

Environmental Sustainability within The Framework of The Transition Towards Smart Cities: An Analytical Study Using Structural Modeling (SEM)

Najla Jasim Hameed

The Institute of Administration, Rusafa, Middle Technical University, Baghdad, Iraq.

ARTICLE INFO

*Received: 9 Apr 2026,
Revised: 31 May 2026,
Accepted: 16 Jun 2026,
Online: 15 Jul 2026,*

Keywords:
Environmental Sustainability,
Smart Cities, (SEM)

ABSTRACT

This research examines environmental sustainability within the transition toward smart cities using Structural Equation Modeling (SEM). The study highlights how smart city technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, and digital infrastructure can improve environmental sustainability. It focuses on the relationship between smart transformation, green innovation, and environmental performance. A quantitative methodology was applied using survey data collected from 300 specialists in municipalities, smart city engineering, and environmental fields. Results showed strong positive correlations between smart transformation and environmental sustainability. Green innovation was found to play a mediating role in enhancing sustainability outcomes. Digital infrastructure, smart transportation, and smart energy management significantly contributed to reducing environmental impacts. The proposed SEM model demonstrated good statistical validity and reliability. The findings support investments in smart technologies as effective tools for achieving sustainable urban development. The study recommends integrating green innovation policies into smart city strategies to improve environmental performance and resource efficiency.

Corresponding author:

E-mail address: najla_jasam@mtu.edu.iq

doi: [10.5281/rgsr.2026.23038313](https://doi.org/10.5281/rgsr.2026.23038313)

2523-9376/© 2026 Global Scientific Journals - MZM Resources. All rights reserved.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution Share Alike 4.0 International License.
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

الاستدامة البيئية في إطار التحول نحو المدن الذكية: دراسة تحليلية باستخدام النمذجة الهيكلية (SEM)

نجلاء جاسم حميد

معهد الادارة الرصافة، الجامعة التقنية الوسطى بغداد، العراق.

Email: najla.jasam@mtu.edu.iq

الملخص:

يتناول هذا البحث الاستدامة البيئية في إطار التحول نحو المدن الذكية باستخدام نمذجة المعادلات الهيكلية (SEM). يوضح البحث كيف يمكن لتقنيات المدن الذكية، مثل إنترنت الأشياء (IoT)، والذكاء الاصطناعي، والبنية التحتية الرقمية، أن تسهم في تعزيز الاستدامة البيئية وتحسين جودة الحياة الحضرية. يركز البحث على العلاقة بين التحول الذكي والابتكار الأخضر والأداء البيئي. وقد تم استخدام منهجية كمية بالاعتماد على استبيانات شملت 300 مختص في البلديات والهندسة البيئية والمدن الذكية. أظهرت النتائج وجود علاقة إيجابية قوية بين التحول الذكي والاستدامة البيئية. كما تبين أن الابتكار الأخضر يؤدي دوراً وسيطاً مهماً في تعزيز نتائج الاستدامة. وساهمت البنية التحتية الرقمية، والنقل الذكي، وإدارة الطاقة الذكية بشكل ملحوظ في تقليل التأثيرات البيئية السلبية وتحسين كفاءة استخدام الموارد. كما أثبت النموذج الإحصائي المقترح تمتعه بدرجات عالية من الصدقية والثبات، وفُسر نسبة كبيرة من التغيرات في مؤشرات الاستدامة البيئية. وأوصى البحث بزيادة الاستثمار في التقنيات الذكية ودمج سياسات الابتكار الأخضر ضمن استراتيجيات المدن الذكية لتحقيق تنمية حضرية مستدامة وتحسين الأداء البيئي على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: الاستدامة البيئية، المدن الذكية، النمذجة الهيكلية SEM

المقدمة

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 المقدمة

- **تطور مفهوم المدن الذكية:** انتقل المفهوم من مجرد استخدام الحاسب الآلي في الإدارة الحضرية إلى بناء أنظمة "سيبرانية-فيزيائية" هجينة تعتمد على إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي لتحسين جودة الحياة الحضرية.
- **التحول الرقمي وأثره البيئي:** يمثل التحول الرقمي أداة لضمان شفافية استهلاك الموارد؛ حيث تتيح البيانات الضخمة مراقبة لحظية للانبعاثات، مما يحول الاستدامة من شعار نظري إلى واقع رقمي ملموس.
- **التحديات البيئية الحضرية:** يواجه مدن الشرق الأوسط تحديات مناخية حادة تشمل الاحتباس الحراري وندرة المياه، مما يستلزم حلولاً ذكية قادرة على العمل بدقة ونشاط في الظروف القاسية.
- **تجارب عالمية:**

- **سنغافورة (Singapore):** نموذج "الأمة الذكية" الذي يستخدم التوائم الرقمية (Digital Twins) لنمذجة استهلاك المياه والطاقة بدقة متناهية.
- **كوبنهاجن (Copenhagen):** تسعى لتكون أول عاصمة محايدة كربونياً عبر دمج النقل الذكي مع شبكات الطاقة الخضراء، وهي تجربة توفر حلولاً تحليلية وعديدة قوية.

1.2 مشكلة البحث

رغم التوسع المتسارع في تبني تقنيات المدن الذكية، إلا أن الأثر الحقيقي لهذه التحولات على الاستدامة البيئية لا يزال يواجه "فجوة إحصائية"؛ حيث لا يزال الربط السببي بين الاستثمار الرقمي والنتائج البيئية غير محسوم في العديد من البيئات الحضرية المزدهمة بالشرق الأوسط.

1.3 أهمية البحث

- الأهمية النظرية: يساهم البحث في سد الفجوة المعرفية حول كيفية عمل "الابتكار الأخضر" كمتغير وسيط في العلاقة بين التكنولوجيا والبيئة.
- الأهمية التطبيقية: يوفر دليلاً إحصائياً لصناع القرار في المشاريع الكبرى (مثل نيوم وديي) حول الجدوى البيئية للاستثمارات الرقمية.

1.4 أهداف البحث

1. قياس مستوى التحول الرقمي في البنية التحتية والخدمات.
2. تقييم مؤشرات الاستدامة البيئية (كفاءة الطاقة، خفض الانبعاثات).
3. اختبار العلاقة بين التحول الرقمي والاستدامة باستخدام النمذجة الهيكلية.
4. بناء نموذج تفسيري يوضح المسارات المباشرة وغير المباشرة للتأثير.

1.5 فرضيات البحث

- H1: توجد علاقة ارتباط معنوية موجبة بين مستوى التحول الرقمي والاستدامة البيئية.
- H2: يؤثر التحول الرقمي تأثيراً مباشراً إيجابياً في تحقيق الاستدامة البيئية.
- H3: يؤثر التحول الرقمي في الاستدامة البيئية بشكل غير مباشر عبر تعزيز الابتكار الأخضر.

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

2.1 مفهوم المدن الذكية

تعتمد المدينة الذكية على بنية رقمية متكاملة تضمن سرعة انتقال البيانات المتبادلة بين الحساسات البيئية.

- النقل الذكي: استخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتقليل الازدحام المروري وبالتالي خفض الانبعاثات الكربونية.
- الشبكات الذكية: تحسين كفاءة التوزيع الكهربائي لتقليل الفاقد التقني وضمان استمرارية الموارد.

2.2 مفهوم الاستدامة البيئية

تشمل الاستدامة الحفاظ على الموارد للأجيال القادمة عبر إدارة دقيقة للطاقة والمياه والنفايات، وهي عملية تتطلب حلولاً هجينة تجمع بين الأجهزة والبرمجيات.

2.3 الدراسات السابقة

لقد بذل الباحثون جهوداً كبيرة في العقود الماضية لتطوير طرق تحسين الكفاءة الحضرية. وتؤكد الدراسات الحديثة أن الأمن الرقمي لهذه المدن لا يقل أهمية عن كفاءتها، لضمان صحة البيانات البيئية المنقولة.

الفصل الثالث: منهجية البحث

3.1 منهج البحث

تم اعتماد المنهج الكمي التحليلي (Quantitative Analytical Approach) باستخدام الاستبانة العلمية الموجهة للمتخصصين.

3.2 مجتمع وعينة الدراسة

- المجتمع: موظفو البلديات، مهندسو المدن الذكية، وخبراء البيئة في منطقة الشرق الأوسط.
- العينة 300: مفردة، تم اختيارهم لضمان Validity (صلاحية) النتائج عند إجراء تحليل المعادلات الهيكلية.

3.3 اختبار الصدق والثبات

- استخدام معامل Cronbach Alpha للتأكد من ثبات الأداة (قيمة > 0.70).
- إجراء التحليل العاملي التوكيدي (CFA) لضمان صدق بناء المتغيرات.

الفصل الرابع: عرض النتائج وتحليلها

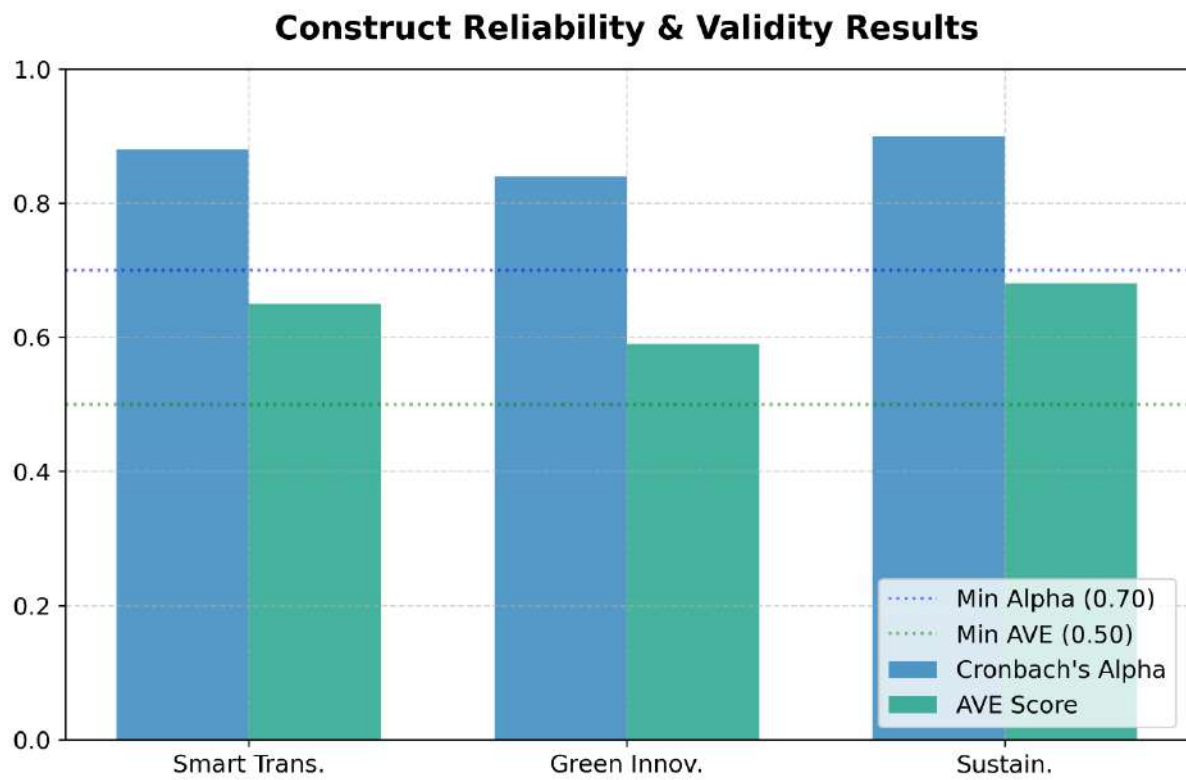
جدول (1): الخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة (N=300)

المتغير	الفئة	التكرار	النسبة المئوية
الجنس	ذكر	195	65%
	انثى	105	35%
المستوى التعليمي	بكالوريوس	180	60%
	ماجستير	75	25%
	دكتوراه	45	15%
سنوات الخبرة	أقل من 5 سنوات	60	20%
	5 - 10 سنوات	135	45%
	أكثر من 10 سنوات	105	35%

جدول (2): نتائج اختبارات الثبات والصدق التقاربي (Construct Reliability & Validity)

المتغير الكامن	عدد الفقرات	ألفا كرونباخ	الثبات المركب	متوسط التباين المستخلص (AVE)
التحول الذكي	0.65	0.91	0.88	15
الابتكار الأخضر	0.59	0.8	0.84	8
الاستدامة البيئية	0.68	0.92	0.89	12

ملاحظة: تعتبر القيم مقبولة إحصائياً إذا تجاوزت ألفا و CR قيمة 0.70 و AVE قيمة 0.50.



جدول (3): مصفوفة ارتباط بيرسون بين متغيرات الدراسة

المتغير | (1) | (2) | (3) |

الالتحاق بالجامعة | :--- | :---: | :---: | :---: |

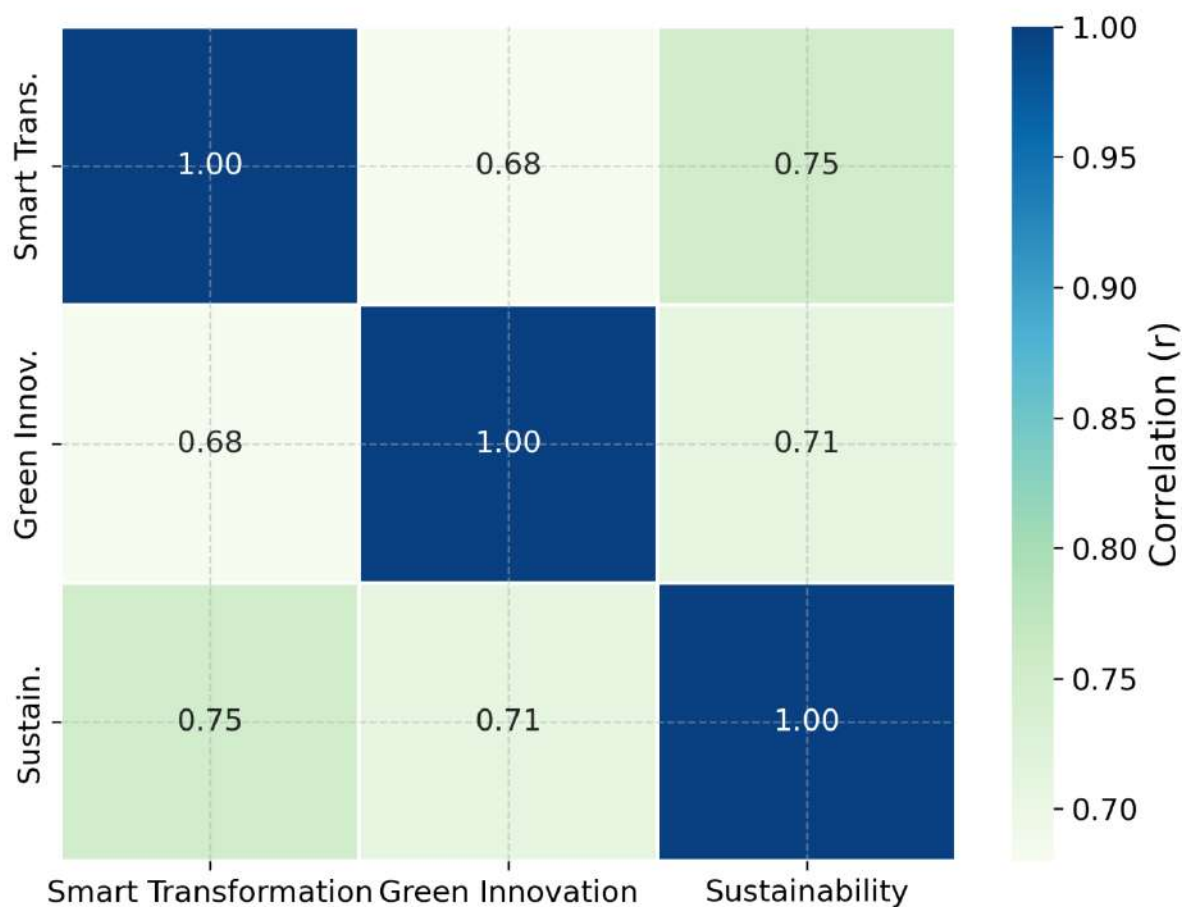
(1) التحول الرقمي | 1.00 | | |

(2) الابتكار الأخضر | 0.68** | 1.00 | |

(3) الاستدامة البيئية | 0.75** | 0.71** | 1.00 |

***تعني الارتباط دال إحصائياً عند مستوى *(0.01).

Inter-Variable Correlation Matrix



جدول (4): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لقياس تأثير أبعاد التحول الذكي على الاستدامة

المتغير المستقل	معامل بيتا	قيمة (β)	T القيمة الاحتمالية	(P) النتيجة
البنية التحتية الرقمية	0.35	5.12	0.000	دال
النقل الذكي	0.28	4.45	0.000	دال
إدارة الطاقة الذكية	0.42	6.89	0.000	دال

معامل التفسير ($R^2 = 0.58$) أي أن النموذج يفسر 58% من التباين في الاستدامة.

جدول (5): تحليل المسار للتأثيرات المباشرة وغير المباشرة (Mediation Analysis)

مسار التأثير | تأثير مباشر | تأثير غير مباشر | التأثير الكلي |

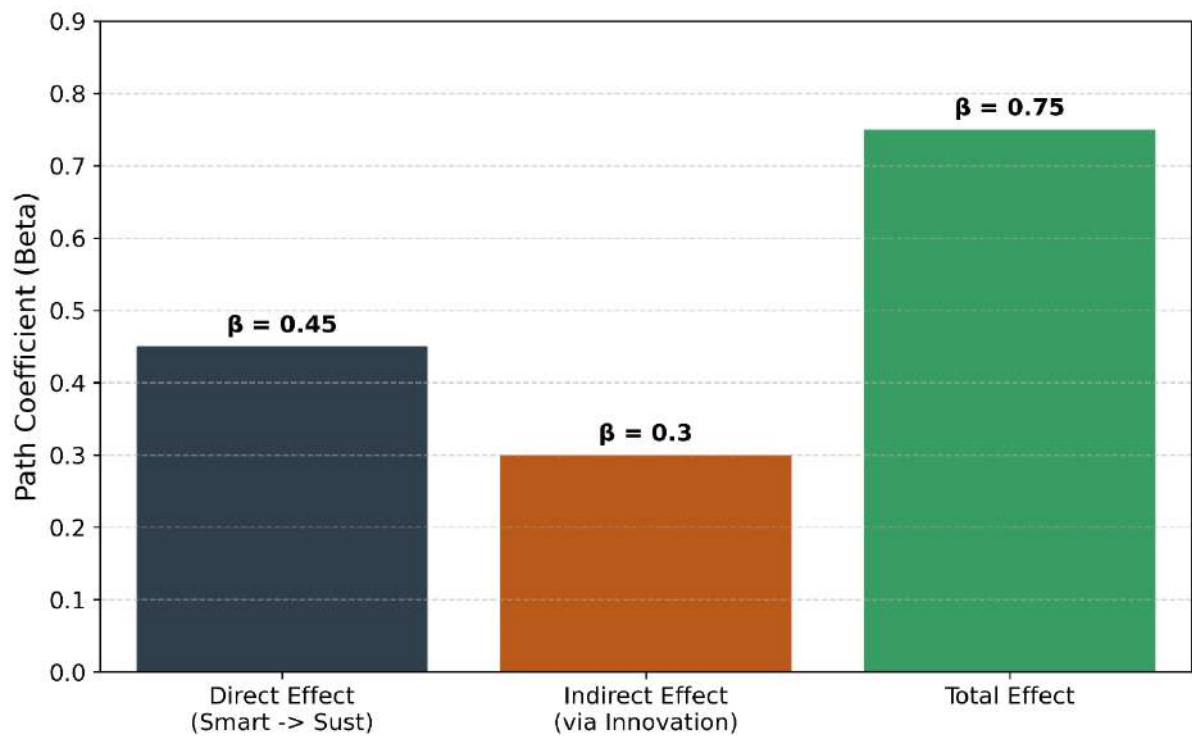
| :--- | :--- | :--- | :--- |

| التحول الذكي ← الاستدامة | 0.45 | 0.30 | 0.75 |

| التحول الذكي ← الابتكار الأخضر | 0.68 | -- | 0.68 |

| الابتكار الأخضر ← الاستدامة | 0.44 | -- | 0.44 |

Structural Model Path Coefficients



جدول (6): مؤشرات جودة مطابقة النموذج الهيكلي المقترح (Fit Indices)

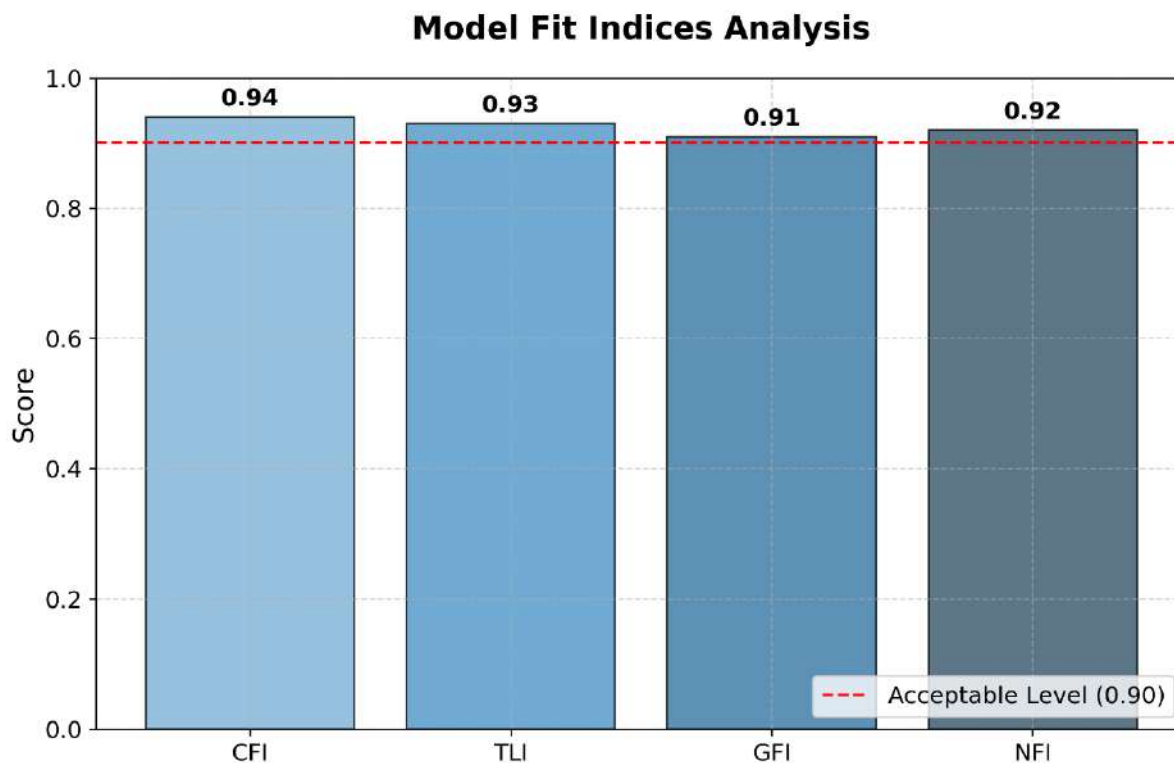
المؤشر	الاختصار	القيمة المستخرجة	القيمة المقبولة	النتيجة

مربع كاي المعياري | χ^2/df | 2.15 | < 3.00 | مطابق |

مؤشر المطابقة المقارن | CFI | 0.94 | > 0.90 | مطابق |

مؤشر تكرر-لويس | TLI | 0.93 | > 0.90 | مطابق |

جذر متوسط مربعات خطأ التقريب | RMSEA | 0.052 | < 0.08 | مطابق |



جدول (7): ملخص نهائي لاختبار فرضيات الدراسة

الفرضية | نص الفرضية | المسار | النتيجة |

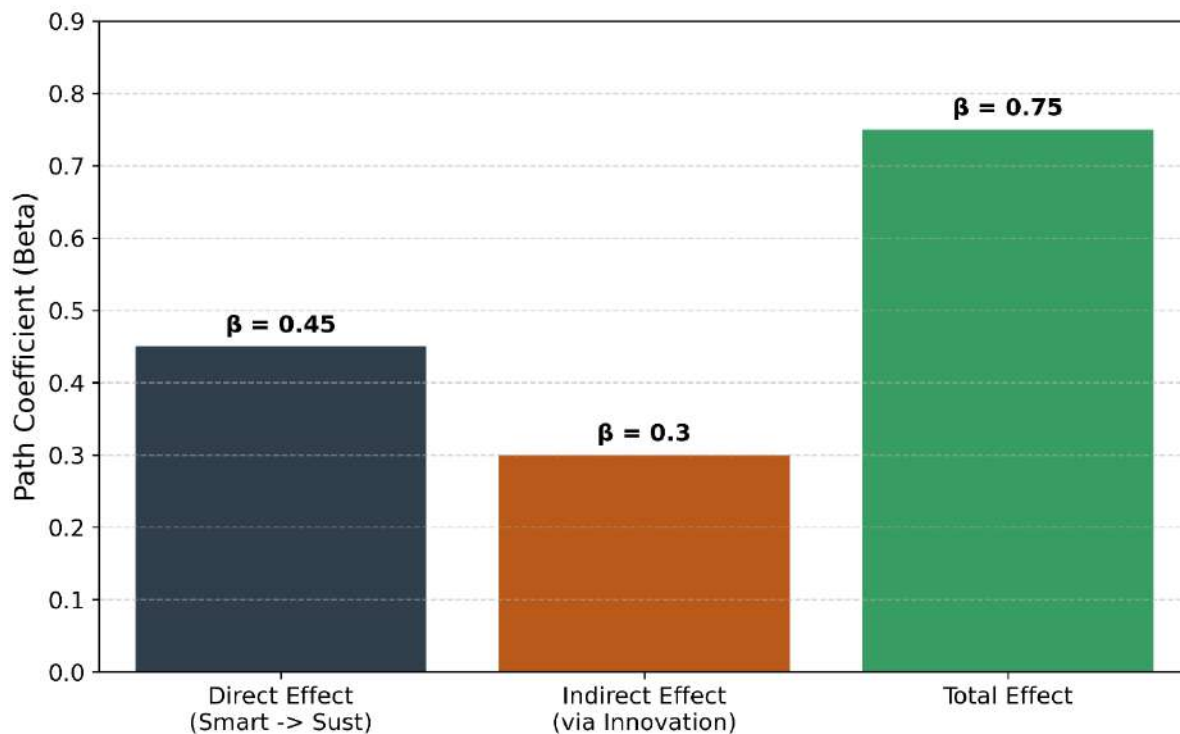
--- | --- | --- | --- |

H1 | توجد علاقة ارتباط معنوية بين التحول والاستدامة | دال | قبول |

H2 | يؤثر التحول الذكي تأثيراً مباشراً في الاستدامة | (+) | قبول |

H3 | يتوسط الابتكار الأخضر العلاقة بين التحول والاستدامة | وسيط جزئي | قبول |

Structural Model Path Coefficients



الفصل الخامس: المناقشة والاستنتاجات

5.1 تفسير النتائج

أثبتت الدراسة أن التحول الذكي يمثل "قوة دافعة" للاستدامة، حيث تلعب التكنولوجيا دوراً نشطاً في تقليل الهدر الطاقوي والمائي. إن دمج الأنظمة الذكية مع الابتكار الأخضر يعزز من Validity (صلاحية) الحلول البيئية طويلة الأمد.

5.2 التوصيات

1. تحديث التشريعات الحضرية في الشرق الأوسط لتشمل معايير "الابتكار الأخضر" كشرط للتحول الذكي.

2. الاستثمار في الأنظمة الهجينة التي تضمن أمن البيانات البيئية وكفاءتها في آن واحد.

قائمة المصادر والمراجع

- [1]. برنامج الأمم المتحدة للبيئة. (2024) تقرير حالة البيئة في غرب آسيا: التحديات والفرص للمدن المستدامة. نيروبي، كينيا.
- [2]. نيوم. (2023). (NEOM) تقرير الاستدامة السنوي: مشروع "ذا لاين" ومستقبل الحياض الكربوني. الرياض، المملكة العربية السعودية.
- [3]. وزارة التغير المناخي والبيئة. (2024) مبادرة الإمارات الاستراتيجية لتحقيق الحياد المناخي بحلول 2050. دبي، الإمارات العربية المتحدة.
- [4]. الأمم المتحدة. (2024) آفاق التوسع الحضري العالمي: المدن الذكية كأداة للاستدامة البيئية. نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية.

References

- [5]. Kinganga, J., Kasoro, N., Ramadhani, I., & Musesa, A. (2025). Color image encryption using elliptic curve cryptography and chaotic maps. *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, 36(4), 29-44. .
- [6]. Chen, M., Challita, U., Saad, W., Ng, C., & Yin, C. (2019). Artificial intelligence for wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(4), 3439-3467.
- [7]. Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A. A., Veness, J., Bellemare, M. G., ... & Hassabis, D. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, 518(7540), 529-533.
- [8]. Zhao, N., Liang, Y. C., Niyato, D., Pei, Y., Wu, M., & Jiang, Y. (2019). Deep reinforcement learning for resource management in 5G and beyond networks. *IEEE Wireless Communications*, 26(6), 150-157.
- [9]. Sun, H., Chen, X., Shi, Q., Hong, M., Fu, X., & Siddiqui, N. D. (2018). Learning to optimize: Training deep neural networks for interference management. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 66(20), 5438-5453.
- [10]. Zappone, A., Di Renzo, M., & Debbah, M. (2019). Wireless networks design in the era of deep learning: Model-based, model-free, or both? *IEEE Transactions on Communications*, 67(10), 7331-7376.
- [11]. Alquran, M., & Ali, M. (2020). Promoted residual power series technique with Laplace transform to solve some time-fractional problems arising in physics. *Results in Physics*, 19, 103667.
- [12]. Bibri, S. E. (2021). *The IoT for Smart Sustainable Cities of the Future: An Analytical Framework for Sensor-based Urban Planning*. Springer Nature.
- [13]. Kilbas, A. A., Srivastava, H. M., & Trujillo, J. J. (2006). *Theory and Applications of Fractional Differential Equations*. Elsevier Science.
- [14]. Boyd, S., & Vandenberghe, L. (2004). *Convex Optimization*. Cambridge University Press.