



مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر في الجغرافيا والتهيئة الإقليمية

ميدان: علوم الأرض والكون

شعبة: الجغرافيا وتهيئة الإقليم

تخصص: جيوماتيك

نحو إدارة ذكية للحركة المرورية في مدينة وهران باستخدام الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) - دراسة حالة حي بلقايد

من إعداد وتقديم:

عبيد عبد العزيز

حماد مروة

تحت إشراف الأستاذة: كريش إسمهان

أمام اللجنة المكونة من الاساتذة:

رئيسا	أستاذ مساعد أ	محمند أوسعيد فريد
مؤطرة	أستاذة محاضرة ب	كريش إسمهان
ممتحنة	أستاذة محاضرة ب	شيلي نورة

شكر وعرفان

نحمد الله ونشكره أولاً على كل نعمة.

نتقدم بالشكر إلى الأستاذة المشرفة الدكتورة إسمهان كريش على توجيهاتها وملاحظاتها القيّمة التي ساهمت في إنجاز هذا البحث، جزاها الله عنا خير الجزاء.

كما نتوجه بخالص الشكر والتقدير إلى الأستاذ فريد محمد أوسعيد والأستاذة نورة شبلي لتكرمهما بقبول مناقشة هذا العمل وتحكيمه، وعلى ما سيقدمانه من ملاحظات وتوجيهات علمية من شأنها إثراء هذا العمل وتحسينه.

نتوجه بجزيل الشكر والامتنان إلى مصالح الأمن الحضري لدائرة بئر الجير على حسن استقبالهم، مرافقتهم الأمنية ووتقديم التسهيلات اللازمة خلال مراحل العمل الميداني.

ولا يفوتنا أن نتوجه بجزيل الشكر والتقدير إلى كافة أساتذة قسم الجغرافيا وتهيئة الإقليم بكليتنا الموقرة على ما قدموه لنا ولزملائنا الطلبة من معارف وعلوم وتوجيهات ونصائح طيلة سنوات الدراسة إلى غاية تخرجنا، فلهم منا كل التقدير والامتنان والاحترام.

إهداء

إهداء إلى روح أمي الطاهرة...

إلى من كان رحيلها أعظم فقد عرفه قلبي، وإلى من مازال طيفها يسكن دعائي وذكريا في كل خطوة من خطوات حياتي . " أحضني إلى أيامكِ العُمرِ مثلما تحضُنُ ظمأً البِيدِ والقلبُ مُثقلٌ " ويا ليتني طفلٌ بحضنكِ هانئٌ أعودُ كما كنتُ الصغيرَ المدللُ "إليكِ يا أمي أهدي ثمرة هذا الجهد، راجياً من الله أن يجعلها صدقةً جاريةً في ميزان حسناتك، وأن يرحمك رحمةً واسعةً ويسكنك فسيح جناته.

إلى والدي الكريم، الذي كان سنداً وعوناً ومصدر قوة وإلهام طوال مسيرتي الدراسية.

إلى إخوتي وأفراد عائلتي الكريمة الذين أحاطوني بالمحبة والدعم والتشجيع، وكانوا خير معين في تجاوز الصعاب.

إلى أصدقائي وزملائي الذين شاركوني رحلة الدراسة بما حملته من تحديات واجتهادات ولحظات نجاح، وكانوا خير رفقة وعون طوال هذه المسيرة.

إلى صديقي العزيز العربي الذي لم يخل عليّ بالدعم والمساندة والكلمة الطيبة، فكان خير معين في أوقات الشدة والتعب، أتقدم لهم جميعاً بخالص الشكر والتقدير والعرفان. كما أترحم على أخيه الفقيد الذي انتقل إلى رحمة الله حديثاً، سائلاً المولى عز وجل أن يتغمده بواسع رحمته ومغفرته، وأن يسكنه فسيح جناته، وأن يلهم أهله وذويه جميل الصبر والسلوان.

وإلى أساتذتي الأفاضل الذين لم يخلوا عليّ بعلمهم وتوجيهاتهم ونصائحهم القيّمة، وأسهموا في تكويني العلمي والأكاديمي، وإلى كل من مدّ لي يد العون من قريب أو بعيد، وساهم بكلمة طيبة أو نصيحة صادقة في إنجاز هذا العمل. أهديكم جميعاً هذا الجهد المتواضع، سائلاً الله التوفيق والسداد.

عبيد عبد العزيز

إهداء

إلى نفسي، تقديرًا لكل لحظة صبرٍ وكفاح، ولكل جهدٍ بُذل في طريق لم يكن سهلًا، ولكل مرة اخترت فيها الاستمرار رغم التعب، أهدي هذا العمل اعترافًا بعطائي لنفسي وإيمانًا بقدرتي على الوصول.

إلى والديّ الكريمين، سندي الأول ومصدر قوتي، اللذين لم يبخلا يومًا بالدعاء والدعم والتضحيات، فكانا النور الذي أستند إليه في كل خطوة من طريقي.

إلى إخوتي، رفقاء الدرب، الذين شاركوني الفرح والتعب، وكانوا دائمًا سندًا لا يميل.

وإلى إخواننا في غزة وفلسطين، الذين يكتبون كل يوم معنى الصبر والثبات في وجه الألم، نسأل الله أن يفرّج كربهم وينصرهم ويثبتهم، وأن يجعل لهم من كل ضيق مخرجًا ومن كل بلاء فرجًا .

هذا العمل إهداء لكل من آمن بي، ولكل من علّمني أن الطريق رغم صعوبته يستحق الوصول.

مروة حماد

الملخص

يمثل الازدحام المروري أحد أبرز التحديات التي تواجه المدن المعاصرة، الأمر الذي دفع إلى توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) لتطوير أساليب أكثر كفاءة في تحليل الحركة المرورية والتنبؤ بتطورها. وفي هذا الإطار، تهدف هذه الدراسة إلى تحليل حركة المرور الحضرية والتنبؤ بالتدفقات المرورية من خلال دمج تقنيات الرؤية الحاسوبية ونظم المعلومات الجغرافية والتعلم الآلي، وذلك بالاعتماد على دراسة حالة محور الدوران CNL المحاذي للملعب الأولمبي ميلود هديفي بحي بلقايد بمدينة وهران. تكمن أهمية الدراسة في توظيف تقنيات حديثة تتيح أتمتة عمليات جمع البيانات المرورية وتحليلها مكانياً وزمانياً، بما يساهم في توفير معلومات دقيقة تدعم فهم أنماط الحركة المرورية وتحسين عملية اتخاذ القرار. اعتمدت الدراسة على مقارنة متعددة التخصصات تجمع بين العمل الميداني والتحليل الجغرافي والذكاء الاصطناعي، حيث تم جمع البيانات المرورية من خلال تسجيلات فيديو ميدانية خلال فترات زمنية مختلفة، ثم معالجتها باستعمال نموذج YOLOv8 للكشف الآلي عن المركبات وتتبعها وتصنيفها. وقد سمح ذلك باستخراج بيانات دقيقة حول أعداد المركبات وأنواعها. كما خضعت هذه البيانات لمعالجة إحصائية ومرورية شملت تحويلها إلى وحدات سيارات مكافئة، قبل تنظيمها داخل قاعدة بيانات جغرافية وإدماجها ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستعمال برنامج ArcGIS Pro. وفي الجانب التحليلي، تم إنتاج مجموعة من الخرائط الموضوعاتية والمؤشرات المرورية التي أبرزت التوزيع المكاني للتدفقات المرورية ومستويات الازدحام، كما ساهمت في تحديد المقاطع الطرقية الأكثر عرضة للضغط المروري. ولغرض استشراف الوضع المستقبلي، تم توظيف خوارزمية الغابة العشوائية (Random Forest) لبناء نموذج تنبئي للتدفقات المرورية والازدحام المحتمل، حيث أظهرت نتائج التقييم قدرة جيدة للنموذج على تمثيل سلوك الحركة المرورية والتنبؤ باتجاهاتها المستقبلية. تخلص الدراسة إلى أن الاعتماد على تقنيات GeoAI يمثل بديلاً فعالاً للطرق التقليدية في مراقبة وتحليل حركة المرور، ويساهم في توفير فهم أكثر دقة للأنماط المكانية والزمانية للتدفقات المرورية. كما تبرز النتائج إمكانيات واعدة لتطوير نماذج أكثر تقدماً تعتمد على بيانات مرورية مستمرة ومتعددة المصادر، بما يعزز قدرات التنبؤ ويدعم الإدارة الذكية للحركة المرورية داخل الأوساط الحضرية.

الكلمات المفتاحية: الازدحام المروري، الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI)، الرؤية الحاسوبية، التعلم الآلي، تحليل حركة المرور،

YOLO v8

Abstract

Road traffic congestion is one of the major challenges facing modern cities. In this context, Geographic Artificial Intelligence (GeoAI) offers new opportunities for traffic analysis and prediction. This study aims to analyze urban traffic and predict traffic flows by combining computer vision, Geographic Information Systems (GIS), and machine learning techniques. The case study focuses on the CNL roundabout located near the Miloud Hadeff Olympic Stadium in the Belgaïd district of Oran, Algeria. The significance of this study lies in the use of advanced techniques that enable the automated collection and analysis of traffic data, providing accurate information for a better understanding of traffic dynamics and supporting decision-making processes. The study is based on a multidisciplinary approach that combines fieldwork, geographic analysis, and artificial intelligence. Traffic data were collected through video recordings acquired during different periods and subsequently processed using the YOLOv8 model for automatic vehicle detection, tracking, and classification. This process enabled the extraction of data related to vehicle counts and categories. The resulting data were then converted into Passenger Car Units (PCU) and organized within a geospatial database integrated into the ArcGIS Pro environment. The analysis led to the production of several thematic maps and traffic indicators highlighting the spatial distribution of traffic flows and congestion levels, as well as the road segments most exposed to traffic pressure. To anticipate future traffic conditions, a predictive model based on the Random Forest algorithm was developed to estimate traffic flows and potential congestion levels. The obtained results demonstrate the model's ability to accurately represent traffic behavior and predict its evolution. The study shows that the use of GeoAI technologies constitutes an effective alternative to traditional traffic data collection and analysis methods. It provides a better understanding of the spatial and temporal dynamics of traffic and opens promising perspectives for the development of more advanced predictive models based on continuous and multi-source data, thereby supporting intelligent traffic management in urban environments.

Keywords: traffic congestion, geographic artificial intelligence (GeoAI), computer vision, machine learning, traffic analysis, YOLO v8

Résumé

La congestion routière constitue l'un des principaux défis des villes modernes. Dans ce contexte, l'Intelligence Artificielle Géographique (GeoAI) offre de nouvelles possibilités pour l'analyse et la prévision du trafic routier. Cette étude vise à analyser le trafic urbain et à prédire les flux de circulation en combinant la vision par ordinateur, les systèmes d'information géographique (SIG) et l'apprentissage automatique. Le cas d'étude concerne le giratoire CNL situé à proximité du stade olympique Miloud Hadeï dans le quartier Belgaid à Oran. L'intérêt de cette étude réside dans l'utilisation de techniques permettant d'automatiser la collecte et l'analyse des données de trafic, afin de fournir des informations précises pour la compréhension des dynamiques de circulation et l'aide à la décision. L'étude repose sur une approche multidisciplinaire associant le travail de terrain, l'analyse géographique et l'intelligence artificielle. Les données de trafic ont été collectées à partir d'enregistrements vidéo réalisés à différentes périodes, puis traitées à l'aide du modèle YOLOv8 pour la détection, le suivi et la classification automatiques des véhicules. Ce traitement a permis d'extraire des données relatives au nombre et aux catégories de véhicules. Les données obtenues ont ensuite été converties en unités de véhicules particuliers équivalents (PCU), puis organisées dans une base de données géographique intégrée dans l'environnement ArcGIS Pro. L'analyse a permis de produire plusieurs cartes thématiques et indicateurs de trafic mettant en évidence la répartition spatiale des flux de circulation et des niveaux de congestion, ainsi que les tronçons routiers les plus exposés à la pression du trafic. Afin d'anticiper l'évolution future du trafic, un modèle prédictif basé sur l'algorithme Random Forest a été développé pour estimer les flux de circulation et les niveaux potentiels de congestion. Les résultats obtenus montrent une bonne capacité du modèle à reproduire le comportement du trafic et à prédire son évolution. L'étude montre que l'utilisation des technologies GeoAI constitue une alternative efficace aux méthodes traditionnelles de collecte et d'analyse des données de trafic. Elle permet une meilleure compréhension des dynamiques spatiales et temporelles de la circulation et ouvre des perspectives pour le développement de modèles prédictifs plus avancés basés sur des données continues et multi-sources, en vue de soutenir une gestion intelligente du trafic dans les espaces urbains.

Mots-clés : congestion routière, intelligence artificielle géographique (GeoAI), vision par ordinateur, apprentissage automatique, analyse du trafic routier, YOLO v8

فهرس المحتويات

شكر وعرفان

إهداء

Abstract

Résumé

فهرس المحتويات

قائمة الأشكال

قائمة الجداول

قائمة الاختصارات

1	 المقدمة العامة
2	 الإشكالية
2	 فرضيات الدراسة
3	 أهداف الدراسة
3	 منهجية البحث
4	 هيكل المذكرة

الفصل الأول: حركة المرور الحضرية

6	 مقدمة الفصل
6	 1. حركة المرور الحضرية وعلاقتها بالتخطيط الحضري
6	 1.1 مفهوم حركة المرور الحضرية
6	 2.1 علاقة بين استعمالات الأرض وحركة المرور
7	 3.1 أهمية دراسة حركة المرور في التخطيط الحضري
7	 2. ديناميكيات حركة المرور في المناطق الحضرية
8	 1.2 مؤشرات حركة المرور
8	 1.1.2 لتدفق
8	 2.1.2 الكثافة
8	 3.1.2 السرعة
8	 2.2 العوامل المؤثرة في ديناميكية حركة المرور
9	 3. الازدحام المروري
9	 1.3 أسباب الازدحام
9	 1.1.3 الازدحام المروري المتكرر
11	 2.1.3 الازدحام المروري غير المتكرر
11	 2.3 تأثيرات الازدحام المروري
12	 4. البيانات المرورية
12	 1.4 أهمية البيانات المرورية في دعم اتخاذ القرار
13	 2.4 مصادرها
13	 1.2.4 مصادر البيانات المرورية التقليدية
15	 2.2.4 مصادر البيانات المرورية الحديثة
16	 3.4 تحديات جمع وتحليل البيانات المرورية
16	 1.3.4 حجم البيانات وتنوعها

16	 2.3.4 الحاجة إلى المعالجة الآنية
17	 خلاصة الفصل
	الفصل الثاني: الذكاء الاصطناعي الجغرافي والاكْتساب الذكي للبيانات المرورية
18	 مقدمة الفصل
18	 1. فهم الذكاء الاصطناعي الجغرافي
19	 2. دور GeoAI في تعزيز وتحسين التحليل الجغرافي
20	 3. الذكاء الاصطناعي الجغرافي في إدارة حركة المرور الحضرية
21	 4. الاكْتساب الذكي للبيانات المكانية باستخدام الرؤية الحاسوبية
21	 1.4 مفهوم الرؤية الحاسوبية وتطورها
22	 2.4 الشبكات العصبية الالتفافية (CNN)
22	 1.2.4 المبدأ العام
23	 2.2.4 طبقات الشبكات العصبية الالتفافية الوسيطة
25	 5. مفهوم كشف الأجسام
27	 6. من كشف الأجسام إلى إنتاج البيانات الجغرافية
27	 خلاصة الفصل
	الفصل الثالث: منطقة الدراسة
29	 مقدمة الفصل
29	 1. الموقع الجغرافي
29	 1.1 ولاية وهران
30	 2.1 بلدية بئر الجير
31	 2. النمو السكاني والتوسع العمراني (ما قبل بلقايد)
32	 3. جغرافية المنطقة
33	 4. مجال الدراسة (حي بلقايد)
34	 1.4 النشأة والتطور
34	 2.4 التحولات المورفولوجية والوظيفية
36	 5. البنية التحتية وشبكة الطرق
41	 خلاصة الفصل
	الفصل الرابع: التطبيقات والنتائج
43	 مقدمة الفصل
45	 1. استراتيجية التصوير الميداني
47	 2. تنظيم الفيديوهات ومزامنة التوقيت
49	 3. معالجة الفيديوهات واستخراج البيانات المرورية
49	 1.3 المعالجة الأولية للفيديوهات
49	 2.3 كشف، تتبع و عد المركبات بالنموذج YOLOv8
50	 1.2.3 الكشف عن المركبات وتتبعها
51	 2.2.3 آلية العد واستخراج التدفقات المرورية
51	 3.2.3 تنفيذ المعالجة البرمجية واستخراج النتائج
53	 4. إعداد المؤشرات المرورية وهيكل قاعدة البيانات
53	 1.4 استخراج وهيكل البيانات
54	 1.1.4 التدفق المروري المكافئ (PCU Flow)
55	 2.1.4 مؤشر الازدحام المروري المرور

55	 2.4 هيكل قاعدة البيانات المرورية الوصفية وخصائصها
57	 5. تحليل البيانات
57	 1.5 نسب أنواع المركبات
58	 2.5 تدفق العربات على المحاور الطرقية الأساسية
58	 1.2.5 التدفق الساعي الخام
61	 2.2.5 التدفق المكافئ
62	 6. إعداد قاعدة البيانات الجغرافية في ArcGis pro
63	 1.6 إدخال وربط البيانات داخل ArcGIS Pro
63	 2.6 إعداد قاعدة البيانات الجغرافية
63	 7. إعداد الخرائط المرورية، تحليل أنماط الحركة والتنبؤ بالازدحام
65	 1.7 خريطة التدفق المروري
66	 2.7 خريطة الازدحام
69	 Random Forest 3.7 خريطة التنبؤ بالازدحام المروري باستخدام
70	 1.3.7 خريطة التوزيع المكاني للتدفق المروري
71	 2.3.7 خريطة التوزيع المكاني للازدحام المروري
73	 خلاصة الفصل
74	 الخاتمة العامة
76	 قائمة المراجع
	الملحق أ

قائمة الأشكال

10	الشكل 1: نقطة اختناق مروري
14	الشكل 2: الأنابيب الهوائية
14	الشكل 3: الحلقات التحريضية
14	الشكل 4: رادار مروري
19	الشكل 5: الذكاء الاصطناعي الجغرافي
23	الشكل 6: طبقات الشبكة العصبية الالتفافية
23	الشكل 7: بنين الشبكة العصبية الالتفافية
24	الشكل 8: عمليتي الالتفاف والتجميع
30	الشكل 9: الموقع الجغرافي لولاية وهران
31	الشكل 10: النمو السكاني للبلديات الأربع التابعة لتجمع وهران الحضري خلال الفترة 1966-2015
33	الشكل 11: الموقع الجغرافي لمنطقة بلقايد
35	الشكل 12: خريطة شغل الأرض لمنطقة بلقايد
37	الشكل 13: خريطة شبكة الطرق لبلقايد
38	الشكل 14: خريطة خطوط النقل داخل منطقة بلقايد
39	الشكل 15: خريطة النمو العمراني لمنطقة بلقايد
40	الشكل 16: خريطة توزيع الكثافة السكانية لمنطقة بلقايد
44	الشكل 17: المخطط العام لسير العمل
45	الشكل 18: منطقة الدراسة (محور الدوران CNL)
46	الشكل 19: المحاور الطرقية الأساسية لمحور الدوران
46	الشكل 20: بعض الصور من العمل الميداني
47	الشكل 21: توزيع الكاميرات على محور الدوران
48	الشكل 22: تنظيم الملفات حسب جهة الدوران
52	الشكل 23: بعض أجزاء الشيفرة البرمجية
52	الشكل 24: عرض الفيديو مع صناديق الإحاطة اثناء المعالجة
52	الشكل 25: ملف بصيغة CSV بعد انتهاء المعالجة
57	الشكل 26: النسبة المئوية لكل صنف حسب المحاور الطرقية الرئيسية
58	الشكل 27: متوسط التدفق الساعي الإجمالي للمركبات على المحاور الأربعة لمحور الدوران
60	الشكل 28: متوسط التدفق الساعي الإجمالي للمركبات مع عزل الممر السفلي
62	الشكل 29: التدفق المكافئ الوارد (باللون الاسود) والخارج (باللون الاحمر) من العقدة المرورية
65	الشكل 30: خريطة متوسط التدفق المروري العام
67	الشكل 31: خريطة متوسط الازدحام العام
71	الشكل 32: خريطة التنبؤ بالتدفق المروري باستعمال خوارزمية Random Forest
72	الشكل 33: خريطة التنبؤ بالازدحام المروري باستعمال خوارزمية Random Forest

قائمة الجداول

16	الجدول 1: مصادر البيانات المرورية
20	الجدول 2: أبرز أوجه الاختلاف والتكامل بين GIS و GEOAI
26	الجدول 3: جدول يبين مقارنة تحليلية بين نماذج
36	الجدول 4: طول الشبكة الطرقية لوهران
50	الجدول 5: وصف مختصر لإصدارات نموذج YOLOv8 وخصائصها العامة
56	الجدول 6: ملخص للنتائج المفصلة الواردة في الملحق
58	الجدول 7: متوسط التدفق الساعي الإجمالي للمركبات على المحاور الأربعة لمحور الدوران
60	الجدول 8: متوسط التدفق الساعي الإجمالي للمركبات مع عزل الممر السفلي
61	الجدول 9: التدفقات التراكمية المكافئة

قائمة الاختصارات

الاختصار	التسمية بالإنجليزية	الترجمة العربية
CNN	Convolutional Neural Network	الشبكة العصبية الالتفافية
CNL	Caisse Nationale du Logement	الصندوق الوطني للسكن
GeoAI	Geographic Artificial Intelligence	الذكاء الاصطناعي الجغرافي
GIS	Geographic Information System	نظام المعلومات الجغرافية
GPS	Global Positioning System	النظام العالمي لتحديد المواقع
HPC	High Performance Computing	الحوسبة عالية الأداء
IoT	Internet of Things	إنترنت الأشياء
OpenCV	Open Source Computer Vision Library	مكتبة الرؤية الحاسوبية مفتوحة المصدر
LSTM	Long Short-Term Memory	الذاكرة طويلة وقصيرة المدى
PCU	Passenger Car Unit	وحدة السيارة المكافئة
PDAU	Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme	المخطط التوجيهي للتهيئة والتعمير
POS	Plan d'Occupation des Sols	مخطط شغل الأراضي
R-CNN	Region-based Convolutional Neural Network	شبكة عصبية التفافية قائمة على المناطق
SVM	Support Vector Machine	آلة المتجهات الداعمة
YOLO	You Only Look Once	الكشف عن الأجسام في مرور واحد فقط
v8	Version 8	الجيل الثامن

المقدمة العامة

تشهد المدن المعاصرة نمواً حضرياً متسارعاً رافقه تزايداً مستمراً في عدد السكان والمركبات، الأمر الذي أدى إلى تفاقم مشكلات حركة المرور الحضرية وعلى رأسها الازدحام المروري. وتُعد هذه الظاهرة من أبرز التحديات التي تواجه المخططيين والمسيرين الحضريين لما لها من انعكاسات سلبية على التنقل اليومي واستهلاك الطاقة وعلى البيئة وجودة الحياة الحضرية. كما أن تفاقم الازدحام المروري يؤدي إلى انخفاض كفاءة الشبكات الطرقية وارتفاع زمن الرحلات والتكاليف الاقتصادية والاجتماعية المرتبطة بالتنقل.

وأمام تزايد تعقيد حركة المرور الحضرية وصعوبة مراقبتها وتحليلها بالاعتماد على الأساليب التقليدية، برزت الحاجة إلى توظيف تقنيات متقدمة قادرة على جمع البيانات المرورية ومعالجتها وتحليلها، بما يساهم في تحسين فهم ديناميكيات الحركة المرورية ودعم اتخاذ القرارات المتعلقة بإدارتها.

وفي ظل التطور التكنولوجي المتسارع، برزت تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية كأدوات فعالة قادرة على تحسين فهم الظواهر الحضرية المعقدة وتوفير حلول مبتكرة لإدارتها. فقد أتاح الذكاء الاصطناعي إمكانيات متقدمة لمعالجة كميات كبيرة من البيانات واستخراج المعلومات بصورة آلية، آنية ودقيقة، في حين ساهمت نظم المعلومات الجغرافية في تحليل البيانات المكانية وتمثيلها ودعم عمليات اتخاذ القرار. وقد أدى دمج هاتين التقنيتين إلى ظهور مفهوم الذكاء الاصطناعي الجغرافي الذي أصبح من أهم التوجهات الحديثة في مجال المدن الذكية وإدارة حركة المرور الحضرية.

تُعد مدينة وهران من بين المدن الجزائرية التي تشهد توسعاً عمرانياً ملحوظاً وتزايداً مستمراً في الطلب على التنقل، خاصة على مستوى الأقطاب الحضرية الجديدة. ومن بين هذه الأقطاب يبرز حي بلقايد باعتباره منطقة حديثة النشأة تشهد نمواً عمرانياً وديموغرافياً متواصلاً، وتحتضن العديد من المنشآت الكبرى والتجهيزات الهيكلية المهمة، من بينها ملعب ميلود هدي، والمركب الأولمبي، والقطب الجامعي، والقرية المتوسطة، ومراكز التكوين المهني، والتجمعات السكنية المتنوعة، مما يجعله فضاءً حضرياً يتميز بكثافة وتنوع في الحركة المرورية، ويطرح تحديات متزايدة تتعلق بمراقبة التدفقات المرورية وتحليلها وإدارتها بكفاءة.

وانطلاقاً من هذه المعطيات، تسعى هذه الدراسة إلى توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي في تحليل حركة المرور بحي بلقايد، من خلال دراسة حالة محور الدوران CNL المحاذي للجهة الغربية لملاعب ميلود هدي، باعتباره عقدة مرورية

استراتيجية تستقطب تدفقات متنوعة من المركبات القادمة من مختلف الاتجاهات. وقد اعتمدت الدراسة على معالجة التسجيلات المرئية باستعمال نموذج YOLOv8 للكشف عن المركبات وتتبعها واستخراج البيانات المرورية، إلى جانب توظيف نظم المعلومات الجغرافية في تنظيم هذه البيانات وتحليلها وتمثيلها مكانياً وزمانياً.

تهدف الدراسة إلى المساهمة في فهم خصائص الحركة المرورية داخل منطقة الدراسة والكشف عن أنماط تدفق المركبات بها، فضلاً عن تقييم إمكانات الذكاء الاصطناعي الجغرافي في دعم إدارة المرور وتعزيز عملية اتخاذ القرار، بما ينسجم مع التوجهات الحديثة نحو بناء مدن أكثر ذكاءً وكفاءة واستدامة.

الإشكالية

على الرغم من الأهمية الحضرية التي يكتسبها حي بلقايد بمدينة وهران وما يشهده من نمو عمراني وديموغرافي متواصل، فإن المعطيات المتعلقة بخصائص الحركة المرورية وأنماط تدفق المركبات داخله ما تزال محدودة، خاصة على مستوى محور الدوران CNL المحاذي للجهة الغربية للمعب ميلود هديفي، والذي يمثل إحدى العقد المرورية الرئيسية بالمنطقة. ويستقبل هذا المحور تدفقات مرورية متنوعة ومتزايدة ناتجة عن تعدد الاستعمالات الحضرية المحيطة به، مما يجعله عرضة لحالات الازدحام المروري خلال فترات معينة من اليوم.

وفي ظل محدودية الأساليب التقليدية المعتمدة في رصد حركة المرور وتحليلها، تبرز الحاجة إلى توظيف تقنيات حديثة قادرة على توفير بيانات دقيقة وآنية حول التدفقات المرورية، بما يساهم في فهم أفضل لخصائص الحركة المرورية ودعم اتخاذ القرار.

وانطلاقاً من ذلك، تتمثل الإشكالية الرئيسية للدراسة في التساؤل الآتي:

كيف يمكن توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) في تحليل حركة المرور بمحور الدوران CNL بحي بلقايد من أجل فهم خصائص التدفقات المرورية والمساهمة في تحسين إدارتها والحد من مظاهر الازدحام المروري؟

فرضيات الدراسة

- يشهد محور الدوران CNL بحي بلقايد تفاوتاً في أحجام التدفقات المرورية حسب الاتجاهات والفترات الزمنية.
- توجد فترات ذروة مرورية ترتبط بالأنشطة الحضرية والتجهيزات الكبرى الموجودة بمنطقة الدراسة.
- يساهم استخدام نموذج YOLOv8 في تحسين دقة وسرعة استخراج البيانات المرورية مقارنة بعمليات العد اليدوي التقليدية.

- يساهم دمج الذكاء الاصطناعي الجغرافي ونظم المعلومات الجغرافية في تحسين تحليل الحركة المرورية وفهم أنماط الازدحام.
- يمكن للمؤشرات والخرائط الناتجة عن التحليل أن توفر أدوات مساعدة لدعم اتخاذ القرار وتحسين إدارة المرور داخل منطقة الدراسة.

أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) في تحليل حركة المرور بحبي بلقايد بمدينة وهران، من خلال دراسة حالة محور الدوران CNL المحاذي للملعب ميلود هدي، وذلك بغرض فهم خصائص التدفقات المرورية وتشخيص مظاهر الازدحام المروري وتقييم إمكانات هذه التقنيات في دعم إدارة المرور وتعزيز عملية اتخاذ القرار بما يساهم في تحسين انسيابية الحركة المرورية.

- ولتحقيق هذا الهدف الرئيسي، تسعى الدراسة إلى تحقيق الأهداف الفرعية التالية:
- رصد وجمع البيانات المرورية الميدانية بمحور الدوران CNL خلال فترات زمنية مختلفة.
- استخدام نموذج YOLOv8 للكشف الآلي عن المركبات وتتبعها وتصنيفها حسب النوع.
- استخراج وتحليل التدفقات المرورية حسب الاتجاهات والفترات الزمنية.
- بناء قاعدة بيانات مرورية وجغرافية متكاملة قابلة للاستغلال والتحليل.
- حساب مجموعة من المؤشرات المرورية التي تعكس حجم التدفق ومستوى الازدحام.
- تمثيل البيانات المرورية وإنتاج خرائط موضوعاتية باستعمال نظم المعلومات الجغرافية.
- دراسة التوزيع المكاني والزمني للحركة المرورية داخل منطقة الدراسة.
- تقييم فعالية دمج الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية في تحليل وإدارة حركة المرور.
- اقتراح توصيات ومقترحات عملية تساهم في تحسين إدارة الحركة المرورية والحد من الازدحام داخل منطقة الدراسة.

منهجية البحث

اعتمدت هذه الدراسة على منهجية تطبيقية تجمع بين العمل الميداني وتقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية، بهدف تحليل حركة المرور وتشخيص مظاهر الازدحام المروري داخل حي بلقايد بمدينة وهران. وقد تم تنفيذ الدراسة وفق مجموعة من المراحل المتكاملة:

- (1) **تحديد منطقة الدراسة وإعداد العمل الميداني:** تم اختيار محور الدوران CNL المحاذي للجهة الغربية للملعب ميلود هدي باعتبارها نقطة مرور استراتيجية تشهد تدفقات مرور مهمة ومتنوعة. كما تم إجراء معاينات ميدانية للموقع من أجل لتحديد مواقع التصوير المناسبة وضمان تغطية مختلف مداخل ومخارج المحور.
- (2) **جمع البيانات المرورية:** تم جمع البيانات من خلال تسجيل فيديوهات ميدانية باستعمال أربع كاميرات موزعة على الجهات الأربع للمحور، مع إجراء التصوير بشكل متزامن خلال فترات زمنية مختلفة تمثل أهم أوقات ذروة الحركة المرورية. كما تم تنظيم التسجيلات وأرشفتها وفق نظام تسمية موحد يسهل عملية المعالجة والاستغلال.
- (3) **معالجة التسجيلات المرئية واستخراج البيانات:** تمت معالجة التسجيلات المرئية باستعمال نموذج الذكاء الاصطناعي YOLOv8s المدعم بخوارزمية ByteTrack، حيث تم الكشف عن المركبات وتتبعها وتصنيفها حسب أنواعها المختلفة (سيارات، حافلات، شاحنات، ودراجات نارية)، واستخراج البيانات المتعلقة بأعداد المركبات.
- (4) **بناء قاعدة البيانات وحساب المؤشرات المرورية:** تم إنشاء قاعدة بيانات مرورية تضمنت نتائج العد الآلي للمركبات، ثم حساب مجموعة من المؤشرات المرورية، من بينها التدفق المكافئ (PCU Flow) ومؤشر المرور المعتمد في الدراسة.
- (5) **التحليل المكاني والزمني للبيانات:** تم توظيف نظم المعلومات الجغرافية باستعمال برنامج ArcGIS Pro لربط البيانات المرورية بالبيانات المكانية الخاصة بالشبكة الطرقية، وإنجاز الخرائط والتحليلات المكانية والزمانية التي تسمح بفهم توزيع الحركة المرورية داخل منطقة الدراسة، إضافة إلى بناء نموذج تنبئي باستعمال خوارزمية Random Forest لاستشراف التدفقات المرورية المستقبلية.
- (6) **تحليل النتائج واستخلاص التوصيات:** تم تحليل النتائج المتحصل عليها ومقارنتها بالمعطيات الميدانية، ثم استخلاص أهم الاستنتاجات واقتراح مجموعة من التوصيات التي يمكن أن تساهم في تحسين إدارة حركة المرور والحد من الازدحام داخل منطقة الدراسة، في إطار التوجه نحو توظيف الذكاء الاصطناعي الجغرافي لدعم أنظمة النقل الذكية وإدارة المدن الحديثة.

هيكل المذكرة

تتكون هذه المذكرة من مقدمة عامة وأربعة فصول رئيسية، إضافة إلى الخاتمة العامة، وذلك وفق التنظيم الآتي:

- الفصل الأول: الإطار المفاهيمي لحركة المرور الحضرية، ويتناول المفاهيم الأساسية المرتبطة بحركة المرور والازدحام المروري ومؤشرات التحليل المروري.

- الفصل الثاني: الذكاء الاصطناعي الجغرافي والاكتساب الذكي للبيانات المكانية، ويتناول الأسس النظرية للذكاء الاصطناعي الجغرافي والرؤية الحاسوبية والكشف الآلي عن الأجسام
- الفصل الثالث: تقديم منطقة الدراسة
- الفصل الرابع: التطبيق على منطقة الدراسة، ويتناول العمل الميداني، جمع البيانات المرورية، معالجة التسجيلات المرئية باستعمال YOLOv8، حساب المؤشرات المرورية، التحليلات المكانية والزمانية، بناء نموذج تنبئي باستعمال خوارزمية Random Forest، عرض النتائج ومناقشتها.
- وتختتم المذكرة بخاتمة عامة تتضمن أهم النتائج المتوصل إليها والتوصيات والآفاق المستقبلية للدراسة.

الفصل الأول:

حركة المرور الحضرية

مقدمة الفصل

تشكل حركة المرور الحضرية أحد أبرز التحديات التي تواجه التخطيط الحضري وإدارة التنمية الإقليمية، نظراً لتأثيرها المباشر في إمكانية الوصول، وجودة الحياة، والنشاط الاقتصادي، والبيئة الحضرية. فمع تزايد عدد السكان والتوسع العمراني المتسارع، تشهد المدن ارتفاعاً مستمراً في الطلب على التنقل، الأمر الذي يؤدي إلى تفاقم الازدحام المروري وظهور اختناقات متكررة وانعكاسات بيئية واقتصادية متعددة نتيجة الاعتماد المتزايد على المركبات الخاصة.

يتناول هذا الفصل دراسة حركة المرور الحضرية من خلال عرض مفاهيمها الأساسية وخصائصها الديناميكية والعوامل المؤثرة فيها، إضافة إلى مناقشة ظاهرة الازدحام المروري وآثارها المختلفة. كما يتطرق إلى أساليب إدارة حركة المرور ومصادر البيانات المرورية التقليدية والحديثة، مع إبراز التحديات المرتبطة بجمع هذه البيانات وتحليلها.

1. حركة المرور الحضرية وعلاقتها بالتخطيط الحضري

1.1 مفهوم حركة المرور الحضرية

تشير حركة المرور الحضرية إلى حركة المركبات ومستعملي الطريق داخل المجال الحضري عبر شبكة الطرق خلال فترة زمنية محددة. وتُعد هذه الحركة عنصراً أساسياً في تنظيم الحياة اليومية داخل المدن، لما لها من ارتباط مباشر بإمكانية الوصول إلى مختلف الوظائف الحضرية، مثل السكن والعمل والخدمات. كما تمثل حركة المرور أحد المؤشرات المهمة على مدى كفاءة البنية التحتية الطرقية وقدرتها على استيعاب الطلب المتزايد على التنقل، خاصة في المدن التي تشهد توسعاً عمرانياً متسارعاً ونمواً ديموگرافياً متواصلاً.

تكتسب حركة المرور أهمية كبيرة في المجال الحضري لأنها لا تعكس فقط حجم التنقلات اليومية، بل تكشف أيضاً عن مستوى تنظيم المجال الحضري ومدى فعالية شبكات النقل. فكلما كانت حركة المرور أكثر انسياباً، دلّ ذلك على وجود شبكة طرق أكثر كفاءة وقدرة أفضل على خدمة السكان والأنشطة الحضرية. وفي المقابل، فإن تعثر الحركة وارتفاع مستويات الازدحام يعكسان وجود اختلالات في التوازن بين الطلب على التنقل والطاقة الاستيعابية للطريق.

2.1 العلاقة بين استعمالات الأرض وحركة المرور

ترتبط حركة المرور ارتباطاً وثيقاً باستعمالات الأرض، إذ يؤثر توزيع الأنشطة الحضرية، مثل السكن والتجارة والخدمات والإدارة، في أنماط التنقل وحجم الطلب على النقل. فكلما تركزت الأنشطة في مناطق محددة، ارتفع الضغط على الشبكات الطرقية المؤدية إليها، مما يؤدي إلى زيادة التدفقات المرورية وارتفاع احتمالات الازدحام (Li et al,

(2022). كما أن التوسع العمراني غير المنظم يساهم في إطالة مسافات التنقل وزيادة الاعتماد على المركبات الخاصة، وهو ما ينعكس سلباً على كفاءة الحركة داخل المدينة. لذلك فإن العلاقة بين استعمالات الأرض وحركة المرور تُعد علاقة تبادلية؛ إذ يؤثر كل منهما في الآخر بشكل مستمر، مما يجعل التنسيق بين التخطيط المكاني وسياسات النقل ضرورة أساسية لتحقيق تنقل حضري أكثر توازناً واستدامة.

3.1 أهمية دراسة حركة المرور في التخطيط الحضري

تُعد دراسة حركة المرور من الركائز الأساسية في التخطيط الحضري، لأنها توفر المعطيات الضرورية لفهم سلوك التنقل داخل المدن وتقييم أداء الشبكات الطرقية. فمن خلال تحليل حركة المرور يمكن تحسين كفاءة التنقل، وتحديد نقاط الاختناق المروري، واقتراح حلول مناسبة لتخفيف الضغط على المحاور الأكثر ازدحاماً. كما تساعد هذه الدراسة على دعم اتخاذ القرار فيما يتعلق بتوسيع الطرق أو إعادة تنظيم التقاطعات أو تحسين أنظمة التحكم المروري.

وتكمن أهميتها أيضاً في كونها تتيح تقييم مدى ملائمة البنية التحتية الحضرية للطلب الحالي والمستقبلي على التنقل، مما يجعلها أداة مهمة في توجيه السياسات الحضرية نحو مزيد من الفعالية والاستدامة. كما أن فهم أنماط الحركة المرورية يسمح بإعداد تصورات أدق لتطور المدينة، خاصة في ظل التغيرات العمرانية والاقتصادية والاجتماعية المتسارعة التي تشهدها المجالات الحضرية.

2. ديناميكيات حركة المرور في المناطق الحضرية

تشير ديناميكية حركة المرور إلى دراسة سلوك المركبات على الطرق وتحليل العلاقات التي تربط بين المتغيرات الأساسية المؤثرة في حركة السير، والمتمثلة في التدفق (Flow)، الكثافة (Density) والسرعة (Speed). تُعد هذه المتغيرات الركائز الأساسية لتحليل حركة المرور وفهم خصائصها (Garber & Hoel, 2020)، ويساهم تحليل العلاقات المتبادلة بينها في تفسير ظواهر الازدحام المروري، وتقدير سعة الطرق، وتحسين إدارة حركة السير، فضلاً عن تقييم مؤشرات أخرى مثل زمن الرحلة، السلامة المرورية، استهلاك الوقود والانبعاثات الملوثة.

تمثل حركة المرور في الوسط الحضري نظاماً ديناميكياً معقداً يتسم بتعدد العوامل المؤثرة فيه وتشابك العلاقات بين مكوناته. فالمركبات لا تتحرك بصورة مستقلة، وإنما تتأثر بشكل مستمر بحركة المركبات المجاورة وبمختلف الظروف المحيطة، مثل الإشارات المرورية والتقاطعات وخصائص الطريق وحالته، إضافة إلى العوامل الجوية. وينتج عن هذه التفاعلات ظهور العديد من الظواهر المرورية، كالتباطؤ المفاجئ وتكوّن موجات الازدحام وانتشارها على طول الطريق حتى في غياب عائق مادي مباشر. لذلك تعتمد دراسة ديناميكية المرور على نماذج رياضية وأساليب تحليلية (Treiber &

(Kesting, 2013) تهدف إلى تفسير هذه الظواهر وتحليل تطور حركة المرور داخل الشبكات الحضرية وفهم آلياتها الأساسية.

1.2 مؤشرات حركة المرور

تعتمد دراسة حركة المرور على مجموعة من المؤشرات الأساسية التي تُستخدم لوصف خصائص التدفق المروري وتحليل أداء الشبكات الطرقية، وتتمثل أهم هذه المؤشرات فيما يلي (Garber & Hoel, 2020) :

1.1.2 التدفق (Flow)

يعرف التدفق المروري على أنه المعدل المكافئ لعدد المركبات التي تمر عبر نقطة معينة من الطريق خلال ساعة واحدة ويتم حسابه عادة خلال فترة زمنية أقل من ساعة ثم يحول إلى معدل ساعي. ووحدته (مركبة/سا).

يُعد التدفق من أكثر المؤشرات استخداماً في تحليل حركة المرور لأنه يعبر عن حجم الحركة المرورية ومستوى الطلب على استعمال الطريق. ويساعد قياس التدفق المروري في تقييم الطاقة الاستيعابية للطرق وتحديد فترات الذروة المرورية.

2.1.2 الكثافة (Density)

تعرف الكثافة المرورية بأنها عدد المركبات الموجودة على طول معين من الطريق في لحظة زمنية معينة وغالباً يتم قياسها بالنسبة لطول قدره 1 كم من الطريق ووحدتها (مركبة/كم). تُستخدم الكثافة لوصف درجة إشغال الطريق ومستوى ازدحامه، حيث ترتفع قيمتها مع زيادة عدد المركبات الموجودة على المقطع الطرقي.

3.1.2 السرعة (Speed)

تمثل السرعة المسافة التي تقطعها المركبة خلال وحدة زمنية معينة، وتُقاس عادة بالكيلومتر في الساعة (كم/سا). وتُعد السرعة مؤشراً مباشراً على مستوى انسيابية الحركة المرورية، إذ تنخفض عادة مع ارتفاع الكثافة المرورية أو حدوث اختناقات داخل الشبكة الطرقية. كما تُستخدم السرعة في تقييم مستوى الخدمة الذي توفره الطرق لمستعمليها.

2.2 العوامل المؤثرة في ديناميكية حركة المرور

تتأثر ديناميكية حركة المرور في المدن بعدة عوامل مترابطة فيما بينها من أهمها :

- الطلب على التنقل المرتبط بالنمو السكاني، التوسع العمراني والأنشطة الاقتصادية.
- خصائص البنية التحتية الطرقية كعدد المسارات، عرض الطريق، وجود التقاطعات والإشارات المرورية وجودة سطح الطريق.

- الإجراءات والوسائل المستخدمة لتنظيم حركة المرور
- الظروف الجوية والحوادث
- السلوك البشري
- جودة المركبات وحالتها التقنية

3. الازدحام المروري

يمكن تعريف الازدحام المروري بأنه تباطؤ أو توقف حركة المرور الناتج عن عدم التوازن بين الطلب على الطريق وسعته الفعلية. تعد ظاهرة الازدحام المروري من أبرز التحديات التي تواجه المدن الحديثة نظراً لتأثيرها المباشر على جودة الحياة الحضرية.

يُصنّف الازدحام المروري عموماً إلى نوعين رئيسيين هما: الازدحام المتكرر الذي يرتبط غالباً بالاختلال الدائم بين الطلب المروري والسعة الاستيعابية للطريق، والازدحام غير المتكرر الناتج عن أحداث عرضية أو طارئة.

1.3 أسباب الازدحام

1.1.3 الازدحام المروري المتكرر

تنشأ أسباب الازدحام المروري الحضري المتكرر من مجموعة من العوامل المرتبطة بالنظام المروري وسلوك مستخدمي الطرق والبنية التحتية. يمكن إرجاع هذا النوع من الازدحام إلى مجموعة من الأسباب الرئيسية، أهمها:

- **نقاط الاختناق المروري والسعة الاستيعابية:** يُعد وجود نقاط الاختناق (الشكل 1) من أكثر الأسباب شيوعاً لحدوث الازدحام المروري. وتظهر هذه النقاط عادة خلال فترات الذروة عندما يتجاوز عدد المركبات المتدفقة نحو طريق أو جسر أو نفق معين القدرة الاستيعابية المتاحة لهذه المنشآت. كما يمكن أن يحدث الازدحام عندما يفوق الطلب المروري السعة الاستيعابية للطريق (Afrin & Yodo, 2020).



الشكل 1: نقطة اختناق مروري (Afrin & Yodo, 2020)

- **محدودية البنية التحتية الطرقية:** يُعد نقص البنية التحتية أحد أهم أسباب الازدحام المروري، خاصة في المناطق ذات الكثافة السكانية المرتفعة. فمع تزايد عدد السكان يزداد عدد المركبات، مما يؤدي إلى تفاقم مشكلة الازدحام. ويحدث الازدحام عندما تصبح البنية التحتية المتاحة غير قادرة على استيعاب الأعداد المتزايدة من المركبات أو أحجام الحركة المرورية المتنامية (Afrin & Yodo, 2020).
- **تغير حجم الحركة المرورية:** تؤدي التغيرات اليومية في الطلب على التنقل إلى اختلاف أحجام الحركة المرورية بين الأيام والفترات الزمنية المختلفة (Subair et al., 2024). فبعض الأيام أو ساعات الذروة تشهد ارتفاعاً ملحوظاً في عدد المركبات مقارنة بغيرها، الأمر الذي يزيد الضغط على الشبكة الطرقية. وعندما تتجاوز هذه الزيادة السعة الاستيعابية المتاحة للطريق، تنخفض انسيابية حركة المرور وتزداد فترات التأخير، مما يؤدي إلى ظهور الازدحام المروري.
- **ضعف تنظيم حركة المرور:** قد ينتج الازدحام عن سوء تنظيم حركة المرور، مثل عدم ضبط التوقيت المناسب للإشارات الضوئية بصورة فعالة أو ضعف تنظيم التقاطعات وإشارات التوقف ومناطق تخفيض السرعة، مما يعيق انسيابية حركة المركبات ويؤدي إلى زيادة زمن التنقل بين مختلف أجزاء المدينة (Afrin & Yodo, 2020).
- **سلوك السائقين:** يشمل ذلك التغير المفاجئ للمسارات، التباطؤ أو التسارع المفاجئ. كما أن بعض السلوكيات غير الآمنة كاستخدام الهواتف أو غيرها من أسباب تشتيت الانتباه قد تؤدي إلى زيادة مخاطر الحوادث وتعطيل انسيابية الحركة المرورية.

- التوزيع المكاني للأنشطة الحضرية: تركز السكن، العمل، والخدمات في مناطق محددة يخلق ضغطاً كبيراً على بعض المحاور، ما يساهم في حدوث ازدحام مروري متكرر.

2.1.3 الازدحام المروري غير المتكرر

ينتج الازدحام المروري غير المتكرر عن أحداث مفاجئة أو استثنائية تؤثر في انسيابية حركة المرور، مثل الحوادث المرورية، وأشغال الطرق، والظروف الجوية غير الملائمة، والفعاليات الكبرى. وتؤدي هذه الأحداث إلى انخفاض مؤقت في السعة الاستيعابية للطريق أو إلى زيادة مفاجئة في الطلب على التنقل، مما يسبب اضطرابات مرورية واختناقات قد تظهر حتى خارج فترات الذروة المعتادة (Subair et al., 2024).

- الحوادث المرورية: تؤدي الحوادث إلى إغلاق بعض المسارات أو إعاقة حركة المركبات، مما يقلل من السعة الاستيعابية للطريق.
- أشغال الطرق: قد تتسبب أعمال الصيانة أو التهيئة في تقليص عدد المسارات المتاحة أو تغيير تنظيم حركة المرور بشكل مؤقت.
- الظروف الجوية: تؤثر الأمطار والضباب والرياح القوية في سرعة المركبات ومستوى السلامة المرورية، مما يؤدي إلى انخفاض انسيابية الحركة.
- الفعاليات الخاصة: تؤدي التظاهرات الرياضية والثقافية أو التجمعات الكبرى إلى زيادة مفاجئة في الطلب على التنقل، وهو ما قد يسبب ازدحاماً يفوق الظروف المرورية العادية.

2.3 تأثيرات الازدحام المروري

لا تقتصر آثار الازدحام المروري على تعطيل حركة المركبات فحسب، بل تمتد لتشمل أبعاداً اقتصادية واجتماعية وبيئية متعددة.

- الآثار الاقتصادية: الازدحام لا يستهلك الوقت فقط، بل يفرض تكاليف على الاقتصاد الحضري من خلال زيادة زمن الرحلات، ارتفاع استهلاك الوقود (Choudhary et al., 2022)، وتأثيرات على إنتاجية الأفراد والأعمال. إضافة إلى ذلك، قد يؤثر سلباً في النشاط الاقتصادي من خلال تأخير حركة الأشخاص والبضائع داخل المدينة. هذه التأثيرات تمتد إلى اقتصاد الإقليم ككل من خلال انخفاض الكفاءة الاقتصادية وزيادة التكاليف التشغيلية.

- **الآثار البيئية:** الازدحام يولد آثارًا بيئية مباشرة مثل تلوث الهواء (Wang et al., 2023; Xu et al., 2024) نتيجة الوقوف والتسارع المتكرر، وضعف جودة المناطق الحضرية بسبب الضوضاء والانبعاثات. كما أن هذه الانبعاثات المرتبطة بالازدحام تؤدي إلى آثار صحية مباشرة على السكان، حيث أظهرت دراسة Levy et al. (2010) أن التعرض للملوثات الناتجة عن الازدحام المروري يزيد من مخاطر الأمراض التنفسية والقلبية ويؤثر سلبًا على الصحة العامة، مما يرفع العبء الصحي على المدن. هذه العوامل تُعد جزءًا من التأثيرات الإقليمية لأنها تغير جاذبية بعض المناطق وتؤدي إلى تدهور جودتها البيئية والصحية مقارنة بمناطق أخرى.
- **الآثار الاجتماعية:** ينعكس الازدحام المروري على الحياة اليومية للحياة اليومية للسكان من خلال زيادة فترات التنقل والتعرض للضغوط النفسية والإجهاد الناتج عن التأخر المتكرر وصعوبة التنقل. هذه التأثيرات تعيد تشكيل العلاقة بين الناس والمكان في النسيج الحضري.

4. البيانات المرورية

تُعد البيانات المرورية الأساس الذي تعتمد عليه الدراسات المرورية لفهم أنماط التنقل وتحليل أداء الشبكات الطرقية وتقييم مستويات الازدحام.

1.4 أهمية البيانات المرورية في دعم اتخاذ القرار

تمثل البيانات المرورية مورداً أساسياً لدعم التخطيط وإدارة النقل، حيث تسمح بفهم أنماط الحركة المرورية وتحديد مواقع الاختناق وتقييم أداء الشبكات الطرقية.

- **دعم التخطيط الحضري:** تساعد البيانات المرورية في توجيه مشاريع التهئية العمرانية وتطوير البنية التحتية للنقل وفقاً لاحتياجات السكان وأنماط التنقل الفعلية.
- **إدارة حركة المرور:** تُستخدم البيانات المرورية في مراقبة الوضع المروري، تحديد الاختناقات وتحسين تنظيم حركة المركبات وتوقيت الإشارات الضوئية.
- **التنبؤ بالحركة المرورية:** تسمح البيانات التاريخية والآنية ببناء نماذج تنبؤية تساعد على استشراف تطور الحركة المرورية واتخاذ قرارات استباقية للحد من الازدحام وتحسين كفاءة التنقل.

2.4 مصادرها

. وقد شهدت طرق جمع البيانات المرورية تطوراً ملحوظاً خلال العقود الأخيرة، حيث انتقلت من الأساليب الميدانية التقليدية إلى مصادر رقمية حديثة توفر بيانات آنية وذات تغطية مكانية واسعة.

1.2.4 مصادر البيانات المرورية التقليدية

تعتمد هذه المصادر على عمليات الرصد المباشر أو جمع البيانات ميدانياً، وقد شكلت لفترة طويلة المصدر الرئيسي للمعلومات المرورية.

(1) العدّ اليدوي

يُعد العدّ اليدوي من أقدم أساليب جمع البيانات المرورية، حيث يتم تسجيل أعداد المركبات المارة عبر نقطة معينة بواسطة مراقبين ميدانيين خلال فترة زمنية محددة. وتُستخدم هذه الطريقة عادة في الدراسات المرورية محدودة النطاق أو لأغراض التحقق من صحة البيانات المستخلصة بوسائل أخرى. ورغم بساطتها، فإنها تتطلب وقتاً وجهداً كبيرين، كما أنها تكون أكثر عرضة للأخطاء البشرية عند التعامل مع أحجام مرورية مرتفعة.

(2) الاستبيانات والمسوح المرورية

تهدف الاستبيانات المرورية إلى جمع معلومات حول خصائص التنقل وسلوك مستخدمي الطريق، مثل أغراض الرحلات، ووسائل النقل المستعملة، أوقات التنقل، والمسافات المقطوعة. وتُساهم هذه البيانات في فهم الطلب على التنقل والعوامل المؤثرة فيه.

(3) أجهزة الرصد والاستشعار الأرضية

تتنوع أجهزة الرصد والاستشعار الأرضية المستخدمة في جمع البيانات المرورية باختلاف طبيعة البيانات المطلوبة وخصائص الموقع المدروس. وتُعد الأنابيب الهوائية (الشكل 2)، الحلقات التحريضية (الشكل 3) والرادارات المرورية (الشكل 4) من أكثر الوسائل استخداماً في مراقبة حركة المرور، حيث تتيح قياس حجم الحركة المرورية وسرعة المركبات وبعض المؤشرات الأخرى بصورة آلية ومستمرة. وتتميز هذه الأجهزة بقدرتها على توفير بيانات دقيقة تدعم عمليات التخطيط المروري وتقييم أداء الشبكات الطرقية.



الشكل 2: الأنابيب الهوائية

<https://www.metrocount.com/fr/compteurs-routiers/roadpod-vt4>



الشكل 3: الحلقات التحريضية

<https://www.autoroutes.sanef.com/fr/actualite/on-tourne-en-boucles>



الشكل 4: رادار مروري

<https://sferiel.com>

2.2.4 مصادر البيانات المرورية الحديثة

أدى التطور الرقمي وانتشار تقنيات الاتصال إلى ظهور مصادر جديدة للبيانات المرورية تتميز بالتحديث المستمر والحجم الكبير والتغطية المكانية الواسعة. تعدد مصادر البيانات المرورية الحديثة وتزايد حجمها أدى إلى ظهور مفهوم البيانات الضخمة، الذي يشير إلى الكميات الهائلة والمتنوعة من البيانات الناتجة عن أنظمة تحديد المواقع، الهواتف الذكية، وكاميرات المراقبة، وغيرها من المصادر الرقمية. وقد أتاح ذلك تطوير أساليب جديدة لتحليل حركة المرور والتنبؤ بها باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي.

(1) البيانات المعتمدة على المواقع الجغرافية

تشمل البيانات المستمدة من أنظمة تحديد المواقع العالمية (GPS) والهواتف الذكية وأنظمة الملاحة. وتسمح هذه البيانات بتتبع حركة المركبات وتحديد المسارات وأزمنة الرحلات وتحليل أنماط التنقل داخل المدن.

(2) البيانات المرئية

تمثل كاميرات المراقبة المرورية أحد أهم مصادر البيانات الحديثة، إذ توفر تسجيلاً مستمراً لحركة المركبات والمشاة على الطرق والتقاطعات. ومع تطور تقنيات الرؤية الحاسوبية والتعلم العميق، أصبح بالإمكان استخراج معلومات دقيقة حول أعداد المركبات وأنواعها واتجاهات حركتها بصورة آلية، مما جعل هذه البيانات ذات أهمية متزايدة في أنظمة النقل الذكية.

(3) بيانات إنترنت الأشياء (IoT)

تنتج هذه البيانات عن الأجهزة والمستشعرات المتصلة بالشبكات الرقمية، مثل الحساسات المرورية والكاميرات الذكية وأجهزة المراقبة المختلفة (Moumen et al., 2023). وتتميز بقدرتها على توفير معلومات آنية حول حالة المرور ومستوى الازدحام في مختلف أجزاء الشبكة الطرقية.

الجدول 1 يلخص المصادر المختلفة للبيانات الطرقية.

مصدر البيانات	نوع البيانات	المزايا	الحدود
العد اليدوي	حجم الحركة المرورية	بسيط وقليل التكلفة	محدود زمنياً ومكانياً
الاستبيانات المرورية	خصائص التنقل وسلوك المستخدمين	توفر معلومات اجتماعية وسلوكية	تستغرق وقتاً وتتأثر بإجابات المشاركين
الحساسات الأرضية	الحجم والسرعة والكثافة	بيانات دقيقة ومستمرة	تتطلب تجهيزات وصيانة
GPS	المسارات وأزمنة الرحلات	تغطية مكانية واسعة	قد تتأثر دقة المواقع بالإشارة
كاميرات المراقبة	صور وفيديو لحركة المرور	توفر معلومات غنية ومتنوعة	تتطلب معالجة وتحليلاً متقدماً
إنترنت الأشياء	بيانات آنية من أجهزة متصلة	مراقبة مستمرة وفي الزمن الحقيقي	تحديات التخزين والتكامل

الجدول 1: مصادر البيانات المرورية

3.4 تحديات جمع وتحليل البيانات المرورية

تشهد المدن الحديثة تدفقاً متزايداً للبيانات المرورية القادمة من مصادر متعددة، وقد أدى هذا التنوع الكبير في مصادر البيانات إلى توفير معلومات أكثر دقة وشمولاً حول حركة المرور، لكنه فرض في الوقت نفسه تحديات جديدة تتعلق بعمليات جمع البيانات، تخزينها، معالجتها وتحليلها. كما أن الحاجة إلى مراقبة حركة المرور بصورة مستمرة واتخاذ القرارات في الزمن الحقيقي تتطلب أساليب وتقنيات قادرة على التعامل مع كميات كبيرة من البيانات بكفاءة عالية.

1.3.4 حجم البيانات وتنوعها

أدى التطور المتسارع في تقنيات جمع البيانات إلى إنتاج كميات هائلة من البيانات المرورية ذات خصائص مكانية وزمانية متنوعة. فإلى جانب البيانات العددية الناتجة عن الحساسات المرورية، أصبحت أنظمة النقل الحديثة تولد بيانات من مصادر مختلفة تشمل مواقع المركبات، وتسجيلات الفيديو، والصور، وبيانات الهواتف الذكية، وغيرها من المعلومات المرتبطة بحركة المرور. ويؤدي هذا التنوع إلى زيادة تعقيد عمليات إدارة البيانات ودمجها وتحليلها، خاصة عند التعامل مع بيانات تختلف في بنيتها ودقتها ومعدلات تحديثها.

2.3.4 الحاجة إلى المعالجة الآنية

تتطلب إدارة حركة المرور الحديثة القدرة على رصد الوضع المروري وتحليله في الزمن الحقيقي، خصوصاً في البيئات الحضرية التي تشهد تغيرات سريعة في أحجام الحركة المرورية ومستويات الازدحام. وتبرز أهمية المعالجة الآنية في الكشف المبكر عن الحوادث المرورية والاختناقات وتقديم معلومات فورية ودقيقة تساعد الجهات المختصة على اتخاذ الإجراءات المناسبة في الوقت المناسب. غير أن تحقيق ذلك يتطلب أنظمة قادرة على معالجة كميات كبيرة من البيانات بسرعة وكفاءة، وهو ما يشكل تحدياً مهماً أمام الأساليب التقليدية.

خلاصة الفصل

يتضح من خلال هذا الفصل أن حركة المرور الحضرية تمثل نظاماً ديناميكياً معقداً يتأثر بمجموعة من العوامل المرتبطة بالبنية التحتية والأنشطة الحضرية وسلوك مستعملي الطريق. كما أن فهم خصائص الحركة المرورية ومؤشراتها الأساسية يُعد ضرورياً لتقييم أداء الشبكات الطرقية، والحد من مشكلات الازدحام، وتحسين كفاءة التنقل الحضري. وقد أبرز الفصل كذلك أهمية البيانات المرورية باعتبارها مورداً أساسياً لدعم عمليات التخطيط والإدارة واتخاذ القرار.

وفي المقابل، تواجه عملية جمع البيانات المرورية وتحليلها تحديات متزايدة نتيجة النمو المستمر في حجم البيانات وتنوع مصادرها، فضلاً عن الحاجة إلى معالجتها وتحديثها بصورة آنية. وقد أفرزت هذه التحديات حاجة متزايدة إلى تبني أساليب أكثر تطوراً تعتمد على الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية، نظراً لقدرتها على المعالجة الآنية للبيانات وأتمتة عمليات الكشف والتحليل واستخراج المعلومات. كما تتيح هذه التقنيات استغلال البيانات المرئية والمكانية بكفاءة أكبر، بما يسهم في تحسين فهم الظواهر المرورية. وانطلاقاً من ذلك، سيتناول الفصل الموالي الأسس النظرية والتقنيات الحديثة المرتبطة بالذكاء الاصطناعي الجغرافي والرؤية الحاسوبية ودورهما في تحليل البيانات المرورية.

الفصل الثاني:

الذكاء الاصطناعي الجغرافي

و

الاكتساب الذكي للبيانات المروية

مقدمة الفصل

يُعد الذكاء الاصطناعي من أبرز التقنيات التي أحدثت تحولاً جذرياً في مختلف المجالات العلمية والتطبيقية خلال العقود الأخيرة، حيث أسهم في تطوير أساليب متقدمة لمعالجة البيانات وتحليلها ودعم اتخاذ القرار بدرجة عالية من الدقة والكفاءة. وفي المجال الجغرافي، أدى التكامل بين تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد والبيانات المكانية الضخمة إلى ظهور مفهوم الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI)، الذي يمثل توجهاً حديثاً يهدف إلى تعزيز قدرات التحليل المكاني والنمذجة التنبؤية من خلال توظيف خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق.

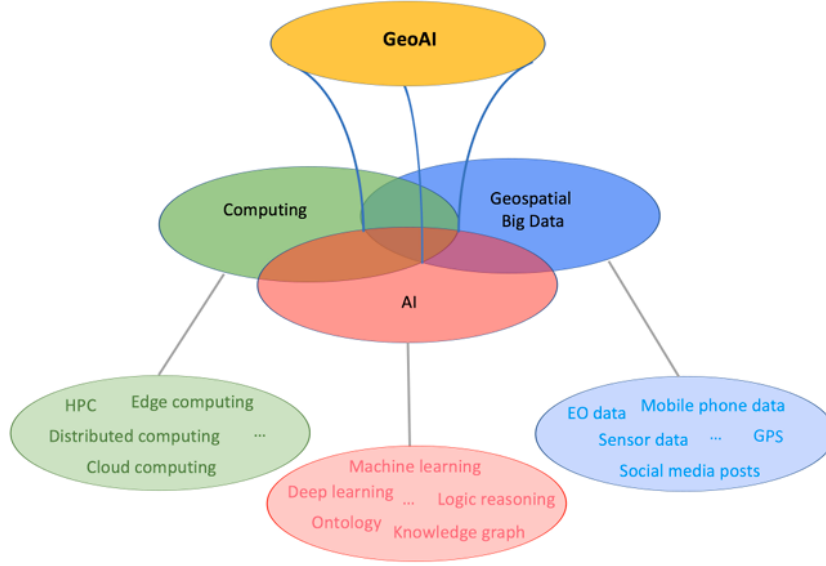
يتناول هذا الفصل الأسس النظرية للذكاء الاصطناعي الجغرافي، مع إبراز أهم إسهاماته في تحليل الظواهر المكانية. كما يستعرض مبادئ الرؤية الحاسوبية والتعلم العميق، مع التركيز على الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) وتقنيات كشف الأجسام. ويختتم الفصل بتوضيح آليات تحويل مخرجات الرؤية الحاسوبية إلى بيانات جغرافية قابلة للتحليل داخل بيئات نظم المعلومات الجغرافية، بما يسهم في دعم التحليل المكاني وفهم الظواهر الجغرافية بصورة أكثر دقة وفعالية.

1. مفهوم الذكاء الاصطناعي الجغرافي

يُعرّف الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) بأنه مجال متعدد التخصصات يجمع بين تقنيات الذكاء الاصطناعي، والتعلم الآلي، والتعلم العميق، وعلوم المعلومات الجغرافية، بهدف استخراج المعرفة من البيانات المكانية والزمانية وتحليل الظواهر الجغرافية المعقدة. كما يعتمد هذا المجال على توظيف البيانات الجغرافية الضخمة وإمكانات نظم المعلومات الجغرافية لتطوير نماذج متقدمة قادرة على تحليل الظواهر المكانية، والتنبؤ بها، ودعم اتخاذ القرار المكاني (Janowicz et al., 2020; Li, 2020).

ويُنظر إلى الذكاء الاصطناعي الجغرافي (الشكل 5) باعتباره إطاراً يجمع بين الذكاء الاصطناعي والبيانات الجغرافية الضخمة والحوسبة عالية الأداء (HPC) (Li et al., 2024)، مما يتيح معالجة المشكلات الجغرافية المعقدة التي تتطلب قدرات كبيرة في تخزين البيانات وتحليلها ومعالجتها (على عجلة وخليل شكرى، 2022). وقد تطور هذا المجال بالتوازي مع تطور الذكاء الاصطناعي، حيث يمكن التمييز بين اتجاهين رئيسيين في بناء النماذج الجغرافية الذكية. يتمثل الاتجاه الأول في النهج القائم على المعرفة (Knowledge-Driven) أو النهج من الأعلى إلى الأسفل (Top-Down)، والذي يعتمد على المعارف والقواعد التي يضعها الخبراء لوصف الظواهر المكانية وتحليلها. أما الاتجاه الثاني فهو النهج القائم على البيانات (Data-Driven) أو النهج من الأسفل إلى الأعلى (Bottom-Up)، والذي يعتمد على استخلاص الأنماط والعلاقات مباشرة من البيانات باستخدام تقنيات التعلم الآلي والتعلم العميق.

ومع التزايد المستمر في حجم البيانات الجغرافية وتنوع مصادرها، أصبح النهج القائم على البيانات يمثل الاتجاه السائد في تطبيقات الذكاء الاصطناعي الجغرافي، نظراً لقدرة نماذج التعلم الآلي على اكتشاف العلاقات المعقدة وإجراء التنبؤات انطلاقاً من كميات كبيرة من البيانات دون الحاجة إلى صياغة قواعد تحليلية بشكل صريح. وقد عزز ظهور التعلم العميق من هذه القدرات، حيث أتاح تطوير نماذج أكثر كفاءة في معالجة البيانات المكانية والزمانية واستخراج الأنماط الخفية منها، مما أسهم في توسيع مجالات تطبيق GeoAI في العديد من التخصصات الجغرافية والحضرية (Li, 2020).



الشكل 5: الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) (Li, 2020)

2. دور GeoAI في تعزيز وتحسين التحليل الجغرافي

يُمثل الذكاء الاصطناعي الجغرافي نقطة التقاء معرفية وعلمية بين نظم المعلومات الجغرافية وعلوم البيانات والذكاء الاصطناعي، حيث يهدف إلى الجمع بين قدرات التحليل المكاني وتقنيات التعلم الآلي لاستخلاص أنماط ومؤشرات جديدة من البيانات الجغرافية (الرويسي، 2025). وقد ظهر هذا المجال استجابةً للتزايد الكبير في حجم البيانات المكانية وتعقيدها، خاصة مع الانتشار الواسع لصور الأقمار الصناعية وأجهزة الاستشعار المختلفة، مما أوجد الحاجة إلى أدوات تحليلية أكثر قدرة على استغلال هذه البيانات الضخمة.

لا يهدف الذكاء الاصطناعي الجغرافي إلى استبدال نظم المعلومات الجغرافية التقليدية، بل يمثل امتداداً لقدراتها التحليلية. ففي العديد من التطبيقات، مثل إنتاج الخرائط وإدارة قواعد البيانات المكانية وإجراء عمليات التحليل المكاني الأساسية، تظل نظم المعلومات الجغرافية أداة فعالة وقادرة على تحقيق الأهداف المطلوبة. غير أن معالجة المشكلات الجغرافية المعقدة واستخلاص الأنماط والعلاقات المكانية والزمنية الخفية من كميات كبيرة من البيانات تتطلب توظيف تقنيات أكثر تقدماً. وفي هذا السياق، يعتمد GeoAI على خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق لاكتشاف الأنماط وإجراء عمليات

التنبؤ بصورة شبه آلية، مما يوسع من نطاق تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية ويعزز قدرتها على دعم اتخاذ القرار ومعالجة المشكلات الجغرافية المعقدة (Li et al., 2024).
يوضح الجدول 2 أهم الإسهامات التي يقدمها الذكاء الاصطناعي الجغرافي مقارنةً بالوظائف التقليدية لنظم المعلومات الجغرافية.

المجال	نظم المعلومات الجغرافية التقليدية	الذكاء الاصطناعي الجغرافي
المهدف الرئيسي	تمثيل البيانات المكانية وإدارتها وتحليلها	استخراج المعرفة والتنبؤ بالظواهر المكانية
منهجية التحليل	تعتمد على أدوات ونماذج تحليل يحددها المستخدم	تعتمد على خوارزميات التعلم الآلي والتعلم العميق لاستخلاص المعرفة من البيانات وبناء نماذج ذكية
دور المستخدم	تحديد خطوات التحليل واختيار الأدوات المناسبة	إعداد البيانات وتدريب النماذج وتقييم نتائجها
طبيعة النتائج	وصف وتحليل العلاقات المكانية المعروفة	اكتشاف الأنماط والعلاقات الخفية وإجراء التنبؤات
أمثلة على التطبيقات	الخرائط، الاستعلام المكاني، التحليل المكاني	تصنيف غطاء الأرض واستخراج المعالم آلياً، التنبؤ بالتغيرات المكانية، تحليل الحركة البشرية

الجدول 2: أبرز أوجه الاختلاف والتكامل بين GIS و GEOAI

يساهم الذكاء الاصطناعي الجغرافي في توسيع قدرات نظم المعلومات الجغرافية من خلال توفير أدوات متقدمة لاكتشاف الأنماط والتنبؤ بالظواهر المكانية ومعالجة البيانات الضخمة. ومع ذلك، تبقى نظم المعلومات الجغرافية التقليدية أداة أساسية وفعالة في العديد من التطبيقات التي لا تتطلب نماذج تعلم آلي أو معالجة معقدة للبيانات

3. الذكاء الاصطناعي الجغرافي في إدارة حركة المرور الحضرية

أصبح الذكاء الاصطناعي الجغرافي من التقنيات الواعدة في مجال إدارة حركة المرور الحضرية، نظراً لما تتميز به بيانات المرور من تعقيد مكاني وزماني وتعدد في مصادرها. فإلى جانب البيانات التقليدية المستمدة من شبكات الطرق ونظم المعلومات الجغرافية، أصبحت المدن الحديثة تعتمد على بيانات آنية مصدرها أجهزة تحديد المواقع (GPS)، وأجهزة الاستشعار المروية، وكاميرات المراقبة، والتطبيقات الذكية (Lu et al., 2025)، مما أدى إلى ظهور كميات ضخمة من البيانات المكانية-الزمانية التي تتطلب أساليب تحليل متقدمة تتجاوز الأدوات التقليدية.

وقد ركزت الأبحاث الحديثة على تطوير نماذج ذكاء اصطناعي جغرافي قادرة على تمثيل البنية الشبكية للطرق والعلاقات المكانية والزمانية بين عناصرها. وفي هذا الإطار، أظهرت النماذج المعتمدة على التعلم العميق والشبكات العصبية البيانية نتائج واعدة في التنبؤ بالتدفقات المروية واكتشاف أنماط الازدحام، بفضل قدرتها على تمثيل العلاقات بين المقاطع الطرقية المختلفة وأخذ البعد الزمني بعين الاعتبار (Pan et al., 2019; Shi et al., 2024).

كما ساهمت هذه النماذج في تحسين دقة التنبؤ مقارنة بالأساليب الإحصائية التقليدية، خاصة في البيئات الحضرية المعقدة التي تتسم بتغيرات ديناميكية مستمرة. وتشمل تطبيقات GeoAI في مجال الحركة المرورية الحضرية التنبؤ بالتدفقات المرورية، وإدارة الازدحام، والتحكم الذكي في الإشارات الضوئية، وتحسين مسارات المركبات، إضافة إلى دعم أنظمة الاستجابة للطوارئ (Moumen et al., 2023; Obaidat & Alomari, 2026).

وقد بينت العديد من الدراسات أن أنظمة التحكم التكيفية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي تساهم في تقليل أزمّة التأخير وتحسين كفاءة استخدام البنية التحتية الطرقية مقارنة بأنظمة التحكم التقليدية ذات التوقيت الثابت (Gheorghe & Şoica, 2025).

كما استُخدمت تقنيات GeoAI في إعداد خرائط مخاطر الحوادث المرورية (Chen, 2024) وتحديد المناطق الأكثر عرضة للحوادث، مما يساعد الجهات المعنية على توجيه جهود الوقاية وتحسين سرعة الاستجابة للحوادث والطوارئ. وبذلك يساهم الذكاء الاصطناعي الجغرافي في تعزيز كفاءة إدارة الحركة المرورية الحضرية من خلال دمج التحليل المكاني مع قدرات التنبؤ واتخاذ القرار في الزمن الحقيقي.

4. الاكْتساب الذكي للبيانات المكانية باستخدام الرؤية الحاسوبية

1.4 مفهوم الرؤية الحاسوبية وتطورها

تُعَدّ الرؤية الحاسوبية (Computer Vision) أحد الفروع الأساسية للذكاء الاصطناعي، وتهدف إلى تمكين الحواسيب من فهم وتفسير محتوى الصور ومقاطع الفيديو واستخلاص المعلومات منها بطريقة تحاكي الإدراك البشري. وتشمل مهامها الأساسية تصنيف الصور (Image Classification)، والكشف عن الأجسام (Object Detection)، والتجزئة الدلالية (Semantic Segmentation)، وتتبع الأجسام (Object Tracking)، وهي مهام أساسية لاستخراج المعلومات المكانية من البيانات البصرية (Savelonas et al., 2022; Li & Hsu, 2022). وقد تطور هذا المجال من أساليب معالجة الصور التقليدية إلى نماذج التعلم العميق والشبكات العصبية الالتفافية (CNNs) التي حسّنت بشكل كبير دقة تحليل المشاهد الرقمية والتعرف على الأجسام والمعالِم المختلفة (Heipke & Rottensteiner, 2020).

ومن بين المهام الأساسية للرؤية الحاسوبية، يُعَدّ الكشف عن الأجسام من أكثر التقنيات استخداماً في استخراج المعلومات المكانية من الصور ومقاطع الفيديو. وتتيح هذه التقنية التعرف على العناصر المختلفة وتحديد مواقعها تلقائياً، مثل المركبات والمباني والطرق والبنى التحتية، مما يساهم في إنتاج بيانات مكانية أكثر دقة وتفصيلاً. وقد ساهمت تقنيات

التعلم العميق في تحسين أداء نماذج الكشف عن الأجسام، الأمر الذي عزز استخدامها في تطبيقات الاستشعار عن بعد والبيئات الحضرية وأنظمة النقل الذكية.

وقد انعكس هذا التطور مباشرة على مجال الجيوماتيك، حيث أصبحت الرؤية الحاسوبية أداة فعالة لأتمتة اكتساب البيانات المكانية من الصور الجوية وصور الأقمار الصناعية ومقاطع الفيديو الملتقطة بواسطة الكاميرات والطائرات دون طيار. وقد أصبح بالإمكان استخراج الطرق والمباني والمركبات والعناصر الحضرية الأخرى بصورة آلية، مما ساعد على تحديث قواعد البيانات الجغرافية بسرعة ودقة أكبر مقارنة بالأساليب التقليدية المعتمدة على التفسير البصري والمسح الميداني. كما تتيح هذه البيانات البصرية مراقبة التغيرات المكانية وتتبع الأنشطة الحضرية بصورة شبه آنية (Heipke & Rottensteiner, 2020؛ Li & Hsu, 2022؛ Savelonas et al., 2022).

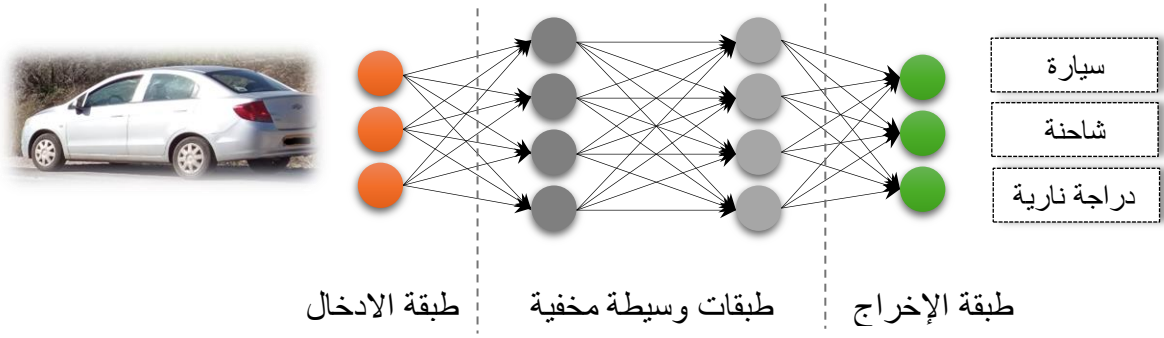
وفي إطار التطبيقات الحضرية، تُوظف تقنيات الرؤية الحاسوبية على نطاق واسع لتحليل حركة المرور من خلال عدّ المركبات وتصنيفها وتتبع مساراتها واكتشاف الحوادث والاختناقات المروية في الزمن الحقيقي. كما تساهم في دعم أنظمة النقل الذكية وتحسين إدارة البنية التحتية للطرق وتوفير بيانات دقيقة تساعد متخذي القرار على التخطيط الحضري وإدارة التنقل داخل المدن بكفاءة أكبر (Dilek & Dener, 2023).

2.4 الشبكات العصبية الالتفافية (CNN)

1.2.4 المبدأ العام

تُعد الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) من أهم تقنيات التعلم العميق المستخدمة في تحليل الصور. وتعتمد هذه الشبكات على بنية متعددة الطبقات تعمل بشكل تدريجي على استخراج المعلومات من الصورة، بدءاً من الخصائص البسيطة مثل الخطوط والألوان، وصولاً إلى فهم العناصر الأكثر تعقيداً داخل المشهد. ويمكن تشبيه هذه العملية بطريقة الإدراك البصري لدى الإنسان، حيث يتم التعرف أولاً على التفاصيل البصرية الأولية، ثم تتشكل تدريجياً صورة أكثر وضوحاً للمحتوى العام للصورة.

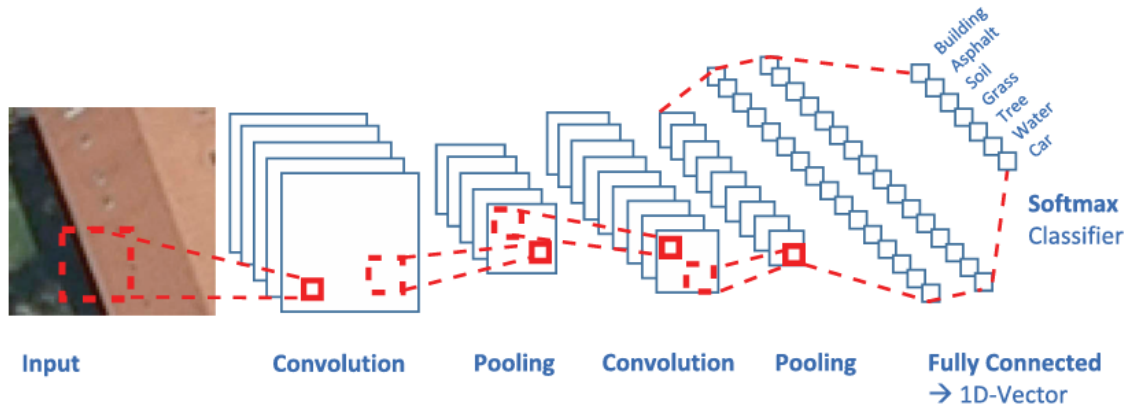
تتكون الشبكة العصبية الالتفافية من طبقة إدخال وطبقة إخراج، إضافة إلى مجموعة من الطبقات الوسيطة (المخفية) التي تتكفل باستخراج الخصائص وتحويل البيانات الخام إلى تمثيلات أكثر دقة وملاءمة للتحليل (الشكل 6).



الشكل 6: طبقات الشبكة العصبية الالتفافية

2.2.4 طبقات الشبكات العصبية الالتفافية الوسيطة

تشمل الطبقات الوسيطة في الشبكات العصبية الالتفافية طبقة الالتفاف (Convolution Layer) وطبقة التجميع (Pooling Layer)، بينما تمثل الطبقة كاملة الاتصال (Fully Connected Layer) المرحلة النهائية المسؤولة عن التصنيف أو اتخاذ القرار (الشكل 7).



الشكل 7: بنية الشبكة العصبية الالتفافية (Heipke & Rottensteiner, 2020)

1) طبقات الالتفاف

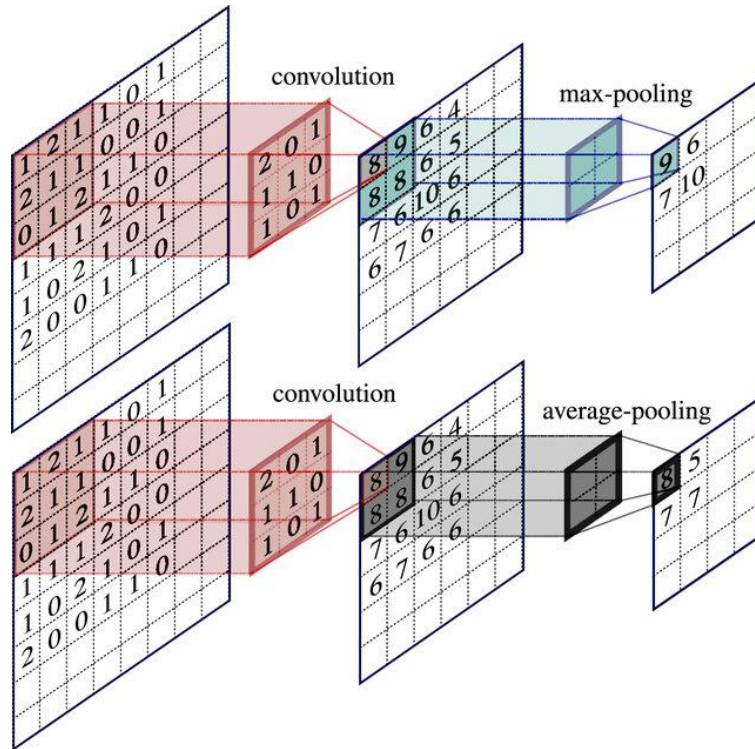
تُعتبر طبقات الالتفاف القلب الأساسي للشبكة العصبية الالتفافية. يتم عبرها تحليل الصورة باستخدام مرشحات صغيرة (Filters / Kernels) يتم تمريرها على كامل الصورة بشكل متحرك. (Purwono et al., 2023) كل مرشح يقوم باكتشاف نوع معين من الخصائص، مثل: خصائص محلية مثل الحواف، الخطوط والاتجاهات، التباينات في اللون والسطوع، ملامح أولية للأجسام (مثل شكل سيارة أو مبنى) ومع تكرار هذه العملية عبر عدة طبقات، يتم بناء فهم

أعمق للمشهد. بمعنى آخر، لا ترى الشبكة الصورة دفعة واحدة، بل تقوم بمسحها خطوة بخطوة لاستخراج المعلومات المهمة.

(2) طبقات التجميع

بعد استخراج الخصائص، تأتي طبقات التجميع لتقليل حجم المعلومات دون فقدان العناصر المهمة. هذه الخطوة تشبه عملية تلخيص الصورة مع الاحتفاظ بالفكرة الأساسية. وظيفة هذه الطبقات هي تقليل حجم البيانات، تسريع الحسابات داخل الشبكة وجعل النموذج أكثر استقراراً أمام تغيير موقع الأجسام داخل الصورة (Krichen, 2023)، فعلى سبيل المثال، إذا تحركت سيارة قليلاً داخل الصورة، فإن التجميع يساعد النموذج على التعرف عليها رغم هذا التغيير.

تعتمد عملية التجميع على تقسيم خريطة الخصائص إلى نوافذ صغيرة تُعرف بنوافذ التجميع (Pooling Windows)، يتم تطبيق عملية التجميع داخل كل منها بهدف تقليص الأبعاد مع الاحتفاظ بالمعلومات الأكثر أهمية. ومن أشهر أساليب التجميع المعتمدة داخل هذه النوافذ: الاحتفاظ بأكبر قيمة (Max Pooling)، وحساب متوسط القيم (Average Pooling)، وجمع القيم (Sum Pooling).



الشكل 8: عمليتي الالتفاف والتجميع (Teo et al., 2021)

3) طبقات الاتصال الكامل

في هذه المرحلة، يتم تحويل خرائط الخصائص (Feature Maps) الناتجة عن الطبقات السابقة إلى تمثيل رقمي مبسط يجمع أهم المعلومات المستخلصة من الصورة. ثم تُدمج هذه الخصائص وتُحلل العلاقات فيما بينها لبناء تمثيل شامل للمشاهد المدروس، مما يتيح للنموذج اتخاذ القرار النهائي بشأن محتوى الصورة أو الأجسام الموجودة فيها.

تُحوّل المخرجات في النهاية إلى درجات انتماء للفئات المختلفة، ليتم اختيار الفئة الأكثر ملاءمة اعتماداً على الخصائص المستخرجة خلال مراحل المعالجة السابقة. ففي مهام التصنيف، تُستخدم هذه الطبقات لتحديد الفئة العامة التي تنتمي إليها الصورة بأكملها، كتصنيف مشهد مروري على أنه يعكس حالة ازدحام أو انسياب في حركة المرور. أما في تطبيقات كشف الأجسام، فتُسهّم في تحديد فئة كل جسم مكتشف داخل الصورة، حيث يمكن للنموذج التمييز بين سيارة أو حافلة أو شاحنة أو دراجة نارية، مع تحديد موقع كل منها داخل المشهد.

تُعد هذه الطبقات حلقة الوصل بين مرحلة استخراج الخصائص ومرحلة إنتاج النتائج النهائية، إذ يتم من خلالها تحويل المعلومات البصرية المعقدة إلى مخرجات قابلة للتفسير والاستغلال في تطبيقات متعددة، مثل تحليل حركة المرور ومراقبة البيئات الحضرية.

5. مفهوم كشف الأجسام

يُعدّ كشف الأجسام (Object Detection) أحد المهام الأساسية في مجال الرؤية الحاسوبية، ويهدف إلى تحديد مواقع وعدد الكائنات داخل الصورة أو مقطع الفيديو، مع تصنيف كل كائن إلى فئة محددة. ويتميز هذا المجال بدمجه بين مهام التصنيف (Classification) وتحديد الموقع المكاني (Localization) ضمن إطار واحد، مما يتيح تمثيلاً أكثر دقة للمشاهد البصري مقارنة بمهام التصنيف التقليدية.

وعلى عكس مهمة التصنيف التي تُسند تسمية واحدة للصورة ككل دون تحديد مواضع العناصر داخلها، يعتمد كشف الأجسام على تحديد إحداثيات دقيقة لكل عنصر باستخدام مربعات إحاطة (Bounding Boxes)، وهو ما يسمح بفهم تفصيلي للبنية المكانية للمشاهد. يعتمد كشف الأجسام الحديث على نماذج الكشف العميق وتنقسم هذه النماذج إلى نماذج ثنائية المراحل (Two-Stage Detectors) مثل Faster R-CNN ونماذج أحادية المرحلة (One-Stage Detectors) مثل سلسلة YOLO.

تعتمد النماذج ثنائية المراحل على توليد مقترحات أولية للمناطق قبل إجراء عملية التصنيف وتحديد الموقع، مما يمنحها دقة عالية ولكن على حساب السرعة. في المقابل، تعتمد النماذج أحادية المرحلة على التنبؤ المباشر بمواقع الكائنات وفئاتها في خطوة واحدة، مما يجعلها أكثر كفاءة من حيث السرعة، خاصة في التطبيقات الزمن الحقيقي (الجدول 3).

أظهرت الدراسات المقارنة الحديثة الخاصة بخوارزميات كشف الأجسام أن اختيار النموذج يعتمد أساساً على الموازنة بين الدقة وسرعة المعالجة. فقد بينت نتائج Redmon et al (2016) أن نموذج YOLO يتميز بقدرته على إجراء الكشف في الزمن الحقيقي بفضل اعتماده على معالجة الصورة كاملة في تمريرة واحدة، مما يجعله أكثر سرعة مقارنة بالنماذج التقليدية. كما أكدت الدراسات اللاحقة (Aboyomi & Daniel, 2023) أن نماذج Faster R-CNN تحقق مستويات دقة أعلى في بعض الحالات، خاصة عند التعامل مع الأجسام الصغيرة أو المشاهد المعقدة، إلا أن ذلك يكون على حساب الزمن الحسابي وسرعة التنفيذ.

بالنظر إلى متطلبات تطبيقات المرور في الزمن الحقيقي، يُعد نموذج YOLO، وخاصة إصداراته الحديثة مثل YOLOv8، خياراً مناسباً بفضل قدرته على تحقيق توازن جيد بين السرعة والدقة، وهو ما دفع إلى اعتماده في إطار هذا العمل.

وتشير الدراسات الحديثة (Ezzeddini et al., 2024؛ Jaiya, 2022؛ Ahmed & Das, 2025؛ Srivastava et al., 2021) إلى أن التطورات المتتالية لعائلة YOLO، من YOLOv3، YOLOv4، YOLOv5 وصولاً إلى YOLOv8، قد ركزت على تحسين التوازن بين السرعة والدقة مع الحفاظ على كفاءة عالية في المعالجة، مما جعلها خياراً مناسباً للتطبيقات التي تتطلب معالجة آنية لكميات كبيرة من البيانات البصرية. أما الإصدارات الأحدث مثل YOLOv9، YOLOv10، و YOLOv11، فما تزال حديثة نسبياً أو غير مستقرة بحثياً بشكل كافٍ، لذلك لم يتم اعتمادها على نطاق واسع في الدراسات الأكاديمية مقارنة بالإصدارات السابقة الأكثر استقراراً.

المعيار	Faster R-CNN	YOLO
نوع البنية	ثنائية المرحلة	أحادية المرحلة
آلية العمل	اقترح مناطق الاهتمام ثم تصنيفها	الكشف والتصنيف في خطوة واحدة
سرعة المعالجة	منخفضة نسبياً	مرتفعة جداً
الدقة	مرتفعة جداً	مرتفعة
العمل في الزمن الحقيقي	محدود	مناسب جداً
التعقيد الحسابي	مرتفع	منخفض إلى متوسط
استهلاك الموارد	أكبر	أقل
كشف الأجسام الصغيرة	أفضل نسبياً	جيد
أهم التطبيقات	التطبيقات التي تتطلب دقة عالية تحليل الصور الطبية	المراقبة المرورية، المركبات الذاتية القيادة وتحليل الفيديو في الزمن الحقيقي

الجدول 3: جدول يبين مقارنة تحليلية بين نماذج YOLO و Faster R-CNN

6. من كشف الأجسام إلى إنتاج البيانات الجغرافية

يمثل كشف الأجسام مرحلة أساسية في بناء أنظمة تحليل البيانات الجغرافية المعتمدة على الرؤية الحاسوبية، حيث يتم الانتقال من بيانات بصرية خام (صور أو فيديو) إلى معلومات قابلة للتمثيل والتحليل داخل نظم المعلومات الجغرافية.

بعد مرحلة الكشف، يتم تحويل المخرجات البصرية إلى بيانات منظمة (Structured Geospatial Data)، حيث يتم اشتقاق مجموعة من المؤشرات الكمية من نتائج الكشف، مثل عدد المركبات في منطقة معينة، كثافة المرور، اتجاهات الحركة، وتوزيع الكائنات عبر الزمن والمكان. هذه المرحلة تُعد وسيطة بين الرؤية الحاسوبية والتحليل الجغرافي المتقدم.

وفي مرحلة لاحقة، يمكن استغلال هذه البيانات الجغرافية المستخرجة في بناء نماذج تحليلية وتنبؤية. حيث تُستخدم خوارزميات التعلم الآلي مثل Random Forest ، SVM أو نماذج التعلم العميق لتصنيف حالة حركة المرور اعتماداً على مجموعة من الخصائص مثل عدد المركبات، كثافة التواجد، أو متوسط التباعد المكاني بينها.

كما يمكن استخدام نماذج التعلم العميق مثل LSTM في تحليل السلاسل الزمنية المرتبطة بحركة المرور، من خلال استغلال التتابع الزمني للبيانات المستخرجة من مقاطع الفيديو أو التدفقات المروية (Wu & Wang, 2026). ويتيح هذا النوع من النماذج إمكانية التنبؤ بحالة المرور المستقبلية، مثل الازدحام أو حجم التدفق المروية في فترات زمنية لاحقة، اعتماداً على الأنماط التاريخية للبيانات.

وبهذا الشكل، لا يقتصر دور كشف الأجسام على التعرف على العناصر داخل الصور فقط، بل يشكل نقطة انطلاق لسلسلة معالجة متكاملة تبدأ من الاستخراج البصري، مروراً بتحويل البيانات إلى تمثيل جغرافي، وصولاً إلى التحليل والتنبؤ. ويعزز هذا التكامل بين الرؤية الحاسوبية ونظم المعلومات الجغرافية والتعلم الآلي مفهوم GeoAI كإطار حديث لتحليل البيانات الحضرية.

خلاصة الفصل

يتضح من خلال هذا الفصل أن الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) يمثل امتداداً حديثاً للعلوم الجغرافية، من خلال دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي مع نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لتحسين فهم الظواهر المكانية وتحليلها. وقد أبرز الفصل أهمية التعلم العميق والرؤية الحاسوبية، ولا سيما الشبكات العصبية الالتفافية (CNN) ونماذج كشف الأجسام، في استخراج المعلومات من الصور والبيانات البصرية بصورة آلية ودقيقة.

كما تم توضيح دور هذه التقنيات في تحويل البيانات البصرية الخام إلى بيانات ومعلومات جغرافية منظمة وقابلة للتحليل داخل بيئات نظم المعلومات الجغرافية، مما يتيح الاستفادة منها في التحليل المكاني والزمني ودعم النمذجة التنبؤية. ويعكس هذا التكامل بين الرؤية الحاسوبية والذكاء الاصطناعي الجغرافي الإمكانيات المتزايدة للتقنيات الحديثة في معالجة المشكلات الجغرافية المعقدة وتطوير تطبيقات أكثر كفاءة في مجالات إدارة المدن وتحليل الظواهر الحضرية.

وعليه، يوفر هذا الفصل الإطار النظري والمنهجي الذي تستند إليه الدراسة التطبيقية، والتي سيتم من خلالها توظيف تقنيات كشف الأجسام والتحليل الجغرافي لاستخراج المعلومات المكانية وتحليلها بما يخدم أهداف البحث ويجب عن إشكاليته.

الفصل الثالث:

منطقة الدراسة

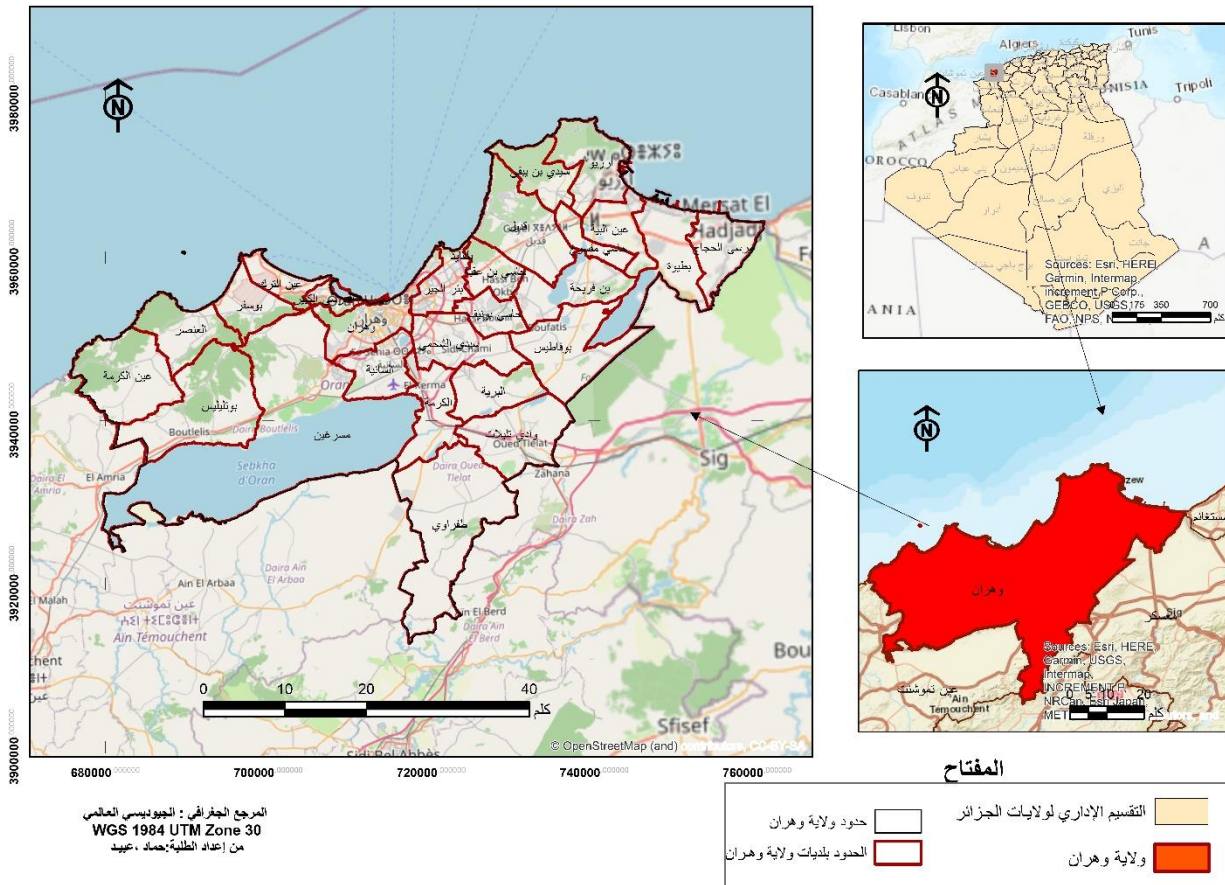
مقدمة الفصل

يُعد تحديد مجال الدراسة خطوة أساسية في إنجاز البحث العلمي، إذ يسمح بفهم الخصائص المحلية والعمرانية والاجتماعية التي تؤثر في الظاهرة المدروسة. وفي هذا الفصل سيتم التطرق إلى تقديم منطقة الدراسة انطلاقاً من ولاية وهران باعتبارها أحد أهم الأقطاب الحضرية في الجزائر، ثم التركيز على بلدية بئر الجير التي شهدت توسعاً عمرانياً وديموغرافياً متسارعاً خلال العقود الأخيرة، وصولاً إلى حي بلقايد الذي يمثل نموذجاً للتحويلات الحضرية الحديثة الناتجة عن سياسات التهيئة وإعادة الإسكان. كما يتناول الفصل الخصائص الجغرافية والطبيعية للمنطقة، إضافة إلى تطورها العمراني والمورفولوجي، مع إبراز أهم التجهيزات والبنى التحتية وشبكات النقل التي ساهمت في تعزيز مكانة الحي داخل النسيج الحضري لوهران.

1 الموقع الجغرافي

1.1 ولاية وهران

تُعد ولاية وهران، ثاني أكبر مدينة في الجزائر من حيث عدد السكان والدور الاقتصادي، تلقب بعاصمة الغرب، وتغطي مساحة تزيد عن 2114 كيلومتر مربع. يحدها من الشمال البحر الأبيض المتوسط بشريط ساحلي يفوق طوله 120 كلم، وتجاور مدينة عين تموشنت من الغرب، ومن الجنوب ولايتي سيدي بلعباس ومعسكر، ومن الشرق ولاية مستغانم (الشكل 9). تضم وهران الباهية 9 دوائر و 26 بلدية.



الشكل 9: الموقع الجغرافي لولاية وهران

2.1 بلدية بئر الجير

تقع بلدية بئر الجير في الجهة الشرقية لمدينة وهران، وتُعد من البلديات الحضرية التابعة للدائرة الإدارية وهران-شرق. تمتد على مساحة تُقدر بحوالي 32.46 كم²، يحدها من الشمال البحر الأبيض المتوسط، من الجنوب بلدية سيدي الشحمي، من الشرق بلدية حاسي بونيف وحاسي بن عقبة ومن الغرب بلدية وهران.

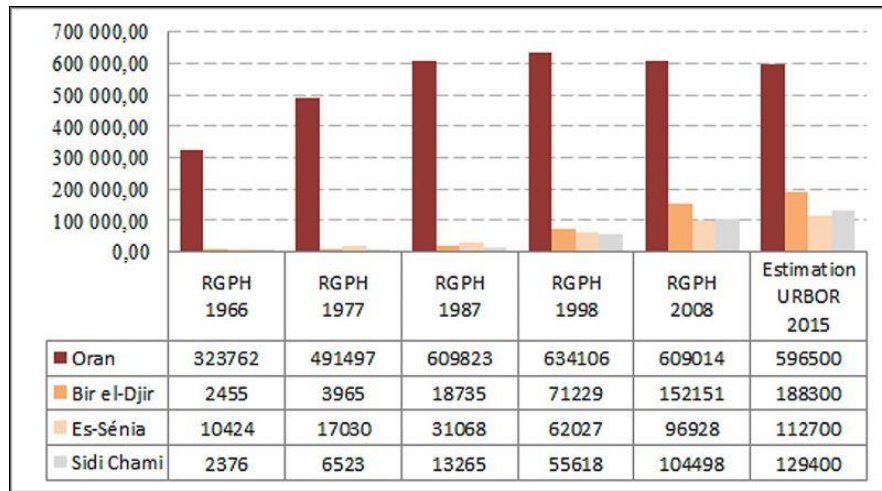
تُعتبر بئر الجير منطقة حضرية واعدة، حيث صُنِّفت ضمن المخطط التوجيهي للتهيئة والتعمير (PDAU) كم منطقة توسع عمراني موجهة لاستقبال المشاريع الكبرى. وتشمل هذه المشاريع السكنات العمومية الإيجارية، القطب الجامعي (جامعة العلوم والتكنولوجيا لوهرا - محمد بوضياف، القطب الجامعي جامعة وهران 2 - محمد بن أحمد وجامعة وهران 1 - أحمد بن بلة)، المركب الرياضي ميلود هدي، الإقامة الجامعية سلماني شعبان (8000 سرير) للذكور و إقامة بلقايد (10000 سرير) للإناث بالإضافة إلى مناطق تجارية.

تُعد اليوم بئر الجير من أكثر البلديات استقطاباً للسكان، خاصة نتيجة عمليات إعادة الإسكان واسعة النطاق من وسط المدينة نحو الأحياء الجديدة.

2 النمو السكاني والتوسع العمراني (ما قبل بلقايد)

شهد النمو السكاني داخل تجمع وهران منذ بداية السبعينات زيادة ملحوظة، حيث ارتفع من 519015 نسمة في 1977 إلى 672891 نسمة في 1987، ليصل إلى 822980 نسمة في 1998 و 962591 نسمة في 2008. ويُقدّر عدد السكان في بداية عام 2015 بـ 1064400 نسمة (Kadri & Madani, 2015; URBOR, 2015).

يُظهر الرسم التوضيحي في الشكل 10 تطور السكان في كل بلدية من تجمع وهران (وهران، بئر الجير، سيدي الشحمي والسانية) خلال مختلف الإحصاءات السكانية.



الشكل 10: النمو السكاني للبلديات الأربع التابعة لتجمع وهران الحضري

خلال الفترة 1966–2015 (kadri & Madani, 2015)

يوضح الشكل ديناميكية مزدوجة تتمثل في انخفاض عدد السكان ببلدية وهران، نتيجة تشبع الأنسجة الحضرية القديمة، وفي المقابل تزايد عدد السكان بالبلديات الطرفية بفعل النمو العمراني واستقطابها للهجرة القادمة من بلدية وهران، إضافة إلى مهاجرين من مدن وقرى الولاية ومن مناطق أخرى من البلاد. (kadri & Madani, 2015).

لم يتوقف التطور السكاني لتجمع وهران عن الازدياد، مع ذلك ظهرت فروق كمية وزمنية بين البلديات المختلفة. فقد شهدت بلدية وهران زيادة منتظمة في أعداد سكانها من 1962 وحتى بداية التسعينات ليبدأ ركود معدل النمو في البداية ثم انخفاضه ليصبح سالباً في 2008، ويعود ذلك لعدة عوامل اقتصادية واجتماعية، إضافة إلى امتلاء الفضاء الحضري. فعلى سبيل المثال، ارتفع عدد سكان بلدية وهران من 323762 نسمة في 1966 إلى 491497 نسمة في 1977، محققاً بذلك أعلى معدل نمو سنوي (52%) خلال فترة الإحصاءات بين هذين العامين. في المرحلة التالية، استمر هذا النمو، وإن كان بوتيرة أبطأ، حيث وصل عدد السكان إلى 609823 نسمة مع معدل نمو يقدر بنسبة 24% في سنة 1987.

بحلول عام 1998، انخفض المعدل إلى 4% مع عدد سكان قدره 634106 نسمة. خلال آخر فترة إحصائية، تزايد التراجع ليصل عدد السكان إلى 609014 نسمة في 2008، بمعدل نمو سلبي -4%. يرجع هذا التحول إلى انتقال النمو السكاني من بلدية وهران إلى البلديات المجاورة.

أصبحت الضواحي، وخصوصاً الجزء الشرقي من التجمع، المناطق الجديدة الجاذبة للسكان الذين شهدوا نمواً كبيراً منذ نهاية السبعينات. وتُظهر بلدية بئر الجير حالة استثنائية، حيث ارتفع عدد سكانها من 2455 نسمة إلى 3965 نسمة بين 1966 و1977، ثم تضاعف أربع مرات تقريباً خلال الفترة الإحصائية التالية ليصل إلى 18735 نسمة.

في سنة 1987، سجلت بلدية بئر الجير معدل نمو كبير جداً بلغ 372%. بعد ذلك، تضاعف عدد السكان تقريباً ثلاث مرات خلال الفترة الإحصائية الثالثة ليصل إلى 71229 نسمة في 1998. وفي آخر فترة إحصائية، لوحظ تباطؤ في النمو حيث بلغ عدد السكان 152151 نسمة في 2008، لكن معدل النمو ظل مرتفعاً 113%.

مع ذلك، بدأت بلدية طرفية ثانية تتولى الزخم السكاني، وهي سيدي الشحمي. سرعان ما شهدت هذه المنطقة الواقعة شرق وهران نمواً سكانياً سريعاً، لا سيما خلال الفترة الإحصائية الثالثة، حيث تضاعف عدد السكان تقريباً أربع مرات ليصل إلى 55618 نسمة مع معدل نمو يقدر بـ 319%. قبل ذلك، كان عدد سكان سيدي الشحمي 2376 نسمة في 1966، و6523 نسمة في 1977، و13265 نسمة في 1987. وفي عام 2008، بلغ عدد السكان 104498 نسمة، بمعدل نمو 88%. وتستمر هذه البلدية في النمو في انتظار الوصول إلى مرحلة الامتلاء، بسبب الطلب الكبير على الأراضي والمضاربة العقارية من الفاعلين الحضريين.

جنوباً، شهدت بلدية السانية، التي كانت ثاني أكبر بلديات تجمع وهران عام 1966 بعدد 10424 نسمة، تطوراً مختلفاً، إذ احتلت المرتبة الأخيرة بعدد سكان قدره 96928 نسمة في 2008 (kadri & Madani, 2015).

3 جغرافية المنطقة

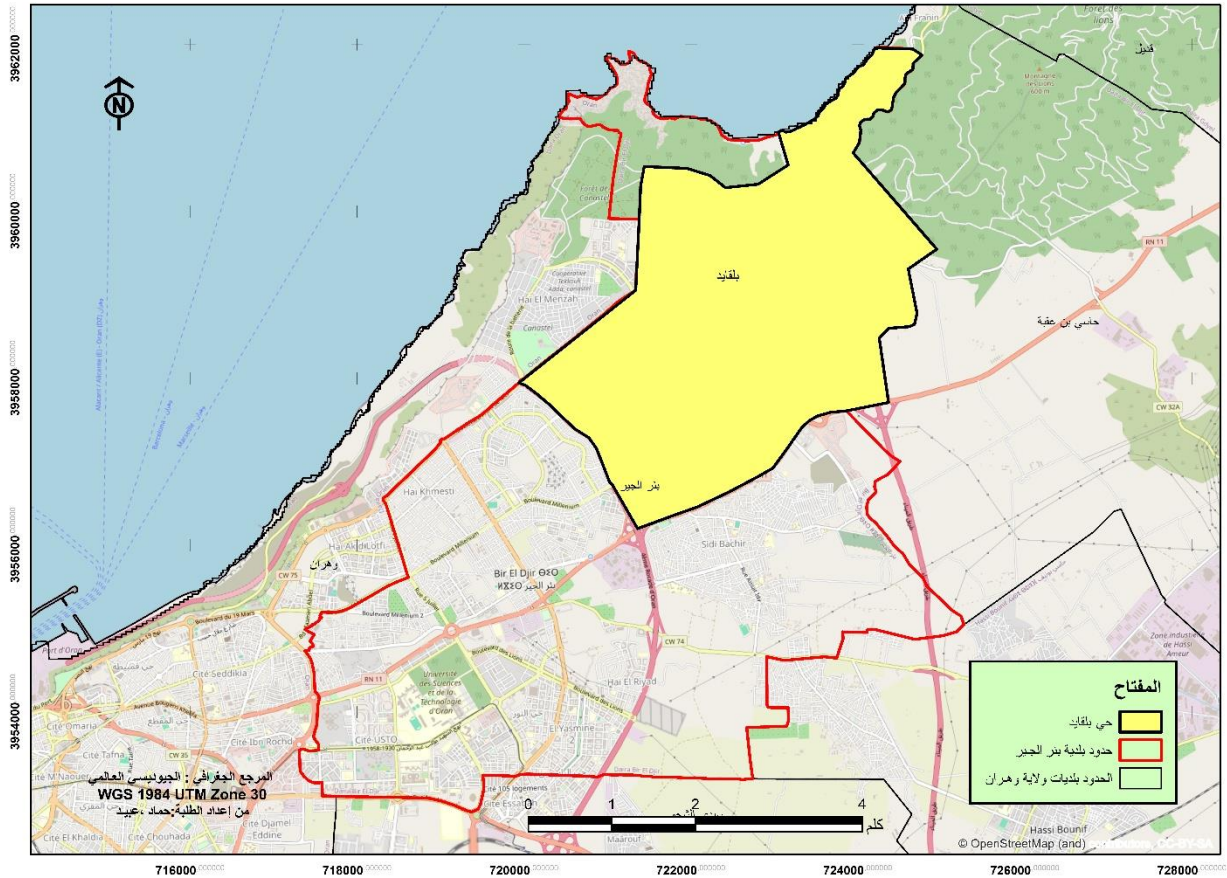
تتميز جغرافية ولاية وهران بتضاريس متنوعة، حيث يبلغ متوسط الارتفاع 106 متراً، في الغرب يقع جبل مرجاجو الذي يصل ارتفاعه إلى 429 متراً ويشكل حاجزاً طبيعياً يفصل بين بلدية وهران وبلدية مرسى الكبير إضافة إلى جبل الأسود في الجهة الشرقية. أما أدنى ارتفاع في المنطقة فهو 2- متر في المناطق الواقعة تحت مستوى سطح البحر، مثل السبخة (البحيرة) جنوب المدينة، التي غالباً ما تتعرض للفيضانات أو تغطيتها الأملاح. ويبلغ أقصى ارتفاع 507 متراً في التلال والجبال المحيطة. يتميز مناخ وهران بصفات مناخ البحر الأبيض المتوسط، مع متوسط درجة حرارة سنوي يقارب 18°. يكون فصل الشتاء عادة معتدلاً، بينما تصل درجات الحرارة في الصيف إلى 43° في أقصى الحالات.

تتركز التساقطات المطرية خلال الموسم الرطب الممتد من سبتمبر إلى أبريل، بمتوسط سنوي يبلغ حوالي 380 ملم. يؤثر هذا المناخ تأثيراً كبيراً على النظام البيئي المحلي والديناميات الاجتماعية والاقتصادية للمدينة، خصوصاً فيما يتعلق بالتحضر وأسلوب حياة السكان .

تعد وهران وجهة جاذبة للمهاجرين المحليين والدوليين، مما ساهم في زيادة عدد سكانها من 750000 نسمة في 2008 إلى حوالي 1.24 مليون نسمة في 2023، مع وجود نحو 90% من السكان في المناطق الحضرية مقارنةً بـ 10% في المناطق الريفية، مما يعكس التطور السريع للمشهد الحضري (Ibka et el.,2025) .

4 مجال الدراسة (حي بلقايد)

يقع حي بلقايد ضمن المحيط الحضري لبلدية بئر الجير بولاية وهران، في شمال غرب الجزائر، يبعد الحي حوالي 12 كيلومتراً عن المركز التاريخي لمدينة وهران، ويطل شمالاً على البحر الأبيض المتوسط، ويمتد على طول السفوح الجبلية لجبل الأسود (الشكل 11). جغرافياً، يحده من الشمال البحر الأبيض المتوسط، ومن الشرق منطقة الكرشتل، ومن الجنوب الغربي بلدية بئر الجير، ومن الغرب منطقة كانستال. كما يخترق الحي الطريق الولائي رقم 75 والطريق الثانوي رقم 32a.



الشكل 11: الموقع الجغرافي لمنطقة بلقايد

1.4 النشأة والتطور

شهدت ولاية وهران تحولات عمرانية كبرى منذ مطلع الألفية الثالثة، وقد جاءت هذه التغيرات مدفوعة بطموح الدولة في احتواء النمو الديموغرافي، إعادة هيكلة الفضاءات الحضرية، معالجة مظاهر التوسع العمراني غير المنضبط والتدهور المجالي خاصة في الأحياء الهشة والمتدهورة وظيفيًا. وقد برزت هذه الديناميكية في سياق سياسي واقتصادي استثنائي تميز بوفرة عائدات النفط، مما أتاح للدولة إطلاق برامج خماسية متتالية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية (2001-2004، 2005-2009، 2010-2014)، بالإضافة إلى برنامج تدعيم النمو (2015-2019).

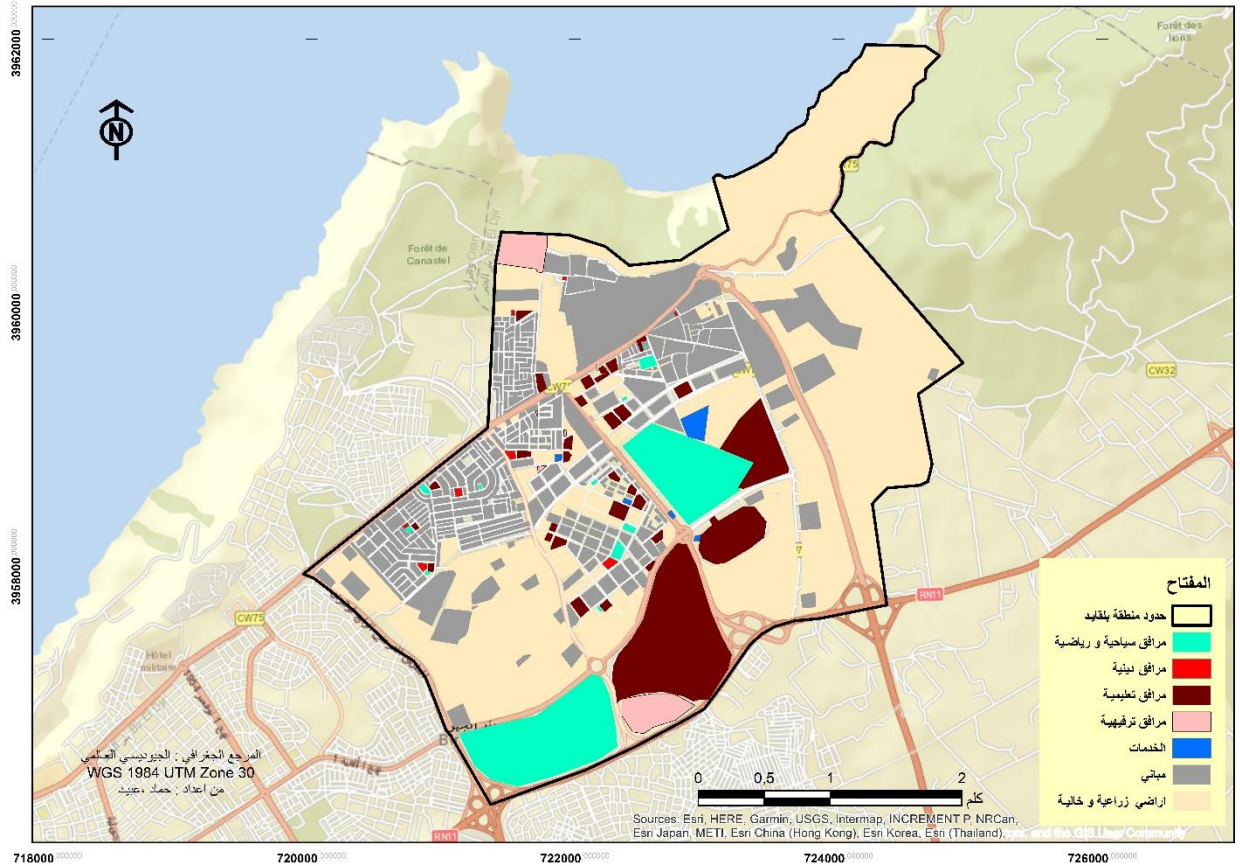
في هذا الإطار، برزت سياسة إعادة الإسكان كأداة مركزية لمعالجة أزمة السكن غير اللائق، مع إعادة توزيع السكان وتوجيههم نحو مجمعات عمرانية جديدة مخططة وفق معايير حديثة. وقد أدرجت هذه السياسة ضمن عدة برامج وطنية، من بينها برنامج القضاء على السكن الهش، الذي شكّل ممارسة مجالية ذات أبعاد سياسية واجتماعية. تم تنفيذ هذه العمليات في إطار توجيهات المخططات التوجيهية للتهيئة والتعمير (PDAU) ومخططات شغل الأراضي (POS)، التي تنظم مناطق التوسع العمراني على المستويين البلدي والولائي. في هذا السياق، أصبحت وهران مجالاً بارزاً لتجريب هذه السياسات. وبرزت بلدية بئر الجير، وخاصة حي بلقايد، كإحدى الجهات الرئيسية للعائلات المرحلة. وقد أدى هذا التحول إلى انتقال بلقايد من تجمع هامشي إلى قطب حضري كثيف ومتعدد الوظائف. غير أن هذا التحول، رغم ما يبدو عليه من نجاح عمري، حمل معه تحديات مجالية-اجتماعية عميقة، من بين هذه التحديات الاختلال بين النمو السكاني السريع والبنية التحتية الحضرية، ضعف الاندماج الاجتماعي وتآكل الروابط الاجتماعية التقليدية (Rabehi & Hadj Mohammed Maachou, 2025).

2.4 التحولات المورفولوجية والوظيفية

تُعدّ منطقة بلقايد، الواقعة ضمن الامتداد الحضري الشرقي لمدينة وهران، نموذجاً بارزاً للتحولات المورفولوجية والاجتماعية التي عرفتتها الضواحي الحضرية في الجزائر. فقد نشأت في الأصل كدوار ذي طابع شبه ريفي، قبل أن تعرف مساراً تدريجياً من التحضر أدى إلى إدماجها ضمن النسيج الحضري، مع احتفاظها ببعض الخصائص الهجينة الناتجة عن تداخل العفوي بالمخطط (Lagraa & Souiah, 2024). وقد تعزز هذا التحول من خلال سياسات إعادة الإسكان، حيث استقبلت المنطقة أعداداً معتبرة من السكان المرحّلين من الأحياء الهشة في إطار برامج السكن الاجتماعي، إلى جانب إنجاز مشاريع سكنية في إطار الترقية العقارية الخاصة من طرف مرقين عقاريين خواص، مما أدى إلى تنوع في أنماط السكن وتباين في البنية العمرانية. وتشير بعض المعطيات إلى أن عدد سكان بلقايد يفوق 32 ألف نسمة، ما يعكس كثافة سكانية معتبرة تعزز من حيويتها الحضرية.

كما تحتضن المنطقة قطبًا جامعيًا هامًا يتمثل في المجمع الجامعي الدكتور عبد المالك مرتاض (بلقايد) الذي يضم جامعة وهران 1 أحمد بن بلة وجامعة وهران 2 محمد بن أحمد، حيث تبلغ طاقة الاستيعاب البيداغوجي لجامعة وهران 2 وحدها حوالي 63 ألف مقعد، حسب معطياتها الرسمية. وتدعم هذه الوظيفة التعليمية شبكة من الإقامات الجامعية بسعة إجمالية تقدر بـ 18 ألف سرير (8 آلاف للذكور و 10 آلاف للإناث)، ما يساهم في توليد تدفقات يومية مكثفة نحو المنطقة. وإلى جانب الوظيفة السكنية والجامعية، تتوفر بلقايد على تجهيزات رياضية كبرى، أبرزها المركب الأولمبي الذي يضم ملعب ميلود هدي، أحد أكبر الملاعب على مستوى الولاية والوطن، إضافة إلى قرية أولمبية ومرافق رياضية متعددة وبيت للشباب، ما يعزز من مكانة المنطقة كقطب حضري متعدد الوظائف (الشكل 12).

وبذلك، تعكس مورفولوجيا بلقايد تراكبًا معقدًا بين البعد الاجتماعي، والتخطيط العمراني، والتجهيزات الكبرى، ضمن سياق حضري سريع التحول (Rabehi & Hadj Mohammed Maachou, 2025).



الشكل 12: خريطة شغل الأرض لمنطقة بلقايد

5. البنية التحتية وشبكة الطرق

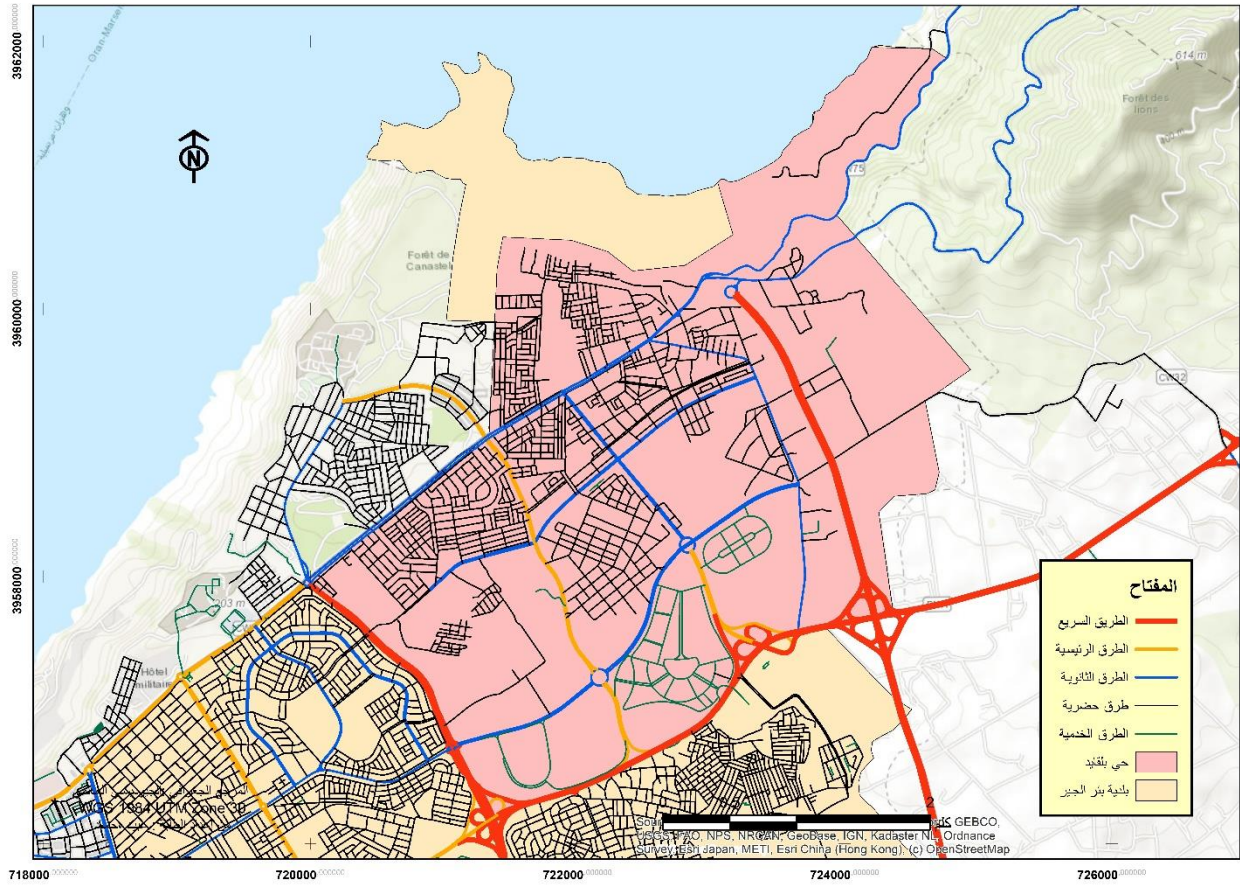
تُعدّ مدينة وهران من أهم الأقطاب الحضرية في الجزائر، حيث تتميز ببنية تحتية متطورة وشبكة طرق كثيفة ومتنوعة تدعم مختلف أنماط التنقل الحضري والإقليمي. تمتدّ الشبكة الطرقية بمدينة وهران على طول إجمالي يُقدَّر بحوالي 1286 كلم، وتتوزع هذه الأطوال بين مختلف أصناف الطرق كما يوضحه الجدول 4. ما يعكس أهمية وهران كمركز ربط استراتيجي بين مختلف مناطق الغرب الجزائري. كما تتعزز هذه البنية بشبكة نقل متعددة الوسائط، تشمل مطار أحمد بن بلة الدولي، ميناء وهران للصيد والنقل البحري، ومحطة السكك الحديدية، إلى جانب ترامواي وهران الذي يساهم في تحسين التنقل داخل النسيج الحضري.

نوع الطريق	طولها (كلم)
وطنية	233,822
ولائية	580,273
بلدية	274
المزدوجة	179,500
سريعة	408

الجدول 4: طول الشبكة الطرقية لوهران

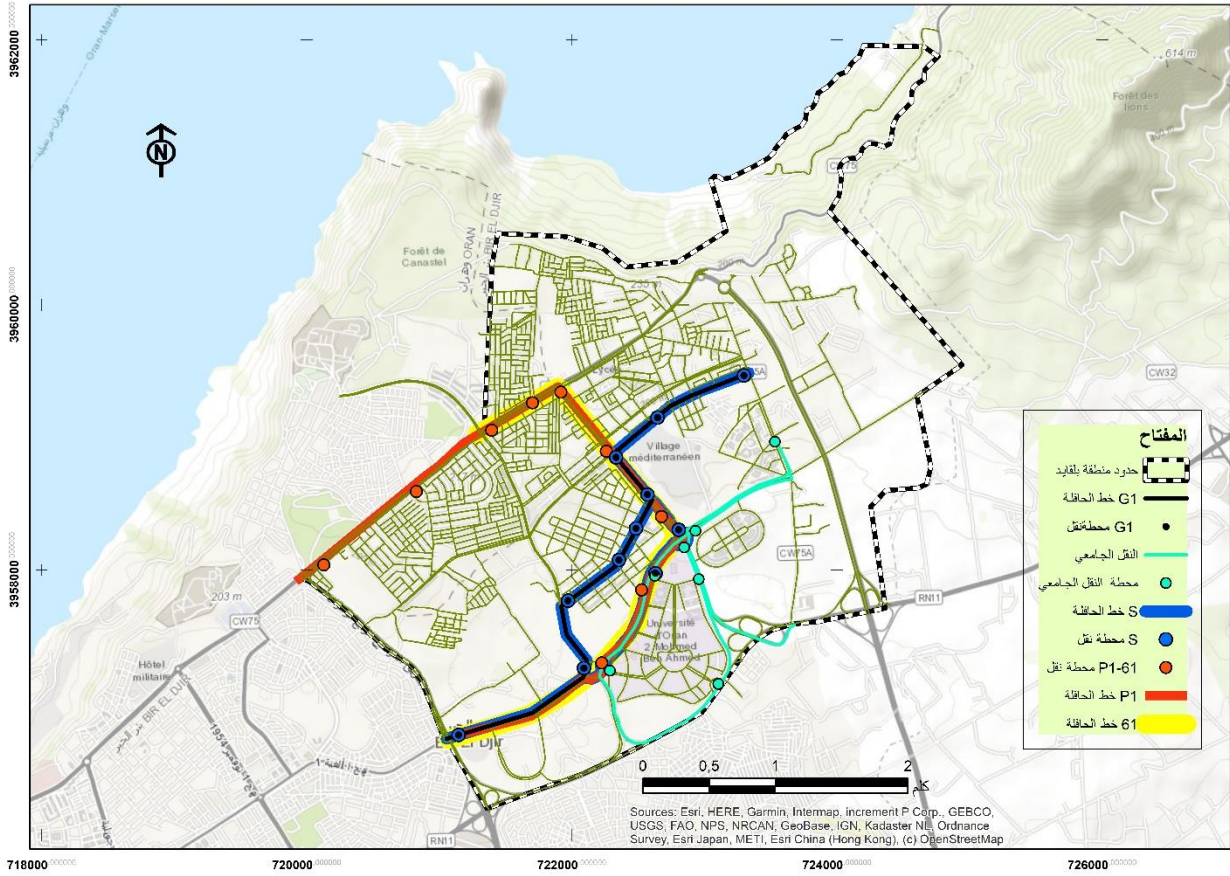
(الموقع الرسمي لمديرية السياحة والصناعة التقليدية لولاية وهران)

بالإضافة إلى ارتباط منطقة بلقايد بشبكة الطرق المحلية (الشكل 13)، فإنها تمثل نقطة ربط مجالية مهمة ضمن النسيج الحضري لمدينة وهران، حيث تشكل محور عبور نحو الواجهة البحرية الشرقية (كريستال وعين فرانين) وكذا نحو مناطق قديل وأرزيو، مما يمنحها دورًا استراتيجيًا في حركة التنقل على المستويين الحضري والإقليمي وفي هذا السياق، تستفيد المنطقة من هذا الامتداد البنيوي، حيث يخترقها الطريق الولائي رقم 75، إلى جانب شبكة من الطرق الثانوية التي تضمن الربط بينها وبين مختلف أحياء المدينة، وهو ما يعزز من سهولة الولوج إليها ويدعم اندماجها ضمن الشبكة الحضرية العامة.



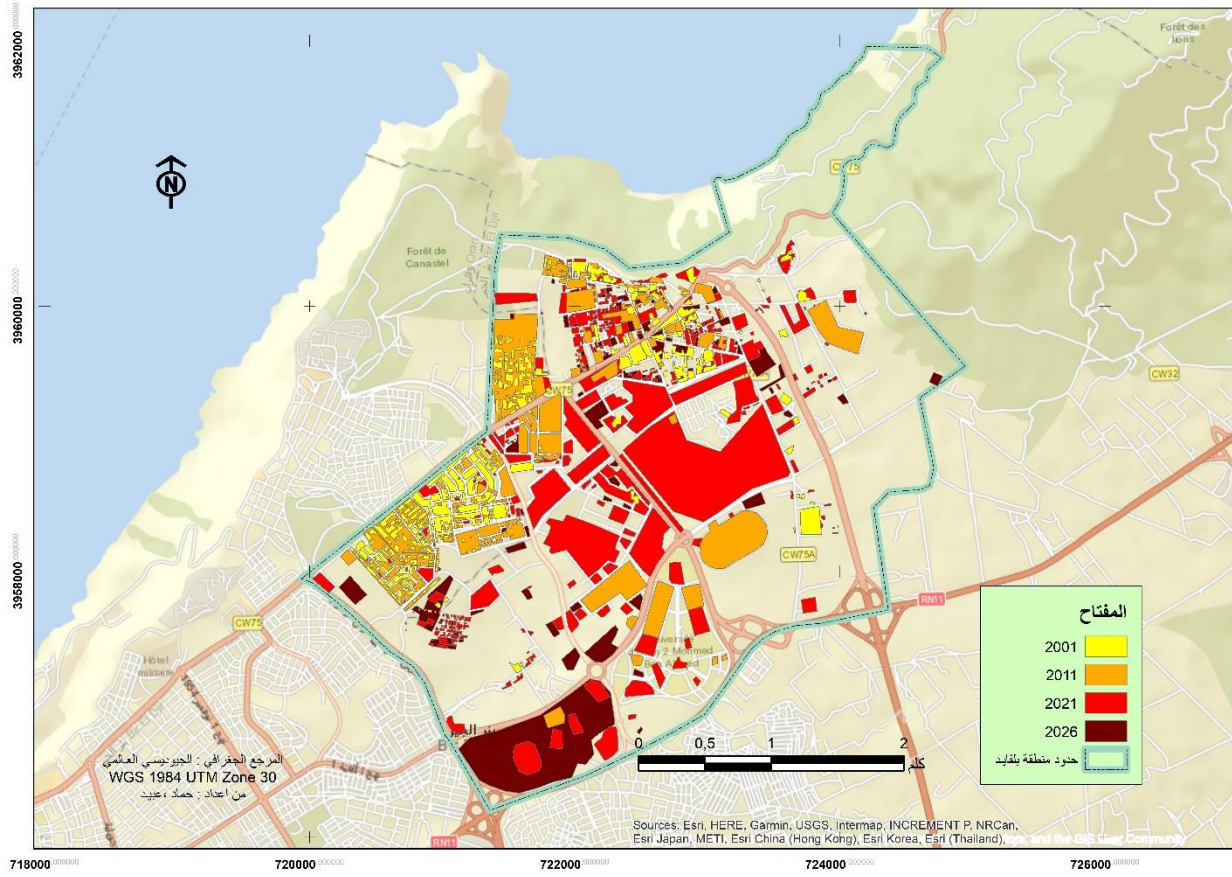
الشكل 13: خريطة شبكة الطرق لبلقايد

شهدت بلقايد خلال السنوات الأخيرة جهودًا لتعزيز بنيتها التحتية، تمثلت في إنشاء محطة نقل حضري جديدة وإدراج خطوط نقل إضافية تهدف إلى تحسين الربط وتقليل الضغط على الشبكة الطرقية (الشكل 14)، كما يندرج ضمن هذه الديناميكية مشروع تمديد ترامواي وهران نحو المنطقة، والذي من شأنه تحسين جودة خدمات النقل الحضري، وربط بلقايد بشكل أكثر فعالية بباقي أجزاء المدينة.



الشكل 14: خريطة خطوط النقل داخل منطقة بلقايد

غير أن هذه التحسينات تبقى في مواجهة ضغط متزايد على البنية التحتية، نتيجة الكثافة السكانية المرتفعة. والتدفقات اليومية المكثفة المرتبطة بالوظيفة الجامعية والخدماتية للحى، فضلاً عن احتضانه لتجهيزات كبرى، على غرار القطب الجامعي والمركب الرياضي. ويؤدي هذا الوضع إلى تسجيل اختناقات مرورية متكررة، خاصة خلال فترات الذروة، ما يعكس محدودية قدرة الشبكة الطرقية الحالية على استيعاب الطلب المتزايد على التنقل. وعليه، فإن البنية التحتية الطرقية في بلقايد تعكس وضعية انتقالية تتجلى في التفاعل بين توفر محاور ربط مهمة من جهة، واستمرار التحديات المرتبطة بالتوسع الحضري السريع (الشكل 15) وعدم التوازن بين النمو العمراني وتطوير الشبكات من جهة أخرى.

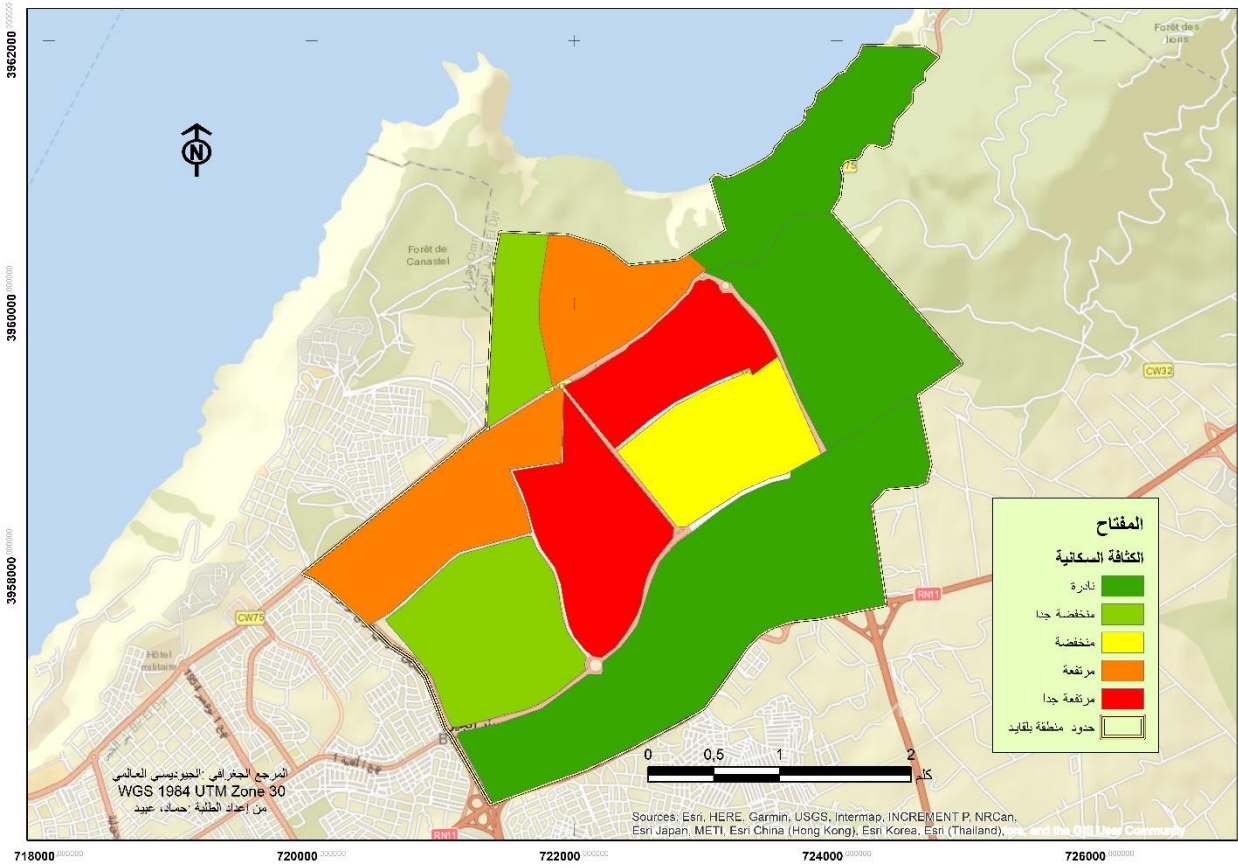


الشكل 15: خريطة النمو العمراني لمنطقة بلقايد

يرجع هذا النمو العمراني الى زيادة عدد السكان في المنطقة حيث تعكس القيم المرتفعة للكثافة السكانية بحى بلقايد مظاهر التوسع العمراني السريع الذي عرفه القطب الحضري الجديد خلال السنوات الأخيرة، وذلك نتيجة انتشار السكن الجماعي وتجسيد برامج إعادة الإسكان التي ساهمت في استقطاب أعداد معتبرة من السكان.

وقد أدى هذا التوسع إلى تركيز سكاني واضح داخل المجال الحضري، خاصة في المناطق التي تضم المجمعات السكنية الكبرى والتجهيزات الأساسية، مما يعكس التحولات الوظيفية والعمرانية التي يشهدها الحي.

كما تبرز خريطة الكثافة السكانية (الشكل 16) التباين في توزيع السكان بين مختلف أجزاء الحي، وهو ما يرتبط بطبيعة النسيج العمراني ومستوى استغلال المجال. غير أن بعض القيم المرتفعة جداً قد لا تعكس بالضرورة كثافة فعلية مطلقة، بل يمكن أن تكون مرتبطة بصغر مساحة وحدات الدراسة.



الشكل 16: خريطة توزيع الكثافة السكانية لمنطقة بلقايد

تُظهر خريطة توزيع الكثافة السكانية (الشكل 16) تبايناً مكانياً واضحاً في توزيع السكان داخل منطقة الدراسة، حيث أُنجزت بالاعتماد على تقدير عدد السكان انطلاقاً من متوسط حجم الأسرة المقدّر بخمسة أفراد لكل مسكن. وتم تمثيل النتائج وفق تدرج لوني يتراوح بين الأحمر والأخضر الداكن، بما يسمح بإبراز الاختلافات في مستويات الكثافة السكانية بين مختلف أجزاء المجال المدروس.

تمثل المناطق ذات اللون الأحمر أعلى مستويات الكثافة السكانية، وتتركز أساساً في منطقتين رئيسيتين، الأولى تقع مقابل الجامعة على مستوى POS Ammar Zioual، وتُعد من أكثر مناطق الدراسة كثافةً وحيويةً، نظراً لانتشار العمارات السكنية متعددة الطوابق، سواء الاجتماعية أو الترفوية، والتي تسمح باستيعاب عدد كبير من السكان داخل مساحة محدودة. أما المنطقة الثانية فتقع بالقرب من مقبرة بلقايد، وتتميز هي الأخرى بكثافة سكانية مرتفعة نتيجة هيمنة السكن الجماعي وتنوع الأنماط السكنية بين العمارات الاجتماعية والترفوية. أما المناطق المصنفة ضمن فئة الكثافة المرتفعة والممثلة باللون البرتقالي، فتتمركز أساساً بالقرب من حي كنستال وغابة المنزة، حيث تتكون البنية العمرانية من مزيج بين الفيلات والعمارات الترفوية الخاصة، مما يؤدي إلى كثافة أقل من المناطق الحمراء ولكنها تبقى مرتفعة مقارنة ببقية أجزاء منطقة الدراسة. وتظهر فئة الكثافة المنخفضة باللون الأصفر، وتشمل المناطق التي تضم الإقامة الجامعية

وبعض السكنات الوظيفية والسكنات الريفية المتفرقة، حيث يكون التركيز السكاني أقل نتيجة انخفاض عدد المباني السكنية أو محدودية ارتفاعها. أما المناطق ذات اللون الأخضر الفاتح، فتمثل فئة الكثافة المنخفضة جداً، وتتميز بانتشار محدود للتجمعات السكنية مع هيمنة الأراضي المفتوحة أو الفلاحية على جزء معتبر من المساحة، وهو ما ينعكس على ضعف عدد السكان المقيمين بها. في حين تمثل المناطق ذات اللون الأخضر الداكن أدنى مستويات الكثافة السكانية، حيث تهيمن عليها الاستعمالات غير السكنية مثل الجامعة والمركب الأولي وبعض المساحات الفلاحية، إضافة إلى غياب أو محدودية العمران السكني الدائم.

بصفة عامة، تعكس الخريطة العلاقة المباشرة بين الكثافة السكانية والنمط العمراني السائد، حيث ترتفع الكثافة في المناطق التي تهيمن عليها العمارات السكنية متعددة الطوابق، بينما تنخفض تدريجياً في المناطق التي يغلب عليها السكن الفردي أو الاستعمالات الخدمية والفلاحية، مما يبرز تأثير البنية العمرانية في تشكيل التوزيع السكاني داخل منطقة الدراسة.

خلاصة الفصل

من خلال هذا الفصل، تم التطرق إلى الخصائص العامة لمنطقة الدراسة بمختلف أبعادها الجغرافية والعمرانية والديموغرافية والوظيفية، وذلك بهدف بناء قاعدة معرفية تسمح بفهم السياق المحلي الذي تندرج ضمنه إشكالية الدراسة. وقد أظهرت النتائج أن ولاية وهران تُعد من أهم الأقطاب الحضرية على المستوى الوطني، بفضل موقعها الاستراتيجي ودورها الاقتصادي والخدمي، الأمر الذي جعلها تشهد خلال العقود الأخيرة نمواً عمرانياً وسكانياً متسارعاً انعكس على مختلف بلدياتها، وخاصة بلدية بئر الجير. وقد برز حي بلقايد كأحد أهم مجالات التوسع الحضري الحديثة في الولاية، حيث استفاد من برامج عمرانية وسكنية كبرى ساهمت في استقطاب أعداد متزايدة من السكان والأنشطة المختلفة. كما يتميز الحي باحتضانه لعدد من التجهيزات والمنشآت ذات البعد المحلي والجهوي، على غرار القطب الجامعي، والمركب الأولي، والقرية المتوسطة، ومختلف المؤسسات التربوية والتكوينية والخدمية، وهو ما جعله فضاءً حضرياً حيوياً يشهد حركة تنقل يومية مكثفة ومتنوعة. كما أظهرت الدراسة أن التوسع العمراني المتسارع وتزايد الكثافة السكانية وتنامي الأنشطة الاقتصادية والخدمية داخل منطقة الدراسة أدت إلى ارتفاع الطلب على النقل والتنقل، مما زاد من الضغط على شبكة الطرق والبنية التحتية المرورية. ويبرز ذلك بشكل خاص على مستوى محور الدوران محل الدراسة، الذي يمثل عقدة مرورية استراتيجية تربط بين عدة أحياء ومحاور طرقية رئيسية، من بينها الطريق الوطني رقم 11، الطريق الاجتيازي الرابع وطريق الميناء الجديد، الأمر الذي جعله يستقبل أحجاماً معتبرة من الحركة المرورية اليومية. ومن جهة أخرى، بين تحليل توزيع السكان واستعمالات الأرض أن المجال المدروس يتميز بتباين واضح في الكثافات السكانية

والوظائف الحضرية، حيث تتجاوز المناطق السكنية الكثيفة مع المناطق الجامعية والرياضية والخدماتية، وهو ما ينعكس مباشرة على طبيعة التدفقات المرورية واتجاهاتها وأحجامها. وتُعد هذه الخصائص المجالية عاملاً أساسياً في تفسير مظاهر الازدحام المروري التي تعرفها بعض المحاور دون غيرها.

الفصل الرابع:

التطبيقات والنتائج

مقدمة الفصل

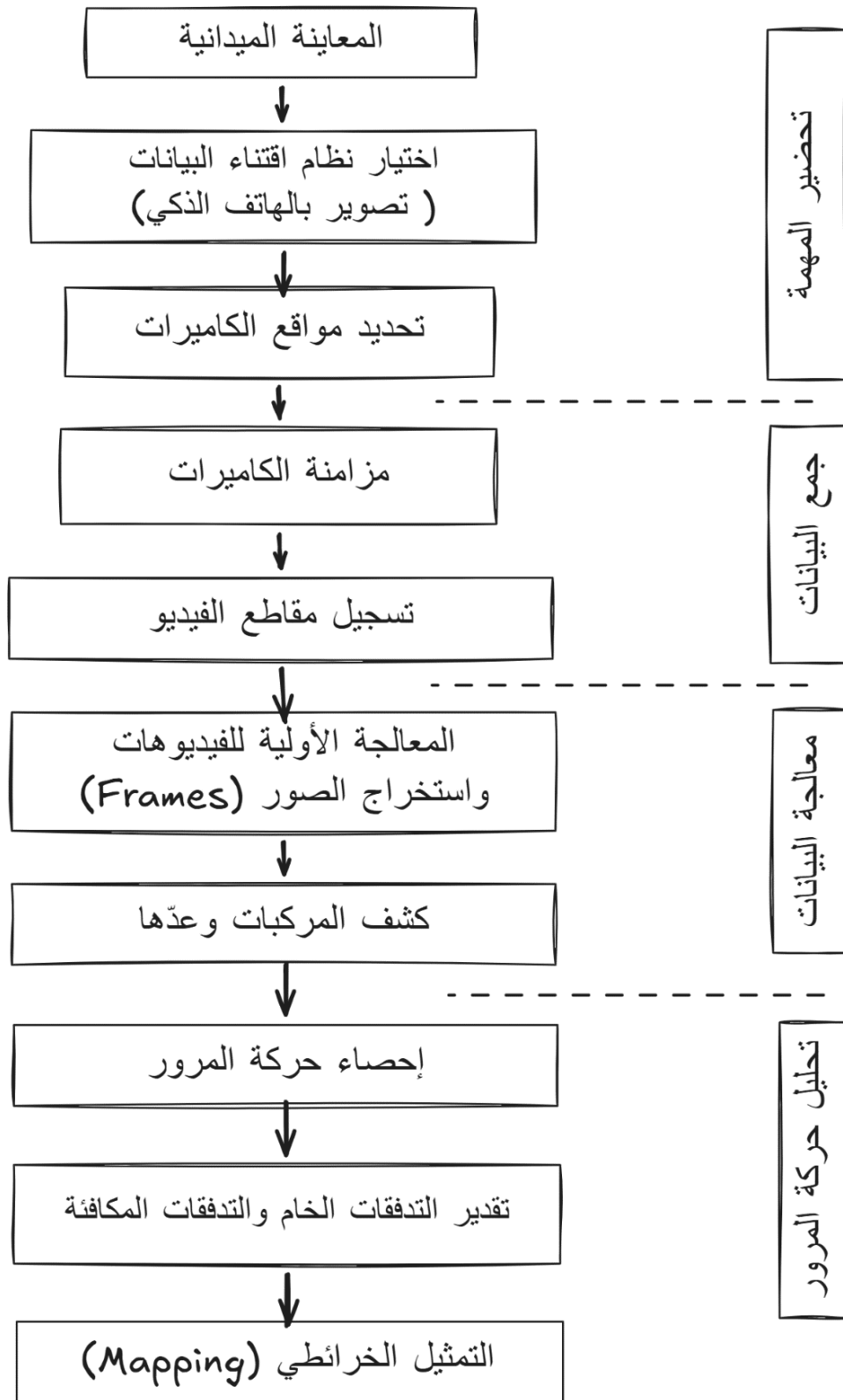
بعد التطرق في الفصول السابقة إلى الجوانب النظرية المرتبطة بحركة المرور والذكاء الاصطناعي الجغرافي، وتقديم منطقة الدراسة المتمثلة في حي بلقايد بمدينة وهران، يهدف هذا الفصل إلى عرض الجانب التطبيقي للدراسة من خلال توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي لتحليل حركة المرور على مستوى محور الدوران CNL المحاذي للملعب الأولمبي ميلود هديفي.

وقد اعتمدت الدراسة على معطيات ميدانية تم جمعها بواسطة تسجيلات فيديو أُنجزت خلال فترات زمنية مختلفة ومن عدة مواقع تغطي مداخل ومخارج محور الدوران، بهدف رصد خصائص الحركة المرورية واختلافاتها المكانية والزمانية. وتمت معالجة هذه التسجيلات باستعمال تقنيات الرؤية الحاسوبية والذكاء الاصطناعي، من خلال تطبيق نموذج YOLOv8 للكشف الآلي عن المركبات وتتبعها واستخراج البيانات المتعلقة بأعدادها وأنواعها واتجاهات حركتها.

بعد ذلك، تم تنظيم البيانات المستخرجة ضمن قاعدة بيانات مرورية وجغرافية، واستغلالها داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS Pro) لإجراء التحليلات المكانية والزمانية اللازمة، وإنتاج مجموعة من الخرائط والمؤشرات التي تسمح بفهم ديناميكية الحركة المرورية وتحديد مناطق الضغط والازدحام. كما تم توظيف خوارزمية الغابة العشوائية (Random Forest) لبناء نموذج تنبئي للتدفقات المرورية والازدحام المحتمل، بما يساهم في استشراف الوضع المروري ودعم عملية اتخاذ القرار.

وعليه، يتناول هذا الفصل مختلف مراحل العمل التطبيقي، بدءًا من جمع البيانات ومعالجتها، مرورًا باستخراج وتحليل المؤشرات المرورية، وصولًا إلى عرض نتائج النمذجة التنبئية ومناقشتها، مع إبراز مساهمة تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي في تحليل الظواهر المرورية ودعم التخطيط الحضري وإدارة النقل.

يبين الشكل 17 المخطط العام للمنهجية المتبعة في هذه الدراسة، والذي يلخص مختلف مراحل العمل ابتداءً من اكتساب البيانات وصولًا إلى تحليل النتائج وإعداد الخرائط التنبئية.



الشكل 17: المخطط العام لسير العمل

1. استراتيجية التصوير الميداني

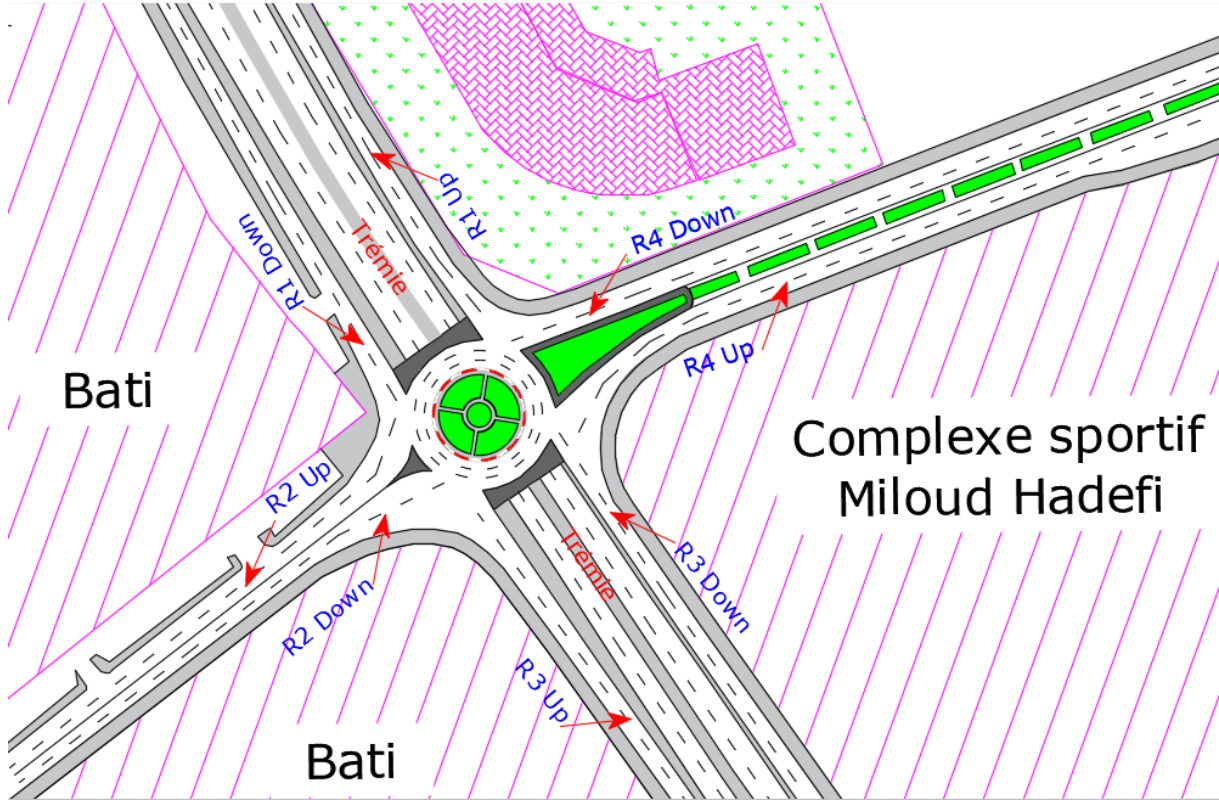
تم اختيار محور الدوران CNL المحاذي للجهة الغربية لملاعب ميلود هدي في بوهرا كمنطقة للدراسة (الشكل 18) ، نظرًا لأهميته المرورية ضمن شبكة الطرق ودوره في تنظيم حركة المرور بين عدة محاور رئيسية وارتفاع تدفق العربات خاصة خلال فترات الذروة ، كما يربط محور الدوران هذا كل من منطقة الدراسة بلقايد وحي الالفية (مليونوم) و الطريق الاجتبابي الرابع و الطريق الوطني رقم 11 اضافة الى النفق المؤدي الى طريق الميناء ، يشهد هذا المحور تدفقات مرورية معتبرة و متنوعة ما يؤهله ليكون نقطة استراتيجية لدراسة سلوك الحركة المرورية و مستويات الازدحام .



الشكل 18: منطقة الدراسة (محور الدوران CNL)

ولأغراض الدراسة، تم ترميز المحاور الطرقية بالحرف (R) متبوعًا بأرقام من 1 إلى 4، بحيث يمثل R1 المحور الشمالي، و R2 المحور الغربي، و R3 المحور الجنوبي، و R4 المحور الشرقي، كما هو موضح في الشكل 19.

من أجل جمع البيانات المرورية، تم اعتماد تقنية التصوير الميداني (الشكل 20) باستعمال أربع هواتف نقالة موزعة على الجهات الأربع لمحور الدوران، وذلك بهدف تغطية جميع التدفقات المرورية الداخلة والخارجة من المحور.



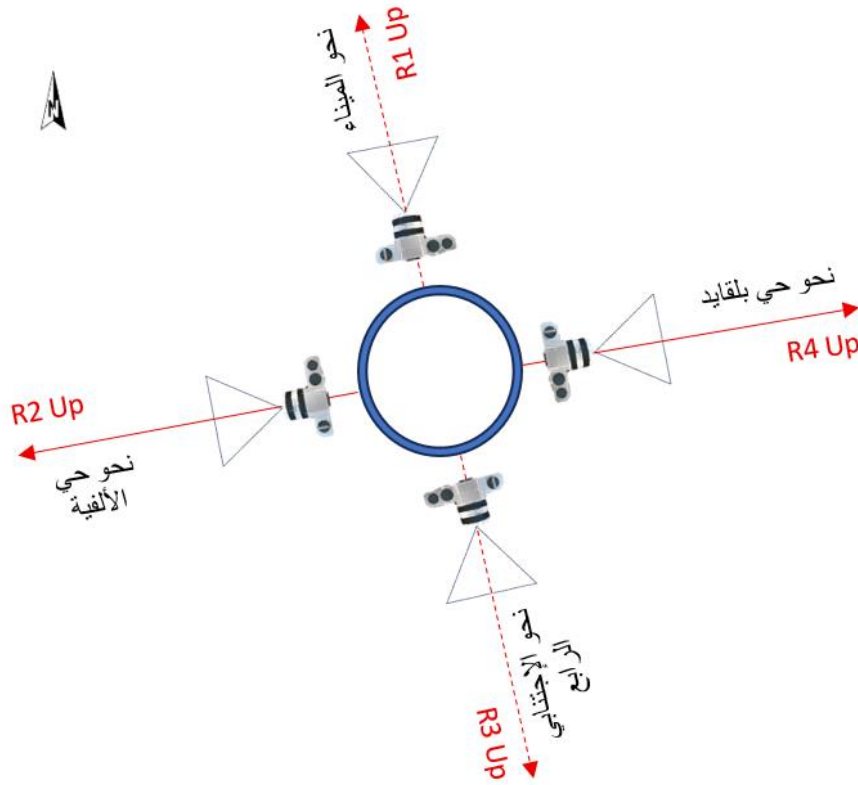
الشكل 19: المحاور الطرقية الأساسية لمحور الدوران



الشكل 20: بعض الصور من العمل الميداني

الشكل 21 يوضح توزيع الكاميرات على محور الدراسة، حيث:

- الكاميرا 1: الجهة الشمالية
- الكاميرا 2: الجهة الغربية
- الكاميرا 3: الجهة الجنوبية
- الكاميرا 4: الجهة الشرقية



الشكل 21: توزيع الكاميرات على محور الدوران

أُنجزت عمليات التصوير بشكل متزامن لضمان تسجيل الحركة المرورية في نفس التوقيت الزمني من مختلف الجهات، قام المصورون بالتصوير عكس محور الدوران واستغرقت مدة كل تسجيل 10 دقائق، وتم التصوير خلال ثلاث فترات زمنية مختلفة تمثل تغيرات الحركة المرورية اليومية، وهي:

- الفترة الصباحية: من 08:00 إلى 09:00

- الفترة الزوالية: من 12:00 إلى 14:00

- الفترة المسائية: من 16:00 إلى 17:00

شملت الدراسة مختلف أنواع المركبات، بما في ذلك السيارات، الدراجات النارية، الشاحنات والحافلات .

2. تنظيم الفيديوهات ومزامنة التوقيت

بعد الانتهاء من عملية التصوير الميداني، تم تنظيم الفيديوهات وفق منهجية تسمح بتسهيل عمليات المعالجة والتحليل اللاحقة باستعمال تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية. وقد تم تقسيم الفيديوهات إلى أربع ملفات رئيسية تمثل جهات محور الدوران، حيث خصص لكل جهة ملف مستقل يحمل التسمية التالية (الشكل 23):

- R1: الجهة الشمالية

- R2: الجهة الغربية

- R3: الجهة الجنوبية

- R4: الجهة الشرقية



الشكل 22: تنظيم الملفات حسب جهة الدوران

يحتوي كل ملف على جميع الفيديوهات الخاصة بالجهة المعنية خلال مختلف أيام وفترات التصوير . كما تم اعتماد نظام تسمية موحد للفيديوهات يعتمد على الجهة، تاريخ التصوير، والتوقيت الزمني، وذلك لتسهيل التعرف على محتوى كل تسجيل وضمان سهولة الرجوع إليه أثناء مراحل المعالجة والتحليل. وقد جاءت صيغة التسمية كما في المثال التالي:

8-05-18-R1 : حيث يشير R1 إلى الجهة الشمالية، 05-18 إلى تاريخ التصوير، 8 إلى توقيت التصوير .

سمحت هذه المنهجية بتنظيم قاعدة البيانات المرئية بشكل دقيق، كما ساهمت في ضمان مزامنة الفيديوهات المسجلة من مختلف الجهات، مما يوفر مرجعية زمنية موحدة تساعد على دراسة التدفقات المرورية وتحليلها مكانياً وزمانياً بصورة أكثر دقة.

3. معالجة الفيديوهاات واستخراج البيانات المرورية

تعد مرحلة معالجة الفيديوهاات واستخراج البيانات المرورية من أهم مراحل الدراسة التطبيقية، حيث تمكن من تحويل التسجيلات المرئية الى بيانات كمية قابلة للتحليل والاستغلال، وقد تم الاعتماد على تقنيات الرؤية الحاسوبية والذكاء الاصطناعي لاستخراج مختلف المعطيات المتعلقة بحركة المرور، من خلال معالجة الفيديوهاات المسجلة على مستوى منطقة الدراسة.

1.3 المعالجة الأولية للفيديوهاات

قبل الشروع في عمليات الكشف والتتبع باستعمال نموذج YOLOv8، خضعت الفيديوهاات المسجلة لمرحلة معالجة أولية بهدف تحسين جودة البيانات وضمان دقة النتائج المستخرجة .

تم في البداية فحص مختلف الفيديوهاات للتحقق من وضوح الرؤية وإمكانية تمييز المركبات بمختلف أنواعها، بما في ذلك السيارات، الدراجات النارية، الحافلات والشاحنات. كما تم التأكد من سلامة التسجيلات وخلوها من الانقطاعات التي قد تؤثر على عملية التحليل. ونظرًا لاعتماد هواتف نقالة مختلفة في عملية التصوير، فقد لوحظ وجود تفاوت نسبي في دقة الفيديوهاات وجودتها، إضافة إلى بعض الاهتزازات الناتجة عن حركة المصور وتأثير الرياح أثناء التصوير الميداني. ورغم ذلك، فقد كانت جودة التسجيلات كافية لإجراء عمليات الكشف والتتبع الآلي للمركبات .

خلال مرحلة إعداد ومعالجة البيانات المرئية، تمت مواجهة مشكلة تقنية تمثلت في ظهور شاشة سوداء أثناء تشغيل بعض ملفات الفيديو داخل بيئة المعالجة، مع استمرار تشغيل الملف الصوتي بشكل طبيعي. يعود هذا المشكل إلى عدم توافق برنامج المعالجة أو مكتبات القراءة مع ترميز الفيديو (Video Codec) المستخدم في الملف، رغم إمكانية قراءة المسار الصوتي دون صعوبات. وقد أدى ذلك إلى تعذر استخراج الإطارات اللازمة لعمليات الكشف والتتبع الآلي للمركبات. ولحل هذه الإشكالية تم تحويل ملفات الفيديو إلى صيغة وترميز أكثر توافقًا مع مكتبات المعالجة المعتمدة، مع التحقق من سلامة الملف وإعادة ترميزه باستخدام معايير قياسية مدعومة، مما مكن من استرجاع الإطارات المرئية واستئناف عملية التحليل بصورة طبيعية.

سمحت هذه المرحلة بتحضير قاعدة بيانات مرئية منظمة وقابلة للاستغلال في مراحل التحليل اللاحقة، خاصة عمليات الكشف، التتبع، العد الآلي، والتحليل الزمني-المكاني للتدفقات المرورية.

2.3 كشف، تتبع و عد المركبات بالنموذج YOLOv8

من أجل أتمتة عملية كشف المركبات وتتبعها داخل الفيديوهاات المرورية، تم الاعتماد على نموذج الذكاء الاصطناعي YOLOv8، والذي يُعد من أحدث نماذج الكشف الفوري عن المعتمدة في تطبيقات الرؤية الحاسوبية. يعتمد نموذج

YOLOv8 على مبدأ الكشف في الزمن الحقيقي (Real-Time Detection) ، حيث يقوم بتحليل كل إطار من الفيديو وتحديد مواقع الأجسام المختلفة وتصنيفها بدقة عالية وفي زمن معالجة منخفض، مما يجعله مناسباً لتطبيقات تحليل حركة المرور والمراقبة المرورية الذكية.

يضم نموذج YOLOv8 عدة إصدارات تتمثل الفروقات الأساسية بينها في حجم النموذج وعدد معاملاته، وما يترتب عن ذلك من اختلاف في متطلبات الذاكرة والقدرة الحاسوبية وسرعة المعالجة ودقة الكشف. ويوضح الجدول التالي أبرز خصائص هذه الإصدارات والفروقات بينها.

الإصدار	الوصف
YOLOv8n	نسخة خفيفة جداً، تتميز بسرعة معالجة عالية، لكنها أقل دقة مقارنةً ببقية الإصدارات
YOLOv8s	نسخة صغيرة (Small) ، توفر توازناً جيداً بين سرعة المعالجة ودقة الكشف
YOLOv8m	نسخة متوسطة (Medium) ، توفر دقة أعلى مع متطلبات حاسوبية أكبر.
YOLOv8l	نسخة كبيرة (Large) ، تتميز بدقة مرتفعة مقابل زيادة في حجم النموذج وزمن المعالجة.
YOLOv8x	نسخة كبيرة جداً (Extra Large) ، تحقق أعلى مستويات الدقة عادةً، لكنها تتطلب موارد حاسوبية أكبر وتكون أبطأ نسبياً في المعالجة.

الجدول 5: وصف مختصر لإصدارات نموذج YOLOv8 وخصائصها العامة

في هذه الدراسة، تم اختيار النسخة YOLOv8s نظراً لتوازنها بين سرعة المعالجة ودقة الكشف، إضافة إلى توافقها مع الإمكانيات التقنية للحاسوب المستعمل.

تم استخدام نموذج جاهز مسبق التدريب (Pre-trained Model) ، مع إجراء بعض التعديلات الخاصة بعملية العد والكشف، خاصة فيما يتعلق بإضافة خطوط افتراضية داخل المشهد المروري بهدف حساب المركبات المارة عبر نقاط محددة من محور الدوران.

1.2.3 الكشف عن المركبات وتتبعها

تم دمج خوارزمية التتبع ByteTrack مع نموذج YOLOv8s لمعالجة الفيديوها المرورية بهدف الكشف الآلي عن المركبات وتتبع حركتها داخل المشاهد المرورية. يعتمد النظام على تحليل إطارات الفيديو بشكل متتالٍ، حيث يقوم النموذج بتحديد مواقع المركبات داخل كل إطار بواسطة صناديق الإحاطة (Bounding Boxes)، ثم تصنيفها إلى فئات مختلفة تشمل السيارات، الدراجات النارية، الحافلات والشاحنات.

بعد مرحلة الكشف، تُطبق خوارزمية ByteTrack لتتبع المركبات عبر الإطارات المتعاقبة، وذلك من خلال إسناد معرف فريد (ID) لكل مركبة، مما يسمح بمتابعة مسارها أثناء حركتها داخل المشهد والمحافظة على هويتها خلال كامل مدة ظهورها في الفيديو.

2.2.3 آلية العد واستخراج التدفقات المرورية

اعتمدت عملية العد على إنشاء منطقة افتراضية داخل المشهد المروري (Counting Zone)، حيث يتم تسجيل المركبات عند عبورها لهذه المنطقة. ويُحدد اتجاه الحركة اعتماداً على تغير الإحداثي العمودي (Y-coordinate) لمركز المركبة بين الإطارات المتتالية، مما يسمح بالتمييز بين الاتجاه الصاعد والاتجاه النازل.

ولضمان دقة النتائج، استُخدمت المعرفات الفريدة (Track IDs) المخصصة لكل مركبة لتفادي تسجيلها أكثر من مرة أثناء عبورها منطقة العد. وقد مكّنت هذه المنهجية من إجراء عد آلي ودقيق للتدفقات المرورية مع إمكانية التمييز بين أصناف المركبات المختلفة وتتبع اتجاهات الحركة داخل محور الدوران.

3.2.3 تنفيذ المعالجة البرمجية واستخراج النتائج

تم تطوير شيفرة برمجية باستعمال لغة Python لتنفيذ عمليات الكشف والتتبع والعد الآلي، وحفظها بامتداد (py). ليتمكن مفسر Python من تشغيلها. وقد نُفذت المعالجة من خلال بيئة Anaconda Prompt بعد الانتقال إلى المجلد الذي يحتوي على ملف الشيفرة واستدعائه للتنفيذ.

عند بدء التشغيل، يتم تحميل نموذج الكشف ومعالجة إطارات الفيديو (Frames) بشكل متتابع، حيث تُعرض الإطارات المعالجة مباشرة على الشاشة مع إظهار المركبات المكتشفة داخل مربعات التحديد وإسناد معرف فريد لكل مركبة من أجل تتبع حركتها. كما تُطبق منطقة العد المحددة مسبقاً لتسجيل المركبات عند عبورها وتصنيفها حسب الفئة التي تنتمي إليها. وفي نهاية المعالجة تُحفظ نتائج العد في ملف بصيغة CSV لاستخدامها لاحقاً في التحليل الإحصائي والنمذجة المرورية.

يوضح الشكل 23 بعض أجزاء الشيفرة البرمجية التي تم تطويرها لمعالجة التسجيلات المرئية واستخراج البيانات المرورية والأشكال 24 و25 على التوالي عرض الفيديو مع صناديق الإحاطة أثناء المعالجة والملف النتائج بصيغة CSV بعد إتمام المعالجة.

```
from ultralytics import YOLO
import csv

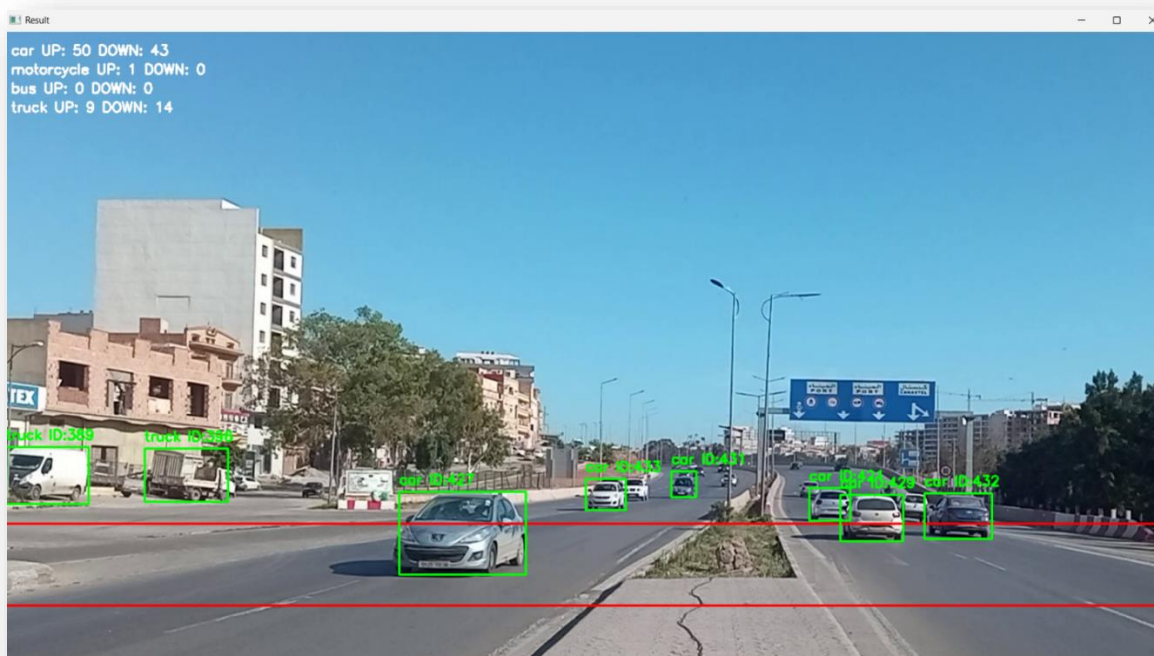
# تحميل الموديل
model = YOLO("yolov8s.pt")

cap = cv2.VideoCapture("6r1-19-8.mp4")
```

```
# الفئات
vehicle_classes = {
    2: "car",
    3: "motorcycle",
    5: "bus",
    7: "truck"
}
```

```
# تتبع
track_history = {}
counted_ids = set()
```

الشكل 23: بعض أجزاء الشيفرة البرمجية



الشكل 24: عرض الفيديو مع صناديق الإحاطة أثناء المعالجة

	A	B
1	car,322,220	
2	motorcycle,4,2	
3	bus,9,6	
4	truck,6,8	

الشكل 25: ملف بصيغة CSV بعد انتهاء المعالجة

ملاحظة

أثناء مرحلة معالجة مقاطع الفيديو باستعمال نموذج YOLOv8 للكشف والتتبع الآلي للمركبات، تم تسجيل مشكلة في بعض المقاطع تمثلت في اختلاف اتجاه عرض الفيديو بين مشغلات الوسائط التقليدية وبيئة المعالجة المعتمدة على مكتبة OpenCV. فعلى الرغم من ظهور الفيديو بالاتجاه الصحيح عند تشغيله بواسطة برامج العرض، إلا أنه كان يظهر مدورًا بزاوية 90° أو 180° عند قراءته ومعالجته داخل بيئة Python.

يعود ذلك إلى احتواء بعض مقاطع الفيديو المصورة بالهواتف الذكية على بيانات وصفية خاصة باتجاه العرض (Orientation Metadata)، حيث تقوم مشغلات الوسائط بتفسيرها وتطبيقها تلقائيًا، في حين لا تتعامل مكتبة OpenCV معها بالطريقة نفسها أثناء قراءة الفيديو.

لتجاوز هذه الإشكالية، تم تطبيق عملية تصحيح لاتجاه الإطارات (Frame Rotation) مع ضبط أبعاد العرض والارتفاع بما يتوافق مع الاتجاه الحقيقي للفيديو، مما ساهم في الحفاظ على التوضع المكاني الصحيح للمركبات داخل المشهد وتحسين دقة عمليات الكشف والتتبع والعد المروري.

4. إعداد المؤشرات المروية وهيكل قاعدة البيانات

بعد الانتهاء من معالجة الفيديوهات واستخراج المعطيات الأولية المتعلقة بحركة المرور تم الانتقال إلى مرحلة إعداد البيانات المروية وتحويلها إلى مؤشرات كمية قابلة للتحليل، وتضمنت هذه المرحلة استخراج وتنظيم البيانات الناتجة عن عمليات الكشف و العد ثم حساب الحركة المروية داخل منطقة الدراسة

1.4 استخراج وهيكل البيانات

بعد الانتهاء من عمليات الكشف والتتبع والعد الآلي للمركبات، تم تنظيم النتائج المستخرجة في شكل جداول زمانية-مكانية (Spatio-Temporal Tables)، حيث تم اعتماد حقل معرف لكل جهة (ID_ROAD) وربطه بحقل الزمن (DATETIME) الذي يعكس توقيت كل عملية رصد، إضافة إلى الحقول الخاصة بالمؤشرات المروية مثل عدد المركبات، والتدفق المروى المكافئ (PCU Flow/h)، ونوع المركبة.

كما تم تصنيف البيانات حسب الاتجاهات المروية (دخول/خروج) وربطها بمختلف جهات محور الدوران، مع توحيد الصيغة الزمنية لضمان توافقها مع أدوات التحليل الزماني-المكاني داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS Pro). واعتمدت بنية بيانات موحدة مكّنت من دمج جميع الفترات الزمنية في جدول واحد متكامل، مما سهّل عمليات المعالجة والتحليل اللاحقة.

شملت مرحلة إعداد البيانات التحقق من جودتها من خلال التأكد من خلوها من التكرارات غير المبررة والأخطاء الناتجة عن الإدخال أو المعالجة، مع الحفاظ على التكرار الزمني الطبيعي الذي يعكس تعدد الملاحظات خلال فترات الدراسة المختلفة.

أتاحت هذه الخطوات الحصول على قاعدة بيانات منظمة وموثوقة، جاهزة للاستغلال في مختلف مراحل الدراسة، سواء لإنتاج الخرائط الموضوعاتية، أو حساب المؤشرات المرورية، أو إجراء التحليلات الزمانية-المكانية، بما يدعم تفسير الظواهر المرورية المدروسة بصورة علمية ومنهجية.

1.1.4 التدفق المروري المكافئ (PCU Flow)

يُقصد بالتدفق المروري المكافئ (Passenger Car Unit Flow - PCU Flow) تحويل مختلف أصناف المركبات المتداولة على الطريق إلى وحدة مرجعية موحدة تمثل السيارة السياحية، وذلك باستعمال معاملات تكافؤ تأخذ بعين الاعتبار الاختلافات في الحجم والسرعة وخصائص التشغيل والتأثير على انسيابية حركة المرور.

تم اعتماد هذا المؤشر في الدراسة لأن العدد الخام للمركبات لا يعكس بدقة مستوى الضغط الفعلي الذي تمارسه حركة المرور على الطريق، إذ تختلف مساهمة كل صنف من المركبات في استهلاك السعة المرورية. فالحافلات والشاحنات تشغل حيزاً أكبر وتؤثر بدرجة أكبر على حركة السير مقارنة بالسيارات السياحية، في حين يكون تأثير الدراجات النارية أقل نسبياً.

لذلك، تم تحويل مختلف أصناف المركبات المكتشفة إلى وحدات مكافئة للسيارة السياحية بهدف الحصول على قياس أكثر واقعية لحجم التدفق المروري. ويساهم هذا الإجراء في تحسين دقة المؤشرات المرورية المستخدمة في تحليل التدفقات، وتقدير مستويات الازدحام، وبناء النماذج التنبؤية، كما يوفر تمثيلاً أقرب للواقع التشغيلي للطريق مقارنة بالاعتماد على العدد الإجمالي للمركبات فقط.

وعليه، يُعد التدفق المروري المكافئ من المؤشرات الأساسية في الدراسات المرورية الحديثة، نظراً لقدرته على التعبير بصورة أكثر موضوعية عن حجم الحركة المرورية ومستوى الضغط الفعلي الواقع على البنية التحتية للطرق، وقد تم حسابه وفق العلاقة التالية:

$$(1) \quad PCU_{FLOW} = (car \times 1) + (Bus \times 2.5) + (Truck \times 3) + (Moto \times 0.5)$$

2.1.4 مؤشر الازدحام المروري المرور

من أجل تقييم مستوى الضغط المروري بمحور الدوران المدروس، تم اعتماد مؤشر مروري مركب يعتمد على حجم التدفق المروري، وعدد المسارات، ومتوسط سرعة المركبات. ويرتكز هذا المؤشر على فرضية مفادها أن مستوى الازدحام المروري يزداد مع ارتفاع حجم التدفق، بينما ينخفض بزيادة عدد المسارات وارتفاع السرعة المتوسطة لحركة السير. وقد تم حساب قيمة مؤشر الضغط المروري وفق العلاقة التالية:

$$(2) \quad Index = \frac{PCU_{FLOWH}}{v \times p}$$

حيث يمثل كل من:

$Index$: مؤشر الازدحام المروري

PCU_{FLOWH} : التدفق المروري الساعي المكافئ

v : يمثل السرعة التقديرية

p : عدد المسارات في الطريق

2.4 هيكل قاعدة البيانات المرورية الوصفية وخصائصها

يمثل جدول الملحق أ قاعدة البيانات المرورية الأساسية التي اعتمدت عليها الدراسة في تخزين وتنظيم المعطيات الميدانية الخاصة بحركة المرور بمنطقة الدراسة. وقد صُمم وفق بنية تسمح بدمج البعدين المكاني والزمني للبيانات، من خلال مجموعة من الحقول التي تصف الخصائص المرورية لكل مقطع طرقي ولكل فترة زمنية من فترات الرصد.

يضم الجدول الحقل ID_ROAD الذي يمثل المعرف الفريد لكل طريق أو مقطع طرقي، مما يتيح ربط البيانات الوصفية بالمعطيات الجغرافية داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية. كما يتضمن حقلي DATE و TIME اللذين يحددان تاريخ ووقت عملية الرصد، وهو ما يسمح بتتبع التغيرات الزمنية في حركة المرور وتحليلها خلال مختلف الفترات المدروسة.

ويتضمن الجدول كذلك الحقل EST_SPEED (Estimated Speed) الذي يعبر عن السرعة التقديرية للمركبات، وقد استُخدم كمؤشر مكمل لتقييم مستوى انسيابية الحركة المرورية. أما الحقول CAR ، TRUCK ، BUS و MOTO فتُمثل أعداد المركبات المصنفة حسب نوعها، بما يتيح دراسة التركيبة المرورية وتحليل مساهمة كل فئة في حجم الحركة المسجلة.

ولأخذ الاختلاف في تأثير أصناف المركبات على حركة المرور بعين الاعتبار، تم إدراج الحقل PCU_FLOW الذي يمثل التدفق المروري المكافئ. كما يحتوي الجدول على الحقل PCU_FLOW_H الذي يمثل التدفق المروري المكافئ الساعي، وقد استُخدم كمؤشر رئيسي في تقييم مستويات الازدحام والمقارنة بين المقاطع الطرقية والفترات الزمنية المختلفة. وأخيراً، يتضمن الجدول الحقل N_PASSAGE الذي يشير إلى عدد المسارات المرورية بكل طريق، ويعكس القدرة الاستيعابية للمقطع الطرقي.

وقد أتاحت هذه البنية المتكاملة إنشاء قاعدة بيانات مكانية-زمانية دقيقة شكلت الأساس لمختلف مراحل التحليل المنجزة في إطار الدراسة، بما في ذلك تحليل التدفقات المرورية، وتقييم مستويات الازدحام، وإعداد النماذج الإحصائية والخرائط الموضوعاتية داخل برنامج ArcGIS Pro.

يعرض الجدول 6 ملخصاً للنتائج المفصلة الواردة في الملحق أ، حيث يبيّن التدفق المروري الخام العدد الإجمالي لكل فئة من فئات المركبات التي تم كشفها باستخدام نموذج YOLO عبر مختلف المحاور الطرقية في منطقة الدراسة، في مختلف فترات وتواريخ التصوير (440 دقيقة من التصوير).

سيارة	حافلة	شاحنة	دراجة نارية	التدفق المروري الخام
807	20	45	46	918
1142	14	49	36	1241
2158	34	148	71	2411
2472	27	169	89	2757
3196	44	109	113	3462
3178	31	168	107	3484
2769	35	117	90	3011
2470	40	109	77	2696
3248	57	255	84	3644
3340	22	207	69	3638

الجدول 6: ملخص للنتائج المفصلة الواردة في الملحق أ

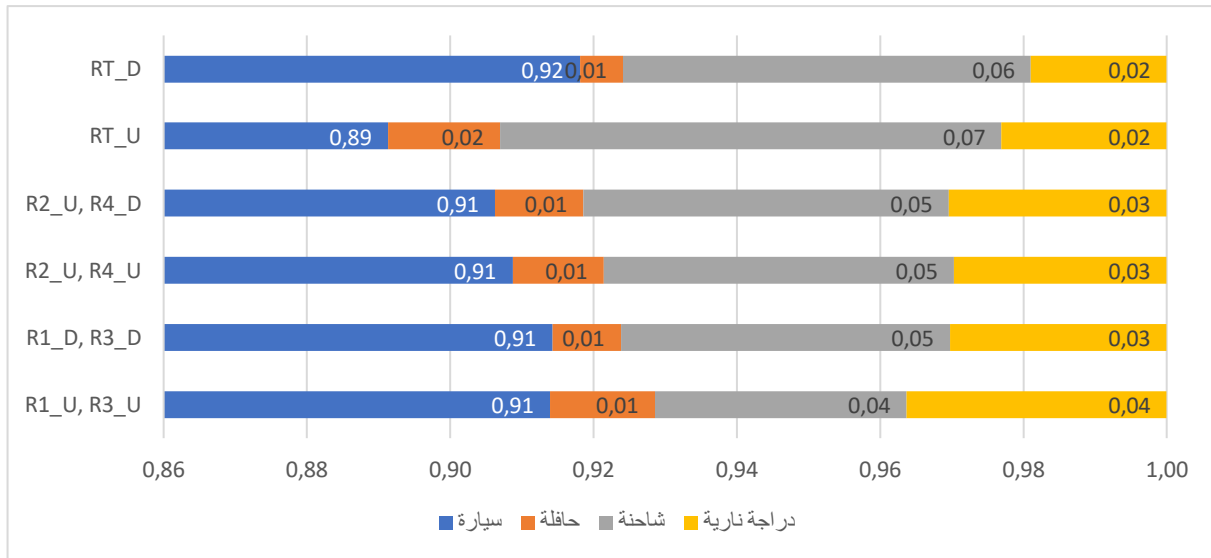
ملاحظة

يتكوّن المحور R1-R3 من مستويين للحركة المرورية؛ فمن جهة، يضم طريقين بكل منهما مسلكان مرتبطان بمحور الدوران عبر مسالك الاندماج، ومن جهة أخرى يضم ممراً سفلياً يتكوّن كذلك من طريقين بكل منهما مسلكان. ونظراً لاستقلالية هذا الممر السفلي عن الدوّار، فقد تم عزله ضمن التحليل. وتمثيله في الجدول بالأسطر المرموز لها بـ: RT

5. تحليل البيانات

1.5 نسب أنواع المركبات

يظهر الشكل 26 ، الذي يمثل نسب أنواع المركبات في محور الدوران والنفق، هيمنة واضحة للسيارات السياحية، حيث تمثل ما نسبته 91% من إجمالي حركة المرور لكلا الموقعين، وهو ما يعكس الطابع الحضري للمجال المدرّوس واعتماده الكبير على التنقل الفردي اليومي.



الشكل 26 : النسبة المئوية لكل صنف حسب المحاور الطرقية الرئيسية

ويؤكد هذا المعطى أن الحركة المرورية في المنطقة تركز أساساً على استعمال السيارات الخاصة، المرتبطة بالتنقلات المهنية والدراسية واليومية. في المقابل، تمثل الحافلات نسبة ضعيفة لا تتجاوز 1%، مما يشير إلى محدودية الاعتماد على النقل العمومي مقارنة بالسيارات الخاصة، سواء من حيث العرض أو من حيث الإقبال. أما الشاحنات فتتمثل بحوالي 5% من إجمالي المركبات في محور الدوران، أما في طريق النفق 7% وهو ما يعكس وجود نشاط اقتصادي وتجاري مرتبط بتموين المنطقة ونقل البضائع، دون أن يكون هذا النوع من الحركة هو المهيمن.

كما تسجل الدراجات نسبة 2% في الممر السفلي وهي نسبة ضعيفة نسبياً في حين ترتفع إلى 4 % في الطريق الحضري، ما يعكس وجود حركة محلية خفيفة داخل بعض الأحياء، خاصة في التنقلات القصيرة أو داخل النسيج الحضري الكثيف .

وبصفة عامة، تعكس هذه التركيبة المرورية اعتماداً شبه كلي على السيارات السياحية، مع حضور محدود لبقية أصناف المركبات، وهو ما يفسر جزئياً ارتفاع الضغط المروري داخل بعض المقاطع الطرقية، نظراً لارتفاع عدد المركبات الخاصة مقارنة بقدرة البنية التحتية على الاستيعاب.

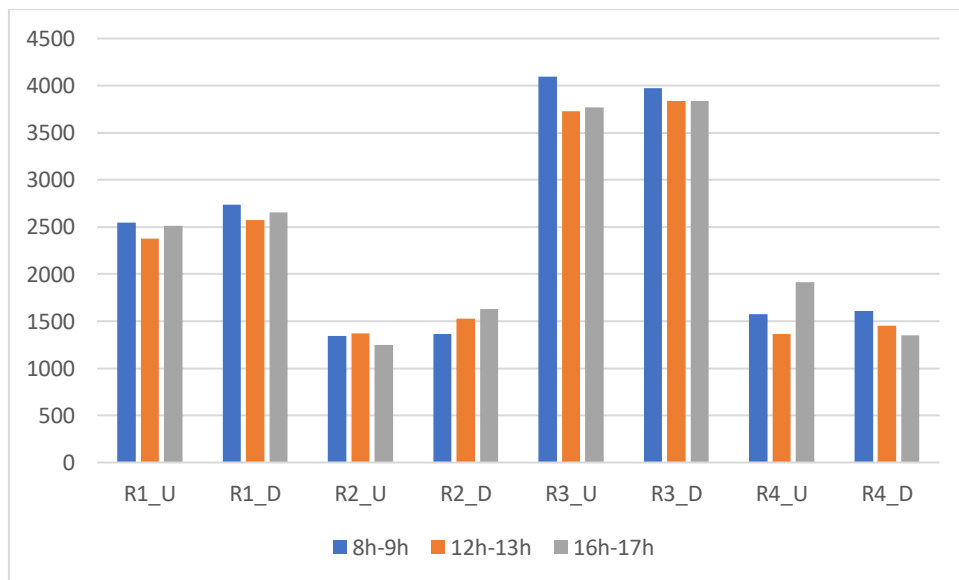
2.5 تدفق العربات على المحاور الطرقية الأساسية

1.2.5 التدفق الساعي الخام

يعرض الجدول 7 والشكل البياني 27 متوسط التدفق الساعي الإجمالي للمركبات على المحاور الأربعة لمحور الدوران خلال مختلف فترات اليوم. وقد تم الحصول على هذه القيم من خلال حساب متوسط نتائج العد المروري المسجلة خلال أيام العمل الميداني الأربعة لكل فترة زمنية. وتتيح هذه المعطيات تحليل التغيرات الزمنية في حجم الحركة المرورية، وإبراز أعلى وأدنى مستويات التدفق على مختلف محاور الدوار.

	8h-9h	12h-13h	16h-17h
R1_U	2544	2378	2515.5
R1_D	2734.5	2574	2653.5
R2_U	1345.5	1368	1245
R2_D	1363.5	1528	1626
R3_U	4096.5	3726	3768
R3_D	3972	3834	3835.5
R4_U	1575	1366	1917
R4_D	1606.5	1454	1347

الجدول 7: متوسط التدفق الساعي الإجمالي للمركبات على المحاور الأربعة لمحور الدوران



الشكل 27: متوسط التدفق الساعي الإجمالي للمركبات على المحاور الأربعة لمحور الدوران

تظهر النتائج تفاوتًا واضحًا في أحجام التدفق بين المحاور. يسجل المحور R3 أعلى مستويات الحركة المرورية في كلا الاتجاهين (R3_U و R3_D)، حيث تتجاوز التدفقات 4000 مركبة/ساعة وتبلغ ذروتها خلال الفترة الصباحية، مما يعكس الدور المحوري لهذا المحور في استيعاب الحركة المرورية داخل منطقة الدراسة.

ويأتي المحور R1 في المرتبة الثانية من حيث حجم التدفق، إذ تتراوح القيم بين حوالي 2400 و 2700 مركبة/ساعة، مع استقرار نسبي بين الفترات الزمنية المختلفة، ما يدل على انتظام الحركة المرورية بهذا المحور.

أما المحور R2 فيسجل أدنى مستويات التدفق مقارنة ببقية المحاور، حيث تتراوح القيم بين 1200 و 1600 مركبة/ساعة، مع ارتفاع طفيف خلال الفترة المسائية خاصة في الاتجاه R2_D.

وبالنسبة للمحور R4، فتظهر التدفقات قيمًا متوسطة تتراوح بين 1300 و 1900 مركبة/ساعة، مع تسجيل الاتجاه R4_U لأعلى قيمة خلال الفترة المسائية، مما يشير إلى زيادة الحركة في هذا الاتجاه خلال نهاية اليوم.

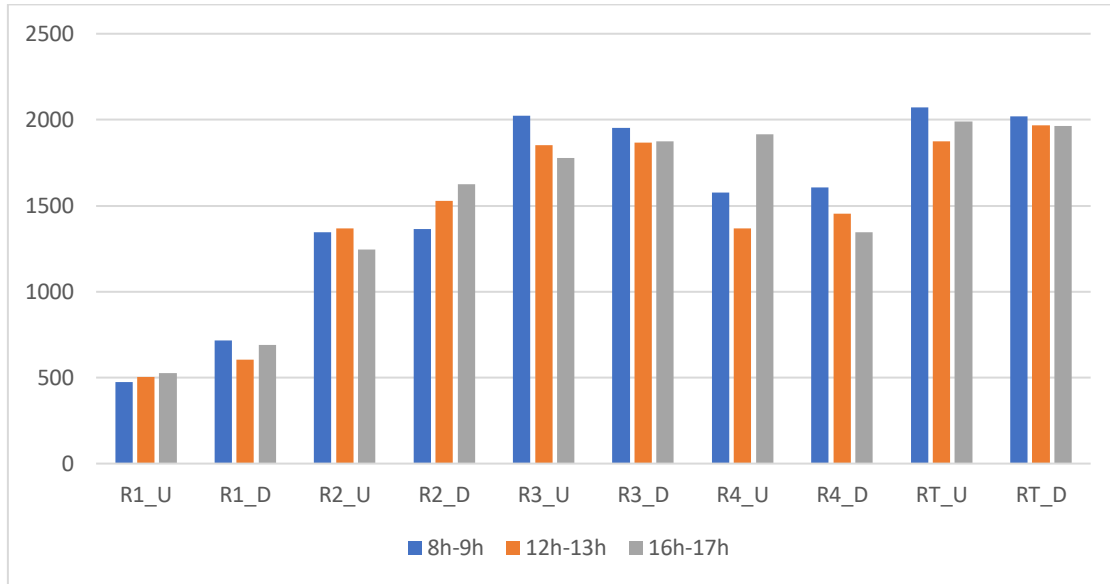
بصفة عامة، تكشف النتائج عن هيمنة المحور R1-R3 على الحركة المرورية خلال مختلف الفترات الزمنية، في حين تعرف المحاور R2 و R4 أحجام تدفق أقل نسبيًا، مع اختلافات محدودة بين الفترات المدروسة مقارنة بالفوارق المكانية بين المحاور.

يعود هذا الارتفاع في حجم التدفق المروري على مستوى المحورين R1 و R3 إلى كونهما يشكلان الشريان الرابط بين الميناء، مركز المدينة والطريق الاجتنبائي الرابع، المرتبط مباشرة بالطريق السيار شرق-غرب، مما يجعلهما يستقطبان أحجامًا كبيرة من الحركة المرورية.

غير أن الممر السفلي RT، الذي يؤمن الربط بين وسط المدينة والطريق الاجتنبائي الرابع، والذي يشكل جزءًا هامًا من المحورين R1 و R3 يبقى مستقلًا عن الدوّار من الناحية الوظيفية، عند عزله من التحليل (الجدول 8 والشكل 28)، تظهر بنية مختلفة لتوزيع التدفقات المرورية، بما يتيح إبراز مساهمة المحاور المتصلة مباشرة بالدوّار في استيعاب الحركة المرورية بشكل أوضح.

	8h-9h	12h-13h	16h-17h
R1_U	472.5	504	526.5
R1_D	715.5	606	691.5
R2_U	1345.5	1368	1245
R2_D	1363.5	1528	1626
R3_U	2025	1852	1779
R3_D	1953	1866	1873.5
R4_U	1575	1366	1917
R4_D	1606.5	1454	1347
RT_U	2071.5	1874	1989
RT_D	2019	1968	1962

الجدول 8: متوسط التدفق الساعي الإجمالي للمركبات مع عزل الممر السفلي



الشكل 28: متوسط التدفق الساعي الإجمالي للمركبات مع عزل الممر السفلي

وتُظهر النتائج أن المحور R3 يحتفظ بأعلى مستويات التدفق المروري في الاتجاهين، حيث تتراوح القيم بين 1779 و2025 مركبة/ساعة، مما يؤكد دوره المحوري في استيعاب الحركة المرورية المتجهة نحو الدوّار والمنطقة منه.

ويأتي المحور R4 في المرتبة الثانية، إذ تتراوح التدفقات بين 1347 و1917 مركبة/ساعة، مع تسجيل أعلى قيمة خلال الفترة المسائية في الاتجاه R4_U، وهو ما يعكس تزايد الحركة المرورية خلال نهاية اليوم. وتفسّر هذه النتائج بكون سكان بلقايد يستعملون هذا المحور بعد العمل للعودة إلى منازلهم.

أما المحور R2 فيسجل تدفقات متوسطة تتراوح بين 1245 و1626 مركبة/ساعة، مع ارتفاع ملحوظ في الاتجاه R2_D خلال الفترتين الظهيرة والمسائية، مما يشير إلى عدم توازن نسبي بين اتجاهي الحركة على هذا المحور.

في المقابل، يبقى المحور R1 الأقل استقطاباً للحركة المرورية، حيث تتراوح التدفقات بين 472.5 و 715.5 مركبة/ساعة فقط، وهو ما يبرز محدودية مساهمته في تغذية الدوّار مقارنة ببقية المحاور.

كما تكشف النتائج عن استقرار نسبي للتدفقات المرورية بين الفترات الزمنية الثلاث، حيث تبقى الفوارق المكانية بين المحاور أكثر وضوحاً من الفوارق الزمنية. ويُفسّر ذلك بأن الفترات المختارة هي فترات الذروة المرورية (الازدحام المروري). وبمقارنة هذه النتائج مع تلك المسجلة قبل عزل الممر السفلي RT، يتضح أن التدفقات المرتفعة التي كان يسجلها المحور R1 كانت ناتجة بدرجة كبيرة عن تأثير حركة العبور عبر الممر السفلي المستقل عن الدوّار. وبعد عزله، أصبح المحور R1 يمثل أضعف المحاور من حيث حجم التدفق، مما يعكس بصورة أدق مساهمة المحاور المرتبطة فعلياً بالدوّار في استيعاب الحركة المرورية.

2.2.5 التدفق المكافئ

في الواقع لا تقتصر البنية المدروسة على محور دوران تقليدي، بل تتمثل في مبدل مروري هجين يجمع بين محور دوران وممر سفلي. ويتمحور حول محور رئيسي شمال جنوب (R1-R3).

من أجل تقييم كثافة الحركة المرورية على مستوى هذه المحاور، تم حساب التدفقات المرورية التراكمية الواردة (ومم/سا: وحدة مركبة مكافئة في الساعة)، والتي أظهرت النتائج التالية:

- التدفقات التراكمية الواردة على المحور (شمال جنوب) R1-R3: $7291 = 4284 + 3007$ ومم/سا
- التدفقات التراكمية الواردة على المحور (شرق غرب) R2-R4: $3286 = 1601 + 1685$ ومم/سا
- التدفقات التراكمية الواردة على العقدة المرورية: $10577 = 1601 + 1685 + 4284 + 3007$ ومم/سا

يُبرز تحليل التدفقات المرورية المكافئة (الشكل 29 والجدول 9) هيمنة المحور شمال جنوب (R1-R3) الذي يُعد الشريان الرئيسي لعقدة المرور محل الدراسة.

المحور	الممر السفلي	محور الدوران	المجموع الوارد
R1-R3	2278	729	3007
R3_R1	2209	2075	4284
R2_R4	/	1685	1685
R4_R2	/	1601	1601
المجموع	4487	6090	10577
النسبة	0.424	0.576	

الجدول 9: التدفقات التراكمية المكافئة

الشكل 29: التدفق المكافئ الوارد (باللون الاسود) والخارج (باللون الاحمر) من العقدة المروية.

6. إعداد قاعدة البيانات الجغرافية في ArcGis pro

تمثل مرحلة إعداد قاعدة البيانات الجغرافية خطوة أساسية في هذه الدراسة، حيث تم إنشاء وتنظيم Geodatabase داخل بيئة ArcGIS Pro لدمج مختلف المعطيات المكانية والوصفية الخاصة بشبكة الطرق ومنطقة الدراسة. وقد تم اعتماد هيكلية منظمة تضم طبقات مكانية متعددة وجداول بيانات وصفية مرتبطة بها، بما يضمن تكامل المعطيات داخل نظام معلومات جغرافي موحد. وتشكل هذه القاعدة الإطار الأساسي الذي أُجريت ضمنه عمليات المعالجة والتحليل المكاني والزمني لاحقاً.

1.6 إدخال وربط البيانات داخل ArcGIS Pro

بعد معالجة التسجيلات المرئية واستخراج المؤشرات المرورية، تم تنظيم النتائج في جداول رقمية بصيغة Excel تضمنت متغيرات كمية مثل التدفق الساعي المكافئ، متوسط السرعة، ومؤشرات الازدحام، إضافة إلى الفترات الزمنية للرصد. تم التحقق من جودة البيانات عبر مراجعة القيم والكشف عن الأخطاء أو القيم المفقودة قبل استيرادها إلى ArcGIS Pro وإدماجها داخل قاعدة البيانات الجغرافية. بعد ذلك، تم ربط هذه الجداول بالطبقات المكانية الخاصة بشبكة الطرق ومحور الدراسة باستخدام معرفات فريدة مشتركة، مما سمح بتمثيل الخصائص المرورية مكانياً داخل النظام المعلوماتي الجغرافي.

وقد مكّنت هذه العملية من تحويل البيانات الرقمية إلى بيانات جغرافية قابلة للاستغلال في التحليل المكاني وإنتاج الخرائط الموضوعائية، بالإضافة إلى دعم مراحل النمذجة والتنبؤ اللاحقة.

2.6 إعداد قاعدة البيانات الجغرافية

من أجل تنظيم المعطيات المكانية والمرورية الخاصة بالدراسة، تم إنشاء قاعدة بيانات جغرافية داخل بيئة ArcGIS Pro اعتماداً على طبقة طرقية بصيغة Shapefile تمثل مختلف الجهات المرتبطة بمحور الدوران المدروس. وتم تقسيم المحاور الطرقية إلى مقاطع مستقلة تمثل الجهات الأربع لمحور الدوران (R1, R2, R3, R4). بعد ذلك، أنشئت مجموعة من الحقول الوصفية داخل قاعدة البيانات وربطت بالمعالم المكانية لتخزين المؤشرات المرورية المستخرجة من معالجة الفيديوها، مثل عدد المركبات، حجم التدفق المروري، السرعة المتوسطة، مؤشر المرور، مستوى الازدحام، واتجاه الحركة المرورية. وقد وفرت هذه البنية قاعدة بيانات متكاملة مكّنت من تمثيل المؤشرات المرورية مكانياً واستغلالها في مختلف مراحل التحليل اللاحقة.

7 إعداد الخرائط المرورية ، تحليل أنماط الحركة والتنبؤ بالازدحام

اعتماداً على قاعدة البيانات المرورية التي تم إعدادها وربطها بالمعطيات المكانية داخل بيئة ArcGIS Pro، تم إنجاز مجموعة من الخرائط الموضوعاتية بهدف إبراز الخصائص المكانية والزمانية لحركة المرور داخل محور الدوران محل الدراسة. وقد استندت هذه الخرائط إلى المؤشرات المستخرجة من المعايير الميدانية ومعالجة التسجيلات المرئية، مما أتاح تحويل البيانات الرقمية إلى تمثيلات بصرية تسهل فهم أنماط الحركة المرورية ومستويات الازدحام وتباينها عبر أجزاء الشبكة الطرقية.

لتحقيق دقة أكبر في التحليل، تم تقسيم شبكة الطرق المرتبطة بمحور الدوران إلى عشرة مقاطع رئيسية، شملت طريقين لكل جهة من الجهات الأربع (الشمالية، الجنوبية، الشرقية والغربية)، يمثل أحدهما اتجاه الدخول والآخر اتجاه الخروج، إضافة إلى طريقين يمران أسفل محور الدوران عبر النفق الرابط بين الجهتين الشمالية (R1) والجنوبية (R3). وقد أتاح هذا التقسيم دراسة الخصائص المرورية لكل اتجاه على حدة والكشف عن الفروقات المكانية في أحجام التدفقات ومستويات الضغط المروري.

شملت الخرائط المنجزة خرائط التدفق المروري التي اعتمدت على مؤشر التدفق المروري المكافئ الساعي (PCU Flow/h)، حيث أبرزت التوزيع المكاني لأحجام الحركة المرورية بين مختلف المقاطع، وساعدت في تحديد المحاور الأكثر استقطاباً للحركة والكشف عن الاتجاهات ذات الكثافة المرورية المرتفعة خلال الفترات الزمنية المدروسة.

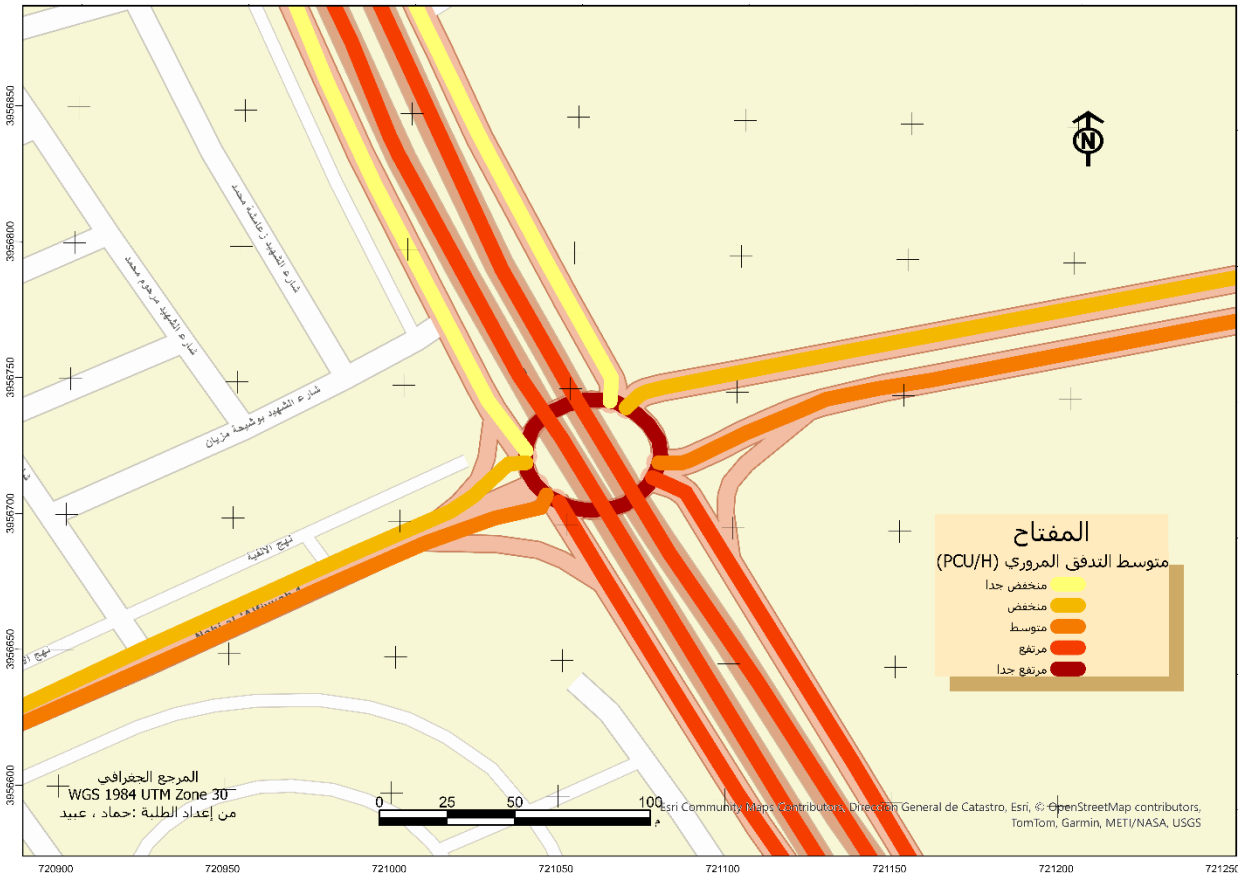
كما تم إعداد خرائط الازدحام المروري بالاعتماد على مؤشر الازدحام المحسوب وفق العلاقة المعتمدة في الدراسة (المعادلة 2)، وقد أظهرت هذه الخرائط التفاوت المكاني لمستويات الازدحام داخل منطقة الدراسة، مع تحديد المقاطع التي تشهد ضغطاً مرورياً مرتفعاً، خاصة خلال فترات الذروة.

إضافة إلى ذلك، تم إنتاج خرائط تحليلية اعتماداً على نموذج Random Forest، والذي استُخدم لدراسة العلاقات بين المتغيرات المرورية المختلفة والتنبؤ بمستويات الازدحام أو تصنيف المقاطع الطرقية وفق خصائصها المرورية. وقد ساهمت هذه الخرائط في إبراز الأنماط المكانية غير الظاهرة من خلال التمثيل التقليدي للبيانات، كما وفرت أساساً علمياً لتحديد المناطق الأكثر عرضة للاختناق المروري والعوامل المؤثرة فيه.

وبصفة عامة، شكلت هذه الخرائط أداة فعالة لفهم ديناميكية الحركة المرورية داخل محور الدوران، حيث أتاحَت مقارنة أوضاع المرور بين الاتجاهات المختلفة وبين المقاطع العلوية والسفلية، فضلاً عن تقييم مدى قدرة البنية التحتية الحالية على استيعاب أحجام الحركة المرورية المسجلة خلال فترات الدراسة المختلفة.

1.7 خريطة التدفق المروري

تمثل خريطة متوسط التدفق المروري العام (الشكل 30) التوزيع المكاني لمتوسط أحجام الحركة المرورية بمختلف المقاطع الطرقية خلال كامل فترة الدراسة. وقد أُنجزت بالاعتماد على متوسط قيم التدفق الساعي المكافئ، مما أتاح إبراز الطرق الأكثر استقطاباً للمركبات وتحديد الفروقات المكانية في شدة الحركة المرورية. وتوفر هذه الخريطة رؤية شاملة لأنماط التنقل داخل منطقة الدراسة، كما تشكل مرجعاً أساسياً لمقارنة التدفقات المرورية بين الفترات الزمنية المختلفة وتحليل العوامل المؤثرة في توزيعها.



الشكل 30: خريطة متوسط التدفق المروري العام

تظهر الخريطة وجود تباين مكاني واضح في أحجام الحركة المرورية بين مختلف المقاطع الطرقية المرتبطة بمحور الدوران. حيث يسجل محور الدوران أعلى قيم التدفق على الإطلاق، وهو أمر منطقي بالنظر إلى وظيفته كعقدة مرورية رئيسية تلقي عندها مختلف التدفقات القادمة من الجهات الأربع، مما يجعله مركزاً لتجميع وتوزيع الحركة المرورية داخل منطقة الدراسة.

تسجل الجهة الجنوبية، سواء على مستوى الطريق الداخل إلى محور الدوران أو الخارج منه، إضافة إلى الممر السفلي، مستويات مرتفعة من التدفق. ويُفسر ذلك بكون هذه الطرق ترتبط مباشرة بالطريق الوطني رقم 11 والطريق الاجتيازي الرابع، وهما من أهم المحاور الطرقية بمدينة وهران ويشكلان منفذاً رئيسياً للحركة المرورية القادمة من الجهة الغربية للمدينة.

والمتجهة نحو مختلف الأحياء والمرافق الحضرية. كما يكتسي الممر السفلي أهمية خاصة لكونه يوفر ربطاً مباشراً بين الطريق الوطني رقم 11 والطريق الاجتيازي الرابع من جهة، وطريق الميناء الجديد من جهة أخرى، دون الحاجة إلى المرور عبر محور الدوران، الأمر الذي يساهم في استقطابه لحجم معتبر من الحركة المرورية .

أما الجهة الشرقية، فتُظهر مستويات تدفق متوسطة، خاصة على مستوى الطريق الخارج من محور الدوران والمتجه نحو حي بلقايد. ويرتبط ذلك بالدور الحضري المهم الذي يؤديه هذا الحي باعتباره أحد أكبر الأقطاب العمرانية والخدماتية بمدينة وهران، مما يولد تدفقات يومية معتبرة للطلبة والأساتذة والعمال ومختلف مستعملي هذه المرافق.

كما تُسجل الجهة الغربية مستويات تدفق متوسطة على مستوى الطريق الداخل إلى محور الدوران، يعود ذلك إلى كونه يستقبل المركبات القادمة من حي الألفية والأحياء المجاورة والمتجهة نحو حي بلقايد أو نحو الطريق الاجتيازي الرابع أو الطريق الوطني رقم 11، وهو ما يمنحه أهمية مرورية متوسطة مقارنة بالمحاور الرئيسية الأخرى .

في المقابل، تُظهر الخريطة انخفاضاً نسبياً في التدفق على مستوى الطريق الداخل إلى محور الدوران من الجهة الشرقية، والذي يخدم أساساً حركة المركبات الخارجة من حي بلقايد. كما يسجل الطريق الخارج من محور الدوران في الجهة الغربية مستويات تدفق منخفضة نسبياً، نظراً لكونه يخدم بالدرجة الأولى المركبات المتجهة نحو حي الألفية أو نحو مدينة وهران عبر هذا الحي. أما أدنى مستويات التدفق فقد سُجلت في الجهة الشمالية، سواء بالنسبة للمركبات المتجهة نحو طريق الميناء انطلاقاً من حي بلقايد أو القادمة من طريق الميناء والمتجهة نحو محور الدوران. ويُفسر ذلك بوجود الممر السفلي الذي يستقطب الجزء الأكبر من هذه الحركة المرورية ويوفر مساراً أكثر مباشرة وانسيابية، مما يقلل من حجم التدفقات المارة عبر الطرق الشمالية السطحية.

بصفة عامة، تعكس خريطة متوسط التدفق المروري العام تأثير بنية شبكة الطرق والوظائف الحضرية للمجالات المحيطة بمحور الدوران في تشكيل أنماط الحركة المرورية. وتتركز أعلى التدفقات في المحاور المرتبطة بالطرق الرئيسية الكبرى، ولاسيما الطريق الوطني رقم 11 والطريق الاجتيازي الرابع، بينما تنخفض تدريجياً في المحاور ذات الوظيفة المحلية أو في المقاطع التي تتوفر لها مسارات بديلة أكثر كفاءة.

2.7 خريطة الازدحام

بهدف تقييم مستويات الازدحام المروري داخل منطقة الدراسة، تم إنجاز خريطة الازدحام (الشكل 31) بالاعتماد على مؤشر الازدحام المروري المحسوب انطلاقاً من التدفق الساعي المكافئ، والسرعة التقديرية للمركبات، وعدد المسارات المرورية لكل مقطع طرقي. ويتيح هذا المؤشر تقديراً أكثر دقة لحالة المرور، إذ لا يقتصر على قياس حجم الحركة المرورية فقط، بل يأخذ بعين الاعتبار قدرة الطريق على استيعاب المركبات من خلال عدد المسارات المتاحة، إضافة إلى مستوى

انسيابية الحركة المتمثل في السرعة. وقد سمحت هذه الخريطة بإبراز التباين المكاني لمستويات الازدحام بين مختلف الطرق المرتبطة بمحور الدوران، وتحديد المقاطع التي تعرف ضغطاً مرورياً مرتفعاً مقارنةً بغيرها. كما ساعدت على فهم العلاقة بين كثافة الحركة المرورية والبنية التحتية للطرق، إذ توفر رؤية عامة حول أداء شبكة الطرق داخل منطقة الدراسة وتكشف عن المواقع التي تتجاوز فيها أحجام التدفقات القدرة الاستيعابية للطريق، مما يؤدي إلى انخفاض السرعات وارتفاع مستويات الازدحام. وتُعد هذه الخريطة أداة مهمة لتشخيص الاختناقات المرورية ودعم اتخاذ القرارات المتعلقة بتحسين تنظيم الحركة المرورية ورفع كفاءة الشبكة.



الشكل 31: خريطة متوسط الازدحام العام

تُظهر خريطة متوسط الازدحام المروري العام تبايناً مكانياً واضحاً في مستويات الازدحام داخل شبكة الطرق المرتبطة بمحور الدوران، مع تسجيل أعلى القيم داخل محور الدوران نفسه. ويُفسّر هذا الازدحام المرتفع جداً بكونه نقطة التقاء رئيسية للجهات الأربع، إضافة إلى الانخفاض الكبير في السرعة داخله التي لا تتجاوز في الغالب 10 كلم/سا، وتعدد اتجاهات المركبات وتداخل مساراتها، فضلاً عن غياب إشارات ضوئية تنظم أولوية المرور، حيث يُعتمد فقط على تدخل رجال شرطة المرور في حالات الاختناق الشديد، مما يجعل الانسيابية المرورية داخله محدودة وغير مستقرة .

تُسجل الجهة الشرقية، في الطريق المؤدي إلى محور الدوران، ازدحاماً مرتفعاً خاصة خلال فترات الذروة، ويعود ذلك إلى محدودية الطريق بمسارين فقط وانخفاض السرعة إلى حوالي 10 كلم/سا. ويُعزى هذا الوضع كذلك إلى طبيعة حركة

المركبات الخارجة من حي بلقايد، والتي تمر عبر محور الدوران للاتجاه نحو حي الالفية أو نحو الجهة الجنوبية باتجاه الطريق الوطني رقم 11 والطريق الاجتيازي الرابع، ما يفرض عليها القيام بعملية التفاف شبه كاملة حول المحور، الأمر الذي يزيد من زمن الرحلة ويؤثر على مستوى الانسيابية . في المقابل، تُظهر الجهة الشرقية في الطريق الخارج من محور الدوران نحو حي بلقايد مستويات منخفضة من الازدحام، وذلك بسبب تحسن حالة الطريق وارتفاع السرعة بعد الخروج من المحور. أما على الجهة الجنوبية من الطريق المؤدي إلى المحور، فيلاحظ تسجيل مستويات مرتفعة من الازدحام المروري، ويُعزى ذلك إلى عاملين رئيسيين:

- يتمثل العامل الأول في ارتفاع حجم التدفقات المرورية على هذا المقطع، باعتباره محور الربط الرئيسي مع حيي الالفية وبلقايد وما يضمانه من أقطاب سكنية وتجارية وخدمائية متنوعة. كما ساهمت أشغال التهيئة المنجزة حديثاً عند نهاية الطريق، والهادفة إلى تسهيل حركة الالتفاف نحو الجهة الشرقية، في إحداث اضطرابات مؤقتة في حركة السير نتيجة تضيق المساحات التشغيلية وانخفاض السرعات، خاصة خلال فترات الذروة.
- أما العامل الثاني، فيرتبط بالخصائص الهندسية للموقع، حيث يقع نهاية مسار الاندماج على منحدر صاعد، وهو ما يشكل قيداً تشغيلياً يؤثر على قدرة المركبات على اكتساب السرعة اللازمة للاندماج الآمن، لاسيما بالنسبة للمركبات الثقيلة. وينتج عن ذلك انخفاض في سرعة المركبات المندمجة مقارنة بسرعة المركبات المتحركة على الطريق الرئيسي. ويؤدي هذا الوضع إلى تباطؤ حركة السير، الأمر الذي ينعكس في شكل اختناقات متكررة وارتفاع في درجات التشبع المروري خلال فترات الذروة.

بالنسبة إلى الطريق المتجه نحو محور الدوران من الجهة الغربية (القادمين من حي الالفية)، فيسجل أيضاً ازدحاماً مرتفعاً، ويرجع ذلك إلى طبيعته كطريق حضري ضيق داخل نسيج سكني، مع وجود توقف عشوائي للمركبات على جانبيه وكثافة حركة المشاة، مما يعيق انسيابية المرور ويخفض السرعات بشكل كبير . في المقابل، يُسجل الطريق الخارج من محور الدوران نحو حي الالفية في الجهة الغربية ازدحاماً متوسطاً، رغم كونه مسار خروج من المحور، إلا أن مروره داخل حي حضري ضيق وتدهور حالة الطريق، إلى جانب وجود المشاة والتوقفات غير المنظمة، يؤدي إلى خفض السرعة بشكل نسبي.

كما يُسجل الطريق الخارج من محور الدوران في الجهة الجنوبية ازدحاماً متوسطاً، رغم أهميته كمسار نحو الطريق الوطني والطريق الاجتيازي، ويُفسر ذلك بارتفاع التدفق المروري واعتماده على مسارين فقط عند المخرج، إضافة إلى تغيير مسارات المركبات لاختيار الوجهة المطلوبة، سواء نحو الطريق الاجتيازي أو الوطني رقم 11، مع التقاء الحركة القادمة من الممر السفلي، مما يزيد من تعقيد التدفق ويؤثر على الانسيابية.

كما يسجل الطريق الداخل إلى محور الدوران من الجهة الشمالية ازدحاماً منخفضاً نتيجة ضعف التدفق المروري، بينما يبقى الطريق الخارج من الجهة الشمالية في مستوى منخفض جداً بسبب نفس العامل. أما الممر السفلي، فيسجل رغم التدفق المرتفع مستوى ازدحام منخفضاً جداً، ويرجع ذلك إلى استقلاليته الكلية عن الدوّار، جودة حالة الطريق وارتفاع السرعات التي غالباً ما تتجاوز 80 كلم/سا، إضافة إلى انسيابية الحركة وغياب التعارضات المرورية، مما يجعله مساراً فعالاً لتخفيف الضغط عن باقي المحاور.

3.7 خريطة التنبؤ بالازدحام المروري باستخدام Random Forest

تُعد خوارزمية Random Forest (الغابة العشوائية) إحدى أشهر خوارزميات التعلم الآلي التابعة لأساليب التعلم الخاضع للإشراف (Supervised Learning)، وقد طُورت من طرف Leo Breiman سنة 2001. تعتمد هذه الخوارزمية على مبدأ التعلم بالتجميع، حيث يتم إنشاء عدد كبير من أشجار القرار وتدريب كل شجرة على عينة عشوائية من البيانات، ثم يتم دمج نتائج جميع الأشجار للحصول على تنبؤ نهائي أكثر دقة واستقراراً. تتميز خوارزمية الغابة العشوائية بقدرتها على معالجة العلاقات المعقدة وغير الخطية بين المتغيرات، كما أنها أقل عرضة لمشكلة الإفراط في التوافق (Overfitting) مقارنة بشجرة القرار الواحدة. تُستخدم في مهام التصنيف (Classification) و التنبؤ العددي (Regression)، حيث يتم حساب متوسط القيم المتوقعة من مختلف الأشجار للحصول على القيمة النهائية.

وتعتمد الخوارزمية أثناء عملية التدريب على اختيار عينات عشوائية من البيانات ومتغيرات عشوائية عند بناء كل شجرة، وهو ما يزيد من تنوع النماذج الفرعية ويحسن من قدرتها على التعميم.

نظراً لقدرتها على التعامل مع البيانات متعددة المتغيرات واستخراج الأنماط الخفية منها، أصبحت خوارزمية Random Forest من الأدوات واسعة الاستخدام في مجال الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI)، حيث تُستعمل في تحليل الظواهر المكانية والزمانية، ونمذجة البيانات الجغرافية، واستشراف الاتجاهات المستقبلية اعتماداً على العلاقات المستخلصة من البيانات التاريخية. كما تُوظف في الدراسات المرورية لتحليل التدفقات المرورية، وتحديد العوامل المؤثرة في الازدحام، ودعم عمليات اتخاذ القرار والتخطيط الحضري.

بهدف استشراف أنماط الحركة المرورية والتنبؤ بأحجام التدفق على شبكة الطرق المدروسة، تم الاعتماد على خوارزمية Random Forest Regression من خلال أداة Forest-based Classification and Regression المتاحة ضمن

بيئة ArcGIS GeoAnalytics Desktop.

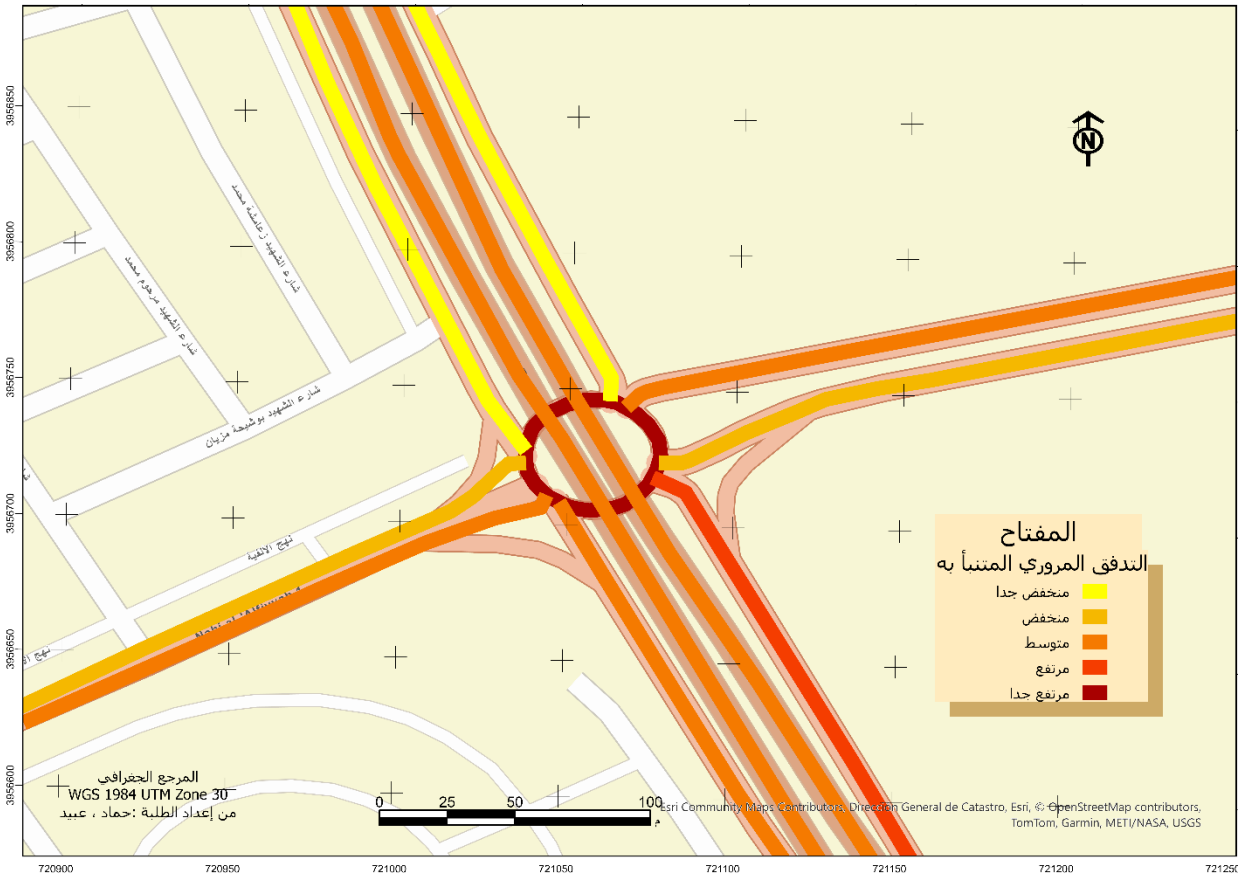
تم تطبيق هذا النموذج مع اعتماد التدفق الساعي المكافئ (PCU_FLOW_H) كمتغير تابع، في حين استُخدمت المتغيرات ID_ROAD و ESTIMATED_SPEED ، TIME_CODE ، DAY_CODE كمتغيرات تفسيرية تمثل الخصائص الزمنية، المرورية والمكانية المؤثرة في حركة المرور.

تم تنفيذ النموذج باستخدام 100 شجرة قرار، مع تخصيص 50% من البيانات لعملية التحقق من صحة النموذج، بهدف تقييم أدائه وضمان قدرته على التعميم خارج بيانات التدريب وأظهرت نتائج النموذج مستوى جيداً من الكفاءة التنبؤية، حيث بلغ معامل التحديد (R^2) قيمة 0.80، مما يدل على أن النموذج استطاع تفسير حوالي 80% من التباين في التدفقات المرورية وتشير المؤشرات الأخطاء إلى وجود توافق جيد بين القيم المتوقعة والقيم الحقيقية، مما يؤكد قدرة النموذج على تمثيل العلاقات بين المتغيرات المدخلة والتدفقات المرورية بدقة مقبولة.

أسفرت مخرجات النموذج عن إعداد خريطة تنبؤية للتدفقات المرورية والازدحام المحتمل بمنطقة الدراسة، مكّنت من إبراز التباينات المكانية في مستويات الحركة المرورية وتحديد المقاطع الأكثر عرضة للاكتظاظ. وتؤكد هذه النتائج أهمية دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي والتحليل المكاني في دعم التخطيط الحضري والمروري، من خلال توفير معلومات استشرافية تساعد على تحسين إدارة الشبكات الطرقية وترشيد عملية اتخاذ القرار.

1.3.7 خريطة التوزيع المكاني للتدفق المروري

تُظهر الخريطة في الشكل 32 التوزيع المكاني للتدفقات المرورية المتوقعة على مستوى المقاطع الطرقية المرتبطة بالدوار محل الدراسة، حيث صُنِّفت القيم المتنبأ بها إلى خمس فئات تتراوح بين التدفق المنخفض جداً والتدفق المرتفع جداً. ويُبيّن التدرج اللوني تركيز أعلى قيم التدفق المروري عند محيط الدوار وعلى المقاطع الرئيسية المتصلة به، خاصة على المحور الشمالي الغربي-الجنوبي الشرقي، مما يعكس الدور الوظيفي لهذا المحور باعتباره أحد أهم مسارات الحركة داخل المنطقة. كما تُظهر الخريطة ارتفاعاً نسبياً في التدفقات المرورية المتوقعة على المداخل والمخارج الرئيسية للدوار مقارنة بالمقاطع الثانوية المجاورة التي سجلت قيمةً متوسطة إلى منخفضة. وتدل هذه النتائج على قدرة النموذج على إبراز التباينات المكانية في الحركة المرورية وتحديد المقاطع الأكثر عرضة للكثافة المرورية.



الشكل 32: خريطة التنبؤ بالتدفق المروري باستعمال خوارزمية Random Forest

وتشير المخرجات كذلك إلى وجود منطقة تركز مروري حول الدوار نتيجة التقاء عدة محاور طرقية ذات أحجام حركة مرتفعة، الأمر الذي قد يزيد من احتمالية حدوث الازدحام خلال فترات الذروة. وتمثل هذه الخريطة أداة داعمة للتخطيط المروري واتخاذ القرار، إذ توفر تصوراً مكانياً للتدفقات المرورية المتوقعة يمكن الاستفادة منه في اقتراح حلول تنظيمية وهندسية تهدف إلى تحسين انسيابية الحركة ورفع كفاءة الشبكة الطرقية.

2.3.7 خريطة التوزيع المكاني للازدحام المروري

تُظهر خريطة التنبؤ بالازدحام المروري (الشكل 33) تركز مستويات الازدحام المرتفعة على المحاور التي سجلت كثافة مرورية عالية خلال مرحلة التحليل، مما يعكس قدرة نموذج الغابة العشوائية على تمثيل الأنماط المكانية المرتبطة بحركة المرور داخل منطقة الدراسة. وتشير النتائج إلى تسجيل مستويات ازدحام مرتفعة على مستوى محور الدوران، متزامنة مع انخفاض نسبي في التدفق المروري مقارنة ببعض المقاطع الأخرى، وهو ما يمكن تفسيره بتأثير الكثافة المرورية المرتفعة على سرعة الحركة والقدرة الاستيعابية للمحور.



الشكل 33: خريطة التنبؤ بالازدحام المروري باستعمال خوارزمية Random Forest

كما تُظهر الخريطة استمرار مستويات ازدحام مرتفعة على الطرق المؤدية إلى محور الدوران من الجهات الشرقية والغربية والجنوبية، مع تسجيل تدفقات مرورية أقل نسبياً مقارنة بالمقاطع الأكثر انسيابية. ويعكس ذلك استمرار تأثير الخصائص التشغيلية والهندسية للشبكة الطرقية في هذه المقاطع وما يرتبط بها من تباطؤ في حركة المركبات.

في المقابل، يسجل الطريق الداخل إلى محور الدوران من الجهة الشمالية مستوى ازدحام متوسطاً مصحوباً بتدفق مروري مرتفع نسبياً، مما يشير إلى قدرة أفضل على استيعاب الحركة مقارنة بالمقاطع الأكثر ازدحاماً. أما الطرق الخارجة من محور الدوران في الجهات الشرقية والغربية والجنوبية، فتُظهر مستويات ازدحام منخفضة إلى متوسطة مع تدفقات مرورية مرتفعة نسبياً، وهو ما يعكس تحسناً في انسيابية الحركة بعد تجاوز منطقة الدوران.

وتُبين الخريطة كذلك تسجيل مستويات ازدحام منخفضة جداً على مستوى الممر السفلي والطريق الخارج من محور الدوران في الجهة الشمالية، الأمر الذي يعكس كفاءة هذه المقاطع في استيعاب الحركة المرورية وتقليل تأثير نقاط التعارض مقارنة ببقية أجزاء الشبكة.

وبصفة عامة، تشير نتائج التنبؤ إلى أن محور الدوران والطرق المؤدية إليه تمثل المناطق الأكثر عرضة للضغط المروري داخل منطقة الدراسة، في حين تسهم المقاطع ذات الانسيابية المرتفعة، وعلى رأسها الممر السفلي، في تحسين حركة المرور والتخفيف من حدة الازدحام على مستوى الشبكة الطرقية المحلية.

خلاصة الفصل

تم خلال هذا الفصل عرض مختلف المراحل التطبيقية للدراسة، بدءًا من اختيار منطقة الدراسة وتنفيذ الحملة الميدانية لجمع البيانات المرورية، مرورًا بتنظيم ومعالجة التسجيلات المرئية واستغلال تقنيات الذكاء الاصطناعي لاستخراج المعطيات المتعلقة بحركة المرور، وصولًا إلى بناء قاعدة بيانات مرورية وجغرافية قابلة للتحليل.

كما سمحت عملية معالجة الفيديوهاستعمال نموذج YOLOv8 بالكشف عن المركبات وتتبعها وتصنيفها حسب أنواعها المختلفة، مما أتاح الحصول على مؤشرات كمية دقيقة حول التدفقات المرورية واتجاهات الحركة. وتم بعد ذلك توظيف نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS Pro) في تمثيل البيانات وتحليلها مكانيًا وزمانيًا من خلال مجموعة من الخرائط والمؤشرات التي أبرزت خصائص الحركة المرورية داخل محور الدوران المدروس.

علاوة على ذلك، تم توظيف خوارزمية الغابة العشوائية (Random Forest) لتطوير نموذج تنبئي للتدفقات المرورية والازدحام المحتمل، اعتمادًا على المعطيات المستخرجة من مراحل التحليل السابقة. وقد أظهرت النتائج قدرة النموذج على تمثيل العلاقات بين المتغيرات المدخلة والتدفقات المرورية، مما مكّن من إنتاج خرائط تنبؤية ساعدت في تحديد المقاطع الأكثر عرضة للضغط المروري.

ساهمت النتائج المتحصل عليها في تحديد الجهات والفترات الزمنية الأكثر ازدحامًا وفهم ديناميكية حركة المركبات داخل منطقة الدراسة، كما أبرزت أهمية دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية ونظم المعلومات الجغرافية في تحليل الظواهر المرورية والتنبؤ بها، وتوفير أدوات فعالة لدعم التخطيط المروري واتخاذ القرار.

الخاتمة العامة

تناولت هذه الدراسة إشكالية الازدحام المروري باعتبارها من أبرز التحديات الحضرية التي تواجه المدن الحديثة، وذلك من خلال تطبيق منهجية تعتمد على دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية لتحليل حركة المرور وفهم ديناميكيتها داخل حي بلقايد بمدينة وهران.

وقد تم اختيار حي بلقايد باعتباره قطباً حضرياً حديث النشأة يشهد نمواً عمرانياً وسكانياً متسارعاً، ويضم العديد من المنشآت والتجهيزات الكبرى ذات التأثير المباشر على الحركة المرورية، على غرار الملعب الأولمبي ميلود هدي، المركب الأولمبي، القرية المتوسطة، القطب الجامعي والمجمعات السكنية الجديدة. كما تم اعتماد محور الدوران CNL المحاذي للجهة الغربية للملعب الأولمبي كنموذج تطبيقي للدراسة نظراً لدوره المحوري في تنظيم حركة التنقل داخل المنطقة.

اعتمدت الدراسة على جمع البيانات المرورية ميدانياً بواسطة تسجيلات فيديو متزامنة، ثم معالجتها باستخدام نموذج YOLOv8 للكشف عن المركبات وتتبعها وتصنيفها آلياً، مما أتاح استخراج بيانات دقيقة حول أحجام التدفقات المرورية واتجاهاتها وأنواع المركبات. كما تم توظيف نظم المعلومات الجغرافية في تنظيم البيانات وتحليلها وتمثيلها مكانياً وزمانياً من خلال مجموعة من المؤشرات والخرائط الموضوعاتية والتحليلات المكانية، الأمر الذي ساهم في إبراز خصائص الحركة المرورية وتحديد المقاطع والفترات الزمنية الأكثر عرضة للضغط والازدحام.

كما تم توظيف خوارزمية الغابة العشوائية (Random Forest) لبناء نموذج تنبئي للتدفقات المرورية والازدحام المحتمل، حيث أظهرت النتائج قدرة جيدة على تمثيل العلاقات بين المتغيرات المدخلة والتدفقات المرورية، وأسهمت في إنتاج خرائط تنبئية مكّنت من تحديد المناطق الأكثر عرضة للاختناق المروري ودعم عمليات التخطيط واتخاذ القرار.

وقد أكدت النتائج فعالية دمج تقنيات الرؤية الحاسوبية والذكاء الاصطناعي الجغرافي وتقنيات التحليل المكاني في دراسة الظواهر المرورية وتحليلها، كما أبرزت أهمية البيانات المرورية الدقيقة في فهم أنماط التنقل داخل الأقطاب الحضرية الحديثة وتقييم أداء البنية التحتية الطرقية.

رغم النتائج الإيجابية المتحصل عليها، فقد واجهت الدراسة مجموعة من القيود المرتبطة أساساً بمرحلة جمع البيانات. فقد أدى التأخر في الحصول على ترخيص التصوير الميداني إلى تقليص مدة الرصد إلى أربعة أيام فقط، كما تزامنت الحملة الميدانية مع فترة الامتحانات الجامعية وامتحانات شهادة التعليم المتوسط، مما أثر على توفر الموارد البشرية اللازمة للعمل الميداني. وقد انعكست هذه الظروف على حجم قاعدة البيانات الزمنية المتاحة للتحليل والنمذجة والتي اقتصر تسجيلها

على ثلاث فترات ذروة يومية خلال فترة رصد محدودة، الأمر الذي حدّ من إمكانية تطوير نماذج تنبؤية زمنية أكثر تقدماً.

وفي هذا السياق، كان الهدف الأولي للدراسة يتمثل في بناء قاعدة بيانات مرورية زمنية واسعة تسمح بتطوير نماذج تنبؤية متقدمة تعتمد على السلاسل الزمنية وتقنيات التعلم العميق (Deep Learning)، إلا أن محدودية فترة الرصد لم تسمح بتوفير الحجم الكافي من البيانات اللازمة لهذا النوع من النمذجة، مما أدى إلى توجيه الدراسة نحو بناء نموذج تنبئي يعتمد على خوارزمية الغابة العشوائية بالاعتماد على البيانات المتاحة.

إن توسيع فترة الرصد لتشمل أسابيع أو أشهر متعددة، وإدماج بيانات زمنية أكثر تنوعاً، من شأنه أن يتيح تطوير نماذج تنبؤية زمنية ومكانية أكثر تقدماً تعتمد على السلاسل الزمنية وتقنيات التعلم العميق، بما يعزز دقة التنبؤ بالحركة المرورية ويدعم استشراف أنماطها المستقبلية.

تفتح هذه الدراسة آفاقاً واعدة لأعمال مستقبلية تتمثل في الاستفادة من شبكات كاميرات المراقبة المرورية وأنظمة الاستشعار الذكية لتوفير بيانات مرورية مستمرة وآنية، بما يسمح ببناء قواعد بيانات زمنية أكثر شمولاً ودقة. ومن شأن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي مع هذه الأنظمة أن يتيح رصد الحركة المرورية بصورة مستمرة ومعالجتها في الزمن الحقيقي، وتطوير منصات ذكية قادرة على الكشف المبكر عن حالات الازدحام واقتراح إجراءات استباقية لتحسين انسيابية الحركة داخل الوسط الحضري.

ويمكن كذلك توجيه الدراسات المستقبلية نحو تحليل تأثير الأحداث الرياضية والثقافية الكبرى على الحركة المرورية، خاصة وأن حي بلقايد يمثل قطباً رياضياً وحضرياً مهماً يحتضن الملعب الأولمبي والقرية المتوسطة وعدداً من المنشآت الكبرى التي تستقطب أعداداً كبيرة من الزوار خلال المناسبات المختلفة، الأمر الذي من شأنه أن يوفر فهماً أعمق للعلاقة بين الأحداث الكبرى وديناميكية الحركة المرورية داخل المنطقة.

وفي الأخير، نأمل أن تساهم هذه الدراسة في إثراء البحوث المرتبطة بالذكاء الاصطناعي الجغرافي وإدارة المرور، وأن تشكل قاعدة علمية يمكن البناء عليها لتطوير حلول ذكية، عملية ومستدامة تهدف إلى تحسين انسيابية حركة المرور، والرفع من جودة الحياة داخل المدن الحديثة.

قائمة المراجع

1. الرويسي، إ. (2025). الجغرافيا في عصر الثورة الرقمية والذكاء الاصطناعي: اتجاهات التطوير نحو التنمية المستدامة. *المجلة المغربية لنشر الأبحاث العلمية*، 12، 563–554. <https://www.rmprs.com/index.php/rmprs/article/view/99>
2. علي عجرمة، أ. ع و خليل شكري، ن. أ. (2022). أساليب الذكاء الاصطناعي الجغرافي في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد بين النظرية والتطبيق. *المجلة العربية الدولية لتكنولوجيا المعلومات والبيانات*، 2(2)، 117–93. <https://doi.org/10.21608/ajtid.2022.118814.1010>
3. Aboyomi, D. D., & Daniel, C. (2023). A comparative analysis of modern object detection algorithms: YOLO vs. SSD vs. Faster R-CNN. *Information Technology Engineering Journals (ITEJ)*, 8(2), 96–106. <https://doi.org/10.24235/itej.v8i2.123>
4. Afrin, T., & Yodo, N. (2020). A survey of road traffic congestion measures towards a sustainable and resilient transportation system. *Sustainability*, 12(11), 4660. <https://doi.org/10.3390/su12114660>
5. Ahmed, I., & Das, R. (2025). Comparative analysis of YOLO and Faster R-CNN models for detecting traffic object. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 16(3), 424–429. <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2025.0160342>
6. Chen, P. (2024). Integrating AI and GIS for real-time traffic accident prediction and emergency response: A case study on high-risk urban areas. *Advances in Engineering Innovation*, 13, 44–48. <https://doi.org/10.54254/2977-3903/13/2024136>
7. Choudhary, A., Gokhale, S., Kumar, P., Sahu, S. K., & Kumar, A. (2022). Urban traffic congestion: Its causes, consequences, and mitigation. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 26(12), 164–176. <https://doi.org/10.25303/2612RJCE1640176>
8. Dilek, E., & Dener, M. (2023). Computer Vision Applications in Intelligent Transportation Systems: A Survey. *Sensors*, 23(6), 2938. <https://doi.org/10.3390/s23062938>
9. Ezzeddini, L., Ktari, J., Frikha, T., Alsharabi, N., Alayba, A., Alzahrani, A. J., Jadi, A., Alkholidi, A., & Hamam, H. (2024). *Analysis of the performance of Faster R-CNN and YOLOv8 in detecting fishing vessels and fishes in real time*. *PeerJ Computer Science*, 10, e2033. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2033>
10. Garber, N. J., & Hoel, L. A. (2020). *Traffic and highway engineering* (Enhanced 5th ed.). Cengage Learning.
11. Gheorghe, C., & Şoica, A. (2025). Revolutionizing urban mobility: A systematic review of AI, IoT, and predictive analytics in adaptive traffic control systems for road networks. *Electronics*, 14(4), 719. <https://doi.org/10.3390/electronics14040719>
12. Heipke, C., & Rottensteiner, F. (2020). Deep learning for geometric and semantic tasks in photogrammetry and remote sensing. *Geo-spatial Information Science*, 23, 10 – 19. <https://doi.org/10.1080/10095020.2020.1718003>

- 13.Ibka, M. S., Rahal, D. D., Benharats, F., & Sifodil, D. (2025). Spatiotemporal impact of urbanization on urban heat island using Landsat imagery in Oran, Algeria: 1984–2024. *Urban Science*, 9(4), 95. <https://doi.org/10.3390/urbansci9040095>
- 14.Janowicz, K., Gao, S., McKenzie, G., Hu, Y., & Bhaduri, B. (2020). GeoAI: Spatially Explicit Artificial Intelligence Techniques for Geographic Knowledge Discovery and Beyond. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(4), 625–636. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1684500>
- 15.Joiya, F. (2022). Object detection: YOLO vs Faster R-CNN. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 4(9), 1911–1915. <https://doi.org/10.56726/IRJ-METS30226>
- 16.Kadri, Y., & Madani, M. (2015). L'agglomération oranaise (Algérie) entre instruments d'urbanisme et processus d'urbanisation. *EchoGéo*, 34. <https://doi.org/10.4000/echogeo.14386>
- 17.Krichen, M. (2023). *Convolutional neural networks: A survey*. *Computers*, 12(8), 151. <https://doi.org/10.3390/computers12080151>
- 18.Lagraa, I. K., & Souiah, M. (2024). Mutation des quartiers périphériques dans les grandes villes algériennes: Étude de deux douars périurbains, Belgaid et Ain El Baida (Oran). *AlNaciriya, Revue des Recherches Sociologiques et Historiques*, 15(1), 447–467. <https://asjp.cerist.dz/en/article/250182>
- 19.Levy, J. I., Buonocore, J. J., & von Stackelberg, K. (2010). *Evaluation of the public health impacts of traffic congestion: A health risk assessment*. *Environmental Health*, 9, 65. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-65>
- 20.Li, W. (2020). GeoAI: Where machine learning and big data converge in GIScience. *Journal of Spatial Information Science*, 20, 71–77. <https://doi.org/10.5311/JOSIS.2020.20.658>
- 21.Li, W., Arundel, S. T., Gao, S., Goodchild, M. F., Hu, Y., Wang, S., & Zipf, A. (2024). *GeoAI for science and the science of GeoAI*. *Journal of Spatial Information Science*, 29, 1–17. <https://doi.org/10.5311/JOSIS.2024.29.349>
- 22.Li, W., & Hsu, C.-Y. (2022). *GeoAI for Large-Scale Image Analysis and Machine Vision: Recent Progress of Artificial Intelligence in Geography*. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(7), 385. <https://doi.org/10.3390/ijgi11070385>
- 23.Li, Y., Zhao, Q., & Wang, M. (2022). Analysis the influencing factors of urban traffic flows by using new and emerging urban big data and deep learning. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B4-2022, 537–544. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2022-537-2022>
- 24.Lu, F., Cheng, S., & Wang, P. (2025). GeoAI enabled urban computing: Status and challenges. *Annals of GIS*, 31(4), 537–555. <https://doi.org/10.1080/19475683.2025.2552152>
- 25.Moumen, I., Abouchabaka, J., & Rafalia, N. (2023). Enhancing urban mobility: Integration of IoT road traffic data and artificial intelligence in smart city environment. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 32(2), 985–993. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v32.i2.pp985-993>
- 26.Obaidat, M., & Alomari, L. (2026). Real-time multi-source AI, computer vision, and GIS fusion for data-driven urban traffic management. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 31, 101895. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2026.101895>
- 27.Pan, Z., Liang, Y., Wang, W., Yu, Y., Zheng, Y., & Zhang, J. (2019). Urban Traffic Prediction from Spatio-Temporal Data Using Deep Meta Learning. *Knowledge Discovery and Data Mining*, 1720–1730. <https://doi.org/10.1145/3292500.3330884>

28. Purwono, P., Ma'arif, A., Rahmiani, W., Fathurrahman, H., Frisky, A., & Haq, Q. (2023). Understanding of Convolutional Neural Network (CNN): A Review. *International Journal of Robotics and Control Systems*, 2(4), 739-748. <https://doi.org/10.31763/ijrcs.v2i4.888>
29. Rabehi, H., & Hadj Mohammed Maachou, M. (2025). From shantytowns to new neighborhoods: Relocation to Belgaïd (Oran) and its socio-spatial implications. *International Journal of Environmental Sciences*, 11(24s), 4368–4377. <https://doi.org/10.64252/7p9hyc89>
30. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). *You only look once: Unified, real-time object detection*. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 779–788). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>
31. Savelonas, M., Veinidis, C. N., & Bartsokas, T. K. (2022). Computer Vision and Pattern Recognition for the Analysis of 2D/3D Remote Sensing Data in Geoscience: A Survey. *Remote. Sens.*, 14, 6017. <https://doi.org/10.3390/rs14236017>
32. Shi, G., Luo, L., Song, Y., Li, J., & Pan, S. (2024). Deep Transformer-Based Heterogeneous Spatiotemporal Graph Learning for Geographical Traffic Forecasting. *iScience*, 27, 110175. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110175>
33. Srivastava, S., Divekar, A. V., Anilkumar, C., Naik, I., Kulkarni, V., & Pattabiraman, V. (2021). Comparative analysis of deep learning image detection algorithms. *Journal of Big Data*, 8(1), 66. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00434-w>
34. Subair, S. O., IBITOYE, B. A., & KURANGA, A. T. (2024). Evaluation of Traffic Congestion in an Urban Roads: A Review. *ABUAD Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2(2), 1–7. <https://doi.org/10.53982/ajeas.2024.0202.01-j>
35. Teo, Y. S., Shin, S., Jeong, H., Kim, Y., Kim, Y.-H., Struchalin, G. I., Kovlakov, E. V., Straupe, S. S., Leuchs, G., Kulik, S. P., & Sánchez-Soto, L. L. (2021). *Benchmarking quantum tomography completeness and fidelity with machine learning*. *New Journal of Physics*, 23(10), Article 103021. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/ac1fcb>
36. Treiber, M., & Kesting, A. (2013). *Traffic flow dynamics: Data, models and simulation*. Springer.
37. URBOR, (2015). Révision du Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) du groupement d'Oran phase 1.
38. Wang, P., Zhang, R., Sun, S., Gao, M., Zheng, B., Zhang, D., Zhang, Y., Carmichael, G. R., & Zhang, H. (2023). Aggravated air pollution and health burden due to traffic congestion in urban China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23, 2983–2996. <https://doi.org/10.5194/acp-23-2983-2023>
39. Wu, B., & Wang, X. (2026). Research on Urban Traffic Flow Detection and Forecasting Based on YOLO Model and LSTM. *Frontiers in Computing and Intelligent Systems*, 15(3), 6–8. <https://doi.org/10.54097/8wmzb464>
40. Xu, S., Sun, C., & Liu, N. (2024). Road congestion and air pollution: Analysis of spatial and temporal congestion effects. *Science of the Total Environment*, 945, 173896. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173896>

الملحق أ

ID_ROAD :المعرف الفريد لكل طريق
 DATE و TIME : تاريخ ووقت عملية الرصد،
 SPEED : السرعة التقديرية للمركبات
 MOTO ، BUS ، TRUCK ، CARS : أصناف المركبات
 PF (PCU_FLOW) : التدفق المروري المكافئ
 PFH (PCU_FLOW_H) : التدفق المروري المكافئ الساعي
 N (N_PASSAGE) : عدد المسارات المرورية.

ID_ROAD	DATE	TIME	Speed	Car	Bus	Truck	Moto	PF	PFH	N
R1_U	5/17/2026	8:00-9:00	35	65	1	2	4	75.5	453	2
R1_D	5/17/2026	8:00-9:00	15	108	0	3	1	117.5	705	2
R1_U	5/17/2026	16:00-17:00	35	78	1	2	2	87.5	525	2
R1_D	5/17/2026	16:00-17:00	15	116	0	3	7	128.5	771	2
R2_U	5/17/2026	8:00-9:00	25	198	7	23	1	285	1710	2
R2_D	5/17/2026	8:00-9:00	10	188	4	12	2	235	1410	2
R2_U	5/17/2026	16:00-17:00	25	194	3	8	16	233.5	1401	2
R2_D	5/17/2026	16:00-17:00	10	234	3	10	9	276	1656	2
R3_U	5/17/2026	8:00-9:00	35	349	4	12	7	398.5	2391	2
R3_D	5/17/2026	8:00-9:00	10	298	1	19	6	360.5	2163	2
R3_U	5/17/2026	16:00-17:00	35	269	6	4	13	302.5	1815	2
R3_D	5/17/2026	16:00-17:00	10	283	5	7	15	324	1944	2
R4_U	5/17/2026	8:00-9:00	35	242	2	11	7	283.5	1701	2
R4_D	5/17/2026	8:00-9:00	10	250	3	10	5	290	1740	2
R4_U	5/17/2026	16:00-17:00	35	299	5	8	7	339	2034	2
R4_D	5/17/2026	16:00-17:00	10	206	4	8	6	243	1458	2
RT_U	5/17/2026	8:00-9:00	80	305	7	24	5	397	2382	2
RT_D	5/17/2026	8:00-9:00	80	298	1	27	6	384.5	2307	2
RT_U	5/17/2026	16:00-17:00	80	297	7	23	9	388	2328	2
RT_D	5/17/2026	16:00-17:00	80	336	0	17	12	393	2358	2
R1_U	5/18/2026	8:00-9:00	35	67	2	11	7	108.5	651	2
R1_D	5/18/2026	8:00-9:00	15	94	3	10	5	134	804	2
R1_U	5/18/2026	12:00-13:00	35	72	5	8	7	112	672	2
R1_D	5/18/2026	12:00-13:00	15	84	4	8	6	121	726	2
R1_U	5/18/2026	16:00-17:00	35	78	1	2	4	88.5	531	2
R1_D	5/18/2026	16:00-17:00	15	113	0	3	1	122.5	735	2
R2_U	5/18/2026	8:00-9:00	25	220	2	16	3	274.5	1647	2
R2_D	5/18/2026	8:00-9:00	10	231	1	20	8	297.5	1785	2
R2_U	5/18/2026	12:00-13:00	25	204	1	13	6	248.5	1491	2
R2_D	5/18/2026	12:00-13:00	10	237	2	10	13	278.5	1671	2
R2_U	5/18/2026	16:00-17:00	25	180	4	12	7	229.5	1377	2
R2_D	5/18/2026	16:00-17:00	10	237	2	10	13	278.5	1671	2
R3_U	5/18/2026	8:00-9:00	35	298	4	12	7	347.5	2085	2
R3_D	5/18/2026	8:00-9:00	10	281	1	27	6	367.5	2205	2
R3_U	5/18/2026	12:00-13:00	35	290	5	8	13	333	1998	2
R3_D	5/18/2026	12:00-13:00	10	281	3	16	11	342	2052	2
R3_U	5/18/2026	16:00-17:00	35	252	5	8	19	298	1788	2
R3_D	5/18/2026	16:00-17:00	10	261	2	14	11	313.5	1881	2
R4_U	5/18/2026	8:00-9:00	35	333	1	12	9	376	2256	2
R4_D	5/18/2026	8:00-9:00	10	256	1	9	4	287.5	1725	2
R4_U	5/18/2026	12:00-13:00	35	209	3	20	9	281	1686	2
R4_D	5/18/2026	12:00-13:00	10	225	3	10	12	268.5	1611	2
R4_U	5/18/2026	16:00-17:00	35	266	6	6	13	305.5	1833	2
R4_D	5/18/2026	16:00-17:00	10	220	2	5	4	242	1452	2
RT_U	5/18/2026	8:00-9:00	80	305	5	24	5	392	2352	2
RT_D	5/18/2026	8:00-9:00	80	278	1	27	6	364.5	2187	2
RT_U	5/18/2026	12:00-13:00	80	295	2	23	7	372.5	2235	2
RT_D	5/18/2026	12:00-13:00	80	267	6	20	8	346	2076	2
RT_U	5/18/2026	16:00-17:00	80	312	5	21	7	391	2346	2
RT_D	5/18/2026	16:00-17:00	80	286	0	7	6	310	1860	2

R1_U	5/19/2026	8:00-9:00	35	65	1	2	4	75.5	453	2
R1_D	5/19/2026	8:00-9:00	15	115	0	3	1	124.5	747	2
R1_U	5/19/2026	12:00-13:00	35	72	1	2	2	81.5	489	2
R1_D	5/19/2026	12:00-13:00	15	91	0	4	0	103	618	2
R1_U	5/19/2026	16:00-17:00	35	78	2	3	3	93.5	561	2
R1_D	5/19/2026	16:00-17:00	15	87	1	2	4	97.5	585	2
R2_U	5/19/2026	8:00-9:00	25	199	4	18	5	265.5	1593	2
R2_D	5/19/2026	8:00-9:00	10	204	3	19	4	270.5	1623	2
R2_U	5/19/2026	12:00-13:00	25	221	2	14	8	272	1632	2
R2_D	5/19/2026	12:00-13:00	10	246	3	11	14	293.5	1761	2
R2_U	5/19/2026	16:00-17:00	25	176	0	8	9	204.5	1227	2
R2_D	5/19/2026	16:00-17:00	10	270	2	21	8	342	2052	2
R3_U	5/19/2026	8:00-9:00	35	349	4	12	7	398.5	2391	2
R3_D	5/19/2026	8:00-9:00	10	298	1	27	6	384.5	2307	2
R3_U	5/19/2026	12:00-13:00	35	290	5	8	13	333	1998	2
R3_D	5/19/2026	12:00-13:00	10	281	3	16	11	342	2052	2
R3_U	5/19/2026	16:00-17:00	35	260	6	6	16	301	1806	2
R3_D	5/19/2026	16:00-17:00	10	272	4	10	13	318.5	1911	2
R4_U	5/19/2026	8:00-9:00	35	193	3	8	5	227	1362	2
R4_D	5/19/2026	8:00-9:00	10	226	2	7	6	255	1530	2
R4_U	5/19/2026	12:00-13:00	35	171	1	9	16	208.5	1251	2
R4_D	5/19/2026	12:00-13:00	10	222	5	16	13	289	1734	2
R4_U	5/19/2026	16:00-17:00	35	322	4	9	6	362	2172	2
R4_D	5/19/2026	16:00-17:00	10	220	2	6	8	247	1482	2
RT_U	5/19/2026	8:00-9:00	80	305	7	24	5	397	2382	2
RT_D	5/19/2026	8:00-9:00	80	298	1	27	6	384.5	2307	2
RT_U	5/19/2026	12:00-13:00	80	295	7	23	4	383.5	2301	2
RT_D	5/19/2026	12:00-13:00	80	317	1	20	5	382	2292	2
RT_U	5/19/2026	16:00-17:00	80	285	6	22	8	370	2220	2
RT_D	5/19/2026	16:00-17:00	80	311	0	12	2	348	2088	2
R1_U	5/20/2026	8:00-9:00	35	78	1	3	2	90.5	543	2
R1_D	5/20/2026	8:00-9:00	15	124	0	5	5	141.5	849	2
R1_U	5/20/2026	12:00-13:00	35	74	3	2	4	89.5	537	2
R1_D	5/20/2026	12:00-13:00	15	93	5	6	2	124.5	747	2
R1_U	5/20/2026	16:00-17:00	35	80	2	8	7	112.5	675	2
R1_D	5/20/2026	16:00-17:00	15	117	1	2	4	127.5	765	2
R2_U	5/20/2026	8:00-9:00	25	180	2	14	5	229.5	1377	2
R2_D	5/20/2026	8:00-9:00	10	192	3	17	1	251	1506	2
R2_U	5/20/2026	12:00-13:00	25	195	2	13	5	241.5	1449	2
R2_D	5/20/2026	12:00-13:00	10	203	1	20	4	267.5	1605	2
R2_U	5/20/2026	16:00-17:00	25	191	7	9	6	238.5	1431	2
R2_D	5/20/2026	16:00-17:00	10	230	3	19	13	301	1806	2
R3_U	5/20/2026	8:00-9:00	35	269	2	7	7	298.5	1791	2
R3_D	5/20/2026	8:00-9:00	10	308	3	11	9	353	2118	2
R3_U	5/20/2026	12:00-13:00	35	274	1	14	5	321	1926	2
R3_D	5/20/2026	12:00-13:00	10	287	4	9	11	329.5	1977	2
R3_U	5/20/2026	16:00-17:00	35	296	2	18	6	358	2148	2
R3_D	5/20/2026	16:00-17:00	10	328	4	12	8	378	2268	2
R4_U	5/20/2026	8:00-9:00	35	201	2	14	7	251.5	1509	2
R4_D	5/20/2026	8:00-9:00	10	268	6	14	4	327	1962	2
R4_U	5/20/2026	12:00-13:00	35	224	2	10	9	263.5	1581	2
R4_D	5/20/2026	12:00-13:00	10	199	3	11	8	243.5	1461	2
R4_U	5/20/2026	16:00-17:00	35	309	6	10	2	355	2130	2
R4_D	5/20/2026	16:00-17:00	10	178	9	13	7	243	1458	2
RT_U	5/20/2026	8:00-9:00	80	321	4	24	11	408.5	2451	2
RT_D	5/20/2026	8:00-9:00	80	341	5	18	6	410.5	2463	2
RT_U	5/20/2026	12:00-13:00	80	247	4	21	9	324.5	1947	2
RT_D	5/20/2026	12:00-13:00	80	314	6	15	5	376.5	2259	2
RT_U	5/20/2026	16:00-17:00	80	281	3	26	14	373.5	2241	2
RT_D	5/20/2026	16:00-17:00	80	294	1	17	7	351	2106	2

الملخص

يمثل الازدحام المروري أحد أبرز التحديات التي تواجه المدن المعاصرة، الأمر الذي دفع إلى توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI) لتطوير أساليب أكثر كفاءة في تحليل الحركة المرورية والتنبؤ بتطورها. وفي هذا الإطار، تهدف هذه الدراسة إلى تحليل حركة المرور الحضرية والتنبؤ بالتدفقات المرورية من خلال دمج تقنيات الرؤية الحاسوبية ونظم المعلومات الجغرافية والتعلم الآلي، وذلك بالاعتماد على دراسة حالة لمحور الدوران CNL المحاذي للملعب الأولمبي ميلود هدي في بجي بلقايد بمدينة وهران. تكمن أهمية الدراسة في توظيف تقنيات حديثة تتيح أتمتة عمليات جمع البيانات المرورية وتحليلها مكانياً وزمانياً، بما يساهم في توفير معلومات دقيقة تدعم فهم أنماط الحركة المرورية وتحسين عملية اتخاذ القرار. اعتمدت الدراسة على مقارنة متعددة التخصصات تجمع بين العمل الميداني والتحليل الجغرافي والذكاء الاصطناعي، حيث تم جمع البيانات المرورية من خلال تسجيلات فيديو ميدانية خلال فترات زمنية مختلفة، ثم معالجتها باستعمال نموذج YOLOv8 للكشف الآلي عن المركبات وتتبعها وتصنيفها. وقد سمح ذلك باستخراج بيانات دقيقة حول أعداد المركبات وأنواعها. كما خضعت هذه البيانات لمعالجة إحصائية ومرورية شملت تحويلها إلى وحدات سيارات مكافئة، قبل تنظيمها داخل قاعدة بيانات جغرافية وإدماجها ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستعمال برنامج ArcGIS Pro. وفي الجانب التحليلي، تم إنتاج مجموعة من الخرائط الموضوعاتية والمؤشرات المرورية التي أبرزت التوزيع المكاني للتدفقات المرورية ومستويات الازدحام، كما ساهمت في تحديد المقاطع الطرقية الأكثر عرضة للضغط المروري. ولغرض استشراف الوضع المستقبلي، تم توظيف خوارزمية الغابة العشوائية (Random Forest) لبناء نموذج تنبئي للتدفقات المرورية والازدحام المحتمل، حيث أظهرت نتائج التقييم قدرة جيدة للنموذج على تمثيل سلوك الحركة المرورية والتنبؤ باتجاهاتها المستقبلية. تخلص الدراسة إلى أن الاعتماد على تقنيات GeoAI يمثل بديلاً فعالاً للطرق التقليدية في مراقبة وتحليل حركة المرور، ويساهم في توفير فهم أكثر دقة للأنماط المكانية والزمانية للتدفقات المرورية. كما تبرز النتائج إمكانات واعدة لتطوير نماذج أكثر تقدماً تعتمد على بيانات مرورية مستمرة ومتعددة المصادر، بما يعزز قدرات التنبؤ ويدعم الإدارة الذكية للحركة المرورية داخل الأوساط الحضرية.

الكلمات المفتاحية: الازدحام المروري، الذكاء الاصطناعي الجغرافي (GeoAI)، الرؤية الحاسوبية، التعلم الآلي، تحليل حركة المرور، YOLO v8

Abstract

Road traffic congestion is one of the major challenges facing modern cities. In this context, Geographic Artificial Intelligence (GeoAI) offers new opportunities for traffic analysis and prediction. This study aims to analyze urban traffic and predict traffic flows by combining computer vision, Geographic Information Systems (GIS), and machine learning techniques. The case study focuses on the CNL roundabout located near the Miloud Hadeff Olympic Stadium in the Belgaïd district of Oran, Algeria. The significance of this study lies in the use of advanced techniques that enable the automated collection and analysis of traffic data, providing accurate information for a better understanding of traffic dynamics and supporting decision-making processes. The study is based on a multidisciplinary approach that combines fieldwork, geographic analysis, and artificial intelligence. Traffic data were collected through video recordings acquired during different periods and subsequently processed using the YOLOv8 model for automatic vehicle detection, tracking, and classification. This process enabled the extraction of data related to vehicle counts and categories. The resulting data were then converted into Passenger Car Units (PCU) and organized within a geospatial database integrated into the ArcGIS Pro environment. The analysis led to the production of several thematic maps and traffic indicators highlighting the spatial distribution of traffic flows and congestion levels, as well as the road segments most exposed to traffic pressure. To anticipate future traffic conditions, a predictive model based on the Random Forest algorithm was developed to estimate traffic flows and potential congestion levels. The obtained results demonstrate the model's ability to accurately represent traffic behavior and predict its evolution. The study shows that the use of GeoAI technologies constitutes an effective alternative to traditional traffic data collection and analysis methods. It provides a better understanding of the spatial and temporal dynamics of traffic and opens promising perspectives for the development of more advanced predictive models based on continuous and multi-source data, thereby supporting intelligent traffic management in urban environments.

Keywords: traffic congestion, geographic artificial intelligence (GeoAI), computer vision, machine learning, traffic analysis, YOLO v8