات الأحجام المرورية المرتفعة، خاصة في الفترات الموسمية التي تشهد تدفقات كبيرة للحافلات.

## ١٠. الخلاصة

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة التشغيل الحالية لنقطة فرز السيارات والحافلات بالنوارية وتحليل أثر عدد من البدائل التشغيلية والهندسية المقترحة على أداء النظام، وذلك بالاعتماد على منهجية النمذجة والمحاكاة الحاسوبية باعتبارها أداة فعالة لدراسة الأنظمة التشغيلية المعقدة واختبار البدائل المختلفة قبل تطبيقها ميدانياً.

وقد تم تطوير نموذج محاكاة يمثل الوضع التشغيلي الحالي لنقطة الفرز، استناداً إلى البيانات التشغيلية ومعدلات الطلب وأزمنة المعالجة المعتمدة. وأتاح النموذج دراسة سلوك النظام وتقييم مؤشرات الأداء الرئيسية، بما في ذلك أعداد المركبات والحافلات المخدومة، وأزمنة الانتظار، وأطوال الطوابير، ومستويات الانسيابية التشغيلية.

وأظهرت نتائج المحاكاة أن الوضع التشغيلي الحالي يواجه تحديات مرتبطة بارتفاع أزمنة الانتظار وتراكم الطوابير، خاصة في مسارات الحافلات خلال فترات الطلب المرتفع، الأمر الذي يؤثر على كفاءة التشغيل ومستوى الخدمة. كما بينت النتائج أن الطاقة الاستيعابية للنظام ترتبط بشكل مباشر بعدد مسارات الخدمة وكفاءة إجراءات المعالجة والفرز.

كما أثبتت السيناريوهات المقترحة وجود فرص كبيرة لتحسين الأداء التشغيلي للنظام، حيث أسهمت زيادة عدد مسارات السيارات في رفع القدرة الاستيعابية وتقليل أزمنة الانتظار وأطوال الطوابير بصورة ملحوظة. كذلك أظهرت النتائج أن تحسين إجراءات المعالجة وتقليل زمن الخدمة يؤدي إلى تعزيز إنتاجية النظام وتحسين انسيابية الحركة. أما تطبيق مفهوم المعالجة المسبقة للحافلات فقد حقق أعلى مستويات التحسن بين البدائل التي تمت دراستها، من خلال تقليل الاختناقات التشغيلية ورفع كفاءة استيعاب الحافلات بشكل كبير.

وتؤكد نتائج الدراسة أهمية الاعتماد على منهجية النمذجة والمحاكاة في دعم اتخاذ القرار وتقييم البدائل التشغيلية والهندسية قبل تنفيذها على أرض الواقع، لما توفره من قدرة على قياس الآثار المتوقعة للتغييرات المقترحة بصورة كمية وموضوعية. كما تبرز أهمية تبني حلول متكاملة تجمع بين تطوير البنية التشغيلية وتحسين إجراءات العمل من أجل تحقيق مستويات أعلى من الكفاءة التشغيلية والانسيابية وجودة الخدمة.

وتشكل مخرجات هذه الدراسة أساساً علمياً يمكن الاستناد إليه في تطوير الخطط التشغيلية المستقبلية لنقطة فرز النوارية، بما يسهم في تعزيز جاهزية المنظومة التشغيلية، وتحسين استيعاب الطلب المتوقع، ودعم الجهود الرامية إلى الارتقاء بمستوى الخدمات المقدمة لضيوف الرحمن.

## ١١. التوصيات

في ضوء نتائج الدراسة ومخرجات نماذج المحاكاة التي تم تطويرها لتقييم الأداء التشغيلي لنقطة فرز النوارية، توصي الدراسة بما يلي:

### • أولاً: التوصيات التشغيلية

- دراسة تطبيق نظام المعالجة المسبقة للحافلات، قبل وصولها إلى نقطة الفرز الرئيسية، نظراً لما أظهرته نتائج المحاكاة من أثر إيجابي كبير في رفع الطاقة الاستيعابية وتقليل أزمات الانتظار وأطوال الطوابير وتحسين انسيابية الحركة.
- إعادة توزيع إجراءات الفرز والمعالجة بين المرافق المختلفة، بما يضمن تنفيذ أكبر قدر ممكن من الإجراءات خارج منطقة الاختناق الرئيسية، وتقليل زمن الخدمة عند نقاط الفرز الأساسية.
- مراجعة إجراءات الفرز الحالية وتبسيطها قدر الإمكان، بهدف تقليل زمن المعالجة لكل مركبة أو حافلة دون التأثير على المتطلبات الأمنية والتنظيمية.
- تطوير آليات إدارة الطوابير والتدفقات المرورية، بما يضمن الاستخدام الأمثل لمسارات الخدمة وتقليل التفاوت في مستويات الإشغال بين المسارات المختلفة.
- تطبيق خطط تشغيل مرنة خلال فترات الذروة، تسمح برفع الطاقة التشغيلية والاستجابة السريعة للتغيرات في معدلات الطلب.

### • ثانياً: التوصيات الهندسية

- دراسة زيادة عدد مسارات خدمة السيارات، في حال استمرار أو ارتفاع مستويات الطلب المستقبلية، حيث بينت نتائج المحاكاة الأثر الإيجابي المباشر لذلك على تقليل أزمات الانتظار وأطوال الطوابير.
- إجراء مراجعة هندسية لمناطق الاقتراب والاصطفاف بنقطة فرز النوارية بهدف تحسين توزيع المركبات قبل نقاط المعالجة، وتقليل التكدسات وأزمات الانتظار خلال فترات الذروة.

- توفير مساحات كافية لاصطفاف المركبات والحافلات قبل نقاط الخدمة، بما يحد من امتداد الطوابير إلى المناطق المحيطة ويقلل من تأثيرها على الحركة المرورية الخارجية.
- دراسة تخصيص مسارات تشغيلية مرنة للحافلات خلال المواسم وأوقات الذروة، بما يساهم في تحسين كفاءة استيعاب التدفقات المرتفعة.
- ثالثاً: التوصيات المتعلقة بالمتابعة والتقييم
  - الاستمرار في استخدام تقنيات النمذجة والمحاكاة، كأداة داعمة لاتخاذ القرار عند دراسة أي تعديلات تشغيلية أو هندسية مستقبلية قبل تطبيقها ميدانياً.
  - تحديث نموذج المحاكاة بصورة دورية، وإدخال البيانات التشغيلية الفعلية لضمان المحافظة على دقة التنبؤات وموثوقية نتائج التقييم.
  - إنشاء منظومة لمتابعة مؤشرات الأداء الرئيسية، تشمل أزمدة الانتظار وأطوال الطوابير ومعدلات الخدمة والتدفقات المرورية، بما يتيح قياس الأداء الفعلي بصورة مستمرة وتحديد فرص التحسين.
  - إجراء دراسات إضافية لسيناريوهات الذروة الاستثنائية، التي تشهد ارتفاعاً كبيراً في الطلب، بهدف تقييم جاهزية النظام وقدرته على التعامل مع الأحجام المرورية المستقبلية المتوقعة.
- التوصية الرئيسية
  - تشير نتائج الدراسة إلى أن تطبيق مفهوم "المعالجة المسبقة للحافلات" يمثل البديل الأكثر تأثيراً في تحسين أداء نقطة فرز النوارية ضمن السيناريوهات التي تمت دراستها، إذ حقق أعلى معدلات التحسن في الطاقة الاستيعابية وأزمدة الانتظار وأطوال الطوابير. وعليه، توصي الدراسة بإعطاء هذا المقترح أولوية عند دراسة خطط التطوير المستقبلية، مع الاستفادة من نتائج المحاكاة في تحديد المتطلبات التشغيلية والهندسية اللازمة لتنفيذه بكفاءة.

## ١٢. المراجع:

- [١] B. S. Taha and A. Allan, "Hosting Mega Event - Drive towards Sustainable Planning for Public Transport - Case Study: Metro Line Route 2020," Transportation Research Procedia, vol. 48, pp. 2176–2186, 2020.
- [٢] X. Kong, M. Li, T. Tang, K. Tian, L. Moreira-Matias, and F. Xia, "Shared Subway Shuttle Bus Route Planning Based on Transport Data Analytics," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 15, no. 4, pp. 1507–1520, Oct. 2018.
- [٣] Z. Sun, K. Zhou, X. Yang, X. Peng, and R. Song, "Optimization Method of Customized Shuttle Bus Lines under Random Condition," Algorithms, vol. 14, no. 2, p. 52, Feb. 2021.
- [٤] O. Hussain, E. Felemban, and F. U. Rehman, "Optimization of the Mashaer Shuttle-Bus Service in Hajj: Arafat-Muzdalifah Case Study," Information, vol. 12, no. 12, p. 496, Nov. 2021.
- [٥] دراسة الوضع المروري عند نقاط الفرز على مداخل مكة المكرمة خلال موسمي رمضان والحج، دراسات معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة، موسم حج ١٤٣٣هـ (٢٠١٢).
- [٦] تأثير قصر منع دخول السيارات الصغيرة على أيام الثامن والتاسع والعاشر من ذي الحجة، دراسات معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة، موسم حج ١٤١٤هـ (١٩٩٤).
- [٧] دراسة جدوى حجز السيارات خارج منطقة الحرم بمكة المكرمة: رمضان ١٤١١هـ، دراسات معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة، موسم حج ١٤١١هـ (١٩٩١).
- [٨] نظام نمذجة ومحاكاة للنقل الترددي للحجاج بالمشاعر المقدسة، دراسات معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة، موسم حج ١٤٤٠هـ (٢٠١٩).
- [٩] دراسة حركة المركبات في نقاط فرز المعتمرين والحجاج بمداخل العاصمة المقدسة: نمذجة ومحاكاة لنقطة حجز السيارات بطريق جدة مكة السريع (الشميسي) كدراسة حالة، دراسات معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة، موسم حج ١٤٤٦هـ (٢٠٢٤).



@Hajj\_uqu



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



[hajj@uqu.edu.sa](mailto:hajj@uqu.edu.sa)

