استخدام الخوارزمية الجينية فى تصميم نظام التحكم في إشارات المرورلتحسين تدفق الحركة المرورية داخل مدينة طرابلس

زينب عمر محمد
ZAYNAB OMAR MOHMMED,

ليلى علي أحمد الحكنون
LAILA ALI AHMED

قسم الحاسوب - كلية التربية - جامعة طرابلس - طرابلس - ليبيا
Za.othman@uot.edu.ly

الملخص

يهدف هذا البحث إلى تطوير نظام ذكي لإشارات المرور يعتمد على تحليل الكثافة المرورية باستخدام مجموعة من الحساسات، بهدف تعزيز انسيابية حركة السير والحد من الازدحام. يستند النظام إلى المتحكم الدقيق (Arduino Mega)، ويستخدم خوارزمية جينية لضبط توقيت الإشارات الضوئية وفقًا للبيانات المستقبلة من الحساسات. كما يدعم النظام التعامل مع الحالات الطارئة مثل مرور سيارات الإسعاف والإطفاء، إضافةً إلى إمكانية رصد المخالفات عبر كاميرات المراقبة. وقد أظهرت النتائج أن هذا البحث يسهم بشكل فعّال في تقليل زمن الانتظار وتحسين كفاءة إدارة التقاطعات المرورية.

Abstract:

This research aims to develop an intelligent traffic signal system based on real-time traffic density analysis using a set of sensors, with the objective of enhancing traffic flow and reducing congestion. The proposed system is built on a microcontroller platform (Arduino Mega) and employs a genetic algorithm to optimize traffic signal timing according to data collected from the sensors.

In addition, the system is designed to handle emergency situations by providing priority to emergency vehicles such as ambulances and fire trucks. It also incorporates surveillance capabilities through the use of monitoring cameras to detect traffic violations.

The experimental results demonstrate that the proposed system effectively reduces vehicle waiting time and significantly improves the efficiency of traffic intersection management, making it a promising solution for modern intelligent transportation systems.

استلام الورقة: 16-02-2026 - قبول الورقة: 24-02-2026 - نشر الورقة: 02-03-2026

الكلمات المفتاحية : : إشـــارة مرور ذكية، الكثافة المرورية، الخوارزمية الجينية، أردوينو ميجا، أنظمة النقل الذكية، تحســين تدفق المرور، الحساسات فوق الصوتية، إدارة المرور، أولوية المركبات الطارئة، التحكم في التقاطعات

Keywords : : Intelligent Traffic Signal, Traffic Density, Genetic Algorithm, Arduino Mega, Smart Transportation Systems, Traffic Flow Optimization, Ultrasonic Sensors, Traffic Management, Emergency Vehicle Priority, Intersection Control

مقدمة البحث :

في ظل التزايد المستمر في أعداد المركبات والتوسع العمراني المتسارع، أصبحت مشكلة الازدحام المروري من أبرز التحديات التي تواجه المدن الحديثة، لما لها من آثار سلبية على الزمن المستهلك في التنقل، والاقتصاد، والبيئة. ويُعد نظام التحكم في إشارات المرور من أهم الأدوات المستخدمة لتنظيم الحركة المرورية وتحسين كفاءتها، إلا أن الأنظمة التقليدية غالبًا ما تعتمد على جداول زمنية ثابتة أو استجابات محدودة، مما يقلل من قدرتها على التكيف مع التغيرات الديناميكية في تدفق المركبات، خاصة في المدن ذات الكثافة المرورية المرتفعة مثل مدينة طرابلس **Arora, H. (2009)**.

ومن هذا المنطلق، برزت الحاجة إلى توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي والخوارزميات المتقدمة لإيجاد حلول أكثر مرونة وكفاءة في إدارة الحركة المرورية. وتُعد الخوارزميات الجينية من أبرز هذه التقنيات، حيث تستند إلى مبادئ الانتقاء الطبيعي والتطور لإيجاد حلول شبه مثلى للمشكلات المعقدة، وقد أثبتت فعاليتها في تحسين الأنظمة التي تتسم بتعدد المتغيرات وصعوبة نمذجتها باستخدام الأساليب التقليدية**Mao, T., et al. (2019)** .

علاوة على ذلك، ومع تزايد الاهتمام بقضايا السلامة والأمن، والتطور الكبير في تقنيات المراقبة والأنظمة الذكية، مثل كاميرات المراقبة وشبكات الأمن اللاسلكية، ظهرت الحاجة إلى تطوير أنظمة مرورية أكثر ذكاءً تواكب هذا التقدم. وعلى الرغم من أن إشارات المرور تُعد من أهم وسائل السلامة على الطرق، إلا أنها لا تزال بحاجة إلى تطوير تقني يدمجها مع التقنيات الحديثة لتحقيق أعلى مستويات الكفاءة والسلامة **Benekohal, R. F. (2000)**.

وانطلاقًا من ذلك، يهدف هذا البحث إلى تصميم وتنفيذ نظام إشارة مرور ذكية يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي، من خلال استخدام المتحكم الدقيق (Arduino) ومجموعة من الحساسات لقياس الكثافة المرورية، بما يساهم في تحسين انسيابية الحركة وتقليل زمن الانتظار. كما يسعى النظام إلى دعم الحالات الطارئة، مثل إعطاء أولوية لمرور سيارات الإسعاف والطوارئ، والمساهمة في الحد من الاختناقات المرورية.

وتكمن أهمية هذا البحث في تقديم إطار علمي وتطبيقي يمكن أن يسهم في تطوير أنظمة النقل الذكية، ودعم صناع القرار في تبني حلول مبتكرة وفعالة لمعالجة مشكلات الازدحام المروري وتحسين جودة الحياة في المدن الحديثة.

مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في محدودية كفاءة أنظمة إشارات المرور التقليدية، والتي تعتمد غالبًا على توقيتات زمنية ثابتة لا تراعي التغيرات الديناميكية في كثافة المركبات. ويؤدي ذلك إلى زيادة زمن الانتظار عند التقاطعات، وارتفاع معدلات الازدحام المروري، خاصة خلال أوقات الذروة، مما ينعكس سلبًا على كفاءة شبكة النقل الحضري. كما تفتقر هذه الأنظمة إلى القدرة على الاستجابة الفورية للحالات الطارئة، مثل مرور سيارات الإسعاف والإطفاء، الأمر الذي قد يفاقم من المخاطر المرتبطة بالتأخير في الاستجابة. وعليه، تبرز الحاجة إلى تطوير نظام ذكي قادر على التكيف مع الظروف المرورية المتغيرة وتحسين إدارة التقاطعات بشكل أكثر كفاءة.

أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والتطبيقية، من أبرزها:

1. تصميم وتطوير نظام إشارة مرور ذكية يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي.
2. تحسين كفاءة إدارة التقاطعات المرورية من خلال التحكم الديناميكي في أزمنة الإشارات.
3. تقليل الازدحام المروري وزمن الانتظار للمركبات.
4. تحسين انسيابية حركة المرور داخل المناطق الحضرية.
5. استخدام الحساسات أو الكاميرات لقياس الكثافة المرورية بشكل دقيق وفوري.
6. دعم أولوية المرور للمركبات الطارئة مثل سيارات الإسعاف والدفاع المدني.

7. بناء نموذج تطبيقي باستخدام المتحكمات الدقيقة (مثل Arduino) لمحاكاة النظام المقترح.
8. تقييم أداء النظام المقترح ومقارنته بالأنظمة التقليدية من حيث الكفاءة والاستجابة.

أهمية البحث:

تنبع أهمية هذا البحث من كونه يعالج إحدى أبرز المشكلات التي تواجه المدن الحديثة، والمتمثلة في الازدحام المروري، وذلك من خلال تقديم حل ذكي يعتمد على التقنيات الحديثة. ويمكن تلخيص أهمية البحث فيما يلي:

المساهمة في تحسين جودة الحياة من خلال تقليل زمن التنقل والازدحام.

تقليل استهلاك الوقود والانبعاثات الضارة، مما ينعكس إيجابيًا على البيئة.

تعزيز مستوى السلامة المرورية والتقليل من احتمالية وقوع الحوادث.

دعم توجه المدن نحو تبني أنظمة النقل الذكية (Smart Transportation Systems).

تقديم نموذج عملي قابل للتطبيق والتطوير في مدينة طرابلس ومدن أخرى مشابهة.

مساعدة صناع القرار في اتخاذ خطوات مدروسة نحو تطوير البنية التحتية المرورية باستخدام حلول مبتكرة.

أسئلة البحث:

يسعى هذا البحث للإجابة عن مجموعة من التساؤلات الرئيسية، من أهمها:

ما مدى كفاءة أنظمة إشارات المرور التقليدية في التعامل مع الكثافة المرورية المتغيرة؟

كيف يمكن لتقنيات الذكاء الاصطناعي تحسين أداء إشارات المرور في التقاطعات؟

ما مدى فعالية استخدام الحساسات أو الكاميرات في قياس الكثافة المرورية بشكل دقيق؟

هل يسهم النظام المقترح في تقليل زمن الانتظار والازدحام المروري؟

إلى أي مدى يمكن للنظام الذكي دعم مرور المركبات الطارئة بكفاءة أعلى؟

ما الفرق في الأداء بين النظام التقليدي والنظام المقترح من حيث الانسيابية والاستجابة؟

فرضيات البحث:

يعتمد البحث على اختبار مجموعة من الفرضيات، أبرزها:

توجد علاقة ذات دلالة بين استخدام الأنظمة الذكية وتقليل الازدحام المروري.

النظام المقترح أكثر كفاءة من النظام التقليدي في إدارة التقاطعات.

استخدام الحساسات والكاميرات يؤدي إلى تحسين دقة قياس الكثافة المرورية.

التحكم الديناميكي في الإشارات الضوئية يقلل من زمن الانتظار للمركبات.

إعطاء أولوية للمسارات الأكثر ازدحامًا يساهم في تحسين انسيابية الحركة.

دمج النظام مع آليات دعم الطوارئ يقلل من زمن استجابة المركبات الإسعافية.

منهجية البحث:

تم اعتماد المنهج التطبيقي (Applied Methodology) في هذا البحث، حيث تم تصميم وتنفيذ نموذج عملي لنظام إشارة مرور ذكية بهدف اختبار فعالية الفكرة المقترحة في بيئة محاكاة قريبة من الواقع.

وقد تم بناء النموذج باستخدام مجموعة من المكونات الإلكترونية والتقنية، تمثلت في:

لوحة التحكم الدقيقة Arduino Mega لكونها تدعم عددًا كبيرًا من المداخل والمخارج.

حساسات Ultrasonic لقياس المسافة وتقدير كثافة المركبات في كل مسار.

ثنائيات ضوئية (LED) لتمثيل إشارات المرور) أحمر، أصفر، أخضر.(

كاميرا مراقبة لدعم عملية المراقبة البصرية وتحسين دقة التقدير) عند توفرها.(

أزرار تحكم يدوية لاستخدامها في الحالات الطارئة أو الاختبارات.

يعتمد النظام المقترح على جمع البيانات بشكل مستمر من الحساسات المثبتة على مداخل التقاطع، حيث يتم قياس عدد المركبات أو كثافتها في كل اتجاه .بعد ذلك، تُعالج هذه البيانات باستخدام خوارزمية ذكية) مثل الخوارزمية الجينية أو منطق اتخاذ القرار(، لتحديد المسار الذي يستحق أولوية المرور.

وبناءً على نتائج المعالجة، يتم ضبط أزمنة الإشارات الضوئية بشكل ديناميكي، بحيث تُعطى مدة أطول للمسارات ذات الكثافة الأعلى، مما يسهم في تقليل زمن الانتظار وتحسين انسيابية الحركة.

كما تم اختبار النظام من خلال عدة سيناريوهات تحاكي حالات مرورية مختلفة) كثافة عالية، كثافة منخفضة، حالة طوارئ(، وذلك بهدف تقييم أدائه وقياس مدى كفاءته مقارنة بالنظام التقليدي.

حدود البحث:

الحدود الموضوعية:

يركز هذا البحث على تصميم وتقييم نظام إشارة مرور ذكية يعتمد على تقنيات الاستشعار والمعالجة الذكية للتحكم في الإشارات الضوئية عند التقاطعات، دون التطرق إلى إدارة الشبكات المرورية على نطاق المدن بالكامل.

الحدود المكانية:

يستهدف التطبيق العملي بيئة حضرية مشابهة لمدينة طرابلس، مع إمكانية تعميم النتائج على مدن ذات خصائص مرورية مماثلة.

الحدود الزمنية:

تم تنفيذ الدراسة خلال فترة زمنية محددة شملت مراحل التصميم، التنفيذ، والاختبار التجريبي للنظام.

الحدود التقنية:

يعتمد النموذج على متحكم Arduino ومجموعة محدودة من الحساسات، مما قد لا يعكس بشكل كامل تعقيد الأنظمة الذكية المتقدمة المستخدمة في البنية التحتية الحضرية واسعة النطاق.

مصطلحات البحث:

إشارة المرور الذكية:

نظام تحكم مروري يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي والاستشعار لتحليل البيانات المرورية واتخاذ قرارات ديناميكية لتحسين تدفق المركبات.

الكثافة المرورية:

الخوارزمية الجينية

الإطار النظري :

يشهد مجال النقل الحضري تطورًا متسارعًا نتيجة التزايد المستمر في أعداد المركبات والتوسع العمراني، مما أدى إلى بروز الحاجة لأنظمة ذكية قادرة على إدارة الحركة المرورية بكفاءة عالية. ويُعد نظام إشارات المرور أحد الركائز الأساسية في تنظيم تدفق المركبات عند التقاطعات، إلا أن الأنظمة التقليدية القائمة على التوقيت الثابت لم تعد كافية لمواكبة التغيرات الديناميكية في الكثافة المرورية.

أولاً: أنظمة النقل الذكية (Intelligent Transportation Systems - ITS):

تُعرف أنظمة النقل الذكية بأنها مجموعة من التقنيات المتقدمة التي تُستخدم لتحسين كفاءة وأمان واستدامة أنظمة النقل، من خلال دمج تقنيات الاتصالات، والاستشعار، ومعالجة البيانات. وتشمل هذه الأنظمة تطبيقات متعددة مثل التحكم الذكي في الإشارات، إدارة الحوادث، وتوجيه حركة المرور في الزمن الحقيقي **(Benekohal, R. F. (1998**.

ثانيًا: نماذج التحكم في إشارات المرور:

يمكن تصنيف أنظمة التحكم في إشارات المرور إلى نوعين رئيسيين:

التحكم الثابت :

يعتمد على جداول زمنية محددة مسبقًا دون الأخذ في الاعتبار التغيرات الفعلية في الحركة المرورية.

التحكم التكيفي :

يعتمد على بيانات آنية يتم جمعها من الحساسات أو الكاميرات، حيث يتم تعديل أزمنة الإشارات بشكل ديناميكي وفقًا للكثافة المرورية.

ويُعد التحكم التكيفي أكثر كفاءة، خاصة في البيئات الحضرية ذات الكثافة العالية والتغيرات المستمرة.

ثالثًا: تقنيات الاستشعار وجمع البيانات:

تعتمد الأنظمة الذكية على مجموعة من وسائل الاستشعار لجمع البيانات، ومن أبرزها:

الحساسات فوق الصوتية

الكاميرات وأنظمة الرؤية الحاسوبية

الحساسات المغناطيسية

وتُستخدم هذه الوسائل لتقدير عدد المركبات، وسرعتها، وكثافتها، مما يوفر قاعدة بيانات دقيقة لاتخاذ القرار.

رابعًا: الخوارزميات الذكية في إدارة المرور:

تُستخدم العديد من الخوارزميات لتحسين أداء إشارات المرور، ومن أبرزها:

الخوارزميات الجينية :

تعتمد على محاكاة عملية الانتقاء الطبيعي لإيجاد أفضل الحلول الممكنة، وتُستخدم في تحسين توقيت الإشارات.

المنطق الضبابي :

يُستخدم في اتخاذ القرارات في ظل عدم اليقين **Bi, X. (2014)**.

التعلم الآلي :

يتيح التنبؤ بالحالة المرورية المستقبلية بناءً على البيانات السابقة.

ويتميز استخدام هذه الخوارزميات بقدرته على التعامل مع الأنظمة المعقدة متعددة المتغيرات**Misini, E., et al. (2025)** .

خامسًا: دور المتحكمات الدقيقة في الأنظمة الذكية:

تُستخدم المتحكمات الدقيقة مثل Arduino في بناء النماذج التطبيقية للأنظمة الذكية، حيث توفر بيئة مرنة ومنخفضة التكلفة لتنفيذ الخوارزميات والتحكم في المكونات الإلكترونية، مما يجعلها مناسبة للأغراض البحثية والتجريبية.

الدراسات السابقة:

شهد مجال التحكم في إشارات المرور الذكية تطورًا ملحوظًا خلال السنوات الأخيرة، حيث ركزت العديد من الدراسات على توظيف الخوارزميات الذكية، خاصة الخوارزميات الجينية، لتحسين كفاءة الأنظمة المرورية.

1. في هذا السياق، قدمت دراسة (Leal & Almeida, 2023) نموذجًا يعتمد على خوارزمية جينية متعددة الأهداف (NSGA-II) لتحسين توقيت إشارات المرور، حيث أظهرت النتائج قدرة النموذج على تقليل زمن الرحلة والتأخير في الشبكات الحضرية بشكل ملحوظ .
2. كما تناولت دراسة (Mohamed et al., 2024) تحسين نسب الزمن الأخضر في التقاطعات باستخدام الخوارزمية الجينية، وأثبتت أن هذا النهج يسهم في رفع مستوى الخدمة وتقليل الازدحام المروري، خاصة في الحالات ذات الكثافة العالية .

3. دراسة حديثة، قام (Rahman et al., 2024) بمقارنة الخوارزمية الجينية مع طرق تقليدية مثل طريقة Webster، وأظهرت النتائج تفوق الخوارزمية الجينية من خلال تقليل التأخير بنسبة تصل إلى 28% وزيادة تدفق المركبات .
4. من جهة أخرى، ركزت بعض الدراسات على خوارزميات بديلة، حيث قدمت دراسة (Xu et al., 2024) نموذجًا يعتمد على خوارزمية Greedy محسّنة، وبيّنت النتائج تحسنًا في كفاءة التقاطعات وقدرتها على التكيف مع التغيرات المرورية .
5. كما اقترحت دراسة (Wei & Ju, 2024) استخدام خوارزمية مستوحاة من أسراب الأسماك (Fish Swarm Algorithm)، والتي أثبتت فعاليتها في تحسين أداء إشارات المرور ضمن بيئات المدن الذكية .
6. وفي إطار أوسع، استعرضت دراسة (Michailidis et al., 2025) استخدام التعلم المعزز في التحكم المروري، مؤكدةً أن الأنظمة الذكية التكيفية تتفوق بشكل واضح على الأنظمة التقليدية في التعامل مع الأنظمة المعقدة والمتغيرة .
7. أكدت دراسة (Lee et al., 2005) أن التحكم التكيفي باستخدام الخوارزميات الجينية يحقق أداءً أفضل من الأنظمة ذات التوقيت الثابت، خاصة في البيئات ذات التغيرات المرورية المستمرة .

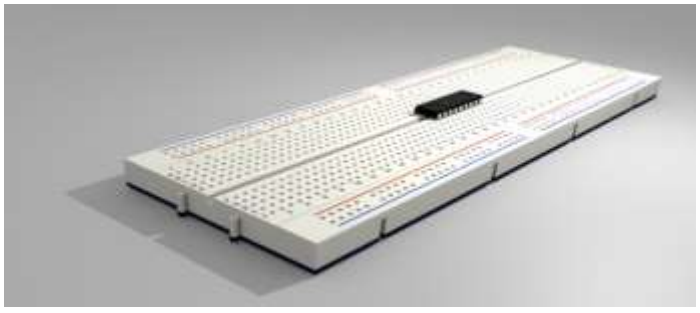
تحليل الدراسات السابقة

بالرغم من تنوع الدراسات السابقة وتعدد الأساليب المستخدمة، إلا أن معظمها ركز إما على النماذج النظرية أو على بيئات محاكاة متقدمة، في حين يسعى هذا البحث إلى تقديم نموذج تطبيقي منخفض التكلفة يعتمد على المتحكمات الدقيقة والحساسات، مما يجعله أكثر قابلية للتطبيق في البيئات المحلية مثل مدينة طرابلس.

الاطار العملى

اللوحة (Breadboard)

هو عبارة عن لوح تجارب مسطح يستخدم كقاعدة لتوصيل المكونات الإلكترونية لبناء الدوائر الإلكترونية ووضع النماذج الأولية من الأجهزة الإلكترونية, وهو لا يحتاج إلى لحام وقابل لإعادة



لوحة (Arduino mega 2560)

الأردوينو هو عبارة عن منصة مفتوحة المصدر يتم إستخدامها لبناء المشاريع الإلكترونية, يتكون الأردوينو من لوح دوائر كهربية قابل للبرمجة (يطلق عليه المتحكم الدقيق) بالإضافة لجزء يتعلق بالبرمجة عبارة عن بيئة تطوير متكاملة، تعمل على الكمبيوتر، ويتم إستخدامها لكتابة وتحميل الأكواد البرمجية من الكمبيوتر إلى لوح الأردوينو. وتتوفر أنواع مختلفة من ألواح الأردوينو،إستخدمت أردوينو ميقا الموضح بالشكل لتوافق مواصفاته مع متطلبات العمل.

مواصفاته

- يحتوي على 11 دبوس إدخال \ إخراج رقمي ، ويمكن إستخدام 11 منها كمخرجات تضمين عرض النبضة.
- يحتوي على 16 مدخلاً تناظرياً ، و 1 منافذ تسلسلية.
- يحتوي على مذبذب كريستالي 16 ميقا هرتز.

- وصلة USB ومقبس طاقة وزر إعادة ضبط .
- ذاكرة فلاش 216 كيلو بايت للمتحكم ومنها 8 كيلوبايت يستخدمها محل الإقلاع.
- سرعة معالجته 16 ميقا هرتز.

حساس الموجات الفوق صوتية (Ultrasonic)

هو جهاز إستشعار إلكتروني يحول الطاقة إلى موجات فوق صوتية، أو موجات صوتية أعلى من النطاق الطبيعي لسمع الإنسان.

تعمل المستشعرات فوق الصوتية على مبدأ مشابه للرادار الذي يقيم سمات الهدف من خلال تفسير أصداء الموجات الصوتية على التوالي. حيث تولد المستشعرات الفوق صوتية موجات صوتية عالية التردد وتقوم بتقييم الصدى الذي يستقبله المستشعر مرة أخرى. تحسب المستشعرات الفاصل الزمني بين إرسال الإشارة واستقبال الصدى لتحديد المسافة إلى الجسم.

مواصفاته

- جهد التشغيل 1 فولت.
- نطاق إستشعار السونار 2-111 سم.
- أعلى مدى للإستشعار 111 سم.
- التردد 11 كيلو هرتز.

أسلاك التوصيل (Connecting wires)

وهي أسلاك كهربائية، موصل في طرفيه دبوس يكون (ذكر أو انثى)، والتي تُستخدم عادة لربط مكونات اللوحة داخليا دائرة إختبار أو مع معدات أو مكونات أخرى، وذلك بدون لحام حيث يتم تركيب أسلاك التوصيل الفردية عن طريق إدخال "موصلات النهاية" الخاصة بها في الفتحات المتوفرة في لوحة التجارب أو موصل الرأس للوحة الدائرة أو قطعة من معدات الإختبار. كما موضح بالشكل .

كاميرا (Webcam)

هي كاميرا كمبيوتر تعرف بـ(webcam) وهي عبارة عن كاميرا ترتبط بجهاز الكمبيوتر من خلال منفذ USB ، كالكاميرا الموضحة بالشكل وتمكن المستخدم من القيام بإلتقاط صورة أو تسجيل فيديو عبرها، وذلك من خلال فتح تطبيق الكاميرا الموجود على الجهاز.

المواصفات

- تعمل على نظام (windows 7/8/10 / Mac).
- حساسية الصورة : مستشعر COMS عالي الجودة.
- دقة الحساسية : 2.0V / LUX.
- إلتقاط الصورة : 640*480.
- إستهلاك الطاقة : 0.7w.

مرحل أحادي (Relay)

المرحل أو الريلي هو مفتاح كهروميكانيكي، أي يفتح ويغلق دارة كهربائية عن طريق مرور تيار كهربائي كاف لتوليد مجال مغناطيسي لجذب نقاط التوصيل، ولا يتم التحكم به باليد كالمفتاح الكهربائي العادي ويوضح الشكل التالى الشكل الخارجي للمرحل الأحادي.

المواصفات

- امدادات التيار الكهربائي 5v .
- سعة التحميل 10A 250VAC / 10A 05VDC.
- أحادي القناة.

مكونات المرحل

يتكون المرحل من الداخل مما يلي :

1. نقاط التوصيل الخاصة بفتح وإغلاق الدارة الكهربائية المربوطة مع المرحل.
2. ملف مغناطيسي يعمل على فرق جهد منخفض نسبيا لجذب نقاط التوصيل.
3. نابض (زنبرك) لإرجاع نقاط التوصيل إلى ما كانت عليه عند فصل التيار الكهربائي عن الملف الكهربائي.

مقاومة (Resistor)

مقاومات 10 كيلو أوم والتي تعمل على تقليل شدة التيار وزيادة فرق الجهد في الدائرة الكهربائية، وبالتالي تحميها من التيار العالي ، يوضح

الشكل المقاومة الكهربائية.

الثنائي الضوئي (LED)

بعض الثنائيات أشبه بالمصباح الضوئي، وهي تقوم بتحويل التيار الكهربائي إلى ضوء.

وفي هذا المشروع يجب توفير ثلاثة ألوان مختلفة تمثل إشارة المرور (أخضر, أصفر, أحمر) الموضحة في الشكل .

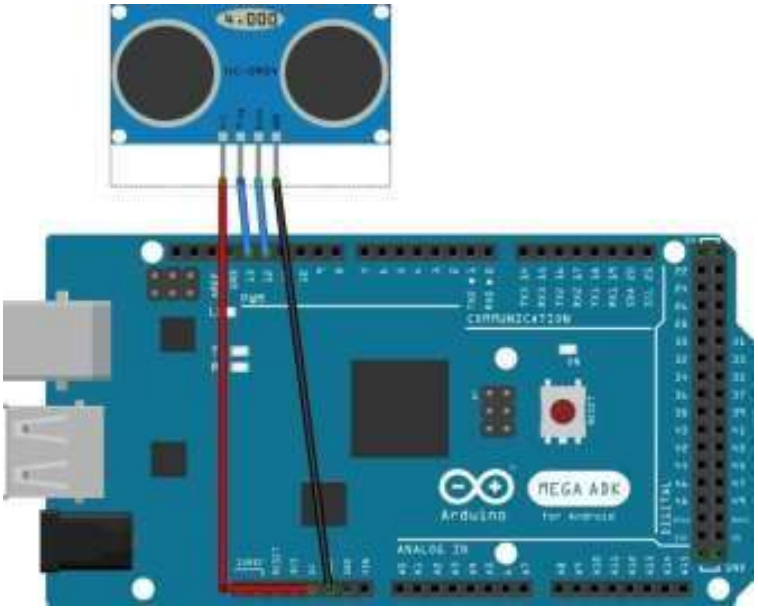
الأزرار (Push Butten)

الأزرار هي عبارة عن مفاتيح تبديل بسيط للتحكم في بعض جوانب الألة أو العملية عادة ما تكون الأزرار مصنوعة من مادة صلبة وعادة ما تكون من البلاستيك أو المعدن.

يوضح الشكل أزرار الضغط.

توصيل لوحة الأردوينو والحساسات فوق الصوتية

تم تركيب أربعة إشارات مرور لهذا المشروع، واحدة على رأس كل شارع في تقاطع الطرق، وتحمل كل إشارة ثلاثة ثنائيات ضوئية بالثلاث الألوان الرئيسية لإشارة المرور (الأحمر, الأصفر, الأخضر) وتم توصيل أربعة حساسات فوق الصوتية بنهاية كل شارع والتي ستعمل على الكشف عن طريق الأكثر إزدحاما بالسيارات وربطها مع لوحة الأردوينو كما هو موضح بالشكل .



جدول مداخل والمخارج الحساسات الفوق صوتية

يوضح الجدول التالي توصيلات المداخل الخاصة بالحساسات الفوق الصوتية، ومخارجها الموصلة بلوحة الأردوينو.

output	Input	sensor
5 V	VCC	**Sensor (1)**
PWM 31	Trig	
PWM 29	Echo	
GND	GND	

output	Input	sensor
5 V	VCC	**Sensor (2)**
PWM 44	Trig	
PWM 42	Echo	
GND	GND	

output	Input	sensor
5 V	VCC	**Sensor (3)**
PWM 7	Trig	
PWM 6	Echo	
GND	GND	

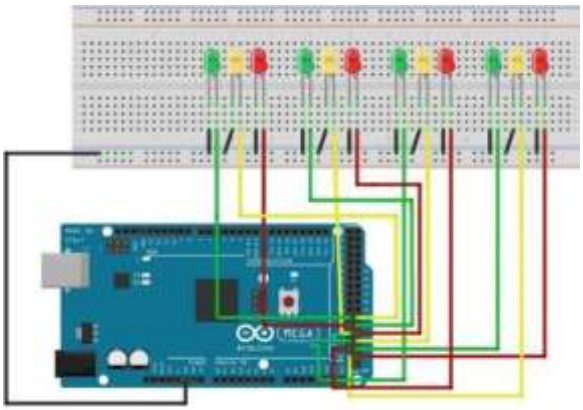
output	Input	sensor
5 V	VCC	
PWM 5	Trig	

PWM 4	Echo	**Sensor (4)**
GND	GND	

توصيل الدائرة الكهربائية مع الثنائيات الضوئية

تم تركيب أربعة إشارات مرور لهذا المشروع، واحدة على رأس كل شارع في تقاطع الطرق, وتم ربطهم بلوحة الأردوينو مع مقاومات لكل ثنائي لحفاظ على مستوى شدة التيار في حالة الإستقرار.

و يوضح الشكل التالى الدائرة الكهربائية لتثبيت الثنائيات الضوئية على لوحة التجارب وربطها بلوحة الأردوينو.



جدول المداخل والمخارج للثنائيات الضوئية

يوضح الجدول التالي توصيلات المداخل الخاصة بثنائيات الضوئية، ومخارجها الموصلة بلوحة الأردوينو بناء على لونها حيث تمثل كل ثلاثة ألوان معا (RED , YELLOW , GREEN) إشارة ضوئية واحدة.

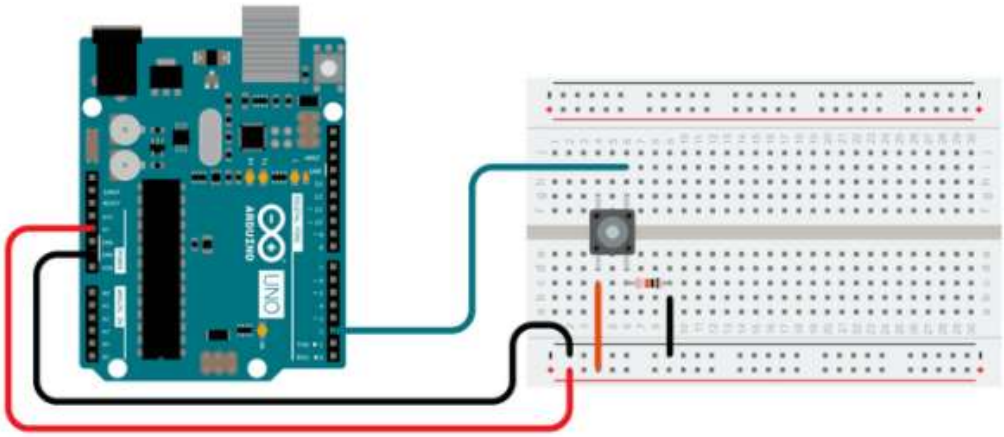
output	LED Input	LED	Traffic Light
DC 23	INT	RED	T 1
DC 25	INT	YELLOW	
DC 27	INT	GREEN	
DC 46	INT	RED	T 2
DC 48	INT	YELLOW	
DC 50	INT	GREEN	
DC 13	INT	RED	T 3
DC 12	INT	YELLOW	
DC 11	INT	GREEN	
DC 37	INT	RED	T 4
DC 39	INT	YELLOW	
DC 41	INT	GREEN	

GND	GND	**ALL LED**	**ALL T**

توصيل الدائرة الكهربائية مع الأزرار

تم وضع رز على كل إشارة مرور لفتح الإشارة في حالة الضرورة بدلاً من إستخدام الـ GSM الذي ذكر سابقاً لكي يستطيع رجل المرور التحكم بالإشارة المرورية في الحالات الطارئة.

و يوضح الشكل الدائرة الكهربائية لتثبيت الأزرار على لوحة التجارب وربطها بلوحة الأردوينو.



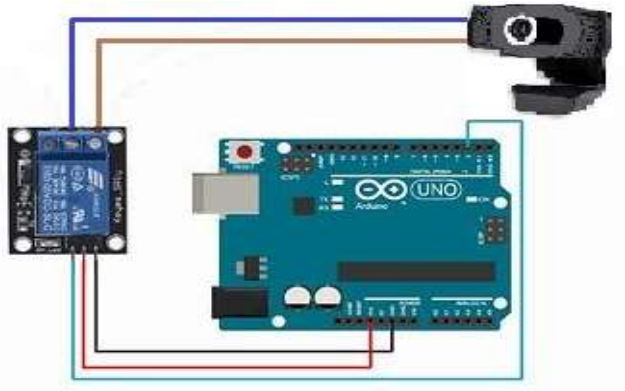
جدول المداخل والمخارج للأزرار

Button output	Button input	Traffic Light
DC 14	INT	Button (**T1**)
DC 15	INT	Button (**T2**)
DC 16	INT	Button (**T3**)
DC 17	INT	Button (**T4**)
GND	GND	ALL Button

توصيل الكاميرا والريلي والحساس مع لوحة الأردوينو

تم وضع كاميرا في إحدى الطرق وتم برمجتها لتعمل على تصوير السيارات التي تقوم بمخالفة الإشارة الضوئية حيث تعمل عندما يتم تجاوز الإشارة الحمراء.

ويوضح الشكل التالى طريقة توصيل الكاميرا والريلي والحساس مع لوحة الأردوينو.



جدول المداخل والمخارج للحساس

output	Input	sensor
5 V	VCC	**Camera sensor**
PWM 19	Trig	
PWM 20	Echo	
GND	GND	

جدول المداخل والمخارج الريلي مع لوحة الأردوينو

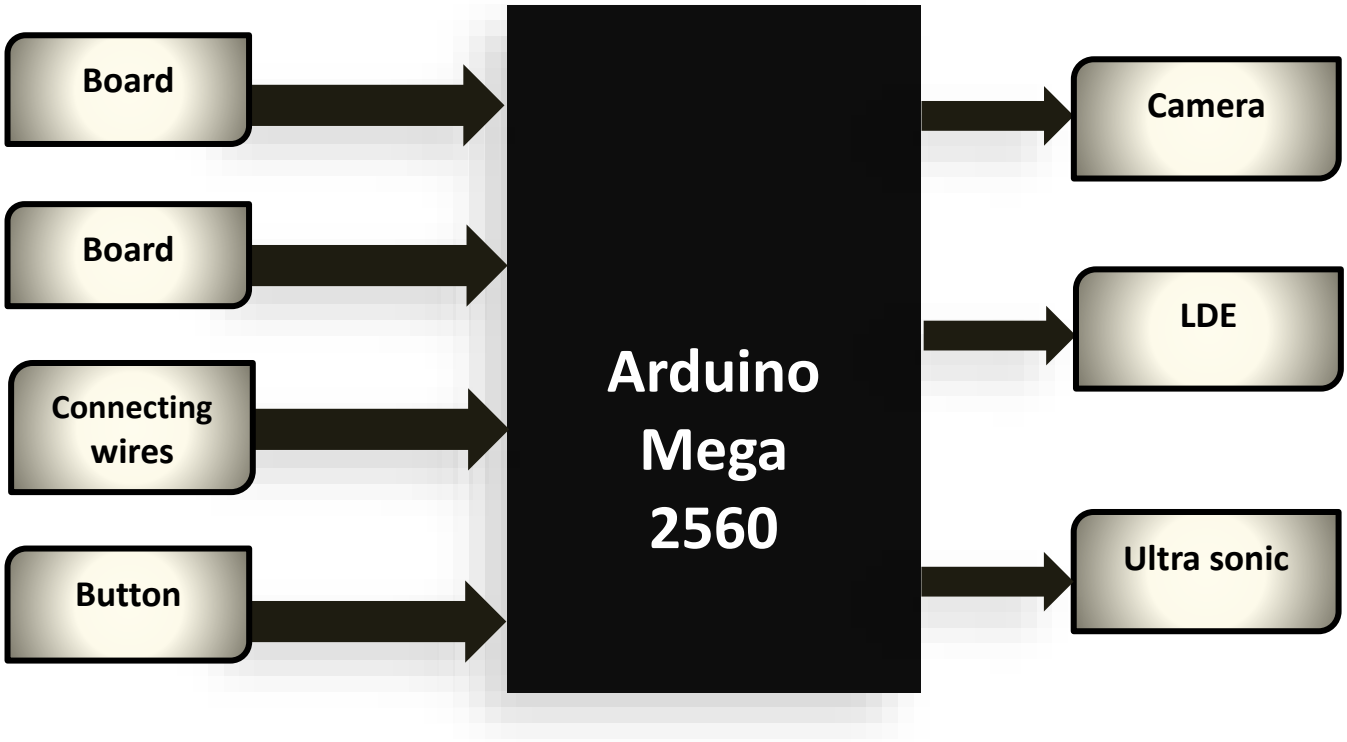
output	Input	Relay
5 V	VCC	**Relay**
PWM 19	INT	
GND	GND	

جدول المداخل والمخارج الكاميرا مع الريلي

output	Input	camera
USB	USB	**camera**
Com_No	INT	
GND	GND	

المخطط الصندوقي

يوضح الشكل التالي المخطط الصندوقي للدائرة التي تم تصميمها، والمكونة من متحكم أردوينو ومجموعة من المستشعرات والقطع الأخرى المستعملة بالدائرة، كما موضح بالشكل .



شكل المخطط الصندوقي

المكونات اللازمة لرفع الكود البرمجي

- جهاز كمبيوتر.
- برنامج Arduino IDE.
- لوحة أردوينو ميقا.
- كابل USB.

بعد توصيل لوحة الأوردوينو بجهاز الكمبيوتر ستظهر رسالة تعريف الجهاز بقطعة جديدة، بعد ذلك يمكن بدأ العمل على البيئة التطويرية.

بعد كتابة الكود البرمجي الخاص بالمشروع قم برفع الكود البرمجي على لوحة الأردوينوعن طريق شريط المهام الموضح بالشكل التالى, وفي حالة وجود خطأ بالكود سيعلمك البرنامج عن سببه.

6.4 تعريف عن برنامج MyCam

MyCam هو تطبيق قائم بذاته بسيط يتيح لك التقاط لقطات وتسجيل الفيديو باستخدام كاميرا الويب الخاصة بك. وبغض النظر عن ماركة كاميرا الويب التي تستخدمها ستعمل معها على الفور. وقمت باختيار هذا البرنامج لتفعيله مع كاميرا الويب المستخدمة في هذا المشروع الخاصة بالتقاط صور للسيارات المخالفة لإشارة الحمراء، لسهولة استخدامه ولأنه لا يحتاج الى تكوين خاص ولا يحتاج حتى إلى التثبيت.

ما على المستخدم فعله هو تشغيل ملف EXE والسماح له بالاتصال مع كاميرا الويب.

المميزات

- لا يحتاج الى تركيب خاص.
- من السهل أن تعده للعمل والأستخدام.
- يعمل مع أي كاميرا.
- مجاني.

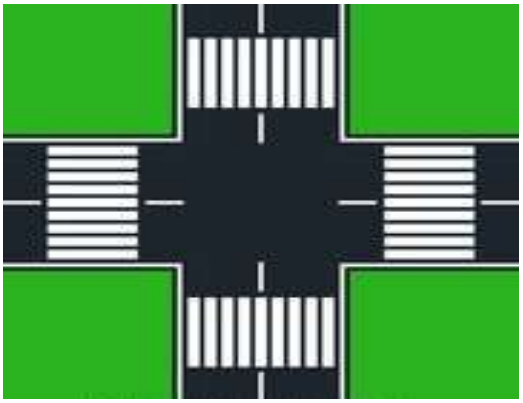
الواجهة الرئيسية للبرنامج

بعد تحميل البرنامج على جهاز الكمبيوتر وتوصيل كاميرا الويب وتعريفها يسمكن البدا بالتقاط الصور أو الفيديو بكل بساطة على واجهة العمل الخاصة بالبرنامج الموضحة في الشكل التالى.

بعد توفير القطع الإلكترونية وتركيبها لتنفيذ مجسم مصغر لإشارة المرور الذكية وتثبيت التطبيقات البرمجية ، سنبدأ بالجانب العملي لتركيب المجسم لهذا البحث وتركيب القطع على المجسم وكيفية توصيل الأجهزة الإلكترونية .

شكل المجسم

تم تجهيز مجسم من الفوم (60 سم * 60سم) وتم عليه طباعة الخطوط والتقاطعات لكافة الطرق كما هو موضح بالشكل .



تركيب الإشارات والحساسات للمجسم

تم تركيب أربعة إشارات مرور مع الحساسات الفوق صوتية وتم توصيلها بجهاز الأردوينو والتي تم برمجته ليعمل بشكل تلقائي ومبرمج .

حيث تم برمجته لتأخذ كل إشارة خضراء مدة خمسة ثواني وكل إشارة حمراء خمسة ثواني أيضا ، ليصبح وقت الإشارة الحمراء عند كل تقاطع 20 ثانية, حيث تأخذ إشارة التنبيه الصفراء ثانيتين.

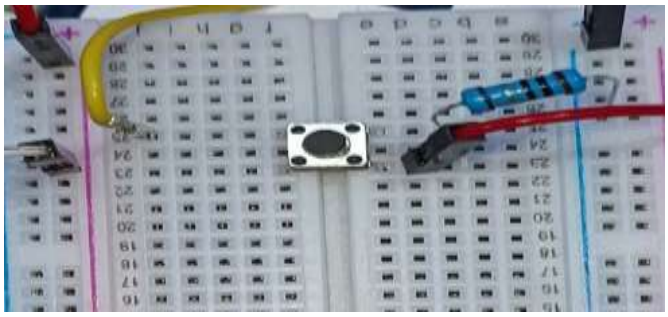
ويوضح الشكل التالى التركيبة الأولى للحساسات وإشارات المرور مع بعض .

تركيب الكاميرا والأزرار للمجسم

تم تركيب الكاميرا على أحد التقاطعات مع وجود حساس خاص للكاميرا الموجودة بالمجسم وتم ربطها بالمرحل الأحادي لتقوم بإلتقاط الصور للسيارات المخالفة للقانون, حيث أن إذا قام أحد السائقين بالمرور في الإشارة المخالفة سيتم كشفه من قبل الحساس وإعطاء الأمر للمرحل الأحادي الذي بدوره يستطيع أن يتحكم بإلتقاط الصور من الكميرا الموجودة بالطريق.

ويوضح الشكل التالى طريقة إضافة الكاميرة والحساس للمجسم.

يوضح الشكل التالى تركيب الأزرار في البورد.



الخوارزمية الجينية

: النموذج يعتمد النظام على توزيع زمن الإشارة الخضراء لكل مسار بناءً على الكثافة المرورية، مع تحسين هذا التوزيع باستخدام خوارزمية جينية لتقليل زمن الانتظار الكلي.

1. معادلة توزيع الزمن الأساسي:

$$T_i = \frac{D_i}{\sum_{j=1}^{n} D_j} \times T_{cycle}$$

حيث:

T_i : زمن الإشارة الخضراء للمسار

D_i : الكثافة المرورية

T_{cycle} : الزمن الكلي لدورة الإشارة

n: عدد المسارات

2. دالة الهدف (Objective Function):

الهدف هو تقليل زمن الانتظار الكلي:

$$\min F = \sum_{i=1}^{n} W_i$$

حيث:

W_i: زمن الانتظار للمسار

ويمكن تقريب زمن الانتظار بالعلاقة:

$$W_i = \frac{D_i}{T_i + \epsilon}$$

(حيث ε قيمة صغيرة لتجنب القسمة على صفر)

3. القيود (Constraints):

مجموع الأزمنة يساوي زمن الدورة:

$$\sum_{i=1}^{n} T_i = T_{cycle}$$

حدود زمنية لكل إشارة:

$$T_{min} \leq T_i \leq T_{max}$$

ثانيًا: تمثيل الخوارزمية الجينية

تمثيل الكروموسوم (Chromosome):

كل حل يُمثّل كالتالي: [T1, T2, T3, T4] (أزمنة الإشارات لكل اتجاه)

تحليل النتائج (Results & Discussion):

أظهرت نتائج الاختبارات التجريبية للنظام المقترح تحسنًا ملحوظًا مقارنة بالنظام التقليدي، حيث:

تم تقليل متوسط زمن الانتظار للمركبات بنسبة تقديرية ملحوظة.

تحسنت انسيابية الحركة المرورية، خاصة في أوقات الذروة.

أظهر النظام قدرة عالية على التكيف مع التغيرات المفاجئة في الكثافة المرورية.

تم تحقيق استجابة فعالة في حالات الطوارئ من خلال إعطاء أولوية للمسار المطلوب.

كما أظهرت النتائج أن استخدام الحساسات ساهم في تحسين دقة جمع البيانات، بينما أضافت الخوارزميات الذكية بعدًا تكيفيًا للنظام.

بعد تركيب المجسم والإشارات والحساسات مع الكاميرا والأزرار سنقوم بمعرفة النتائج التي سنتحصل عليها عند أداء كل عملية مذكورة سابقاً وسنعرض النتائج على حسب العمليات التالية :

عمل الإشارات بالحساسات الفوق الصوتية

تم تجربة عمل الإشارة الضوئية على الحساسات الفوق الصوتية فكانت النتيجة كما هو مخطط له, فعند إدراك الإزدحام في بعض الطرق تقوم الإشارة الضوئية بفتح الإشارة للطرق التي يوجد بها إزدحام فقط, وتكون الأولوية للطريق الأكثر إزدحاماً فالأقل و الأقل, على زمن متساوي وبشكل منتظم, لتكون هنالك إستفادة من الوقت المهدورعند الوقوف في الإشارة.

يوضح الشكل طريقة العمل بالحساسات.

عمل الإشارات بالتايمر

تم تجربة عمل الإشارة الضوئية على التايمرفكانت النتيجة كما هو مخطط له أيضاً, فعند إزدحام كافة التقاطعات في الإشارة الضوئية يتم تبديل نظام العمل بالدائرة ليعمل على أساس التايمر لتوزيع الإشارة للطرق بإنتظام وبزمن محدد لكل إشارة ضوئية إلى حين فراغ أحد الطرق لكي يستطيع أرجاع الدائرة على عملها الأساسي.

يوضح الشكل طريقة العمل بالتايمر.

عمل الإشارات بالأزرار

تم تجربة عمل الإشارة بالأزرار فكانت النتيجة كما هو مخطط له, فعند مرور أي سيارة حالتها طارئة مثل (سيارة الإسعاف , سيارة المطافئ .....) يستطيع رجل المرور التحكم بالإشارة الضوئية لكي يفتح الإشارة للطريق التي تمر منها هذه السيارة بإستخدام الزر الخاص بالإشارة, ويتم إغلاق الإشارة الضوئية على باقي الطرق لكي لا يعرقل طريقها ومن بعدها يتم إرجاع العمل بالضغط على الزر لكي تعمل الإشارة على ما كانت عليه سابقاً.

طريقة عمل الكاميرا

تم تجربة العمل بالكاميرا فكانت النتيجة كما هو مخطط له, فعندما يقوم أحد السائقين بمخالفة الإشارة الضوئية والمرور في الإشارة الحمراء, يتم إلتقاطه من خلال الحساس الموجود بعد الخط المسموح للإشارة وعندها يقوم المرحل الأحادي بإعطاء أمر للكامرة لكي يتم التصوير وبهذا الدور يكون قد أخذت صورة للسيارة التي قامت بمخالفة الإشارة وتمكين رجل المرور بالتعرف على نوع السيارة و رقم اللوحة لكي يتم مخالفته.

يوضح الشكل طريقة مخالفة الإشارة الحمراء.

ويوضح الشكل طريقة إلتقاط الصورة للسيارة المخالفة من برنامج Mycam.

الخاتمة (Conclusion):

خلصت الدراسة إلى أن الأنظمة التقليدية لإشارات المرور لم تعد كافية لمواكبة التحديات المرورية الحديثة، وأن اعتماد أنظمة ذكية قائمة على الاستشعار والخوارزميات المتقدمة يمثل حلاً فعالًا لتحسين كفاءة إدارة الحركة المرورية.

وقد أثبت النظام المقترح فعاليته في تقليل الازدحام وزمن الانتظار، وتحسين انسيابية المرور، مما يعزز من إمكانية تطبيقه في البيئات الحضرية.

التوصيات (Recommendations):

التوسع في تطبيق أنظمة إشارات المرور الذكية في المدن الكبرى.

دمج النظام مع تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) لزيادة كفاءة جمع البيانات.

استخدام تقنيات الرؤية الحاسوبية المتقدمة لتحسين دقة تحليل الحركة المرورية.

إجراء دراسات مستقبلية تعتمد على التعلم العميق للتنبؤ بالحالة المرورية.

تطوير النظام ليشمل إدارة شبكة مرورية متكاملة بدلًا من تقاطع واحد.

المراجع

Abu-Lebdeh, G., & Benekohal, R. F. (1998). Micro-genetic algorithms in intelligent traffic signal control.

Abu-Lebdeh, G., & Benekohal, R. F. (2000). Genetic algorithms for traffic signal control and queue management. Transportation Research Record.

Leal, S. S., & Almeida, P. E. M. (2023). Traffic light optimization using non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II). Scientific Reports, 13, 15550. https://doi.org/10.1038/s41598-023-38884-2

Li, X., Du, J. S., Hu, J. T., & Bi, X. (2014). Research of intelligent control of traffic signal. Applied Mechanics and Materials.

Mao, T., et al. (2019). Traffic signal control optimization using genetic algorithm under incident conditions.

Michailidis, P., et al. (2025). Traffic signal control via reinforcement learning: A review. Infrastructures, 10(5), 114. https://doi.org/10.3390/infrastructures10050114

Misini, E., et al. (2025). Solving the traffic signaling problem using metaheuristic optimization.

Mohamed, M. N., Essawy, Y. A., & Hosny, O. (2024). Traffic signal optimization using genetic algorithms. Lecture Notes in Civil Engineering, 496, 101–113. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60419-5_8

Ouyang, C., Zhan, Z., & Lv, F. (2024). A comparative study of traffic signal control based on reinforcement learning. World Electric Vehicle Journal, 15(6), 246. https://doi.org/10.3390/wevj15060246

Rahman, I., Rabby, M. A. E., & Murshed, M. N. (2024). Traffic signal control optimization using genetic algorithm and VISSIM simulation. Conference paper.

Singh, L., Tripathi, S., & Arora, H. (2009). Time optimization for traffic signal control using genetic algorithm.

Traffic signal timing optimisation based on genetic algorithm approach. Transportation Research Part B.

Wei, J., & Ju, Y. (2024). Optimization method for traffic signal control based on artificial fish swarm algorithm. Heliyon. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30657