SEBHA UNIVERSITY CONFERENCE PROCEEDINGS, VOL.5 NO. 4 2026
DOI: 10.51984/33D0ZS41

وقائع مؤتمرات جامعة سبها
Sebha University Conference Proceedings
Confrence Proceeeding homepage: http://www.sebhau.edu.ly/journal/CAS

قراءة البنية المكانية لمدينتي زليتن وترهونة باستخدام التركيب المكاني مع توظيف الذكاء الاصطناعي التوليدي في تفسير النتائج

فوزي محمد عقيل[a]* هوازن فوزي عقيل[b]

[a]الاكاديمية الليبية للدراسات العليا_ فرع الخمس ، مدرسة العلوم التطبيقية والهندسية ، الخمس ، ليبيا
[b]الاكاديمية الليبية للدراسات العليا_ فرع الخمس ، مدرسة العلوم الاساسية ، الخمس ، ليبيا

الملخص

تتناول هذه الدراسة تحليل البنية المكانية في مدينتي زليتن وترهونة من خلال دمج مؤشرات التركيب المكاني مع التحليل المعرفي المدعوم بالذكاء الاصطناعي التوليدي. تنطلق الدراسة من إشكالية تتعلق بضعف توظيف أدوات التحليل المكاني الكمي في الدراسات الحضرية الليبية، رغم أهمية هذه الأدوات في فهم شبكات الحركة والعلاقات المكانية داخل المدن. وتهدف الدراسة إلى بناء إطار تحليلي يجمع بين القياس الرقمي والتفسير المعرفي لدعم قرارات التخطيط الحضري. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي باستخدام التحليل المحوري عبر برنامج Depthmap، إلى جانب توظيف نماذج لغوية توليدية لتحليل النتائج وتفسيرها. أظهرت النتائج وجود فروق مكانية واضحة بين المدينتين، أظهرت نتائج التحليل المكاني أن متوسط قيمة Global Integrationبلغ (0.67)، بينما بلغ متوسط Connectivity (3.32)، مع ارتفاع مؤشر Choiceفي المحاور المركزية بنسبة تجاوزت 42% مقارنة بالشبكة الثانوية .مع ضعف نسبي في قابلية الفهم والترابط الإدراكي داخل الشبكات الحضرية. وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز الاتصالية الحضرية، وتطوير أدوات رقمية داعمة للتخطيط العمراني في المدن الليبية. تتمثل الإضافة العلمية للدراسة في دمج مؤشرات Space Syntax مع تقنيات الذكاء الاصطناعي التفسيري لتطوير إطار يساعد على فهم العلاقات المكانية بصورة أكثر عمقاً من التحليل التقليدي.

الكلمات المفتاحية:

التركيب المكاني
التحليل المحوري
الذكاء الاصطناعي التوليدي
التخطيط الحضري
المدن الليبية

Spatial Structure Analysis Using Space Syntax Supported by Generative AI Interpretation

Fawzi Mohamed Agael[a] , Hawazin Fawzi Agael[b]

[a]The Libyan Academy For Postgraduate – Al Khoms Branch , School Of Applied And Engineering , Al Khoms , Libya .
[b]The Libyan Academy For Postgraduate – Al Khoms Branch , School Of Basic sciences , Al Khoms , Libya .

A B S T R A C T

This study examines the spatial structure of the cities of Zliten and Tarhuna through the integration of Space Syntax indicators with cognitive analysis supported by generative artificial intelligence. The research addresses the limited application of quantitative spatial analysis tools in Libyan urban studies, despite their importance in understanding movement networks and spatial relationships within cities. The study aims to develop an analytical framework that combines digital measurement with cognitive interpretation in order to support urban planning decisions. The research adopts a descriptive-analytical methodology based on axial analysis using the Depthmap software, alongside the utilization of generative language models for the interpretation and analysis of spatial outcomes. The findings reveal clear spatial differences between the two cities, The spatial analysis showed a mean Global Integration value of 0.67 and a mean Connectivity value of 3.32. Furthermore, the Choice index along the primary urban axes exceeded that of the secondary street network by more than 42%, highlighting the superior movement potential and strategic importance of the city's main corridors. particularly regarding intelligibility and cognitive connectivity within the urban networks. The study concludes by emphasizing the need to enhance urban connectivity and to develop digital analytical tools capable of supporting urban planning practices in Libyan cities. The originality of this study lies in the integration of Space Syntax indicators with explainable artificial intelligence (XAI) to establish a novel analytical framework capable of providing deeper and more interpretable insights into spatial relationships than those offered by conventional spatial analysis methods.

Keywords:

Space Syntax
Axial Analysis
Generative Artificial Intelligence
Urban Planning
Libyan Cities

المقدمة

*Corresponding author:
E-mail addresses: fawzi777@academy.edu.ly , (H. F. Agael) 2310222@academy.edu.ly
Article History : Received 30 May 2026 - Received in revised form 30 September 2026 - Accepted 11 November 2026

والتحليل المدعوم بالذكاء الاصطناعي لتوفير تفسير أكثر عمقاً لمؤشرات الشبكة الحضرية.

مشكلة الدراسة

تشير العديد من الدراسات إلى أن تحليل الكفاءة المكانية للشبكات الحضرية ما يزال يعتمد بصورة رئيسية على التفسير البشري، الأمر الذي يقلل من إمكانية اكتشاف الأنماط المعقدة داخل البيانات المكانية(Hillier, 1996 ؛ Van Nes, 2021).؛Turner, 2007

لذلك تتمثل المشكلة البحثية في غياب إطار يدمج التحليل المكاني مع الذكاء الاصطناعي

أهمية الدراسة

تنبع أهمية الدراسة من عدة اعتبارات علمية وتطبيقية، أبرزها:

- محدودية الدراسات الليبية التي توظف أدوات التحليل المكاني الكمي في دراسة البنية الحضرية.
- أهمية التركيب المكاني في فهم العلاقات الحركية والإدراكية داخل المدن.
- الحاجة إلى تطوير أدوات تحليلية تدعم متخذ القرار في التخطيط الحضري.
- إبراز إمكانيات الذكاء الاصطناعي التوليدي بوصفه أداة تفسير معرفي مساندة للتحليل المكاني.
- تقديم إطار تطبيقي يمكن الاستفادة منه في دراسة مدن ليبية أخرى.

أهداف الدراسة

تهدف الدراسة إلى تحقيق ما يلي:

- تحليل البنية المكانية لمدينتي زليتن وترهونة باستخدام مؤشرات التركيب المكاني.
- قياس مستويات التكامل والاختيار والاتصالية ومتوسط العمق وقابلية الفهم والتآزر.
- مقارنة الخصائص المكانية بين المدينتين.
- قياس كفاءة الشبكة الحضرية باستخدام مؤشرات Space Syntax.
- تحليل العلاقة بين مؤشرات التكامل والاختيار والاتصالية .
- تقييم قدرة نموذج الذكاء الاصطناعي على تفسير الأنماط المكانية المستخلصة من التحليل .
- مقارنة نتائج التفسير التقليدي مع نتائج النموذج الذكي.
- تقديم توصيات تخطيطية تسهم في تحسين كفاءة الشبكات الحضرية.

منهجية الدراسة

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي القائم على التحليل المكاني الكمي والمقارنة التفسيرية. وتم تنفيذ الدراسة من خلال مجموعة من الخطوات المتسلسلة شملت:

- إعداد الخرائط المحورية للمدينتين.
- تم تحويل شبكة الطرق إلى خطوط محورية وفق منهج Hillier and Hanson (1984).
- روجعت الخطوط يدوياً .
- أزيلت الخطوط المكررة .
- تم التأكد من استمرارية الحركة .

شهدت الدراسات الحضرية خلال العقود الأخيرة تحولًا معرفيًا ومنهجيًا كبيرًا نحو استخدام أدوات التحليل الكمي لفهم المدينة بوصفها نظامًا مكانيًا مترابطًا ومعقدًا، حيث لم يعد الوصف التقليدي أو التحليل الشكلي وحده كافيًا لتفسير أنماط الحركة والتفاعل الحضري داخل المدن .[1]وقد أدى هذا التحول إلى ظهور اتجاهات تحليلية جديدة تسعى إلى الربط بين الشكل العمراني والسلوك الإنساني، وإلى فهم كيفية تأثير البنية المكانية في الحركة والأنشطة الاقتصادية والعلاقات الاجتماعية داخل البيئة الحضرية .[2]

ومن بين أبرز هذه الاتجاهات برزت نظرية التركيب المكاني Space Syntax التي طوّرها بيل هيلير وزملاؤه في جامعة لندن، حيث قدمت إطارًا تحليليًا يعتمد على دراسة العلاقات المكانية داخل الشبكات الحضرية من خلال أدوات كمية قادرة على قياس التكامل والاتصالية والاختيار والعمق المكاني .[3]وقد أثبتت هذه النظرية فاعليتها في تفسير أنماط الحركة الحضرية والعلاقات الوظيفية داخل المدن، كما استُخدمت في العديد من الدراسات المتعلقة بالتنمية الحضرية وكفاءة النقل وتوزيع الأنشطة التجارية والخدمية .[4]

وتشير الأدبيات الحضرية إلى أن البنية المكانية للمدينة تؤثر بصورة مباشرة في كفاءة الحركة والإدراك الحضري، حيث تسهم الشبكات ذات التكامل المرتفع في تعزيز الوصولية وزيادة النشاط الحضري، بينما تؤدي البنى المعزولة إلى ضعف الحركة وانخفاض التفاعل الاجتماعي .[5]كما أن قابلية فهم المدينة ترتبط بدرجة الترابط بين المستوى المحلي والعالمي داخل الشبكة الحضرية، وهو ما يجعل مؤشرات التركيب المكاني أدوات مهمة في تقييم الأداء الحضري .[6]

وفي السياق الليبي، تناولت بعض الدراسات العلاقة بين الإدراك البشري والبيئة العمرانية في المدن الليبية، حيث أوضحت دراسة Agael أن الخصائص المكانية تؤثر بصورة مباشرة في إدراك المستخدمين للفضاء الحضري والتفاعل معه داخل المدن الليبية .[7]كما تناولت دراسة أخرى قياس التفاعل الاجتماعي والثقافي في البيئة العمرانية المتوسطية العربية، مؤكدة أهمية التنظيم المكاني في تشكيل العلاقات الاجتماعية والحركة داخل المدن .[8]

وفي المقابل، شهد العالم خلال السنوات الأخيرة تطورًا متسارعًا في تقنيات الذكاء الاصطناعي، خاصة في مجال الذكاء الاصطناعي التوليدي Generative AI، الذي أصبح قادرًا على تحليل النصوص والبيانات المعقدة وإنتاج تفسيرات معرفية متقدمة .[9]وقد أسهمت النماذج اللغوية واسعة النطاق Large Language Modelsفي تطوير قدرات تحليلية جديدة تتيح قراءة الأنماط والعلاقات وربط النتائج بالسياقات النظرية والمعرفية المختلفة .[10]

ورغم أن الذكاء الاصطناعي التوليدي لا يُعد بديلًا عن أدوات القياس الكمي، فإنه يوفر إمكانيات واعدة في دعم التحليل الحضري من خلال تفسير البيانات وربط المؤشرات المكانية بالسلوك الحضري واقتراح سيناريوهات تخطيطية مبنية على المعرفة التراكمية المستخلصة من الأدبيات العلمية .[11]كما بدأت بعض الدراسات الحديثة في توظيف الذكاء الاصطناعي ضمن مجالات المدن الذكية وتحليل الشبكات الحضرية والتنبؤ بالتحولات العمرانية .[12] على الرغم من كثرة الدراسات التي استخدمت Space Syntax لتحليل الشبكات الحضرية، فإن معظمها اكتفى بالتحليل الوصفي لمؤشرات التكامل والاختيار، ولم تستفد بصورة كافية من تقنيات الذكاء الاصطناعي في تفسير العلاقات المعقدة بين المؤشرات المكانية المختلفة أو دعم اتخاذ القرار الحضري، لذلك تقترح هذه الدراسة إطاراً يجمع بين التحليل المكاني التقليدي

الحضري وتحليل شبكات النقل ودراسات التنمية الحضرية المستدامة .[2]

الذكاء الاصطناعي التوليدي والتحليل الحضري

شهد الذكاء الاصطناعي التوليدي خلال السنوات الأخيرة تطورًا نوعيًا جعله أحد أبرز التحولات التقنية في مجالات تحليل البيانات والمعرفة. ويعتمد هذا النوع من الذكاء الاصطناعي على نماذج لغوية واسعة النطاق قادرة على فهم النصوص وتحليل الأنماط وإنتاج تفسيرات معرفية متقدمة .[9]وقد أدى هذا التطور إلى ظهور تطبيقات جديدة في مجالات التخطيط الحضري وتحليل المدن الذكية ودعم اتخاذ القرار العمراني.

وتشير الأدبيات الحديثة إلى أن الذكاء الاصطناعي أصبح أداة مهمة في تحليل النظم الحضرية المعقدة، خاصة مع قدرته على معالجة كميات كبيرة من البيانات وربطها بالسياقات النظرية والتطبيقية .[12]كما تسهم النماذج التوليدية في تفسير المؤشرات الحضرية وتقديم قراءات مقارنة واقتراح حلول تخطيطية تستند إلى تحليل العلاقات بين المتغيرات المختلفة .[11]

وفي إطار التحليل الحضري، يمكن للذكاء الاصطناعي التوليدي أن يؤدي دورًا معرفيًا مساعدًا من خلال قراءة المؤشرات الرقمية وربطها بالسلوك الحضري والخصائص المكانية للمدينة. كما يمكن استخدامه في دعم عمليات التنبؤ وتحليل السيناريوهات التخطيطية وتفسير العلاقات بين البنية الحضرية والحركة البشرية .[2]

ومع ذلك، تؤكد الدراسات أن الذكاء الاصطناعي لا ينبغي أن يُستخدم بمعزل عن أدوات التحليل المكاني الكمي، بل بوصفه أداة مساندة تساعد في تعميق الفهم وتوسيع نطاق التفسير .[10]

دراسة الحالة

مدينة زليتن

نبذة عن المدينة (زليتن) :

زليتن احدى المدن الساحلية المهمة في ليبيا وتقع على خط عرض 28 \ 32 شمالا، وخط طول 34 \ 14 شرقا، وترتفع عن سطح البحر 18 متر، وتقع على بعد 158 كم إلي الشرق من طرابلس، حيث تقع المدينة على أرض خصبة وتتمتع بموارد مائية غنية فهي تشتهر بزراعة النخيل والزيتون ومختلف المحاصيل الزراعية والفواكه وقد أكد المؤرخ هيرودوتس وعدا المنطقة القريبة من وادي كعام بأنها الأكثر إنتاجا. ويتميز هذا الموقع بأهمية سوقية نظرا لوقوعه على الطريق الساحلي طريق القوافل الرئيس الذي يربط مدينة الإسكندرية بمدن المغرب العربي، وهو طريق الحج القديم كما اكتسبت المدينة أهميتها أيضا من خلال شبكة الطرق التي تربطها بالريف ومختلف المناطق المجاورة و الدواخل . **الشكل(1)**

- استخراج المؤشرات المكانية باستخدام التحليل المحوري.
- توثيق القيم الرقمية للمؤشرات.
- إدخال النتائج إلى بيئة تحليل لغوي مدعومة بالذكاء الاصطناعي التوليدي.
- تحليل الفروق المكانية بين المدينتين وربطها بالسياق الحضري.

كما اعتمدت الدراسة على المقارنة بين القراءة الرقمية المباشرة والقراءة التفسيرية المعرفية بهدف الوصول إلى فهم أكثر عمقًا للبنية الحضرية.

أدوات الدراسة

اعتمدت الدراسة على مجموعة من الأدوات التحليلية، تمثلت في:

- برنامج Depthmap لإجراء التحليل المحوري واستخراج المؤشرات المكانية.
- الخرائط الحضرية الخاصة بمدينتي زليتن وترهونة.
- نماذج الذكاء الاصطناعي التوليدي لتحليل النتائج وتفسيرها معرفيًا.
- مؤشرات التركيب المكاني، وتشمل:
  - التكامل.
  - الاختيار.
  - الاتصالية.
  - متوسط العمق.
  - قابلية الفهم.
  - التآزر.

حدود الدراسة

اقتصرت الدراسة على تحليل البنية المكانية لمدينتي زليتن وترهونة باستخدام التحليل المحوري ضمن إطار نظرية التركيب المكاني، دون إدخال بيانات الحركة الفعلية أو المتغيرات الاجتماعية والاقتصادية. كما اقتصر دور الذكاء الاصطناعي التوليدي على التفسير المعرفي للنتائج دون استخدام نماذج تنبؤية أو محاكاة سلوكية.

التركيب المكانيSpace Syntax

تُعد نظرية التركيب المكاني Space Syntax من أبرز النظريات المعاصرة في تحليل البنية الحضرية، وقد ظهرت بوصفها منهجًا يهدف إلى فهم العلاقة بين التنظيم المكاني والسلوك الاجتماعي داخل المدن .[1]وتنطلق هذه النظرية من فرضية أساسية مفادها أن شكل المدينة ليس مجرد تكوين هندسي، بل نظام مترابط يؤثر بصورة مباشرة في الحركة البشرية والتفاعل الاجتماعي والأنشطة الاقتصادية .[3]

يعتمد التركيب المكاني على تمثيل المدينة من خلال خطوط ومحاور تعكس المسارات الممكنة للحركة، ثم تحليل العلاقات بين هذه المحاور باستخدام مؤشرات كمية تقيس مستوى التكامل والترابط داخل الشبكة الحضرية .[5] وقد أظهرت العديد من الدراسات أن الشوارع ذات القيم المرتفعة في التكامل والاختيار غالبًا ما تتحول إلى مراكز للنشاط الحضري والحركة التجارية، في حين ترتبط المحاور المعزولة بانخفاض الكثافة الحركية والوظيفية .[4]

كما تشير الدراسات إلى أن التركيب المكاني لا يقتصر على تحليل الحركة فقط، بل يمتد لفهم الإدراك الحضري وقابلية قراءة المدينة، حيث تعكس مؤشرات قابلية الفهم العلاقة بين التنظيم المحلي والبنية العامة للمدينة .[6]ولذلك أصبحت أدوات التركيب المكاني تُستخدم على نطاق واسع في التخطيط



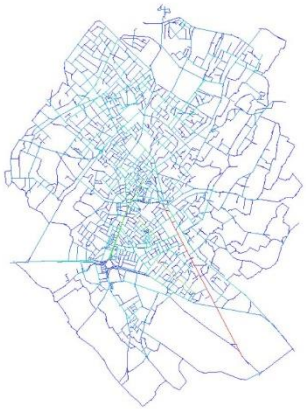
شكل 1: موقع مدينة زليتن

التركيب المكاني:

كانت نتائج التحليل المكاني كالتالي :

- Connectivity: 3.32

يعني هذا الرقم أن كل محور (شارع أو مقطع طريقي) يتصل بمتوسط 3.32 محاور أخرى مباشرة. قيمة منخفضة نسبياً تشير إلى أن الشبكة الطرقية **ليست كثيرة التشابك** على المستوى المحلي، أي أن معظم الشوارع تؤدي إلى عدد محدود من الشوارع المجاورة. **الشكل(2)**



شكل 2 : Connectivity

- Global Integration: 0.67

التكامل الكلي يقيس مدى قرب أي محور من جميع المحاور الأخرى في المدينة ككل. القيمة 0.67 منخفضة جداً (عادة مقياس التكامل يتراوح بين 0-2، حيث القيم العالية تعني سهولة الوصول). هذا يدل على أن مدينة زليتن غير مدمجة بشكل كلي، أي أن الأحياء البعيدة عن المركز تحتاج إلى طرق طويلة ومتعرجة للوصول إليها، مما يجعل الحركة الكلية صعبة نسبياً. الشكل(3)



شكل 3: Global Integration

- Local Integration: 1.59

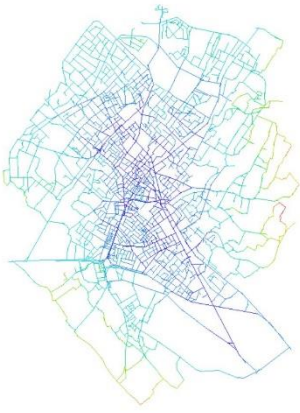
التكامل المحلي يقيس سهولة الوصول ضمن نطاق محدود (عادة 2-3 خطوات). القيمة 1.59 متوسطة إلى مرتفعة، مما يعني أن الأحياء المتجاورة مرتبطة جيداً محلياً، والتحرك بين الشوارع القريبة مريح نسبياً دون الحاجة للخروج إلى الطرق الرئيسية. الشكل (4)



شكل 4: Local Integration

- Mean Depth: 14.19

العمق هو عدد الخطوات اللازمة للوصول من محور إلى جميع المحاور الأخرى، مقسوماً على عدد المحاور. قيمة 14.19 مرتفعة، مما يؤكد أن النظام الطرقي متعمق –للانتقال من أي نقطة إلى أخرى في المدينة تحتاج إلى نحو 14 خطوة (تقاطعاً) في المتوسط. هذه إشارة إلى وجود هيكل طريقي متشعب أو شجري بدلاً من الشبكي المترابط. الشكل (5)



شكل 5: Mean Depth

- Choice: 25595.7

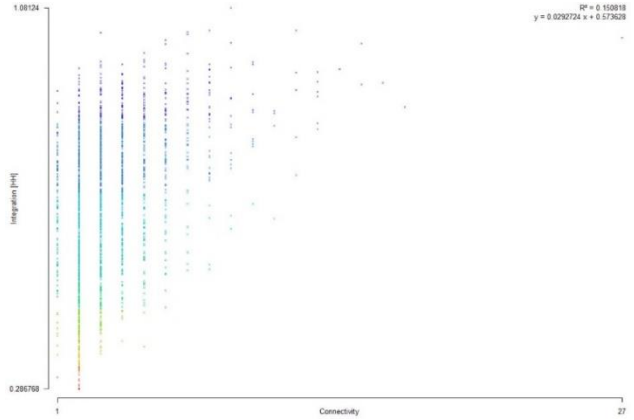
الاختيار يقيس عدد المسارات الأقصر التي تمر عبر كل محور (قيمة إجمالية مرتفعة). الرقم الكبير 25595يعني وجود شوارع قليلة جداً (غالباً رئيسية) تستحوذ على معظم حركة العبور، بينما باقي الشوارع هامشية. هذا النمط يؤدي إلى ازدحام على تلك الطرق القليلة، وشوارع داخلية هادئة جداً. الشكل (6)



شكل 6: Choice

- Intelligibility: 0.15

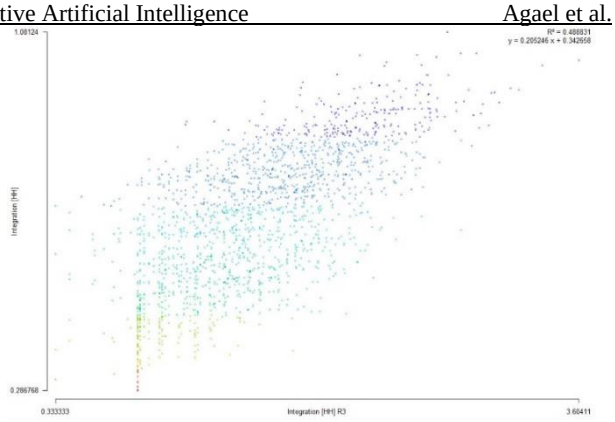
تقيس مدى إمكانية استنتاج التكامل الكلي من التكامل المحلي (ارتباط بينهما). قيمة 0.15 منخفضة جداً (قرب الصفر). معناه أن الشبكة الطرقية غير مقروءة؛ حتى إذا كنت تعرف منطقتك المحلية جيداً، فلن تستطيع تخمين كيف ترتبط بالمدينة ككل. هذا يؤدي إلى صعوبة في التوجيه وازدياد الحاجة للخرائط أو التطبيقات، كما يشير إلى عشوائية أو انقطاعات في النسيج العمراني. الشكل (7)



شكل 7: Intelligibility

- Synergy: 0.48

التآزر هو ارتباط مشابه للقابلية للفهم لكن بقياس آخر. قيمة 0.48 ضعيفة جداً (المثالي أعلى من 0.7). يؤكد أن العلاقة بين البنية المحلية والكلية ضعيفة –أي أن المناطق التي تعمل جيداً محلياً ليست بالضرورة مدمجة كلياً، والعكس صحيح. هذا يعني أن الحركة والأنشطة موزعة بشكل غير متوازن، وقد تعاني المدينة من انفصال بين الأحياء. الشكل (8)



شكل **8:** Synergy

الخلاصة العامة لمدينة زليتن من هذه القياسات:

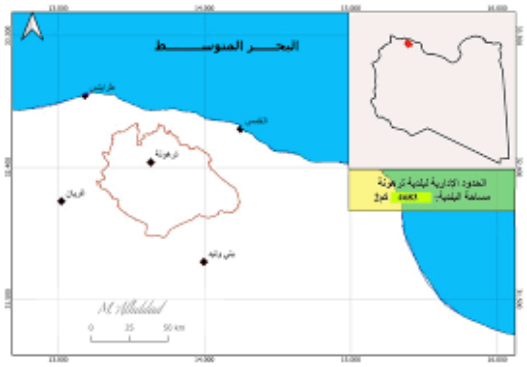
- شبكة طريقها متعمقة وغير مترابطة كلياً Global Integration منخفض، Mean Depthمرتفع
- حركة العبور مركزة على طرق قليلة جداً Choice مرتفع جداً مع Connectivityمنخفض.
- صعوبة شديدة في فهم الخريطة الذهنية للمدينة Intelligibility و Synergy منخفضان جداً)، مما يعيق الزوار ويصعب التنقل بدون مساعدات رقمية.
- تحسن محلي محدود Local Integration متوسط لكنه لا ينعكس على أداء المدينة ككل.

تعكس قيمة التكامل مستوى متوسطًا من الاندماج داخل الشبكة الحضرية، بينما تشير قيمة الاختيار المرتفعة إلى وجود محاور تستقطب حركة عبور ملحوظة. كما يُظهر متوسط العمق اتساع النظام المكاني، في حين تكشف قابلية الفهم المنخفضة عن ضعف العلاقة بين المستوى المحلي والبنية الحضرية الشاملة.

مدينة ترهونة

نبذة عن مدينة ترهونة:

تقع مدينة ترهونة في الجزء الشمالي من إقليم طرابلس على بعد حوالي 40 كلم جنوب ساحل البحر المتوسط بليبيا على مسافة 90 كلم من العاصمة طرابلس، وتنتشر في وادي فسيح على ارتفاع حوالي 400م فوق مستوى سطح البحر؛ ويحدها من الشمال والغرب منحدرات جبلية يصل ارتفاعها إلى 500م فوق مستوى سطح البحر، وتشغل حدودها المعتمدة بالمخطط الشامل لسنة 2000م مساحة تبلغ 719.3 هكتار. **الشكل (9)**



شكل **9:** موقع مدينة ترهونة

التركيب المكاني:

كانت نتائج التحليل المكاني كالتالي :

Connectivity: 2.9959

يعني هذا الرقم أن كل محور (شارع أو مقطع طريقي) يرتبط بمتوسط 3 محاور أخرى تقريباً. قيمة منخفضة جداً، أقل حتى من مدينة زليتن (3.32). تشير إلى أن الشوارع في ترهونة متفرعة بشكل ضعيف، وكل شارع يتصل بعدد قليل جداً من الشوارع المجاورة، مما يضعف التحرك المحلي السهل. الشكل (10)



شكل **10**: Connectivity

- Global Integration: 0.63229

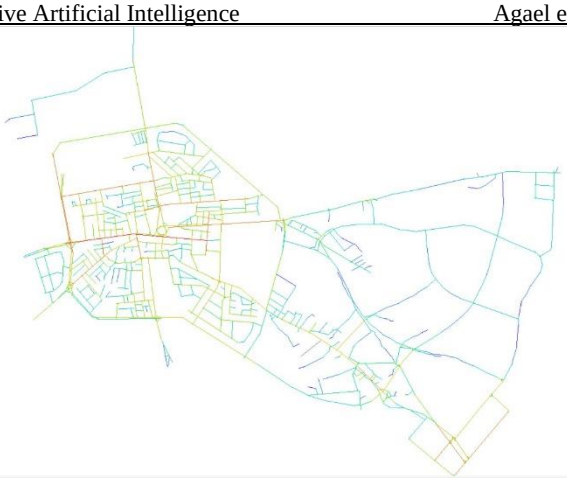
قيمة منخفضة جداً (المقياس النموذجي 0-2). هذا يعني أن مدينة ترهونة غير مدمجة على مستوى المدينة ككل، الوصول من أي حي إلى الأحياء الأخرى يتطلب مسارات طويلة وغير مباشرة. الهيكل الطرقي ككل موزع وشجري وليس شبكياً، مما يصعب التنقل عبر المدينة. الشكل (11)



شكل **11**: Global Integration

Local Integration: 1.4423

قيمة متوسطة إلى منخفضة نسبياً (مقارنة بقيمة زليتن 1.59). هذا يشير إلى أن الترابط داخل الأحياء المتجاورة ليس جيداً؛ فحتى التحرك بين الشوارع القريبة قد لا يكون مريحاً أو مباشراً، مما يعني وجود فجوات أو انقطاعات في النسيج المحلي. الشكل (12)



شكل **12**: Local Integration

Mean Depth: 12.5237

قيمة مرتفعة، لكنها أقل قليلاً من زليتن (14.19). تحتاج في المتوسط إلى حوالي 13خطوة (تقاطعاً) للانتقال من محور إلى أي محور آخر. هذا يؤكد أن النظام الطرقي عميق ومتعرج، لكنه أقل عمقاً من زليتن، أي أن ترهونة أكثر تماسكاً بقليل من زليتن. الشكل (13)



شكل **13**: Mean Depth

Choice: 8412.3

قيمة متوسطة إلى مرتفعة، لكنها أقل بكثير من زليتن (25595). يعني أن حركة العبور موزعة على عدد أكبر من الشوارع وليس محصورة في طرق قليلة جداً. لا توجد شوارع تستحوذ على كل الحركة، مما يخفف الازدحام لكنه قد يعني أيضاً غياب محاور رئيسية واضحة. الشكل (14)



شكل **14**: Choice

- Intelligibility: 0.13969

قيمة منخفضة جداً (قريبة من صفر). تؤكد أن الشبكة الطرقية غير

قابلية الفهم المنخفضة عن وجود صعوبة مماثلة في الإدراك المكاني.

التحليل المقارن ونتائج الدراسة

أظهرت نتائج التحليل المحوري وجود فروق مكانية واضحة بين مدينتي زليتن وترهونة من حيث خصائص الشبكة الحضرية ومستوى الترابط المكاني. فقد سجلت مدينة زليتن قيمة أعلى في مؤشر الاختيار مقارنة بمدينة ترهونة، وهو ما يعكس وجود محاور أكثر قدرة على استقطاب الحركة العابرة وربط أجزاء المدينة المختلفة.

كما أظهرت النتائج أن مستوى التكامل الشامل في زليتن يفوق نظيره في ترهونة بصورة نسبية، مما يشير إلى ارتفاع مستوى الوصولية داخل الشبكة الحضرية. وفي المقابل، كشفت قيم قابلية الفهم المنخفضة في المدينتين عن ضعف العلاقة بين الإدراك المحلي والتنظيم الكلي للشبكة الحضرية، الأمر الذي يعكس وجود صعوبة نسبية في قراءة البنية المكانية والتنقل داخل بعض أجزاء المدينة.

أما فيما يتعلق بمؤشر متوسط العمق، فقد أوضحت النتائج أن الشبكة الحضرية في زليتن تتسم بامتداد مكاني أكبر مقارنة بترهونة، في حين بدت شبكة ترهونة أكثر تقاربًا من الناحية المكانية، لكنها أقل قدرة على جذب الحركة الحضرية.

وعند إدخال المؤشرات المكانية إلى بيئة التحليل المعرفي المدعومة بالذكاء الاصطناعي التوليدي، قدمت النماذج اللغوية تفسيرات تحليلية موسعة ركزت على أهمية المحاور ذات القيم المرتفعة في الاختيار والتكامل باعتبارها مناطق ذات إمكانيات عالية للتنشيط الاقتصادي والحركي، كما أبرزت الحاجة إلى تحسين الترابط بين الأحياء لرفع كفاءة الشبكة الحضرية.

المناقشة

تكشف نتائج الدراسة عن أهمية التركيب المكاني بوصفه أداة فعالة لفهم العلاقات الحضرية داخل المدن الليبية متوسطة الحجم، حيث أظهرت المؤشرات المكانية قدرة واضحة على تفسير الفروق في كفاءة الحركة والترابط الحضري بين المدينتين.

وتشير القيم المرتفعة لمؤشر الاختيار في زليتن إلى وجود محاور رئيسية تؤدي دورًا مهمًا في حركة العبور داخل المدينة، وهو ما يتفق مع الدراسات التي تربط بين ارتفاع قيم الاختيار والنشاط الاقتصادي والحركي داخل المراكز الحضرية [13].

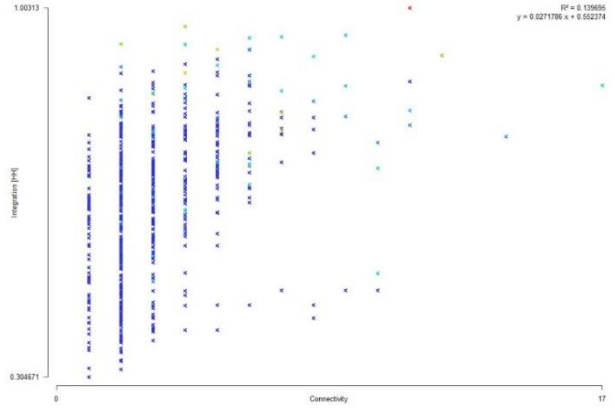
في المقابل، تعكس القيم المنخفضة لقابلية الفهم في المدينتين وجود ضعف في العلاقة بين المستوى المحلي والبنية العامة للشبكة، وهو ما قد يؤثر في سهولة الحركة والإدراك الحضري. وتتوافق هذه النتائج مع ما أشار إليه Penn حول ارتباط انخفاض قابلية الفهم بضعف وضوح الشبكات الحضرية وتعقيدها الإدراكي .[5]

كما أظهرت الدراسة أن توظيف الذكاء الاصطناعي التوليدي في تفسير المؤشرات المكانية أضاف بعدًا تحليليًا جديدًا يتجاوز القراءة الرقمية التقليدية، حيث ساعد في ربط النتائج بالسياقات الحضرية والنظرية واقتراح تفسيرات أكثر شمولًا .[11]

الاستنتاج

خلصت الدراسة إلى أن دمج مؤشرات التركيب المكاني مع التحليل المعرفي المدعوم بالذكاء الاصطناعي التوليدي يوفر إطارًا تحليليًا متقدمًا لفهم البنية الحضرية في المدن الليبية متوسطة الحجم.

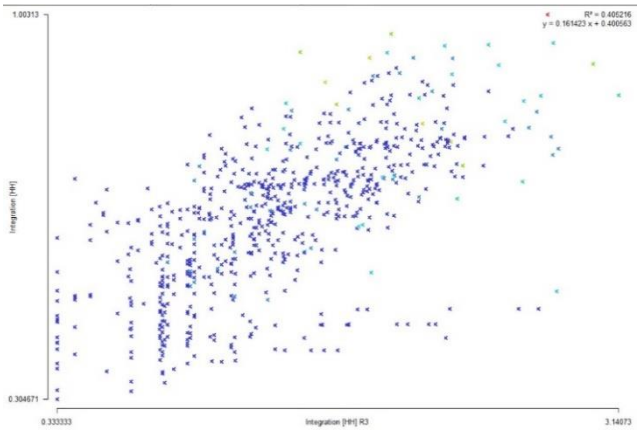
وأظهرت النتائج أن مدينة زليتن تمتلك شبكة حضرية أكثر قدرة على جذب مقروءة –لا يمكن للمستخدم أن يستنتج التكامل الكلي للمدينة من معرفته المحلية. النسيج العمراني معقد وغير حدسي، مما يصعّب التوجيه والذاكرة المكانية، تماماً مثل زليتن تقريباً. الشكل (15)



شكل **15**: Intelligibility

- Synergy: 0.405

قيمة منخفضة جداً (المثالي أعلى من 0.7). العلاقة بين الأداء المحلي والكلي ضعيفة جداً، رغم أنها أعلى قليلاً من زليتن (0.48). يعني أن الأماكن التي تعمل بشكل جيد محلياً لا تعكس بالضرورة سهولة الوصول الكلي، والعكس صحيح. النظام الطرقي يعاني من انفصال هيكلي بين المقاييس. الشكل (16)



شكل **16**: Synergy

الخلاصة العامة لمدينة ترهونة من هذه القياسات:

- شبكة طريقها أضعف اتصالاً محلياً من زليتن Connectivity 2.996 وأقل تكاملاً كلياً.
- العمق متوسط إلى مرتفع لكن أفضل قليلاً من زليتن Mean Depthأقل
- حركة العبور أقل تركيزاً Choice أقل كثيراً ، مما يعني توزيعاً أفضل للحركة لكن قد يشير إلى غياب محاور رئيسية واضحة.
- قابلية فهم وتآزر منخفضان جداً مثل زليتن، مما يجعل التنقل والتوجيه صعبين جداً بدون مساعدات.
- بالمقارنة مع زليتن، ترهونة أكثر توازناً قليلاً لكنها لا تزال تعاني من ضعف في التكامل المحلي والكلي، وعمق زائد.

تسجل مدينة ترهونة قيمة تكامل أقل مقارنة بمدينة زليتن، كما تنخفض قيمة الاختيار بصورة واضحة، مما يعكس شبكة حضرية أقل جذبًا للحركة العابرة. ويشير متوسط العمق الأقل إلى بنية أكثر تقاربًا نسبيًا، بينما تكشف

معرفية مقارنة حول خصائص الشبكات الحضرية في ليبيا.

قائمة المراجع

[1] Batty, M. 2013. *The new science of cities*. MIT Press, Cambridge, MA-USA.

[2] Batty, M. 2018. Artificial intelligence and smart cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 45(1): 3-6.

[3] Bommasani, R., Hudson, D.A., Adeli, E., Altman, R., Arora, S., von Arx, S., and Liang, P. 2021. *On the opportunities and risks of foundation models*. Stanford University, Stanford, CA-USA.

[4] Hillier, B. 1996. *Space is the machine: A configurational theory of architecture*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

[5] Hillier, B., and Hanson, J. 1984. *The social logic of space*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

[6] Kang, J., Choi, Y., and Kim, S. 2024. Generative AI applications in urban planning and spatial analysis. *Journal of Urban Technology*. 31(2): 55-72.

[7] Karimi, K. 2012. A configurational approach to analytical urban design: Space syntax methodology. *Urban Design International*. 17(4): 297-318.

[8] OpenAI. 2023. *GPT-4 technical report*. retrieved from: https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.08774

[9] Penn, A. 2003. Space syntax and spatial cognition. *Environment and Behavior*. 35(1): 30-65.

[10] Ratti, C. 2004. Space syntax: Some inconsistencies. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 31(4): 487-499.

[11] Yigitcanlar, T., Desouza, K., Butler, L., and Roozkhosh, F. 2020. Contributions and risks of artificial intelligence in building smarter cities. *Energies*. 13(6): 1473.

[12] Agael, F. 2017. Human perception in the Libyan built environment: Al-Khums and Bani Walid cities as case studies. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*. 11(2).

[13] Agael, F. 2017. Measuring socio-cultural interaction in Arabic Mediterranean built environment. *International Journal of Environmental & Science Education*. 12(3).

الحركة وتحقيق الوصولية مقارنة بمدينة ترهونة، في حين تعاني المدينتان من انخفاض نسبي في قابلية الفهم والترابط الإدراكي داخل الشبكة الحضرية.

كما أثبتت الدراسة أن الذكاء الاصطناعي التوليدي يمكن أن يؤدي دورًا مساعدًا في تفسير المؤشرات المكانية وربطها بالسياقات النظرية والتطبيقية، بما يسهم في تطوير أدوات التحليل الحضري ودعم عمليات التخطيط العمراني.

وتبرز أهمية هذا الدمج في كونه يوفر مقاربة تحليلية تجمع بين القياس الكمي والتفسير المعرفي، الأمر الذي يعزز من فهم الخصائص المكانية للمدن ويساعد في بناء قرارات تخطيطية أكثر كفاءة.

التوصيات

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة، يمكن تقديم مجموعة من التوصيات، تتمثل فيما يلي:

- تعزيز الاتصالية الحضرية بين الأحياء من خلال تحسين الترابط بين المحاور الرئيسية والفرعية.
- تطوير المحاور ذات القيم المرتفعة في الاختيار والتكامل واستثمارها في دعم الأنشطة الاقتصادية والحضرية.
- توسيع استخدام أدوات التحليل المكاني الكمي في الدراسات الحضرية الليبية.
- دمج البيانات المرورية والميدانية المستقبلية مع مؤشرات التركيب المكاني للحصول على نتائج أكثر دقة.
- الاستفادة من تقنيات الذكاء الاصطناعي التوليدي في دعم عمليات التحليل والتفسير الحضري.
- تطوير منصات رقمية تربط برامج التحليل المكاني ببيئات الذكاء الاصطناعي لدعم متخذي القرار في التخطيط العمراني.
- تطبيق المنهجية الحالية على مدن ليبية أخرى بهدف بناء قاعدة