ISSN: 1812-0512 (Print) 2790-346X (online)

Wasit Journal for Human Sciences

Available online at: https://wjfh.uowasit.edu.iq

OPEN ACCESS

Original article

Spatial Distribution of Nighttime Lights and Its Role in Interpreting Urban Transformations in Iraq during 1992–2020 Using Google Colab AI

Wasan Shihab Ahmed[1], Riyadh Kadhim Al-Jumaili[2], Israa Talib Jassim[3], Israa, Fatima Hadi Saleh[4], Israa Haitham Ahmed[5]

Department of Applied Geography / College of Education for Humanities / University of Karbala[1-4]

Department of Geography / College of Education for Humanities / University of Diyala[5]

***Correspondence author**:
wasan.sh@uokerbala.edu.iq
riyadh.k@uokerbala.edu.iq
israa.t@uokerbala.edu.iq
Fatima.a@s.uokerbala.edu.iqasraa.ge.hum@uodiyala.edu.iq

Received:24 **April** 2026
Accepted: 25 **May** 2026
Published: 01 **August** 2026

DOI:
https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss3/Pt1.2029

1812-0512 /© 2026 The Author(s). Published by Wasit Journal for Humanities Sciences, Wasit University. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Cite:
Ahmed, W. S., Al-Jumaili, R. K., Jassim, I. T., Saleh, F. H., & Ahmed, I. H. (2026). Spatial Distribution of Nighttime Lights and Its Role in Interpreting Urban Transformations in Iraq during 1992–2020 Using Google Colab AI. Wasit Journal for Human Sciences, 22(3/Pt1). https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss3/Pt1.2029

ABSTRACT

Urban expansion is a geographical phenomenon that reflects the economic, social, and environmental transformations of cities. Satellite-derived nighttime light data provide effective indirect indicators of human activity intensity, population distribution, and urban growth. This study aims to analyze the spatial distribution of nighttime lights in Iraq and explain their role in revealing urban transformations during 1992–2020, while employing Google Colab for data processing and prediction. The research adopts an analytical-applied approach. Historical datasets were processed using Python statistical libraries, particularly Scikit-learn, to calculate prediction-error indicators, including mean squared error (MSE) and root mean squared error (RMSE), and to assess model accuracy. The findings show a clear decline in unlit areas and an expansion of rural and urban activity patterns across Iraq. They also indicate that cloud computing accelerates processing, improves scientific reproducibility, and supports spatial prediction until 2030, provided that data quality is ensured and the model is periodically recalibrated.

Keywords: Nighttime lights; urban expansion; remote sensing; Google Colab; spatial prediction; Iraq

التوزيع المكاني للأنارة الليلية وأثره في تفسير التحولات الحضرية في العراق (1992 – 2020) باستخدام (Google Colab Ai)

أ.د وسن شهاب أحمد[1] ، أ.د رياض كاظم الجميلي[2] ، أ.م.د أسراء طالب جاسم[3]
، م.د فاطمة هادي صالح[4]، أ.د أسراء هيثم أحمد[5]
قسم الجغرافيا التطبيقية /كلية التربية للعلوم الإنسانية/ جامعة كربلاء[1-4]
قسم الجغرافيا/ كلية التربية للعلوم الإنسانية/جامعة ديالى[5]

المُستخلص

يعد التوسع الحضري من الظواهر الجغرافية المهمة التي تعكس طبيعة التحولات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية التي تشهدها المدن. وتُعد بيانات الإنارة الليلية المستمدة من الأقمار الصناعية من الأدوات الفعالة في دراسة هذه التحولات، لما توفره من مؤشرات غير مباشرة عن كثافة النشاط البشري، والتوزيع السكاني، والنمو العمراني. يهدف هذا البحث إلى تحليل التوزيع المكاني للإنارة الليلية في العراق، وبيان دوره في تفسير التحولات الحضرية خلال المدة 1992–2020، مع توظيف بيئة Google Colab في معالجة البيانات وتطبيق مؤشرات التنبؤ المكاني. اعتمد البحث المنهج التحليلي–التطبيقي، إذ جرى إدخال البيانات التاريخية ومعالجتها باستخدام مكتبات Python الإحصائية، ولا سيما مكتبة Scikit–learn، لحساب مؤشرات الخطأ مثل متوسط مربع الخطأ MSE والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ RMSE، فضلاً عن اختبار دقة النموذج التنبؤي. أظهرت النتائج أن بيانات الإنارة الليلية تكشف بوضوح عن تراجع المساحات غير المضاءة وتوسع مظاهر النشاط الريفي والحضري في العراق. كما بيّنت أن بيئة الحوسبة السحابية تسهم في تسريع المعالجة، وتحسين قابلية إعادة الإنتاج العلمي، ودعم التنبؤ المكاني حتى عام 2030، شريطة توفر بيانات مستقرة ومعايرة النموذج بصورة دورية.

الكلمات المفتاحية: الإنارة الليلية؛ التوسع الحضري؛ الاستشعار عن بُعد؛ Google Colab؛ التنبؤ المكاني؛ العراق

المقدمة:

شهدت المدن خلال العقود الأخيرة توسعًا حضريًا متسارعًا ارتبط بتكثيف الأنشطة البشرية وتزايد الضغط على الموارد الطبيعية، ولا سيما المياه والهواء والتربة. ويُعد التوسع الحضري من الظواهر الجغرافية المركبة التي تعكس تحولات اقتصادية واجتماعية وبيئية متداخلة، إذ لا يقتصر أثره على نمو المساحات المبنية فحسب، بل يمتد إلى إعادة تشكيل أنماط استعمالات الأرض، وتوزيع السكان، واتجاهات النشاط الاقتصادي والخدمي. وقد اعتمدت الدراسات التقليدية في تحليل التحضر على بيانات متعددة، مثل الناتج المحلي الإجمالي، والإحصاءات السكانية، وبيانات الخدمات والبنى التحتية، إلا أن هذه البيانات تواجه في كثير من الأحيان المشكلات تتعلق بارتفاع كلفة جمعها، وتفاوت دقتها المكانية، وعدم انتظام تحديثها، ولا سيما في البلدان النامية أو المتأثرة بالحروب والصراعات.

وفي ضوء هذه التحديات، برزت بيانات الإنارة الليلية المستمدة من الأقمار الصناعية بوصفها أداة مكانية فعالة لرصد التحولات الحضرية والاقتصادية والاجتماعية. وتوفر هذه البيانات مؤشرًا غير مباشر على كثافة النشاط البشري، وتوزيع السكان، واستهلاك الطاقة، واتساع العمران، إذ تمثل المناطق الأكثر إضاءة غالبًا مراكز حضرية أو اقتصادية أكثر نشاطًا. وقد أصبحت بيانات

الإنارة الليلية متاحة رقميًا منذ عام 1992، الأمر الذي أتاح إمكانية تتبع التحولات المكانية والزمنية على مدى فترات طويلة، وبناء نماذج تحليلية وتنبؤية تساعد في تفسير النمو الحضري ومراقبة تغيراته.

وتؤكد الدراسات الجغرافية الحديثة أهمية المرئيات الفضائية ونظم المعلومات الجغرافية في تتبع التحولات المكانية والبنائية داخل المدن، إذ "تركز الدراسة على فهم التحولات المكانية والبنائية التي طرأت على المدينة بين عامي 2010 و2024 مستندة إلى المرئيات الفضائية عالية الدقة ونظم المعلومات الجغرافية "GIS (العبيد، 2025، ص. 418).

وقد أظهرت الدراسات السابقة أهمية بيانات الإنارة الليلية في تحليل ديناميات التحضر. فقد وظف المركز الوطني للاستشعار عن بعد في الهند بيانات الإنارة الليلية لإنتاج أطلس للتغيرات العقدية في الأضواء الليلية خلال المدة 2012–2021، مبينًا إمكانية استخدام هذه البيانات في مراقبة الأنشطة التنموية ودعم القرار المكاني والاقتصادي (National Remote Sensing Centre, 2022).كما استخدم Xu et al. (2014) بيانات DMSP/OLS لدراسة الديناميات الحضرية في 285 مدينة صينية خلال المدة 1992–2009، وأثبتوا فاعلية هذه البيانات في تحليل اتجاهات التوسع الحضري على مستوى البكسل. وفي السياق نفسه، طوّر Li et al. (2020) مجموعة بيانات عالمية موحدة للإنارة الليلية من خلال دمج بيانات DMSP وVIIRS، بما أسهم في تجاوز مالشكلة اختلاف الدقة المكانية والإشعاعية بين المصدرين.

ولم يقتصر توظيف بيانات الإنارة الليلية على دراسة التوسع الحضري فحسب، بل امتد إلى تحليل الانكماش الحضري والتغيرات الإقليمية. فقد اعتمد Wang et al. (2022) على بيانات الإنارة الليلية لدراسة أنماط المدن المتقلصة في الصين، وأظهروا أن الانكماش الحضري يختلف مكانيًا وزمانيًا وفقًا للظروف الاقتصادية والاجتماعية والبنى التحتية. كما استخدم Li et al. (2022) بيانات DMSP/OLS و NPP/VIIRSلمراقبة تطور النمط الحضري لمنطقة شيآن الحضرية، مؤكدين أهمية هذه البيانات في تتبع اتجاهات التوسع وتحولات مراكز الثقل الحضري. أما Zheng et al. (2023) فقد بينوا، من خلال مراجعة منهجية واسعة، أن بيانات الإنارة الليلية أصبحت من الأدوات الرئيسة في الدراسات الحضرية، نظرًا لقدرتها على ربط النمو الحضري بمتغيرات مثل السكان، والناتج المحلي الإجمالي، واستهلاك الطاقة، والانبعاثات الكربونية.

كما أظهرت دراسات أخرى قدرة بيانات الإنارة الليلية على تفسير التحولات في المناطق التي تعاني من ضعف البيانات الميدانية أو الأزمات الإنسانية. فقد أشار Li et al. (2019) إلى أن تراجع شدة الإضاءة في بعض المناطق المتأثرة بالصراعات يمكن أن يعكس انخفاض النشاط الاقتصادي والهجرة القسرية وتدهور الخدمات. كذلك بيّن Cauwels et al. (2014) أن بيانات الإنارة الليلية تكشف عن تحولات عالمية في مراكز النشاط الاقتصادي والحضري، من خلال تتبع التغير في التوزيع المكاني للأضواء على مستوى العالم.

وعلى الرغم من أهمية هذه الدراسات، فإن الحاجة ما تزال قائمة إلى تطبيق هذا النوع من التحليل على الحالة العراقية، نظرًا لما شهده العراق خلال المدة 1992–2020 من تحولات سياسية واقتصادية وسكانية وخدمية انعكست بصورة مباشرة أو غير مباشرة على توزيع الإنارة الليلية. كما أن دمج بيانات الإنارة الليلية مع بيئة نظم المعلومات الجغرافية وبيئة Google Colab AI يتيح إمكانات تحليلية وتنبؤية متقدمة تساعد على فهم التحولات الحضرية ورسم اتجاهاتها المستقبلية حتى سنة 2030.

وبناءً على ذلك، يسعى هذا البحث إلى تحليل التوزيع المكاني للإنارة الليلية في العراق خلال المدة 1992–2020، وتفسير دلالاته في الكشف عن التحولات الحضرية، مع توظيف بيئة ArcGIS 10.7 و Google Colab AI في المعالجة والتحليل والتنبؤ المكاني. وقد قُسّم البحث إلى ثلاثة مباحث؛ تناول المبحث الأول الإطار المنهجي للدراسة، من حيث المشكلة البحث وأهدافه وأهميته وفرضياته وحدوده ومنهجه وبياناته وأدواته التحليلية. أما المبحث الثاني فقد خُصص لتحليل التباين الزمكاني للإنارة الليلية في العراق خلال المدة 1992–2020. في حين تناول المبحث الثالث التنبؤ بمستويات الإنارة الليلية حتى سنة 2030، ثم اختُتم البحث بالاستنتاجات والتوصيات.

اولا: الإطار المنهجي للدراسة

1: مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث في الحاجة إلى تحليل التباين الزماني–المكاني للإنارة الليلية في العراق خلال المدة 1992–2020، بوصفها مؤشرًا مكانيًا غير مباشر للتحولات الحضرية والريفية. وتزداد أهمية هذه المشكلة في ظل ما شهده العراق من ظروف سياسية واقتصادية وأمنية أثرت في أنماط الاستقرار السكاني، وشبكات الخدمات، وشدة النشاط العمراني والاقتصادي. ومن ثم، فإن الاعتماد على البيانات الإحصائية التقليدية وحدها قد لا يكون كافيًا لتفسير هذه التحولات، الأمر الذي يستدعي توظيف بيانات الاستشعار عن بُعد، ولا سيما بيانات الإنارة الليلية، للكشف عن هذه التغيرات.

وتتفرع مشكلة البحث إلى جانبين رئيسين: الأول يتمثل في الكشف عن التباين الزماني والمكاني لمستويات الإنارة الليلية في العراق خلال المدة 1992–2020، وبيان إمكانية التنبؤ باتجاهاتها المستقبلية حتى سنة 2030 بالاعتماد على متغيرات مؤثرة مثل الكثافة السكانية وشبكة الطرق. أما الجانب الثاني فيتمثل في اختبار فاعلية التكامل بين بيئة نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS 10.7وبيئة Google Colab AI في تنفيذ تحليلات مكانية وإحصائية متقدمة قابلة للتكرار وإعادة الإنتاج العلمي.

2: أسئلة البحث

يسعى البحث إلى الإجابة عن الأسئلة الآتية:

1. ما طبيعة التباين الزماني والمكاني لمستويات الإنارة الليلية في العراق خلال المدة 1992–2020؟
2. إلى أي مدى تعكس بيانات الإنارة الليلية التحولات الحضرية والريفية في العراق؟
3. ما أثر متغيري الكثافة السكانية وشبكة الطرق في التنبؤ بمستويات الإنارة الليلية لسنة 2030؟
4. ما فاعلية التكامل بين ArcGIS 10.7 و Google Colab AIفي تحليل بيانات الإنارة الليلية والتنبؤ باتجاهاتها المستقبلية؟

3: أهداف البحث

يهدف البحث إلى ما يأتي:

1. تحليل التوزيع المكاني للإنارة الليلية في العراق خلال المدة 1992–2020.
2. الكشف عن التغيرات الزمانية في أصناف الإنارة الليلية خلال سنوات الدراسة.
3. تفسير دلالة بيانات الإنارة الليلية في فهم التحولات الحضرية والريفية في العراق.

4. قياس التغير المساحي لمستويات الإنارة الليلية بين الحقب الزمنية المدروسة.
5. توظيف بيئة Google Colab AI في دعم التحليل الإحصائي والتنبؤ المكاني.
6. بناء تصور تنبؤي لمستويات الإنارة الليلية في العراق حتى سنة 2030.

4: أهمية البحث

تنبع أهمية البحث من كونه يوظف بيانات الإنارة الليلية بوصفها مؤشرًا مكانيًا مهمًا لدراسة التحولات الحضرية في العراق، ولا سيما في ظل محدودية بعض البيانات الإحصائية التقليدية أو تفاوت دقتها. كما تكمن أهمية البحث في دمج تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية وبيئة Google Colab AI ضمن إطار تحليلي واحد، الأمر الذي يسهم في تطوير أدوات البحث الجغرافي التطبيقي، ويدعم صناع القرار في مجالات التخطيط الحضري والإقليمي وإدارة الموارد والخدمات.

5: فرضيات البحث

ينطلق البحث من الفرضيات الآتية:

1. شهد العراق خلال المدة 1992–2020 تغيرات واضحة في مستويات الإنارة الليلية نتيجة التحولات السياسية والاقتصادية والسكانية والخدمية.
2. يعكس انخفاض المساحات غير المضاءة وارتفاع أصناف النشاط الريفي والحضري توسعًا في نطاق النشاط البشري والعمراني.
3. تسهم متغيرات الكثافة السكانية وشبكة الطرق في تحسين القدرة على التنبؤ بمستويات الإنارة الليلية لسنة 2030.
4. يتيح التكامل بين ArcGIS 10.7 و Google Colab AIإمكانات تحليلية متقدمة في دراسة التباين المكاني والتنبؤ الحضري.

6: حدود البحث

تتمثل حدود البحث في الآتي:

1. **الحدود المكانية** :تتمثل بمنطقة العراق بجميع وحداته المكانية.
2. **الحدود الزمانية** :تغطي الدراسة المدة 1992–2020، مع بناء نموذج تنبؤي لمستويات الإنارة الليلية حتى سنة 2030.
3. **الحدود الموضوعية** :يقتصر البحث على تحليل مستويات الإنارة الليلية بوصفها مؤشرًا مكانيًا للتحولات الحضرية والريفية.
4. **الحدود التقنية** :اعتمد البحث على بيانات الاستشعار عن بُعد، وبيئةArcGIS 10.7 ، وGoogle Colab AI، ومكتبات Pythonالإحصائية.

7: منهج البحث

اعتمد البحث المنهج التحليلي–التطبيقي، وذلك من خلال تحليل بيانات الإنارة الليلية مكانيًا وزمانيًا، وتصنيف مستوياتها، وقياس تغيراتها المساحية خلال المدة المدروسة. كما اعتمد البحث على أدوات التحليل المكاني في بيئةArcGIS 10.7 ، وعلى بيئة Google Colab AIلتنفيذ المعالجات الإحصائية والتنبؤية باستخدام لغة Python ومكتباتها المتخصصة. ويسمح هذا المنهج

بدمج التحليل الجغرافي الكمي مع أدوات التنبؤ المكاني، بما يتيح تفسير التحولات الحضرية السابقة واستشراف اتجاهاتها المستقبلية.

8: البيانات المستخدمة وأدوات التحليل

اعتمد البحث على بيانات الإنارة الليلية المستمدة من مصادر الاستشعار عن بُعد، ولا سيما بيانات DMSP/OLS للسنوات 1992 و2000 و2010، فضلًا عن بيانات الإنارة الليلية لسنة 2020 من مصدر بديل بسبب توقف المتحسس الخاص بسلسلة DMSP/OLS. كما اعتمد البحث على بيانات الكثافة السكانية وشبكة الطرق بوصفها متغيرات مؤثرة في التنبؤ بمستويات الإنارة الليلية لسنة 2030.

وقد استُخدمت بيئة ArcGIS 10.7 في عمليات المعالجة المكانية، وتصنيف مستويات الإنارة الليلية، وإنتاج الخرائط، وحساب المساحات. أما بيئة Google Colab AI فقد استُخدمت لتنفيذ المعالجات الإحصائية والتنبؤية باستخدام لغةPython ، ولا سيما مكتبةScikit-learn ، التي توفر أدوات فعالة لحساب مؤشرات الخطأ وتقييم دقة النماذج التنبؤية (Pedregosa et al., 2011).

9: مؤشرات تقييم النموذج التنبؤي

اعتمد البحث على عدد من مؤشرات تقييم الخطأ الإحصائي لتقدير دقة النموذج التنبؤي. ويقوم مبدأ هذه المؤشرات على مقارنة القيم الفعلية بالقيم المتوقعة، ثم حساب مقدار الانحراف بينهما. ويُعد هذا الإجراء من الأسس المعتمدة في تقييم جودة النماذج التنبؤية وتحليل السلاسل الزمنية.(Hyndman & Athanasopoulos, 2021; Montgomery et al., 2015)

ومن أهم المؤشرات المستخدمة متوسط مربع الخطأMSE ، الذي يقيس متوسط مربعات الفروق بين القيم الفعلية والمتوقعة، والجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأRMSE ، الذي يعيد الخطأ إلى وحدة القياس الأصلية ويجعل تفسيره أكثر وضوحًا، فضلًا عن متوسط الخطأ المطلقMAE ، الذي يوضح متوسط مقدار الخطأ دون إعطاء وزن كبير للقيم المتطرفة. كما استُخدم مؤشر Kappaلتقييم دقة التصنيف المكاني، ولا سيما في مرحلة التحقق من نتائج التنبؤ

10: مؤشرات تقييم النموذج التنبؤي

اعتمد البحث على مجموعة من مؤشرات تقييم الخطأ الإحصائي لقياس دقة النموذج التنبؤي، إذ تقوم هذه المؤشرات على مقارنة القيم الفعلية بالقيم المتوقعة، ثم حساب مقدار الانحراف بينهما. وتُعد هذه المؤشرات من الأدوات الأساسية في تقييم نماذج السلاسل الزمنية والنماذج التنبؤية، لأنها تساعد على تحديد مدى كفاءة النموذج في تمثيل الواقع المكاني والزمني للظاهرة المدروسة.(Hyndman & Athanasopoulos, 2021; Montgomery et al., 2015)

1. متوسط مربع الخطأ(MSE) Mean Squared Error

يقيس متوسط مربع الخطأ مقدار الفروق المربعة بين القيم الفعلية والقيم المتنبأ بها، ويُحسب وفق المعادلة الآتية:

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left(Y_t - \widehat{Y_t}\right)^2]$$

حيث إن:

(n) :عدد المشاهدات.

(Y_t) :القيمة الفعلية عند الزمن.(t)

$(\widehat{Y_t})$:القيمة المتنبأ بها عند الزمن.(t)

$(Y_t - \widehat{Y_t})$:مقدار الخطأ بين القيمة الفعلية والمتنبأ بها.

$(\sum)$:عملية الجمع عبر جميع المشاهدات.

ويُستخدم هذا المؤشر على نطاق واسع في تقييم النماذج الإحصائية ونماذج التعلم الآلي، إذ تشير القيم المنخفضة له إلى ارتفاع دقة النموذج، بينما تدل القيم المرتفعة على وجود تباعد أكبر بين القيم الفعلية والمتنبأ بها.

2. الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ(RMSE) Root Mean Squared Error

يُعد مؤشر RMSE امتدادًا لمؤشر MSE ، إذ يُحسب من خلال أخذ الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ، وفق المعادلة الآتية:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left(Y_t - \widehat{Y_t}\right)^2}$$

وتكمن أهمية هذا المؤشر في أنه يعيد قيمة الخطأ إلى وحدة القياس الأصلية للمتغير، مما يجعل تفسير النتائج أكثر وضوحًا. وكلما اقتربت قيمة RMSE من الصفر، دلّ ذلك على ارتفاع دقة النموذج التنبؤي.

3. متوسط الخطأ المطلق(MAE) Mean Absolute Error

يقيس مؤشر MAE متوسط القيم المطلقة للفروق بين القيم الفعلية والقيم المتنبأ بها، ويُحسب وفق المعادلة الآتية:

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|Y_t - \widehat{Y_t}\right|$$

ويتميز هذا المؤشر بأنه أقل حساسية للقيم المتطرفة مقارنة بمؤشر MSE ، لأنه يعتمد على القيم المطلقة للفروق بدلًا من تربيعها. ولذلك يُعد مناسبًا عند الرغبة في معرفة متوسط حجم الخطأ بصورة مباشرة.

4. تفسير قيم مؤشرات الخطأ

تُفسر قيم مؤشرات الخطأ على النحو الآتي:

كلما اقتربت قيمة المؤشر من الصفر، دلّ ذلك على ارتفاع دقة النموذج التنبؤي. أما القيم المرتفعة فتشير إلى وجود انحراف واضح بين القيم الفعلية والقيم المتوقعة. وفي الدراسات المقارنة، تُستخدم هذه المؤشرات للمفاضلة بين النماذج المختلفة، إذ يُعد النموذج الذي يحقق أقل قيمة خطأ هو النموذج الأكثر ملاءمة لتمثيل البيانات.

5. التطبيق العملي داخل بيئةGoogle Colab AI

تتيح بيئة Google Colab AI إمكانية تنفيذ هذه المؤشرات باستخدام مكتبات Python الإحصائية، ولا سيما مكتبة–Scikit learn، التي توفر دوالًا جاهزة لحساب مقاييس تقييم الانحدار والتنبؤ مثل MSE و MAEو RMSEضمن وحدة sklearn.metrics.وتُستخدم هذه المقاييس لمقارنة أداء النماذج المختلفة واختيار النموذج الأفضل بالاعتماد على أقل قيمة خطأ ممكنة.(Pedregosa et al., 2011)

ويُمكن تمثيل ذلك برمجيًا كما يأتي:

```
from sklearn.metrics import mean_squared_error,
mean_absolute_error
import numpy as np

mse = mean_squared_error(y_true, y_pred)
rmse = np.sqrt(mse)
mae = mean_absolute_error(y_true, y_pred)
```

وتُحسب هذه القيم بعد تدريب النموذج التنبؤي، سواء كان النموذج قائمًا على الانحدار المتعدد، أو نماذج السلاسل الزمنية مثل ARIMA وSARIMA، أو نماذج الشبكات العصبية مثل.LSTM

ثانيا: التباين الزمكاني للإنارة الليلية في العراق للمدة 1992–2020

1: البيانات المستخدمة

اعتمد البحث على بيانات الإنارة الليلية المستمدة من الأقمار الصناعية، ولا سيما سلسلة بيانات **DMSP/OLS**الإصدار الرابع، التي يوفرها موقع **NOAA**، وهي بيانات مركبة خالية من السحب تُستخدم لرصد أضواء الليل على سطح الأرض. وتتميز هذه البيانات بقدرتها على تمثيل النشاط البشري بصورة غير مباشرة، إذ تعكس شدة الإضاءة الليلية مستويات الاستقرار السكاني، والنشاط الاقتصادي، وتوزيع الخدمات، واتساع المناطق الحضرية.

تغطي منتجات DMSP/OLS نطاقًا عالميًا بدقة مكانية تبلغ نحو 30 ثانية قوسية، وتمثل قيم البكسل فيها مستويات نسبية للإضاءة تتراوح غالبًا بين 0 و63. وتشير القيم المنخفضة إلى المناطق غير المضاءة أو ضعيفة النشاط، في حين تعكس القيم المرتفعة المناطق ذات النشاط البشري والحضري الأكثر كثافة. وقد استُخدمت هذه البيانات في البحث للسنوات 1992 و2000 و2010، في حين اعتُمدت بيانات سنة 2020 من مصدر بديل هو **Earth Observation Group**، نظرًا لتوقف سلسلة بيانات DMSP/OLS بعد عام 2013.

كما اعتمد البحث على بيانات مساعدة تمثلت في الكثافة السكانية وشبكة الطرق، بوصفهما عاملين مؤثرين في التنبؤ بمستويات الإنارة الليلية لسنة 2030. وقد جرت معالجة هذه البيانات وتحليلها مكانيًا داخل بيئة **ArcGIS 10.7**، في حين استُخدمت بيئة **Google Colab AI** لتنفيذ المعالجات الإحصائية والتنبؤية باستخدام لغة.Python

2: تصنيف مستويات الإنارة الليلية

تم تصنيف مستويات الإنارة الليلية في العراق إلى ستة أصناف رئيسة، وهي:

1. غير مضاء.
2. نشاط بشري ضعيف.
3. نشاط ريفي.
4. نشاط شبه حضري.
5. نشاط حضري.
6. نشاط حضري كثيف جدًا.

ويمثل هذا التصنيف أساسًا لتحليل التحولات المكانية والزمانية في مستويات النشاط البشري والعمراني خلال المدة 1992–2020.

3: تحليل مستويات الإنارة الليلية خلال المدة 1992–2020

يتضح من الجدول (1) أن مستويات الإنارة الليلية في العراق شهدت تغيرات واضحة خلال المدة 1992–2020، بما يعكس تحولات مكانية في أنماط النشاط البشري ودرجات التحضر. فقد تراجعت المساحات غير المضاءة، في حين ارتفعت مساحات النشاط الريفي والحضري وشبه الحضري بدرجات متفاوتة، وهو ما يدل على توسع نطاق الإضاءة الاصطناعية وانتشار مظاهر النشاط البشري في مناطق كانت أقل إضاءة في بداية مدة الدراسة.

جدول(1) : مستويات أصناف الإنارة الليلية في العراق خلال المدة 1992–2020

الصنف	/1992كم²	%	/2000كم²	%	/2010كم²	%	/2020كم²	%
غير مضاء	370408	85	343278	79	357500	82	225528	51.7
نشاط بشري ضعيف	24917	6	33574	8	41741	10	0	0
نشاط ريفي	29435	7	35261	8	22911	5	121245	27.8
نشاط شبه حضري	6202	1	11436	3	7339	2	35616	8.17
نشاط حضري	2148	0	5401	1	2853	1	19299	4.4
نشاط حضري كثيف جدًا	2509	1	6664	2	3267	1	33894	7.78
المجموع	435620	100	435616	100	435612	100	435583	100

المصدر :من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئيات الفضائية وبيئة برنامج ArcGIS 10.7.

1. الصنف غير المضاء

سجل الصنف غير المضاء تراجعًا واضحًا في نسبته من 85% عام 1992 إلى 51.7% عام 2020، رغم بقائه الصنف الأكبر من حيث المساحة. ويعكس هذا الانخفاض اتساع النشاط البشري وتزايد انتشار الإضاءة الاصطناعية، وهو مؤشر مباشر على تحول أجزاء واسعة من المجال الجغرافي من مناطق طبيعية أو قليلة الاستغلال إلى فضاءات ذات تدخل بشري متزايد.

2. النشاط البشري الضعيف

شهد صنف النشاط البشري الضعيف ارتفاعًا تدريجيًا من 6% عام 1992 إلى 10% عام 2010، قبل أن يختفي في تصنيف سنة 2020. ويمكن تفسير هذا التراجع الحاد بانتقال هذه المناطق إلى أصناف أعلى من النشاط، مثل النشاط الريفي أو شبه الحضري، أو بتغير خصائص التصنيف المرتبطة ببيانات الإنارة الليلية. ويعني ذلك أن بعض المناطق التي كانت ضعيفة الإضاءة تحولت إلى مناطق أكثر نشاطًا وكثافة من حيث الإضاءة والخدمات.

3. النشاط الريفي

يُعد النشاط الريفي من أكثر الأصناف ديناميكية خلال مدة الدراسة، إذ ارتفعت نسبته من 7% عام 1992 إلى 27.8% عام 2020. ويشير هذا الارتفاع إلى اتساع رقعة الاستقرار الريفي وتحسن مستوى الخدمات الأساسية، ولا سيما الكهرباء، فضلًا عن توسع النشاط الاقتصادي والخدمي في مناطق ريفية كانت محدودة الإضاءة في السابق. كما يدل ذلك على تحول الريف من فضاءات تقليدية ضعيفة الارتباط بالبنية التحتية إلى مناطق أكثر اتصالًا بأنماط التنمية والخدمات.

4. النشاط شبه الحضري

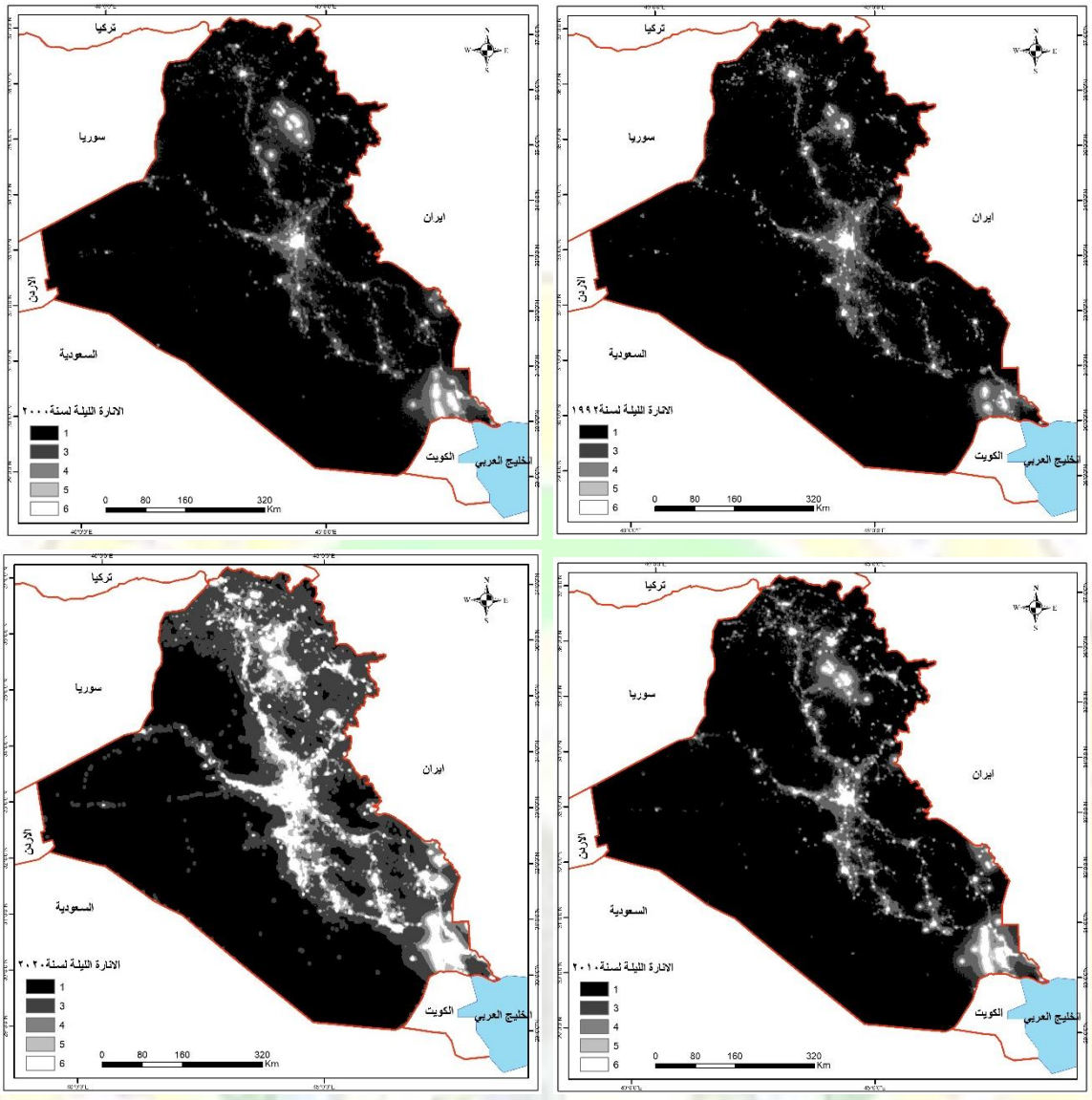
سجل صنف النشاط شبه الحضري نموًا واضحًا من 1% عام 1992 إلى 8.17% عام 2020. ويمثل هذا الصنف مرحلة انتقالية بين الريف والمدينة، إذ يعكس توسع الحواف الحضرية وامتداد الضواحي حول المدن الرئيسة. كما يشير إلى تداخل الوظائف الريفية والحضرية، وهي سمة ترتبط غالبًا بالتحضر الزاحف أو النمو الحضري غير المخطط.

5. النشاط الحضري

ارتفع صنف النشاط الحضري من مساحة محدودة جدًا عام 1992 إلى 4.4% عام 2020. ويعكس هذا الارتفاع توسع المدن المتوسطة والمناطق السكنية المنظمة، فضلًا عن تحسن البنية التحتية والخدمات في عدد من المناطق. كما يدل على انتقال بعض المناطق من النشاط شبه الحضري أو الريفي إلى مستوى حضري أكثر وضوحًا.

6. النشاط الحضري الكثيف جدًا

أظهر صنف النشاط الحضري الكثيف جدًا تصاعدًا ملحوظًا، إذ ارتفع من 1% عام 1992 إلى 7.78% عام 2020. ويمثل هذا الصنف مراكز التجمع الحضري الكبرى والنوى الاقتصادية والخدمية الأكثر نشاطًا. ويشير ارتفاعه إلى تركز النمو السكاني والاقتصادي داخل مراكز حضرية محددة، وهو ما قد يفرض ضغوطًا متزايدة على البنية التحتية، والخدمات العامة، وشبكات النقل، واستعمالات الأرض داخل المدن.



خريطة (1,2,3,4)

مستويات الإنارة الليلية في العراق خلال المدة 1992–2020

المصدر :من عمل الباحثين بالاعتماد على:

1. بيانات DMSP/OLS المتاحة عبر موقع :NOAA
https://www.ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html

2. بيئة برنامج.ArcGIS 10.7

2: تحليل التغير المساحي خلال المدة 1992–2020

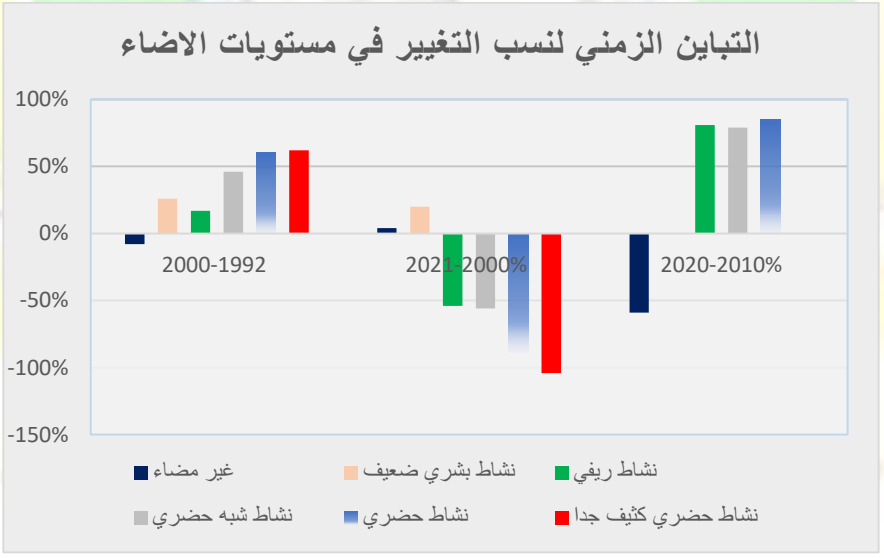
يعكس الجدول (2) نسب التغير في مستويات الإنارة الليلية خلال الحقب الزمنية الثلاث: 1992–2000، 2000–2010، و2010–2020. وتُعد هذه النسب مؤشرًا مهمًا لفهم التحولات السياسية والأمنية والاقتصادية التي مر بها العراق؛ إذ تمثل الإنارة

الليلية دلالة مكانية على النمو العمراني، والكثافة السكانية، وتحسن الخدمات، ولا سيما خدمة الكهرباء. فكلما اتسعت المساحات المضاءة، دلّ ذلك على زيادة النشاط البشري أو التوسع العمراني أو تحسن البنية التحتية. وتكشف النتائج أن العراق انتقل من نمط تنمية محدود ومركزي خلال حقبة التسعينيات إلى توسع عمراني وسكاني أكثر اتساعًا خلال العقد الأخير من مدة الدراسة.

جدول(2) : التباين الزمني في نسب التغير لمستويات الإنارة الليلية للحقب الزمنية 1992–2000، 2000–2010، 2010–2020

الصنف	1992–2000	%	2000–2010	%	2010–2020	%
غير مضاء	-27130	-8	14222	4	-131972	-59
نشاط بشري ضعيف	8657	26	8167	20	-41741	0
نشاط ريفي	5827	17	-12350	-54	98334	81
نشاط شبه حضري	5234	46	-4097	-56	28278	79
نشاط حضري	3254	60	-2548	-89	16446	85
نشاط حضري كثيف جدًا	4155	62	-3397	-104	30627	90

المصدر :من عمل الباحثين بالاعتماد على المرئيات الفضائية وبيئة برنامج.ArcGIS 10.7



الشكل(1) : التباين الزمني في نسب التغير لمستويات الإنارة الليلية للحقب الزمنية 1992–2000، 2000–2010، 2010–2022

المصدر :بيانات جدول(2)

1. صنف غير المضاء

يمثل هذا الصنف المناطق التي تخلو من النشاط البشري أو التي تتميز بضعف الإضاءة. ويُعد تغير مساحته مؤشرًا على سرعة الزحف العمراني واتساع نطاق النشاط البشري. فقد شهدت الحقبة الأولى 1992–2000 انخفاضًا في المساحات غير المضاءة بنسبة −8%، وهو ما يعكس توسعات محدودة في أطراف المدن، في ظل ظروف الحصار الاقتصادي والعقوبات الدولية التي أسهمت في إبطاء مشاريع التنمية. أما في الحقبة الثانية 2000–2010، فقد سجل هذا الصنف زيادة بنسبة 4%، ويمكن تفسير ذلك بحالة الارتداد الحضري الناتجة عن الحروب وتراجع الخدمات وانقطاع التيار الكهربائي في بعض المناطق. وفي الحقبة الثالثة 2010–2020، حدث تراجع كبير في المساحات غير المضاءة بنسبة −59%، مما يدل على توسع عمراني واضح وانتشار الإضاءة في مساحات كانت مظلمة سابقًا.

2. النشاط البشري الضعيف

يمثل هذا الصنف المناطق ذات الكثافة السكانية المنخفضة أو النشاط البشري المحدود. وقد شهد زيادة خلال الحقبتين الأولى والثانية؛ إذ بلغت نسبة التغير 26% خلال 1992–2000، ثم 20% خلال 2000–2010، مما يشير إلى توسع النشاط البشري في مناطق كانت محدودة الإضاءة. أما في الحقبة الثالثة، فقد تراجع هذا الصنف بصورة حادة نتيجة انتقال كثير من هذه المناطق إلى أصناف أعلى، مثل النشاط الريفي أو شبه الحضري أو الحضري.

3. النشاط الريفي

شهد النشاط الريفي نموًا تدريجيًا خلال الحقبة الأولى بنسبة 17% نتيجة زيادة الاستقرار السكاني وتحسن بعض الخدمات في المناطق الريفية. أما في الحقبة الثانية، فقد تراجع بنسبة −54%، وهو ما قد يرتبط بتحول أجزاء من الريف إلى مناطق شبه حضرية أو بتأثر بعض المناطق بالظروف الأمنية والخدمية. وفي الحقبة الثالثة، سجل هذا الصنف نموًا كبيرًا بنسبة 81%، مما يعكس اتساع رقعة النشاط الريفي ووصول شبكات الكهرباء والخدمات إلى مناطق كانت أقل اتصالًا بالبنية التحتية.

4. النشاط شبه الحضري

أظهر النشاط شبه الحضري نموًا واضحًا في الحقبة الأولى بنسبة 46% نتيجة تمدد المدن نحو الأطراف. ثم تراجع في الحقبة الثانية بنسبة −56%، ويُحتمل أن يكون ذلك بسبب تحول بعض المناطق شبه الحضرية إلى مناطق حضرية أكثر كثافة. أما في الحقبة الثالثة، فقد ارتفع بنسبة 79% نتيجة تحول مساحات ريفية أو ضعيفة النشاط إلى مناطق انتقالية تجمع بين الخصائص الريفية والحضرية.

5. النشاط الحضري

يمثل هذا الصنف المدن المتوسطة والمناطق السكنية المنظمة. وقد سجل نموًا مرتفعًا في الحقبة الأولى بنسبة 60%، مما يدل على توسع واضح في بعض المراكز الحضرية. ثم تراجع في الحقبة الثانية بنسبة −89%، وهو ما يمكن ربطه بانتقال بعض مناطق النشاط الحضري إلى صنف النشاط الحضري الكثيف جدًا أو بتأثرها بالاضطرابات الخدمية والأمنية. أما في الحقبة الثالثة، فقد عاد هذا الصنف إلى النمو بنسبة 85% نتيجة اتساع المدن أفقيًا وازدياد النشاط العمراني.

6. النشاط الحضري الكثيف جدًا

يمثل هذا الصنف مراكز التجمع الحضري الكبرى وقلب المدن. وقد ارتفع خلال الحقبة الأولى بنسبة 62%، مما يشير إلى تركز الخدمات والأنشطة الاقتصادية داخل المدن الرئيسة. لكنه تراجع في الحقبة الثانية بنسبة −104%، نتيجة الظروف الأمنية والخدمية التي أثرت في مراكز المدن، فضلًا عن هجرة بعض السكان نحو الضواحي. وفي الحقبة الثالثة، سجل أعلى نسبة نمو بلغت 90%، وهو ما يدل على تصاعد التركز الحضري وتوسع النوى الحضرية ذات الكثافة العالية.

3: الدلالة الجغرافية للتحولات المكانية

تكشف نتائج التحليل الزمكاني أن التحولات في الإنارة الليلية في العراق لم تكن مجرد تغيرات رقمية في المساحة، بل تعكس تحولات حضرية وريفية عميقة. فقد أدى انخفاض الصنف غير المضاء إلى اتساع نطاق النشاط البشري، بينما يشير ارتفاع النشاط الريفي وشبه الحضري إلى توسع الخدمات والبنية التحتية خارج المراكز الحضرية التقليدية. أما ارتفاع النشاط الحضري والحضري الكثيف جدًا فيعكس تنامي الضغط على المدن الرئيسة وازدياد التركز السكاني والاقتصادي فيها.

وتدل هذه النتائج على أن الإنارة الليلية تمثل مؤشرًا مكانيًا فعالًا لفهم التحولات الحضرية في العراق، ولا سيما في ظل تعقيد الظروف السياسية والاقتصادية والخدمية التي مر بها البلد خلال مدة الدراسة.

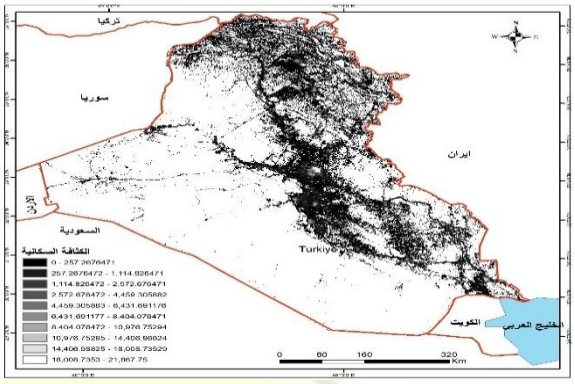
ثالثا: التنبؤ بمستويات الإنارة الليلية في العراق حتى سنة 2030

1: مدخل إلى التنبؤ المكاني

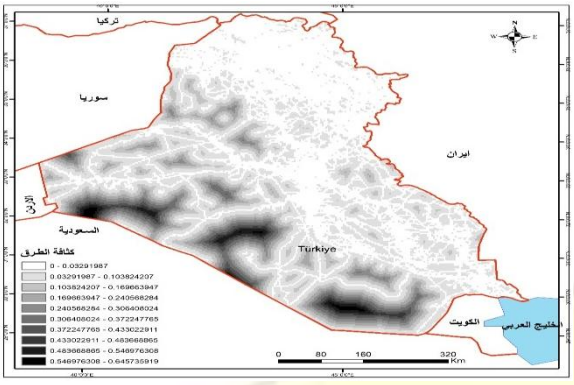
أصبحت نماذج التنبؤ المكاني أداة أساسية في دعم القرار الاستراتيجي، ولا سيما في مجالات التخطيط الحضري، والطاقة، والبيئة، وإدارة الخدمات. وتساعد هذه النماذج على استشراف الاتجاهات المستقبلية للظواهر المكانية بالاعتماد على بيانات تاريخية ومتغيرات مؤثرة. وفي هذا البحث، استُخدمت بيئة Google Colab AI لتنفيذ المعالجات التنبؤية، بالاعتماد على بيانات الإنارة الليلية للمدة 1992–2020، ومتغيري الكثافة السكانية وشبكة الطرق بوصفهما عاملين مؤثرين في توزيع النشاط البشري والعمراني.

2: العوامل المؤثرة في التنبؤ

اعتمد التنبؤ بمستويات الإنارة الليلية لسنة 2030 على عاملين رئيسين هما: الكثافة السكانية وشبكة الطرق. وتمثل الكثافة السكانية مؤشرًا مباشرًا على شدة الاستقرار البشري واحتمالية اتساع الطلب على الخدمات والطاقة، في حين تمثل شبكة الطرق عاملًا مهمًا في توجيه النمو العمراني وربط المراكز الحضرية والريفية. وبذلك، فإن دمج هذين العاملين مع بيانات الإنارة الليلية التاريخية يساعد في بناء تصور مكاني أكثر دقة للاتجاهات المستقبلية.



خريطة (5)



خريطة (6)

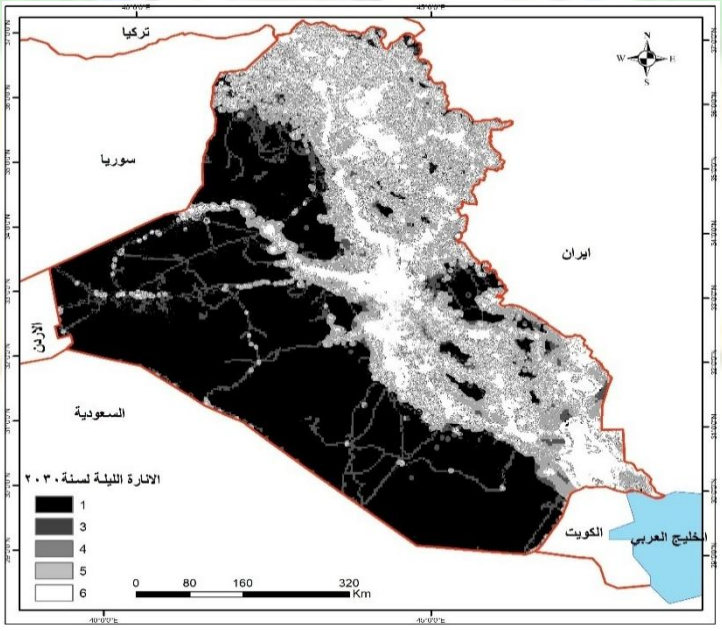
العوامل المؤثرة في التنبؤ بمستويات الإنارة الليلية في العراق: الكثافة السكانية وشبكة الطرق

المصدر :من عمل الباحثين بالاعتماد على:

1. https://data.humdata.org/dataset/iraq-populated-places-2021
2. بيئة برنامج ArcGIS 10.7.

3: نتائج التنبؤ لسنة 2030

من خلال تطبيق النموذج التنبؤي داخل بيئةGoogle Colab AI ، وبالاعتماد على خرائط الإنارة الليلية السابقة والعوامل المؤثرة في التنبؤ، تم إنتاج خريطة تمثل مستويات الإنارة الليلية المتوقعة في العراق لسنة 2030. وتوضح النتائج استمرار تراجع المناطق غير المضاءة، مقابل ارتفاع مستويات النشاط الريفي والحضري والحضري الكثيف جدًا، وهو ما يعكس استمرار التوسع العمراني واتساع نطاق النشاط البشري.



خريطة(7)

مستويات الإنارة الليلية المتوقعة في العراق لسنة 2030

المصدر :من عمل الباحثين بالاعتماد على:

1. خرائط الإنارة الليلية والعوامل المؤثرة في التنبؤ .
2. بيئة Google Colab AI.

وقد تم اختبار دقة التصنيف باستخدام مؤشر Kappa ، إذ بلغت قيمته 0.5، وهي قيمة تشير إلى مستوى قبول متوسط للتصنيف. ويمكن تحسين دقة هذا المؤشر مستقبلًا من خلال اختيار مناطق دراسة أصغر، أو زيادة عدد المتغيرات المفسرة، أو تحسين دقة البيانات المدخلة، لأن المساحات الكبيرة والمتباينة مكانيًا قد تقلل من دقة التصنيف النهائي.

جدول(4) :مستويات الإنارة الليلية المتوقعة في العراق لسنة 2030

المستوى	الصنف	المساحة/كم²
1	غير مضاء	203733
3	نشاط ريفي	44785
4	نشاط حضري	87757
5	نشاط حضري جدًا	64574

المصدر :من عمل الباحثين بالاعتماد على نتائج التنبؤ ضمن بيئة Google Colab AI.

4: تفسير نتائج التنبؤ

يتضح من الجدول (4) أن المساحات غير المضاءة ما تزال تحتل جزءًا واسعًا من مساحة العراق، إلا أنها أقل من مساحتها في السنوات السابقة، مما يدل على استمرار انتشار الإضاءة الاصطناعية واتساع النشاط البشري. كما تشير النتائج إلى اختفاء مستوى النشاط البشري الضعيف والنشاط شبه الحضري من التصنيف المتوقع، وهو ما يمكن تفسيره بتحول هذه الأصناف إلى مستويات أعلى من النشاط، إما باتجاه النشاط الريفي أو النشاط الحضري.

وتُظهر النتائج المتوقعة ارتفاع النشاط الحضري والحضري الكثيف، وهو ما يعكس احتمالية استمرار نمو المدن واتساع المراكز العمرانية والاقتصادية. كما يدل ارتفاع النشاط الريفي على زيادة ارتباط القرى والمناطق الريفية بالبنية التحتية وشبكات الخدمات. وبذلك، فإن خريطة التنبؤ لسنة 2030 تشير إلى استمرار التحول المكاني من مناطق ضعيفة الإضاءة إلى أنماط أكثر نشاطًا، بما يعكس توسعًا حضريًا وريفيًا متزايدًا.

الخاتمة

أولًا: الاستنتاجات

1. أظهرت نتائج البحث أن بيانات الإنارة الليلية تمثل مؤشرًا فعالًا في تفسير التحولات الحضرية والريفية في العراق، إذ عكست بوضوح تراجع المساحات غير المضاءة واتساع نطاق النشاط البشري خلال المدة 1992–2020 .

2. كشفت الدراسة أن التغير في مستويات الإنارة الليلية ارتبط بالتحولات السياسية والاقتصادية والخدمية التي شهدها العراق، ولا سيما ما يتعلق بتوسع العمران، وتحسن الخدمات، وتغير أنماط الاستقرار السكاني .

3. بيّنت النتائج أن النشاط الريفي وشبه الحضري والحضري شهدت توسعًا واضحًا، مما يدل على انتقال بعض المناطق من الطابع الطبيعي أو ضعيف النشاط إلى أنماط أكثر ارتباطًا بالبنية التحتية والخدمات .

4. أظهرت نتائج التنبؤ لسنة 2030 استمرار تراجع المناطق غير المضاءة وارتفاع مستويات النشاط الحضري والحضري الكثيف، وهو ما يشير إلى استمرار التوسع العمراني واتساع مراكز النشاط البشري .

5. أثبت التكامل بين ArcGIS 10.7 و Google Colab AIفاعليته في تنفيذ التحليل المكاني والتنبؤ، إذ وفر إطارًا حاسوبيًا مرنًا ومنخفض الكلفة وقابلًا لإعادة الإنتاج العلمي .

6. تبيّن أن جودة البيانات المدخلة ومعايرة النموذج تؤثران بصورة مباشرة في موثوقية النتائج التنبؤية، وأن استخدام منطقة دراسة واسعة قد يقلل من دقة بعض مؤشرات التصنيف، مثل مؤشر .Kappa

ثانيًا: التوصيات

1. يوصي البحث بتحديث نموذج التنبؤ بصورة دورية عند توفر بيانات إنارة ليلية أحدث، لضمان دقة النتائج المستقبلية واستمرار صلاحية النموذج .

2. ضرورة استخدام بيانات مكانية أكثر تفصيلًا، مثل استعمالات الأرض، توزيع الخدمات، وشبكات الكهرباء، من أجل تحسين دقة التنبؤ بمستويات الإنارة الليلية .

3. يوصى بتطبيق النموذج على محافظات أو أقاليم أصغر داخل العراق، لأن تقليل مساحة الدراسة قد يسهم في رفع دقة التصنيف وتحسين قيمة مؤشر .Kappa

4. من الأفضل عدم الاعتماد على مؤشر تقييم واحد فقط، بل استخدام عدة مؤشرات مثل MSE و RMSEو MAEو MAPE و Kappaلتعزيز موثوقية النتائج .

5. ينبغي توظيف نتائج الإنارة الليلية في دعم قرارات التخطيط الحضري والإقليمي، ولا سيما في تحديد مناطق النمو العمراني السريع ومناطق الضغط الخدمي المتوقع .

6. يوصى بتطوير الدراسات المستقبلية من خلال المقارنة بين بيانات DMSP/OLS وVIIRS، لتقليل الفجوة الناتجة عن اختلاف مصادر بيانات الإنارة الليلية بين الفترات الزمنية المختلفة.

References

1. Cauwels, P., Pestalozzi, N., & Sornette, D. (2014). Dynamics and spatial distribution of global nighttime lights. EPJ Data Science, 3, Article 2. https://doi.org/10.1140/epjds19
2. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). Forecasting: Principles and practice (3rd ed.). OTexts. https://otexts.com/fpp3/
3. Li, S., Li, X., & Zhang, M. (2022). Spatial-temporal pattern evolution of Xi'an Metropolitan Area using DMSP/OLS and NPP/VIIRS nighttime light data. Sustainability, 14(15), Article 9747. https://doi.org/10.3390/su14159747
4. Li, X., Li, D., & Wu, H. (2019). Night-light remote sensing: Data, processing and applications. In A. Rajabifard (Ed.), Sustainable development goals connectivity dilemma: Land and geospatial information for urban and rural resilience (pp. 267–280). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780429290626-17
5. Li, X., Zhou, Y., Zhao, M., & Zhao, X. (2020). A harmonized global nighttime light dataset 1992–2018. Scientific Data, 7, Article 168. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0510-y
6. Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). Introduction to time series analysis and forecasting (2nd ed.). John Wiley & Sons.
7. National Remote Sensing Centre. (2022). Decadal change of night time light (NTL) over India from space (2012–2021). Indian Space Research Organisation, Department of Space, Government of India. https://bhuvan-app1.nrsc.gov.in/2dresources/NTL_Atlas.pdf
8. Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, 2825–2830. https://www.jmlr.org/papers/volume12/pedregosa11a/pedregosa11a.pdf
9. Wang, Q., Xin, Z., & Niu, F. (2022). Analysis of the spatio-temporal patterns of shrinking cities in China: Evidence from nighttime light. Land, 11(6), Article 871. https://doi.org/10.3390/land11060871

10. Xu, T., Ma, T., Zhou, C., & Zhou, Y. (2014). Characterizing spatio-temporal dynamics of urbanization in China using time series of DMSP/OLS night light data. Remote Sensing, 6(8), 7708–7731. https://doi.org/10.3390/rs6087708

11. Zheng, Q., Seto, K. C., Zhou, Y., You, S., & Weng, Q. (2023). Nighttime light remote sensing for urban applications: Progress, challenges, and prospects. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 202, 125–141. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.05.028

12. العبيد، سعد صالح خضر. (2025). الإملاء في النسيج الحضري للتصميم الأساس لمدينة قره قوش .مجلة واسط للعلوم الإنسانية،21(4)، 417-432. https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol21.Iss4.1319