تطبيقات الرياضيات في تحسين تخطيط المدن المستدامة

مهندس هدى زيد جميل
huda.z.jameel@gmail.com
جامعة ديالى/ كلية التربية المقداد
م.م هند إبراهيم محمد
a.edu.iqhindim@uodiyal
جامعة ديالى/ كلية التربية المقداد

الملخص
المدينة المستدامة هي مدينة تم تصميمها، تطويرها، وتشغيلها بطريقة تضمن التوازن بين الحفاظ على البيئة، تحسين جودة الحياة، وتعزيز النمو الاقتصادي، مع تقليل تأثيراتها البيئية. تعتمد المدن المستدامة على مجموعة من المبادئ التي تشمل تقليل استهلاك الموارد، تعزيز استخدام الطاقة المتجددة، تحسين النقل العام، والحفاظ على البيئة الطبيعية. ولكن، لتحقيق هذه الأهداف في عالم معقد ومتغير، تصبح الرياضيات أداة أساسية. تواجه المدن الحديثة تحديات معقدة تتعلق بالنمو السكاني، استنزاف الموارد، والتغير المناخي ولمعالجة هذه التحديات، لا يكفي الاعتماد على الحلول التقليدية بل يتطلب الأمر أدوات علمية دقيقة قادرة على تحليل المشكلات ووضع خطط ذكية.ان الرياضيات توفر هذه الأدوات باستخدام النمذجة الرياضية، التحليل الإحصائي، ونظرية الشبكات، يمكن فهم تعقيدات المدن وتوقع المشكلات المستقبلية قبل وقوعها، ان تطبيق الرياضيات في التخطيط الحضري لا يعني فقط حساب الأرقام، بل يعني تحويل المدن إلى أماكن أكثر كفاءة، عدلاً، واستدامة. يهدف هذا العمل إلى توضيح كيف تساهم النماذج الرياضية المختلفة في تحسين تخطيط المدن، يهدف هذا العمل إلى توضيح كيف تساهم النماذج الرياضية المختلفة في تحسين تخطيط المدن، كما يهدف إلى بيان كيف تساعد الرياضيات صانعي القرار على توزيع الموارد بشكل عادل، وتقليل الازدحام، وحماية البيئة.وتوصل البحث الى فهم ان للرياضيات دورمميز لتوزيع السكان والموارد داخل المدن، و تحسين شبكات النقل والمواصلات بطريقة تقلل التلوث والزمن الضائع، تصميم مشاريع بنية تحتية ذكية تساهم في استدامة المدن واخيراً إدارة فعالة للنفايات والطاقة لدعم الاقتصاد الدائري.

الكلمات المفتاحية : المدن المستدامة، تخطيط حضري مستدام ، الرياضيات، النماذج الرياضية.

Applications of Mathematics in Improving Sustainable City Planning

Huda zaid jameel
huda.z.jameel@gmail.com
University of Diyala / Al- Muqdad, College of Education
m MohammedHind Ibrahi
hindim@uodiyala.edu.iq
University of Diyala / Al- Muqdad, College of Education

Abstract

A sustainable city is a city that is designed, developed, and operated in a way that ensures a balance between environmental preservation, improving quality of life, and promoting economic growth, while reducing its environmental impacts. Sustainable cities rely on a set of principles that include reducing resource consumption, promoting the use of renewable energy, improving public transportation, and preserving the natural environment. However, to achieve these goals in a complex and changing world, relying on traditional solutions is not enough; it requires precise scientific tools capable of analyzing problems and devising smart plans. Mathematics provides these tools. Using mathematical modeling, statistical analysis, and network theory, the complexities of cities can be understood, and future problems can be anticipated before they occur. The application of mathematics in urban planning does not just mean calculating numbers; it means transforming cities into more efficient, just, and sustainable places. This work aims to clarify how different mathematical models contribute to improving urban planning, and it also aims to show how mathematics helps decision-makers distribute resources fairly, reduce congestion, and protect the environment. The research concluded that mathematics plays a significant role in distributing populations and resources within cities, improving transportation networks in a way that reduces pollution and wasted time, designing smart infrastructure projects that contribute to the sustainability of

cities, and finally, effective waste and energy management to support the circular economy.

Keywords: Sustainable cities, sustainable urban planning, mathematics, mathematical models.

الفصل الأول : الاطار العام

1.1 المقدمة

تُعدّ التنمية الحضرية المستدامة أمرًا حيويًا للتخفيف من حدة المخاطر البيئية الحالية وندرة الموارد. وتُعدّ مبدأً تخطيطيًا يُساعد المدن على حلّ التناقض المتزايد بين النمو الاقتصادي وحماية النظام البيئي، وهما القضيتان الأكثر إلحاحًا في عالم اليوم. ينصبُّ تركيز التنمية الحضرية المستدامة على استخدام الموارد، وخاصةً استخدام الأراضي. ولذلك، تُطوّر العديد من المدن خططًا مستدامة لاستخدام الأراضي لتحقيق التنمية الحضرية المستدامة. ومع ذلك، فإن أنماط استخدام الأراضي المستدامة واضحة مكانيًا، ويصعب تناول معايير الاستدامة هذه ضمن عملية وضع الخطط التقليدية. يُعرض تطوير أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS) ومنهجيات التحسين المكاني لتخطيط استخدام الأراضي الحضرية المستدامة. ويُناقش هذا الكتاب عددًا من المخاوف البارزة المتعلقة بأنماط استخدام الأراضي المستدامة في المناطق الحضرية، ولا سيما خطط استخدام الأراضي المستدامة. ثم تُترجم هذه المخاوف إلى معايير استدامة وتُدمج في نموذج التحسين المكاني متعدد المعايير المعمم لتخصيص استخدام الأراضي ، وتوضح نتائج دراسة الحالة هذه قوة التحسين المكاني كأداة لاستنباط استراتيجيات تخطيط استخدام الأراضي الفعالة والناجحة في تحقيق نتائج السياسة المكانية المرجوة[1].

ويلعب التخطيط دورًا متزايد الأهمية في تغييرات استخدام الأراضي الحضرية المستدامة. وقد أصبحت الاستدامة مصطلحًا شائعًا في التنمية الحضرية العالمية منذ قمة الأرض في ريو عام 1992. ومع تزايد وعي الجمهور وصانعي السياسات بالاستدامة، صيغت أو عُدِّلت مجموعة متنوعة من مناهج تخطيط استخدام الأراضي المحددة نحو اتجاهات أكثر استدامة. وقد استُخدم، أو يمكن استخدام، عدد من الظروف والمعايير البيئية والاقتصادية والاجتماعية، المُقاسة كمؤشرات، للحكم على مدى استدامة سياسات تخطيط المدن أو تطويرها [2] .

وجدول (1) يوضح أوجه الاخلاف للنماذج الرياضية المستخدمة في الحكم على مدى الاستدامة [3].

جدول (1): أوجه الاخلاف للنماذج الرياضية المستخدمة في الحكم على مدى الاستدامة

العنصر	النمذجة السكانية	توزيع الموارد	تحليل المرور	البنية التحتية الذكية	إدارة النفايات والطاقة
الهدف	توقع النمو	إدارة التوزيع	تحسين التنقل	محاكاة المشاريع	تقليل الفاقد والاستدامة
الأدوات الرياضية	معادلات تفاضلية	برمجة خطية	نظرية الرسوم	التحليل العددي	معادلات تنبؤية
التركيز الزمني	طويل الأمد	قصير-طويل الأمد	فوري	طويل الأمد	مستمر

2.1 مشكلة البحث

تتمثل المشكلة الرئيسية التي يتناولها هذا البحث في التحديات الكبيرة التي تواجهها المدن المستدامة في عصرنا الحالي، مثل النمو السكاني السريع، والتغيرات المناخية، واستنفاد الموارد الطبيعية. يتطلب تخطيط المدن المستدامة إيجاد توازن بين النمو الحضري والاقتصادي مع الحفاظ على البيئة واستخدام الموارد بشكل عقلاني. الرياضيات، من خلال النماذج الرياضية والنمذجة الحضرية، تعتبر أداة حيوية لتحليل العلاقات المعقدة بين عناصر النظام الحضري مثل حركة المرور، استخدام الأراضي، كفاءة الطاقة، والتلوث، مما يساهم في تعزيز استدامة التخطيط الحضري.

3.1 هدف البحث

يهدف البحث إلى استكشاف دور الرياضيات في تحسين تخطيط المدن المستدامة من خلال استخدام النماذج الرياضية والنمذجة الحضرية. يسعى البحث إلى تحليل وتخطيط الأنماط الحضرية بشكل مستدام باستخدام تقنيات مثل البرمجة الخطية، النمذجة غير الخطية، التحسين المكاني، ونظرية الطوابير. كما يهدف إلى تقييم كيفية تطبيق هذه النماذج في تحسين استدامة المدن من خلال إدارة الموارد الحضرية مثل حركة المرور، استخدام الأراضي، وكفاءة الطاقة.

4.1 أهمية البحث

تكمن أهمية هذا البحث في أنه يقدم حلولًا مبتكرة باستخدام الرياضيات لتحسين تخطيط المدن المستدامة في مواجهة التحديات البيئية والاجتماعية والاقتصادية التي تواجهها المدن الحديثة. من خلال تطبيق النماذج الرياضية، يمكن تحسين استدامة المدن، مما يساهم في إدارة مواردها بشكل أكثر كفاءة، ويعزز من القدرة على التصدي للتغيرات المناخية والنمو السكاني. كما يسهم البحث في تقديم دراسات حالة واقعية من مدن مثل سنغافورة ولندن ونيويورك لتوضيح كيفية تطبيق هذه النماذج في الواقع، مما يوفر رؤية عملية لتطبيقات الرياضيات في التخطيط الحضري.

5.1 حدود البحث

يقتصر البحث على تحليل تطبيقات الرياضيات في مجال تخطيط المدن المستدامة باستخدام نماذج رياضية متعددة. كما يركز على دراسة نماذج رياضية مثل البرمجة الخطية، النمذجة غير الخطية، والتحسين المكاني في سياق إدارة الموارد الحضرية. يتم النظر في دراسات حالة لمدن مثل سنغافورة ولندن ونيويورك لتوضيح تطبيقات هذه النماذج في تحسين استدامة التخطيط الحضري. كما أن البحث يقتصر على النماذج الرياضية بشكل رئيسي ويغطي جوانب مثل حركة المرور، استخدام الأراضي، وكفاءة الطاقة.

الفصل الثاني : الاطار النظري

1.2 النمذجة الرياضية في التنمية الحضرية

إنّ المدن عبارة عن تجمعات معقدة من النشاط البشري. وقد قام باحثو الدراسات الحضرية والأنظمة المعقدة مؤخرًا بتحليل مجموعات كبيرة من البيانات حول البنية التحتية والموارد والسلوك البشري بحثًا عن نماذج كمية قادرة على وصف المدينة كنظام شديد التعقيد. وعلى الرغم من هذه الجهود، لا توجد حتى الآن نماذج كمية مقبولة عالميًا لعمل المدينة. وفي هذا السياق، فإن إلقاء نظرة عامة نقدية على الأساليب الحالية يأتي في الوقت المناسب. ويبرز الالتزام الكبير بالنماذج الكسرية للتنمية الحضرية، ومع ذلك، لا تزال المفاتيح الرياضية لفهم التنظيم الذاتي لأنظمة المدن مفقودة [4] . إن النهج الناشئ، الذي يحقق في قوانين نمو التكتلات الحضرية من الافتراضات البسيطة للنظرية الاقتصادية الكلاسيكية، يتفق بشكل أفضل مع البيانات التجريبية حول التوسع الإقليمي والتنظيم الهرمي للأنظمة الحضرية. تم تقديم نتائج جديدة حول إمكانية الحصول على حلول تحليلية لاحتمالية حجم السكان وتقلبات المسافة بين المدن في إطار النهج الناشئ [5].

ومن اشهر هذه النماذج، النماذج الكسرية تُستخدم في تحليل أنظمة معقدة مثل الأنظمة الحضرية، حيث تمثل المدن هياكل معقدة تمتاز بالتكرار على مقاييس مختلفة.

معادلة الكسرية (التمثيل الرياضي) :

حيث: $P(r) \sim r^{-\alpha}$

- P(r)هو تكرار أو توزيع بعض السمات في المدينة (مثل الكثافة السكانية أو توزيع المساحات الحضرية).
- هو المقياس المكاني (مثال: المسافة أو الحجم).
- α هو معامل الكسرية الذي يعبر عن درجة تعقيد التوزيع المكاني [6].

وكذلك النماذج الاقتصادية الكلاسيكية يمكن أن تستخدم لفهم نمو التكتلات الحضرية، مثل نموذج هاردي ولامبرت (Hardy and Lambert) للنمو السكاني.

معادلة النمو السكاني (نموذج لوغاريتمي):

حيث: $N(t) = N_0 e^{rt}$

- N(t) هو حجم السكان في الزمن t.
- N_0 هو عدد السكان الابتدائي.
- r هو معدل النمو السكاني.
- e هو الأساس الطبيعي للوغاريتم[7].

2.2. دراسات حالة للنماذج الناجحة

تتوقع الأمم المتحدة أن يعيش 70% من سكان العالم في المناطق الحضرية بحلول عام 2050. لذلك شاركت مدن مثل سنغافورة ولندن ونيويورك في تخطيط تنمية المدن وبذلت جهودًا لتحسين بيئاتها. تتضمن الطريقة التقليدية لتخطيط المدن كميات كبيرة من العمل المتكرر الذي يقوم به مصممو المدن [8] . يصعب على المخططين تقييم تأثير التعديلات في بيئة المدينة دون وجود طريقة لمحاكاة بيئة التخطيط العامة. تُستخدم النماذج الرياضية التي تتيح فهم التغييرات بشكل متزايد. يمكن لتكنولوجيا التخطيط الحضري بمساعدة الحاسوب تحليل ومحاكاة المعلومات المتعلقة بتضاريس المدينة وحركة المرور والظروف المناخية من خلال تطبيق نماذج رياضية مثل نظرية الرسم البياني وتحليل التضاريس، تم استخدامها لتحسين مشاريع التخطيط الحضري ومساعدة تصميمات تخطيط المدن الجديدة. أجريت العديد من الدراسات على تخطيط المدن باستخدام النمذجة الرياضية، وطُبقت نتائج أبحاث النمذجة المتنوعة في مجالات تخطيط المدن. في هذا البحث، يتم فحص إمكانية تطبيق تقنيات التحليل الرياضي لتحسين بيئة تصميم وسط المدينة. للقيام بذلك، تمت دراسة تطورات المدن الجديدة مثل سونغدو ومدينة سونغ سان. نجحت المدن الكبرى في تشكيل مناطق شعبية في المناطق التجارية. تحاول هذه الدراسة تطبيق خصائص الشبكة الأساسية على خطة التطوير [9] . هذه هي أول دراسة تساعد على تحسين بيئة التصميم في مدينة مصممة حديثًا في أسرع وقت ممكن باستخدام التقنيات الرياضية. يساعد التحليل الرياضي للمدينة واقتراح ما يجب جذبه بالضبط ومن ولماذا على نمو المدينة بشكل أفضل، مما يؤدي إلى تطوير تصميم وسط المدينة. فضلا عن ذلك فإنه يساهم في نمو التنمية الحضرية كدراسة إعلامية، وباستخدام ظروف التصميم المختلفة وظروف الأرض، يمكن إدراك أنه يمكن تنفيذ الحكم العلمي بشكل أفضل. فضلا عن ذلك من خلال التحليل حسب المنطقة، قد يقلل من تكاليف التصميم مقارنة بالمدينة بأكملها، ويتم تطوير تقنية وضع خطة ترويجية تساعد على تشكيل منطقة جيدة في المنطقة الأساسية. إن التحليل الرياضي للمدينة واقتراح ما الذي يجب جذبه بالضبط ومن ولماذا يساعد المدينة على النمو بشكل أفضل [10] .

وجدول (2) يوضح المقارنة بين نتائج دراسات الحالة للنماذج الرياضية المستخدمة في تخطيط المدن المستدامة.

جدول (2): مقارنة بين نتائج دراسات الحالة

المصدر	النتائج المتحققة	النماذج الرياضية المستخدمة	المدينة
[11]	تحسين حركة المرور، استدامة بيئية، توزيع أفضل للمرافق	GIS، نماذج النقل، التحليل المكاني	سنغافورة
[12]	تحسين شبكات النقل، تقليل الفيضانات، تعزيز الاستدامة	نظرية الرسم البياني، تحليل التضاريس	لندن
[13]	تحسين تدفق حركة المرور، توزيع أفضل للخدمات العامة	نماذج الطوابير، البيانات الكبيرة	نيويورك
[14]	تعزيز النشاط التجاري، تحسين توزيع الأراضي، تصنيف الأنشطة التجارية	النمذجة القائمة على الوكلاء (Agent-based modeling)	سونغدو
[15]	تحسين تخصيص الأراضي، تقليل تكاليف التصميم، تنظيم التوسع الحضري	نماذج الشبكة الأساسية (Core Network Models)	سونغ سان

3.2 تطبيقات البرمجة الخطية

رياضيًا يُركز تخطيط المدينة على الأرض. لنفترض أن اللانهاية مُقسّمة إلى أجزاء صغيرة من القطع المتنافسة. ويُعدّ سعر الأرض المتغير المستمر. يُحدَّد العرض والطلب على الأرض من خلال تحليل الانحدار لمعاملات الأراضي السابقة. بعد ذلك، يُتخذ قرار استخدام الأرض المنفصل من خلال النموذج المقترح المُصاغ باستخدام نموذج البرمجة الصحيحة أو نظرية التحسين التوافقي. طُبِّق النموذج نفسه على المنطقة الافتراضية البسيطة الواقعة في ميجيرو ومدينة كانازاوا الحالية [16]
يُسعى إلى إنشاء مدينة مركزية من خلال خفض أسعار الأراضي المرتفعة في الأراضي المستغلة بشكل متقطع، والتي تُشكل حاليًا معظم الأراضي العشبية، وتأخير البناء المستقبلي للأراضي الواقعة على أطرافها من خلال رفع أسعارها بشكل خطي. باختصار، تتأثر ربحية تطوير قطعة الأرض بسعر الأرض المستقبلي الذي يتوقعه النموذج. كما تُوسّع هذه النتائج من خلال تطبيق التخطيط الحضري الفعلي في اليابان والبحث عن إنشاء مدينة مركزية [17] .
لتوضيح **تطبيقات البرمجة الخطية** في تخطيط المدن باستخدام المعادلات الرياضية، سنعرض مثالا يتعلق باستخدام البرمجة الخطية في تحليل وتخطيط استخدام الأراضي.

مثال 1: نموذج البرمجة الخطية لتخصيص الأراضي

نُفترض أن الأرض مقسمة إلى أجزاء صغيرة متنافسة، وأنه يتم تحديد **أسعار الأراضي** بناءً على العرض والطلب عبر **تحليل الانحدار** للمعاملات السابقة للأراضي. سنستخدم **البرمجة الخطية** لتخصيص الأرض بأفضل طريقة ممكنة بحيث يتم تحديد الاستخدام الأمثل لكل قطعة أرض.

المعادلة الرياضية :نفترض أن لدينا n قطع من الأرض، حيث لكل قطعة أرض i سعر p_i الذي يتم تحديده من خلال العرض والطلب باستخدام تحليل الانحدار، ويمثل x_i كمية الأرض التي سيتم تخصيصها لاستخدام معين.

الهدف هو **تعظيم الربح** الناتج عن استخدام الأراضي بناءً على أسعارها المحددة، مع الأخذ في الاعتبار قيود العرض والطلب.

الدالة الهدف:

$$\text{Maximize } Z = \sum_{i=1}^{n} p_i x_i$$

القيود:

- لا يمكن تخصيص أكثر من كمية معينة من الأرض لكل فئة[18].

4.2 طرق جمع البيانات

تتكون البيئات الحضرية من مجموعة كبيرة ومتنوعة من العوامل الاجتماعية والاقتصادية والبيئية والبنية التحتية. يمكن أن يؤدي جمع هذه العوامل وقياسها بدقة إلى تحسينات في الممارسات الحالية من خلال تعزيز الرؤى والتنبؤات حول التنمية الحضرية بمرور الوقت [19] و من الممكن الاستفادة من التقدم الهائل في الاستشعار عن بعد والتعلم الآلي والمعلوماتية الحضرية لدراسة المناطق الحضرية بشكل أكثر قوة وشمولاً. مع وضع ذلك في الاعتبار، يتم نمذجة التدرجات للعديد من مقاييس التنمية الحضرية في جميع أنحاء المدينة. يمكن فهم أفضل لعملية التحضر، مما قد يساعد على التخطيط بشكل أفضل وأكثر عدالة للأعمال المستقبلية. تتمتع الطرق الجديدة لجمع البيانات بالقدرة على إحداث ثورة في التخطيط. عندما تُخطّط المدن بناءً على رؤى موثوقة ونماذج مستقبلية مُحفِّزة جيدًا، يُمكن إطلاق مشاريع تنمية حضرية أكثر فعالية. ولذلك، بُذِلت جهودٌ كبيرةٌ لفهم هذه العمليات بشكلٍ أفضل، واستخدمت بعض المدن الخرائط التنبؤية للتنمية الحضرية في تخطيطها. ومع ذلك، اقتصرت هذه الجهود إلى حدٍّ كبير على عددٍ قليلٍ من المدن في العالم المتقدم؛ إذ لم تُحصَل على بياناتٍ أو معارفَ متاحةٍ على نطاقٍ واسع. تحتاج المدن إلى كمياتٍ هائلةٍ من البيانات لاتخاذ قراراتٍ مدروسة. ومن ثمَّ، تُستخدَم المناطق الإحصائية الحضرية التي تحتوي على مثل هذه البيانات، مثل سان فرانسيسكو ونيويورك، كحالةٍ دراسيةٍ لنمذجة التخطيط [20] .

جدول (3) يوضح **المقارنة بين أنواع البيانات** و **طرق جمعها.**

جدول (3): المقارنة بين أنواع البيانات و طرق جمعها

المصدر	طرق جمع البيانات	نوع البيانات
[21]	-استطلاعات المسح (مثل التعداد السكاني). -الاستشعار عن بعد (الصور الفضائية). -البيانات الإدارية (مثل سجلات الحكومة).	البيانات الاجتماعية والاقتصادية
[22]	-محطات المراقبة البيئية (للتلوث، جودة الهواء، الماء). -الاستشعار عن بعد (صور الأقمار الصناعية). -استطلاعات ميدانية.	البيانات البيئية
[23]	-نمذجة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.(GIS) -استشعار ذكي (أجهزة على شبكات النقل والمرافق). -استطلاعات وإحصاءات من المرافق.	البيانات المتعلقة بالبنية التحتية
[24]	-الاستشعار عن بعد (الخرائط التنبؤية). -نمذجة باستخدام التحليل المكاني.	البيانات المتعلقة

	-الدراسات المسحية للمخططين والسكان.	بالتخطيط الحضري
[25]	-أجهزة الاستشعار في الطرق (لتتبع الحركة). -أنظمة النقل الذكية) أجهزة.(GPS -استطلاعات عبر الإنترنت والتطبيقات الذكية.	البيانات المتعلقة بالتنقل وحركة المرور
[26]	-المسح الصحي (استبيانات طبية وعيادات صحية). -البيانات الرقمية (السجلات الإلكترونية). -استشعار ذكي للبيئة الصحية (جودة الهواء والماء).	البيانات المتعلقة بالصحة العامة
[27]	-أجهزة القياس الذكية (للتعرف على استهلاك الطاقة والمياه). -استطلاعات المجتمع (الاستخدام المستدام للطاقة). -البيانات الحضرية الضخمة (أنظمة إدارة البيانات الحضرية).	البيانات المتعلقة بالاستدامة

5.2 تقنيات المحاكاة لإدارة تدفق حركة المرور

الرياضيات الإقليدية التقليدية مناسبة لنمذجة الأشياء التي لها موضع وأبعاد محددة. ومع ذلك، فإن العديد من موضوعات التخطيط الحضري المهمة مثل النمو الحضري، وتوزيع الأنشطة داخل المدينة، أو التوزيع المكاني للسكان، والأشياء التي تمثل الحكمة المكانية فقط لا يمكنها إعطاء حساب لديناميكيات الظواهر [28] . وعلى وجه الخصوص، إذا أراد المرء نمذجة وتحليل ديناميكيات تدفق حركة المرور باستخدام كثافة المركبات ككمية يمكن ملاحظتها، فإن الهندسة ليست سوى واحدة من القضايا، ولكن هناك قضايا طوبولوجية وديناميكية تتعلق بديناميكيات حركة المرور أيضًا. إن نمذجة شبكة النقل وحركة المركبات عليها تمثل تحديًا كبيرًا للنظرية. من ناحية أخرى، هناك العديد من الأنظمة في البيئة الحضرية التي ليست مناسبة للفحص بالتفصيل من وجهة نظر النظريات المذكورة أعلاه؛ وهذه هي الحجج لتطبيق أساليب نظرية الأنظمة المعقدة [29] .

6.2 النمذجة القائمة على الوكيل

مع تزايد كثافة سكان المدن، يلعب التخطيط الحضري دورًا رئيسيًا في ضمان التنمية العادلة والشاملة للمناطق الحضرية. وعلى الرغم من ذلك، فإن تقارب عوامل مثل التكلفة الباهظة لجمع البيانات وتعقيد المشكلة والتحيزات الشخصية يمكن أن يجعل من المستحيل النظر في مجموعة شاملة من التأثيرات. يتخذ التخطيط خيارات مهمة مبنية على منظور مستنير إلى حد ما، ثم يكتشف بطريقة غير مخططة ما دخل فيه. تتمثل إحدى طرق تمكين المخططين في مساعدة الأدوات القائمة على البيانات، وهي منصات متطورة للغاية ولكنها سهلة الوصول يمكنها استخدام مصادر وأنواع متعددة من البيانات لبناء تشخيص أو طرق سريعة تأملية بسرعة. [30]تقدم هذه الورقة نموذجًا قائمًا على الوكلاء يُميز أنماط سلوك المواطنين فيما يتعلق باختيار السكن، وتناقش الخطوات المختلفة اللازمة لتوصيف النموذج والتحقق من صحته. يُقدم

الجزء الأول من المقالة صياغة النموذج رسميًا، بدءًا بنظرة عامة على النهج، وتحديد الجهات الفاعلة، والقرارات التي تتخذها. بعد ذلك، تُناقش خيارات التمثيل البسيط والشراكات المحتملة، بينما تقترح الفقرة الأخيرة تصنيفًا للمعايير التي ستشكل النموذج. ليس من أهداف النموذج ونطاقه إنتاج نموذج محاكاة واقعي يُعيد إنشاء المدينة تمامًا، بل ما يهدف إليه هو نموذج استنتاجي حسابي للنظام - المدينة والسكان وعملية صنع القرار - المدينة والسكان. يجب التحقق من صحة هذه العملية من خلال تجربة واقعية قبل استخدامها كأداة حسابية أو داعمة للسياسات [31]. شهدت السنوات القليلة الماضية اهتمامًا متزايدًا بقياس هذه النماذج كميًا، واستخدامها في كل من البحث وتصميم المدن. تم تنفيذ مجموعة كبيرة ومتنوعة من النماذج والمجالات، مع نماذج اقتصادية حضرية ونماذج فصل وما إلى ذلك. ومع ذلك، كانت النقطة المحورية الرئيسية هي ما يسمى بمشكلة "التمدد الحضري"، حيث يتم استهلاك 60٪ من الأراضي المبنية بين عامي 1990 و 2025. وعلاوة على ذلك، فإن الجانب العملي لبناء مدن تابعة جديدة له تأثير كبير على ميزانية الدولة (حوالي 80 إلى 100 مليار دولار)، في حين أن البنية التحتية للنقل مثل بناء الطرق باهظة الثمن (حيث أن سعر بناء الطرق في مدينة متوسطة أعلى بثلاث مرات من المدن الأوروبية). في الوقت نفسه، تكون كثافة الناتج المحلي الإجمالي في وسط منطقة 100 كيلومتر أعلى بمقدار 25 مرة من المناطق المحيطة، وبالتالي فإن التنمية في المركز أكثر كفاءة من حيث الميزانية التي تنفق لخلق الثروة [32] . في هذه الورقة، تم اقتراح نموذج شبكة/شبكة متكاملة. في الواقع، تعتمد خوارزميات النمو على إضافة الخلايا والاتصال (الذي يحدده الرسم البياني للطريق) بينها. يقدم هذا النهج الأكثر واقعية استدلالات بسيطة للحصول على نتائج نوعية، إلا أن هناك إمكانيات كبيرة لإجراء معايرة متعمقة لتحديد معلمات النموذج بشكل واقعي. تشمل التطورات الأخرى أعمالًا جارية لتحسين تمثيل مخطط الطريق وهيكل استخدام الأراضي في النموذج باستخدام معايير قائمة على البيانات. في هذا السياق، يمكن تطبيق النموذج ومعايرته على أنظمة واقعية مختلفة (مدن). تشمل التطورات الثانوية التنفيذ باستخدام منصة OpenMole لاستخدامه كأداة تحقق تفاعلية لدعم السياسات لصانعي القرار [33] .

7.2 كفاءة الطاقة والحلول الرياضية

بعد الانتهاء من لمحة عامة موجزة عن الدراسات والمشاريع المختارة حول تخطيط المدن المستدامة باستخدام المكونات الرياضية، أصبح من الممكن الآن تناول الدراسات المتبقية التي تم اختيارها كمصادر نصية. ومع ذلك، فإن قائمة المصادر بعيدة عن أن تكون شاملة. يتناول موضوع كفاءة الطاقة، [34] يقدم تحليلاً لاستخدام الأدوات الجغرافية المكانية لتقييم إمكانات الطاقة المتجددة لمدينة براغ. تعد كفاءة الطاقة وخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من النقاط الأساسية للتخطيط على المستويين الوطني ومستوى الاتحاد الأوروبي. هناك عدد من الأساليب والأدوات التي تم تطويرها أو قيد التطوير ومن إحدى هذه الأساليب هي التحليل المكاني لكل من الطلب على الطاقة والعرض باستخدام نظام المعلومات الجغرافية. ومن المفترض أيضًا أنه يمكن استخدام نظام المعلومات الجغرافية لتحديد الأماكن المثيرة

للاهتمام المحتملة لموقع مصادر الطاقة المتجددة. بعضها متاح بسهولة كبيانات مجمعة، والبعض الآخر يتطلب نمذجة مكانية. ، وتُظهر المنهجية المُطوّرة، القائمة على امتداد PostGIS لنظام قاعدة بيانات PostgreSQL، واستخدام عناصر هندسية بسيطة كشبكة شوارع وهياكل بناء، إمكانية المساعدة في تصميم مناطق جديدة أو إعادة إحياء المناطق القائمة. ولزيادة دقة استخدام النموذج عمليًا، ولإجراء المزيد من الأبحاث، من الضروري توسيع نطاقه ليشمل أنواعًا أخرى من البنى التحتية، مع مراعاة الغطاء النباتي الكثيف، الذي يُؤثر بشكل كبير على خفض درجة الحرارة المحسوسة، ويُخصص القسم التالي لدراسات مختارة تتعلق بتخطيط المدن المستدامة باستخدام الحلول الرياضية. يهدف هذا البحث إلى عرض صورة شاملة لمعجون الخرسانة المُصنّعة المضافة من حيث التحليل الرياضي والتجارب والبرمجة لتطبيقه في قضايا المدن [35] .

1.7.2نمذجة أنماط استهلاك الطاقة

يستخدم نهج نمذجة تجميع الأنواع والمكونات لتمثيل مجموعة متنوعة من الأشياء والعمارات والمكونات والتقنيات والوحدات والأنظمة، سواء كانت معدات لاستهلاك الطاقة أو مصادر للطلب على الطاقة، في المدينة. على نطاق البناء، تشمل هذه المباني النموذجية والمصانع ومعدات الطهي والمياه الساخنة والإضاءة وجداول الإشغال والآلات. ولكن يمكن توسيعها لتشمل الخدمات البلدية وتدفئة المساحات ومحطات التدفئة المركزية والجوانب المختلفة للموضوع بأكمله [36] . بالنسبة لنطاق هذا البحث، ومستويات نضج منهجية النمذجة الحالية وتوافر البيانات الإحصائية داخل GEA، واستخدام كل من النماذج من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى. بناءً على هذه الاعتبارات، سيوضح هذا البحث مدى استفادة استراتيجيات الإدارة هذه، لا سيما في سياق التنبؤ بأنماط استهلاك الطاقة والطلب عليها في المدينة في المستقبل، وتقييم تحديات تحسين مرونة المدينة في مجال الطاقة[37].

2.7.2 تكامل الطاقة المتجددة

أصبحت الحاجة إلى الحد التدريجي من البصمة الكربونية أحد أكثر التحديات شيوعًا في جميع أنحاء العالم. تُركز المناطق الحضرية حوالي 75% من سكان أوروبا، وتُمثل حوالي 80% من إجمالي استهلاك الطاقة. في ظل هذه الملاحظة، يجب أن يمر هدف الحد من هذه النسبة بتغيير جذري في نماذج تصميم وإدارة هيكل المناطق الحضرية والخدمات ذات الصلة. يمكن للرياضيات توفير عدد من الأدوات التحليلية ونماذج المحاكاة للتخطيط. كما أن زيادة قدرات الحوسبة وتوافر أدوات مثل نظم المعلومات الجغرافية يدعمان جدوى الاستخدام الأوسع والأكثر دقة لمحاكاة المناطق الحضرية [38] . يدمج تخطيط المدن المستدام الاحتياجات والمنظورات المختلفة التي تُسهم في رؤية حضرية مشتركة قادرة على تلبية الاحتياجات البشرية من منظور الاستدامة البيئية والجدوى الاقتصادية. يجب أن تُصمم أنظمة الطاقة الحضرية (UES) بأوسع معنى ممكن، بحيث تغطي إنتاج وتوزيع واستهلاك الموارد لتلبية احتياجات المواطنين في السياق الحضري. يجب أن يتضمن نظام الطاقة رؤية أوسع للتكامل فيما يتعلق بالبنية التحتية للمعلومات والنقل والمياه. يتطلب

التعامل السليم مع استراتيجيات الاستدامة إشراكًا مبكرًا من جميع الجهات المعنية، وخاصةً منذ الخطوات الأولى للتخطيط. ويمكن للرياضيات أن تساعد في تحقيق رؤية مشتركة، ودمج آراء وتقييمات مختلف الجهات المعنية [39] .

8.2 المشاركة المجتمعية من خلال التصور البياني للبيانات

يواجه التخطيط الحضري بشكل متزايد فرصًا وتحديات واسعة النطاق تعتمد على البيانات، بما في ذلك السياسات الحضرية المتطورة، وأنماط التنقل البشري المتغيرة، والتفاوتات الاجتماعية المكانية، وتأثير التغيرات البيئية. وقد دأب مجتمع البحث على دراسة مجموعة متنوعة من البيانات، وتحديد الأنماط بذكاء، واستخلاص معارف مفيدة. ومع ذلك، فإن "رؤية" المدينة أمر بالغ الصعوبة نظرًا للطلب على التفاعل بين الإنسان والحاسوب وإمكانية تفسيره، وتداعياته المباشرة على الثقة والمساءلة والعدالة الاجتماعية. تسد أداة Urban Mosaic هذه الفجوة من خلال اقتراح V-Exhibits، وهو إطار عمل للاكتشاف البصري قائم على البيانات، يتيح استكشافات بصرية كثيفة مكانيًا ومقارنًا للأنماط الديموغرافية. وقد وجدت التقييمات التجريبية أن Exhibits-V تساعد أصحاب المصلحة في المناطق الحضرية على تعزيز فهم مشترك للأنماط الاجتماعية المكانية المعقدة، وتدعم مهام تحديد هذه الأنماط وصياغة التدخلات ذات الصلة [40] ،و يعالج التخطيط الحضري سكان المناطق الحضرية المتزايدين في العالم من خلال تصميم مدن تعزز النمو الاقتصادي وتحسن نوعية حياة الناس. أحد العوامل الرئيسية التي تؤثر على جودة المناطق الحضرية هو إدراك سكانها للبيئة المبنية. في حين قدمت النظريات النفسية منذ فترة طويلة أدلة على وجود صلة بين الألوان والسلوك البشري، إلا أن دور اللون في التخطيط الحضري لم يتم تحديده، ويرجع ذلك جزئيًا إلى أن اللون يُدرك بشكل شخصي، وبالتالي يصعب قياسه. تاريخيًا، تم تحليل اللون بشكل أساسي باستخدام كاميرات أرضية، والتي تسجل صورًا لمواقع نقاط فردية[41] .

9.2 التحديات في التخطيط الحضري القائم على البيانات

لم يواكب التخطيط الحضري التقليدي التحول السريع الذي شهدته البيئات الحضرية حول العالم خلال القرن العشرين. وقد غيّر ظهور الكم الهائل من البيانات المكانية في أوائل القرن الحادي والعشرين منهجية التخطيط الحضري. وعلى عكس أنماط العصور الماضية، ترتبط التطورات الحديثة بعمليات اتخاذ القرار المتعلقة بالتخطيط الحضري والحوكمة وإدارة الاستثمار، مما يُحدث تأثيرًا كبيرًا على المواطن. ويمكن لمشاريع المدن الذكية أن تكون متوافقة إلى حد كبير مع ديناميكيات التنمية الحضرية المستمرة لمدينة أو بلد. والافتراض الأساسي في أي مشروع مدينة ذكية هو أن البيانات التي تُجمع من الأنشطة الحضرية قادرة على تحسين جودة الحياة وكفاءة استخدام الموارد ، إن تطوير المدينة هو في جوهره تحويل للأرض؛ ويتطلب معالجة قائمة على البيانات. ومع ذلك، فإن قرارات استخدام الأراضي الحضرية التي تحركها البيانات قد تؤدي إلى فصل اجتماعي مكاني بارز في هذه المدن [42] . يخلق تخطيط المدينة الذكية الذي يعتمد على البيانات نسيجًا للمدينة إذ يصبح الجزء غير المتسق، والذي لا يمكن التلاعب به بواسطة البيانات، أكثر حصرية هنا، يتم

إنشاء الخوارزميات التي تعتمد على البيانات على مجموعات بيانات متجانسة وتساهم في تكوين مدينة من الأحياء المتشابهة، مما يضيق تنوع البيئات الحضرية. يتم توليد عدم المساواة في مشاريع المدينة الذكية من قبل شركات التكنولوجيا ويحدد سيناريو حيث تتولى الخوارزميات الاجتماعية السيطرة على مهن النسيج الحضري. تحت هذا المنظور، يُتساءل عما إذا كانت مشاريع المدينة الذكية التي تعتمد على البيانات توجه عملية صنع القرار للهيئات الحاكمة والبلديات وفقًا لأهدافها الأساسية[43].

10.2 الاتجاهات المستقبلية في التطبيقات الرياضية

لقد لعبت النماذج الرياضية للنمو الحضري دورًا رئيسيًا في تطوير المدن المستدامة، وخاصةً في تطبيقها على استراتيجيات التخطيط شبه المثالية والمثلى. تُصمم مشاكل تقسيم المناطق، وأنواع الخدمات، وأنواع الإدارة العامة لتحديد أقل قدر من الموارد في ظل ظروف معينة لتحقيق الأداء الأمثل للمدينة. كما يُعدّ إيجاد الموقع الأمثل للخدمات العامة، مثل المدارس والمستشفيات ووسائل النقل، لتحقيق أقصى قدر من رفاهية سكان المدينة، مشكلة تحسين صعبة من نوع NP. ومع ذلك، فإن إعادة تصميم المدن من الصفر قد تصبح مهمة أكثر تعقيدًا لأنها تتطلب نمذجتها، ويتطلب تحقيقها موارد لا حصر لها. في الماضي، طُوّرت بعض النماذج بهذا المعنى، حيث قسّمت المدن إلى قطع أراضي ذات أشكال واستخدامات محددة للأرض، لكنها تخضع لكثافات شبكية عالية وتحتاج إلى إعادة تشكيل عملية. لذلك، فإن الهدف هو تطوير استراتيجيات جديدة لإعادة تصميم المدن من الصفر ولكن باستخدام خوارزمية عددية واحدة بأقل عدد من الموارد [44] ، فمثلا تم تصميم الأحياء الخمسة في المدينة بحيث يحاول كل نموذج تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المدينة، وبالتالي من المرجح أن يتم تركيب محطات طاقة الرياح والطاقة الشمسية هناك، من قبل حكومة المدينة على سبيل المثال [45] .

1.10.2 المدن الذكية وإنترنت الأشياء

لقد فتح التقدم في تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ITC) آفاقًا جديدة لتخطيط المدن المبتكر والمستدام. يركز النهج الحديث على المدن الذكية المجهزة بإنترنت الأشياء (IoT) التي تربط أجهزة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الداخلية، مثل العدادات الذكية والأجهزة المنزلية الذكية، بمختلف الخدمات والتطبيقات لتحسين جودة حياة البشر. يمكن للمدن الذكية المدعومة بإنترنت الأشياء تقديم مجموعة متنوعة من الخدمات في مجالات تطبيقية مختلفة، وتحقيق فائدة واضحة للمجتمع، بما في ذلك الزراعة المستدامة، والرعاية الصحية، وأنظمة النقل، وإدارة الطاقة. يتطلب تحويل مدينة عادية إلى مدينة ذكية خطوات مختلفة من التطوير، والافتتاح، والشراء، ونشر مجموعة متنوعة من الأجهزة، وتطبيقات البرامج، بما في ذلك أجهزة الاستشعار والكاميرات، إلخ [46] .

بعد ذلك، يتطلب العدد الهائل من المهام في التحكم بالمدن الذكية وإدارتها وتشغيلها استخدام تقنيات تحسين مناسبة لتوزيع الموارد الشحيحة بكفاءة وتقليل مختلف أنواع النفقات. وتتمثل الاهتمامات الرئيسية لهذه الدراسة في عرض الاستغلال المتنوع

لمنهجيات التحسين في إعداد المدن الذكية المدعومة بإنترنت الأشياء، وتحديد مسؤولياتها، وتشغيلها، وتوضيح ممارساتها وصقلها وتوسيع نطاقها في برمجة مجموعة متنوعة من التطبيقات والأهداف والقيود. وقد أدى تحليل المنشورات الأكاديمية والعلمية المناسبة إلى رسم خريطة لمجموعة متنوعة من مشاكل التحسين. وفي المقابل، عُرضت مجموعة متنوعة من منهجيات التحسين وصيغه، ووُضعت اتجاهات مختلفة للأعمال الإبداعية المحتملة. علاوة على ذلك، يشير تحليل وحصر المنشورات المتميزة إلى أن هذه الدراسة هي الأولى التي تقدم مسحًا شاملاً ونظرة عامة شاملة لمختلف مجالات البحث والمنشورات والأعمال المتعلقة باستخدام منهجيات التحسين في تطور المدن الذكية المدعومة بإنترنت الأشياء [47] .

الفصل الثالث

1.3 الاستنتاجات

1. أثبتت الدراسة أن الرياضيات، من خلال النماذج الرياضية والنمذجة الحضرية، تلعب دورًا حيويًا في تحسين تخطيط المدن المستدامة. تساهم الرياضيات في فهم تعقيدات المدن وتحليل التفاعلات بين مكونات النظام الحضري، مثل حركة المرور، واستخدام الأراضي، وكفاءة الطاقة. هذا يساعد في اتخاذ قرارات مستنيرة لتحسين استدامة البيئة الحضرية.
2. تواجه المدن الحديثة تحديات كبيرة مثل النمو السكاني السريع، استنزاف الموارد الطبيعية، والتغيرات المناخية. ومع ذلك، توفر النماذج الرياضية أدوات قوية لتحليل هذه التحديات وتقديم حلول مبتكرة. النموذج الرياضي يمكن أن يساعد في تنظيم نمو المدينة بشكل متوازن، مما يسهم في تحسين جودة الحياة للمواطنين مع الحفاظ على البيئة.
3. البحث إلى أن المدن تحتاج إلى كميات ضخمة من البيانات لدعم عمليات التخطيط المدعومة بالبيانات. يساعد الاستشعار عن بعد، والتعلم الآلي، ونظم المعلومات الجغرافية في توفير رؤى دقيقة حول النمو الحضري، مما يعزز من فعالية النمذجة الرياضية ويجعلها أكثر دقة وموثوقية.
4. ان تطبيق عدة نماذج رياضية ناجحة في مدن مثل سنغافورة ولندن ونيويورك. واستخدام هذه النماذج ساعد في تحسين حركة المرور، تعزيز استدامة البيئة، وتقليل التلوث. كما أثبتت الدراسة أن النماذج الرياضية مثل البرمجة الخطية والتحسين المكاني تلعب دورًا محوريًا في تنظيم استخدام الأراضي وتوزيع الموارد.
5. يُوصى دائما بتوسيع نطاق استخدام النماذج الرياضية في تخطيط المدن المستدامة، من خلال دمج الأدوات المتقدمة مثل التحليل المكاني والنماذج غير الخطية. هذا سيساهم في تحسين استدامة المدن، ويعزز القدرة على التكيف مع التغيرات المناخية، ويقلل من التحديات الاقتصادية والاجتماعية.
6. ضرورة تعزيز جمع البيانات الحضرية بدقة وشمولية لدعم عمليات التخطيط. من خلال التحليل البياني واستخدام نماذج متقدمة، يمكن وضع سياسات أكثر فعالية لتحسين استخدام الموارد وتوفير بيئة حضرية عادلة ومستدامة لجميع السكان.

2.3 التوصيات

1. **زيادة استخدام تقنيات النمذجة الرياضية:** يُوصى بتوسيع نطاق استخدام النمذجة الرياضية في تخطيط المدن من خلال دمج أدوات التحليل المكاني والنماذج غير الخطية لتحسين فعالية استخدام الموارد الطبيعية.
2. **تعزيز جمع البيانات الحضرية:** من الضروري أن تقوم المدن بتطوير استراتيجيات لجمع بيانات حضرية دقيقة وشاملة لدعم عمليات التخطيط المدعومة بالبيانات.
3. **تحسين كفاءة الطاقة:** يجب تطوير حلول رياضية تساعد في تقليل استهلاك الطاقة في المدن وتحقيق استدامة أكبر في إمدادات الطاقة.
4. **التركيز على العدالة الاجتماعية في التخطيط الحضري:** يجب أن تركز سياسات التخطيط الحضري على ضمان وصول جميع فئات السكان إلى المرافق والخدمات الأساسية بشكل متساوٍ.
5. **تطبيق النماذج في المدن الناشئة:** يُوصى بتطبيق النماذج الرياضية في المدن الناشئة التي تشهد تحولات سريعة لضمان نمو مستدام ومتوازن.

3.3 المقترحات

1. **تطوير منصات نموذجية ديناميكية:** إنشاء منصات رياضية ديناميكية تسمح للمخططين الحضرية بتجربة وتعديل النماذج الحضرية في الوقت الفعلي.
2. **تعزيز التعاون بين القطاعات:** يجب تعزيز التعاون بين الأكاديميين، المخططين الحضريين، وصانعي السياسات لضمان استخدام الأدوات الرياضية بشكل فعال في التخطيط الحضري.
3. **التوسع في استخدام تكنولوجيا المعلومات:** توظيف تقنيات تكنولوجيا المعلومات مثل الذكاء الاصطناعي والتحليل البياني لتعزيز اتخاذ قرارات التخطيط المستدام.
4. **إطلاق مبادرات لدعم المدن الذكية:** تطوير وتنفيذ مشاريع مدن ذكية تعتمد على جمع وتحليل البيانات لضمان تحسين التخطيط الحضري في المستقبل.

4.المصادر

[1] Yao, J., Murray, A. T., Wang, J., & Zhang, X. (2019). Evaluation and development of sustainable urban land use plans through spatial optimization. Transactions in GIS, 23(4), 705-725.

[2] Decker, B. (2002). Finding New Solutions in Planning with Sustainable Development: A Case Study in Atlanta and Charlotte.

[3] Batty, M. (2013). *The new science of cities*. .MIT press

[4] Shi, Y., Zhai, G., Xu, L., Zhou, S., Lu, Y., Liu, H., & Huang,

W. (2021). Assessment methods of urban system resilience: From the perspective of complex adaptive system theory. Cities, 112, 103141.
[5] Ni, P., Cao, Q., Xu, H., & Guo, J. (2024). Urban Development Miracle in China: An Explanation through the Lens of Unified Development Economics Theory.
[6] Mandelbort, B. B. (1982). The fractal geometry of nature. *M. San Francisco: Freeman*.
[7] Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The quarterly journal of economics*, *70*(1), 65-94.
[8] Kupiszewska, D. (1997). Modelling for sustainable cities: Conceptual approach and an audit of existing sectoral models for transport, air pollution, land use, and population modelling.
[9] Klein, T., & Anderegg, W. R. (2021). A vast increase in heat exposure in the 21st century is driven by global warming and urban population growth. Sustainable cities and society, 73, 103098.
[10] Herrera, P. A., Marazuela, M. A., & Hofmann, T. (2022). Parameter estimation and uncertainty analysis in hydrological modeling. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 9(1), e1569.
[11] Tan, B. A., Gaw, L. Y. F., Masoudi, M., & Richards, D. R. (2021). Nature-based solutions for urban sustainability: An ecosystem services assessment of plans for Singapore's first "forest town". *Frontiers in Environmental Science*, *9*, 610155.
[12] Batty, M. (2013). *The new science of cities*. MIT press.
[13] Reichel, C., & Haupt, W. (2023). Beyond Knowledge: Learning to Cope with Climate Change in Cities. In *The Palgrave Encyclopedia of Urban and Regional Futures* (pp. 75-79). Cham: Springer International Publishing.
[14] Zare Ahmadabadi, H., Akhundzadeh, M. R., & Saffari Darberazi, A. (2022). Modelling Area of Innovation for University of Tehran to become an entrepreneurial university. *Journal of Strategic Management Studies*, *13*(49), 73-95.
[15] Dong, B., Liu, Y., Fontenot, H., Ouf, M., Osman, M., Chong, A., ... & Carlucci, S. (2021). Occupant behavior

modeling methods for resilient building design, operation and policy at urban scale: A review. *Applied Energy*, *293*, 116856.
[16] Alsaffar, N. H., & Alobaydi, D. (2023, March). Studying street configurations and land-uses in the downtown of Baghdad. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2651, No. 1). AIP Publishing.
[17] Cao, Y., Swallow, B., & Qiu, F. (2021). Identifying the effects of a land-use policy on willingness to pay for open space using an endogenous switching regression model. Land Use Policy, 102, 105183.
[18] Kawamura, A., Amaguchi, H., Olsson, J., & Tanouchi, H. (2023). Urban Flood Runoff modeling in Japan: recent developments and future prospects. *Water*, *15*(15), 2733.
[19] Herfort, B., Lautenbach, S., Porto de Albuquerque, J., Anderson, J., & Zipf, A. (2023). A spatio-temporal analysis investigating completeness and inequalities of global urban building data in OpenStreetMap. Nature Communications, 14(1), 3985.
[20] Honarvar, A. R., & Sami, A. (2019). Multi-source dataset for urban computing in a Smart City. Data in brief, 22, 222-226.
[21] Olimid, A. P., & Olimid, D. A. (2019). Societal challenges, population trends and human security: evidence from the public governance within the United Nations publications (2015-2019). *Revista de Stiinte Politice*, (64), 53-64.
[22] Li, J., Pei, Y., Zhao, S., Xiao, R., Sang, X., & Zhang, C. (2020). A review of remote sensing for environmental monitoring in China. *Remote Sensing*, *12*(7), 1130.
[23] Kitchin, R. (2014). *The data revolution: Big data, open data, data infrastructures and their consequences*. Sage.
[24] Liang, X., Liu, X., Li, D., Zhao, H., & Chen, G. (2018). Urban growth simulation by incorporating planning policies into a CA-based future land-use simulation model. *International Journal of Geographical Information Science*, *32*(11), 2294-2316.
[25] Vigar, G., & Varna, G. (2019). Connecting places: towards a participatory, ordinary urbanism. In *Transport Matters* (pp.

205-226). Policy Press.
[26] WHO, C. O. (2020). World health organization. *Air Quality Guidelines for Europe*, (91).
[27] Elmqvist, T., Andersson, E., McPhearson, T., Bai, X., Bettencourt, L., Brondizio, E., ... & Van Der Leeuw, S. (2021). Urbanization in and for the Anthropocene. *Npj Urban Sustainability*, *1*(1), 6.
[28] Nguyen, H. L., Tsolak, D., Karmann, A., Knauff, S., & Kühne, S. (2022). Efficient and reliable geocoding of German Twitter data to enable spatial data linkage to official statistics and other data sources. Frontiers in sociology, 7, 910111.
[29] Helbing, D., & Nagel, K. (2004). The physics of traffic and regional development. Contemporary Physics, 45(5), 405-426.
[30] Njoku, J. N., Nwakanma, C. I., Amaizu, G. C., & Kim, D. S. (2023). Prospects and challenges of Metaverse application in data-driven intelligent transportation systems. IET Intelligent Transport Systems, 17(1), 1-21.
[31] Pozoukidou, G., & Angelidou, M. (2022). Urban planning in the 15-minute city: Revisited under sustainable and smart city developments until 2030. Smart Cities, 5(4), 1356-1375.
[32] Yurrita, M., Grignard, A., Alonso, L., Zhang, Y., Jara-Figueroa, C. I., Elkatsha, M., & Larson, K. (2021). Dynamic urban planning: an agent-based model coupling mobility mode and housing choice. Use case Kendall square. In Intelligent Computing: Proceedings of the 2021 Computing Conference, Volume 2 (pp. 940-951). Springer International Publishing.
[33] Raimbault, J., Banos, A., & Doursat, R. (2016). A hybrid network/grid model of urban morphogenesis and optimization. arXiv preprint arXiv:1612.08552.
[34] Kavuri, N. C. (2017). Source Apportionment and Forecasting of Aerosol in a Steel City-Case Study of Rourkela (Doctoral dissertation).
[35] Suriyanarayanan, S., Paruchuri, P., & Varma, G. (2023, June). City-scale pollution aware traffic routing by sampling max flows using mcmc. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (Vol. 37, No. 12, pp. 14496-14503).

[36] Nowacka, A., & Remondino, F. (2018). GEOSPATIAL DATA FOR ENERGY EFFICIENCY AND LOW CARBON CITIES–OVERVIEW, EXPERIENCES AND NEW PERSPECTIVES–. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 467-474.
[37] Chen, Y., Wang, Y., & Zhou, D. (2021). Knowledge map of urban morphology and thermal comfort: A bibliometric analysis based on citespace. Buildings, 11(10), 427.
[38] Reiter, S., & Marique, A. F. (2012). Toward low energy cities: A case study of the urban area of Liege, Belgium. Journal of Industrial Ecology, 16(6), 829-838.
[39] Deng, Y., Jiang, W., & Wang, Z. (2023). Economic resilience assessment and policy interaction of coal resource oriented cities for the low carbon economy based on AI. Resources Policy, 82, 103522.
[40] Xing, J., & Ng, S. T. (2022). Analyzing spatiotemporal accessibility patterns to tertiary healthcare services by integrating total travel cost into an improved E3SFCA method in Changsha, China. Cities, 122, 103541.
[41] Kim, Y., Byon, Y. J., & Yeo, H. (2018). Enhancing healthcare accessibility measurements using GIS: A case study in Seoul, Korea. PloS one, 13(2), e0193013.
[42] Dutta, B., Das, M., Roy, U., Das, S., & Rath, S. (2021). Spatial analysis and modelling for primary healthcare site selection in Midnapore town, West Bengal. GeoJournal, 1-30.
[43] Miranda, F., Hosseini, M., Lage, M., Doraiswamy, H., Dove, G., & Silva, C. T. (2020, April). Urban mosaic: Visual exploration of streetscapes using large-scale image data. In Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-15).
[44] Grindrod, P., Higham, D. J., & MacKay, R. S. (2014). Opportunities at the Mathematics/Future Cities Interface. arXiv preprint arXiv:1409.1831.
[45] Ding, G., Guo, J., Pueppke, S. G., Yi, J., Ou, M., Ou, W., & Tao, Y. (2022). The influence of urban form compactness on CO2 emissions and its threshold effect: evidence from cities in

China. Journal of environmental management, 322, 116032.
[46] Alahi, M. E. E., Sukkuea, A., Tina, F. W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K., & Mukhopadhyay, S. C. (2023). Integration of IoT-enabled technologies and artificial intelligence (AI) for smart city scenario: recent advancements and future trends. Sensors, 23(11), 5206.
[47] Syed, A. S., Sierra-Sosa, D., Kumar, A., & Elmaghraby, A. (2022). Making cities smarter—optimization problems for the IoT Enabled smart city development: a mapping of applications, objectives, constraints. *Sensors*, *22*(12), 4380.