أثر التحضر على تلوث الهواء في بعض الدول النامية: دراسة تطبيقية باستخدام نموذج STIRPAT

إعداد

د. أميرة تهامي الطيب

أستاذ الاقتصاد المساعد

كلية التجارة جامعة الزقازيق

amira_eltayb@zu.edu.eg

orcid.org/0000-0001-5069-9700

د. إيمان خيري السيد إبراهيم

مدرس الاقتصاد

كلية التجارة جامعة الزقازيق

emankk2000@yahoo.com

المجلة العلمية للدراسات والبحوث المالية والتجارية

كلية التجارة – جامعة دمياط

المجلد السادس ــ العدد الثاني ــ الجزء الرابع ــ يوليو ٢٠٢٥

التوثيق المقترح وفقاً لنظام APA:

الطيب، أميرة تهامي؛ **إبراهيم**، إيمان خيري السيد (٢٠٢٥). أثر التحضر على تلوث الهواء في بعض الدول النامية: دراسة تطبيقية باستخدام نموذج STIRPAT، **المجلة العلمية للدراسات والبحوث المالية والتجارية**، كلية التجارة، جامعة دمياط، ٦(٢)٤، ٤٠٣-٤٢٧.

رابط المجلة: https://cfdj.journals.ekb.eg/

أثر التحضر على تلوث الهواء في بعض الدول النامية: دراسة تطبيقية باستخدام نموذج STIRPAT

د. أميرة تهامي الطيب؛ د. إيمان خيري السيد إبراهيم

الملخص

استهدفت هذه الورقة البحثية قياس أثر التحضر على تلوث الهواء في مجموعة مختارة من البلدان النامية ذات الدخل المتوسط والمنخفض وعددها ١٣ دولة، وقد تم اختيار هذه الدول لأنها تجسد التحول الهيكلي من الاقتصاد القائم على الزراعة إلى الاقتصاد الصناعي خلال الفترة من عام ١٩٩٠ وحتى عام ٢٠٢٣. ولتحقيق هذا الهدف تم استخدام نموذج (STIRPAT) وهو نموٌذج إحصائي يُستخدم لتحليل العلاقة بين الأنشطة البشرية (مثل السكان، التنمية الاقتصادية، التنمية الحضرية) والتأثيرات البيئية (مثل انبعاثات الكربون، تدهور البيئة) وتمت الاستعانة بنموذجي , fixed Effects Model Random Effects Model . وتوصلت الورقة البحثية إلى وجود علاقة عكسية قوية بين عدد سكان المناطق الحضرية كنسبة مئوية من إجمالي السكان(LNURBAN) وبين لوغاريتم متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (LNCO2PC)، وهذا يعني أن زيادة مستويات التحضر بمقدار ١٠٠٠ شخص لكل كم٢ يؤدي الى خفض تلوث الهواء بنسبة ٥,٩٪.

الكلمات الدالة: التحضر، تلوث الهواء، مجموعة الدول النامية،Fixed effects Model ، STIRPAT Model، Random effects Model

١.المقدمة

يُعدّ التحضر ظاهرة عالمية تتمثل في تزايد عدد السكان في المناطق الحضرية مقارنة بالمناطق الريفية، وهو ما يؤدي إلى تغيرات كبيرة في البُنى الاقتصادية والاجتماعية والسياسية (Pravitasari, 2015) وقد شهدت العقود الأخيرة تسارعًا ملحوظًا في هذا التحول، خاصة في الدول النامية، نتيجة انتقال السكان إلى المدن بحثًا عن فرص عمل أفضل وظروف معيشية أكثر ملاءمة.

تشير التوقعات إلى أن نسبة السكان الذين يعيشون في المدن ستواصل ارتفاعها، إذ زادت من نحو ٣٠٪ عام ١٩٥٠ إلى أكثر من ٥٦٪ في عام ٢٠٢٠، ومن المتوقع أن تتجاوز ٧٠٪ بحلول عام ٢٠٥٠ (Borck, 2019)ورغم أن المدن تُعدّ محركات رئيسية للنمو الاقتصادي ومراكز للابتكار، إلا أن هذا التوسع الحضري يثير تساؤلات حول آثاره البيئية، ولا سيما على جودة الهواء (Glaeser, 2011).

في ظل التغير المناخي والضغوط البيئية المتزايدة، أصبح من الضروري دراسة العلاقة بين التحضر وتلوث الهواء، باعتبارها قضية معقدة وذات أبعاد اقتصادية واجتماعية وبيئية متشابكة. وتُعدّ هذه العلاقة من أبرز القضايا المطروحة في سياق التنمية الحضرية المستدامة، لا سيما مع تركز التوسع الحضري المتوقع في العقود المقبلة داخل الدول النامية.(Fang et al., 2017) .

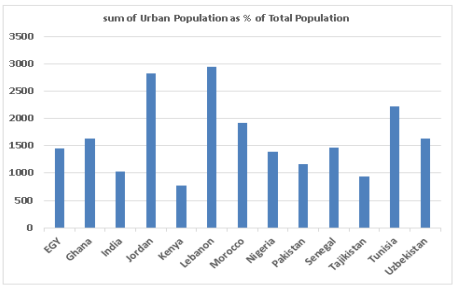
تثير هذه العلاقة جدلًا كبيرًا في الأدبيات الاقتصادية والبيئية، إذ تختلف نتائج الدراسات بين من يرى أن التحضر يزيد من تلوث الهواء نتيجة الكثافة السكانية العالية والاستخدام المكثف للطاقة، ومن يرى أنه قد يسهم في الحد من الانبعاثات عبر تحسين البنية التحتية وتبني تكنولوجيا نظيفة (Jiao, 2015؛ Ouyang, 2017؛ Wang, 2021؛ Gnangoin, 2023.).

وتسعى هذه الورقة البحثية إلى تحليل هذه العلاقة في مجموعة من الدول النامية ذات الدخل المتوسط والمنخفض خلال الفترة (١٩٩٠–٢٠٢٣)، باستخدام نموذجSTIRPAT ، الذي يُعد إطارًا تحليليًا مرنًا لقياس تأثير العوامل الديموغرافية والاقتصادية والتكنولوجية على البيئة (Dietz & Rosa, 1997)كما تعتمد الدراسة على تحليل (Panal Data) لتقدير العلاقة الكمية بين التحضر وتلوث الهواء، ممثلًا في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون للفرد.

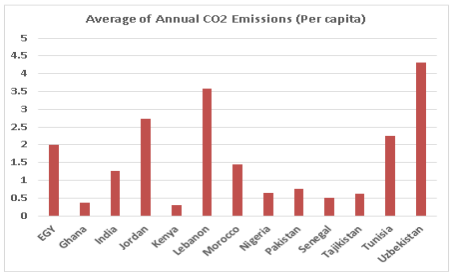
تهدف الورقة البحثية إلى تقديم فهم أعمق لتأثير التحضر على جودة الهواء، واستكشاف ما إذا كانت العلاقة بينهما إيجابية أم سلبية، مع التركيز على الاختلافات بين الدول النامية وفقًا لمستوى دخلها. كما تهدف إلى استخلاص استنتاجات البحث وتحليل انعكاساتها على السياسات الاقتصادية من أجل تحقيق توازن بين التحضر والحد من التدهور البيئي.

تُبرز هذه الإشكالية الحاجة إلى تطوير سياسات حضرية مستدامة تأخذ في الحسبان الأبعاد البيئية للنمو السكاني والعمراني. وقد أكدت منظمات دولية مثل برنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية (UN-Habitat) والبنك الدولي على أهمية دمج الاعتبارات البيئية ضمن استراتيجيات التخطيط الحضري، وذلك في إطار تحقيق أهداف التنمية المستدامة، لا سيما الهدف الحادي عشر المتعلق بالمدن والمجتمعات المستدامة "Sustainable cities and communities (Goal 11)"، والهدف الثالث عشر الخاص بتغير المناخ (UN-Habitat, 2022 (Goal 13) Climate change) (World Bank, 2023).ومن هذا المنطلق، تُعد هذه الورقة البحثية مساهمة علمية تُسهم في سد الفجوة البحثية في هذا المجال، من خلال تحليل تجريبي يركز على واقع الدول النامية، التي تواجه تحديًا مزدوجًا يتمثل في السعي نحو تحقيق النمو الاقتصادي من جهة، وتقليص التأثيرات البيئية السلبية الناتجة عن التحضر من جهة أخرى(Liddle & Sadorsky, 2017) .

وبتتبع تطور التحضر ومتوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني اكسيد الكربون خلال فترة الدراسة (١٩٩٠ الي ٢٠٢٣) في الدول النامية المختارة من خلال الشكل رقم (١) والشكل رقم (٢):



شكل (١): تطور التحضر خلال الفترة (١٩٩٠-٢٠٢٣)



شكل (٢): تطور متوسط نصيب الفرد من انبعاثات CO2

يتضح ان التحضر في الدول النامية ذات الدخل المتوسط والمنخفض، يشهد تسارعًا كبيرًا نتيجة للهجرة من الريف إلى المدن، حيث يبحث السكان عن فرص عمل أفضل ومستوى حياة أعلى. مما يؤدي الي النمو السريع في عدد سكان الحضر، ايضاً هناك اختلاف كبير في تركيز انبعاثات ثاني اكسيد الكربون بين تلك الدول وهذا يدل علي التفاوت الكبير في الادارة البيئية واختلاف البنية التحتية واستخدام الطاقة النظيفة والعوامل الجغرافية. فعلى سبيل المثال نجد ارتفاع انبعاثات ثاني اكسيد الكربون في اوزبكستان مقارنة بعدد سكانها وهذا يرجع لاعتمادها علي مصادر طاقة ملوثه مثل الفحم لتوليد الكهرباء وقيام الصناعة ايضا بنيتها التحتيه تعتبر قديمة ولا تعتمد علي مصادر الطاقة النظيفة.

ويلاحظ ان المغرب من اكثر الدول العربية التزاما باتفاقات المناخ ، حيث دعمت التنقل الأخضر، وقامت بعمل مشاريع كبيرة للطاقة المتجددة ومراقبة جودة الهواء في المدن الكبري لذلك نجد تحسن في بعض مناطقها.

كما يتبين انه بمجرد ان يصل التحضر إلى مستوى معين، يتحول تأثيره على التلوث ليصبح سلبيًا، مما يساهم في تقليل الأضرار البيئية ويرتبط زيادة معدل التحضر بتقليص انبعاثات الكربون، و قد يكون ذلك لأن معدلات التحضر الأعلى قد تؤدي إلى استخدام أكثر كفاءة للطاقة وتكنولوجيا أكثر تطوراً، مما يقلل من انبعاثات الكربون.

وفي هذا السياق، تُنظم بقية الورقة من خلال عرض الدراسات السابقة المتعلقة بعلاقة التحضر بالتلوث البيئي ، ثم يليها المنهجية المستخدمة، بما في ذلك نموذج STIRPAT وخصائص العينة والبيانات والنموذج القياسي والتقديرات والنتائج. ثم عرض لتحليل النتائج وتفسيرها ، وأخيراً تختتم الورقة البحثية بالاستنتاجات وانعكاساتها علي السياسات الاقتصادية .

٢.الدراسات السابقة:

تُظهر بعض الدراسات وجود اختلافات كبيرة على المستوى الدولي في العلاقة بين التحضر وتلوث الهواء، معبّراً عنه بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، والتي تختلف بدرجة كبيرة حسب مستوى التنمية الاقتصادية، والتقدم التكنولوجي، وكفاءة استخدام الطاقة، والسياسات البيئية المتبعة. وتجمع الدراسات الاقتصادية المهتمة بالتنمية على أن العلاقة بين التحضر وتلوث الهواء متعددة الأبعاد سواء عند التطبيق على دولة واحدة أو مجموعة من الدول، أو باستخدام نماذج قياسية متنوعة. ومع ذلك، لا يزال هناك جدل في المجتمع الأكاديمي حول طبيعة تأثير التحضر على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

يرى بعض العلماء أن التحضر يزيد من الانبعاثات الكربونية، حيث يعزز من خلال تطوير البنية التحتية، والأنشطة الصناعية، والنقل، مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة السكنية نتيجة للهجرة من المناطق الريفية إلى الحضرية .(Wang, 2016) من ناحية أخرى، يرى بعض الباحثين أن التحضر يمكن أن يسهم في تقليل انبعاثات الكربون من خلال تأثيره على النمو الاقتصادي، وتحسين كفاءة الطاقة، وتغيير تركيب استهلاك الطاقة النهائي.(Ouyang, 2017; Wang, 2021) .

تشير دراسات أخرى إلى وجود علاقة على شكل منحنى (U) بين التحضر وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون، حيث قام Gnangoin (2023) باختبار العلاقة ووجد أن معدل التحضر له علاقة إيجابية خطية في المدن ذات الكثافة السكانية العالية، وعلاقة على شكل منحنى مقلوب في المدن ذات الكثافة المتوسطة.

جادل Mayar (1999) و Gao et al. (2016)بأن نمو السكان وتوسيع الأراضي هما السببان الرئيسيان في تلوث الهواء الناتج عن التحضر. كما أظهرت دراسات أخرى، مثل Liu et al. (2017)، أن تجمّع السكان داخل المدينة له تأثير أكبر على التلوث البيئي من التوسع الأفقي.

وجد Du et al. (2021) أن التحضر في المدن المجاورة له تأثير أكبر على تلوث الهواء مقارنة بالتحضر داخل المدينة نفسها. واستخدم Gan et al. (2019) نموذج GS3LS على ٦٥ مدينة في الصين، ووجدوا علاقة على شكل منحنى (U) بين النمو الاقتصادي وتلوث الضباب، وأكدوا أن التحضر يؤدي إلى تلوث الهواء عبر عدة قنوات.

وعلى الرغم من أن التحضر يعزز استثمار البنية التحتية، ويوسع سوق الاستهلاك، ويحسن مستوى الدخل والتعليم(Choi et al., 2015; Yuan et al., 2015) ، إلا أنه يزيد من استهلاك الموارد أيضًا، مما يؤدي إلى ما يُعرف بـ "أمراض المدن الكبرى" مثل الازدحام المروري والضوضاء وتلوث الهواء.(Hueglin et al., 2005) .

أكدت منظمة الصحة العالمية أن تلوث الهواء يتسبب في سبعة ملايين حالة وفاة مبكرة سنويًا، وأصبح يشكل خطرًا كبيرًا على صحة السكان.

أظهرت دراسة Asghar et al. (2023) في باكستان باستخدام منهج ARDL أن التحضر يؤدي إلى زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، في حين أن جودة المؤسسات تقلل منها. وأشارت دراسة Houaneb et al. (2025)إلى أن النمو الاقتصادي والتحضر يؤثران على استهلاك الطاقة ويزيدان من الانبعاثات الكربونية في المملكة العربية السعودية.

كما استعرضت دراسة Kivyiro (2023) العلاقة السببية بين التحضر واستهلاك الطاقة وانبعاثات الكربون في بعض دول مجموعة التنمية الإفريقية (SADC) ، حيث بينت أن المتغيرات تتحرك معًا على المدى الطويل، مع وجود علاقة سببية ثنائية الاتجاه بين التحضر والانبعاثات.

أكدت دراسة Sasana et al. (2019) أن التحضر يؤدي إلى آثار بيئية واجتماعية سلبية، حيث ركزت على تأثير التحضر والاستثمار الأجنبي المباشر واستهلاك الوقود على البيئة في إندونيسيا.

وقد استعرضت دراسة Salahuddin et al. (2019) آثار التحضر والعولمة على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في جنوب إفريقيا، ووجدت أن التحضر يزيد من الانبعاثات على المدى الطويل، بينما لا تؤثر العولمة بنفس الدرجة.

خلصت دراسة Anwar et al. (2020) إلى أن النمو الاقتصادي واستهلاك الطاقة هما المحددان الرئيسيان لانبعاثات الكربون، كما أوصت الدراسة بالحد من الهجرة من المناطق الريفية إلى الحضرية.

استخدمت دراسة Bashayreh et al. (2024) بيانات من الأردن للفترة ١٩٧١–٢٠٢١، وأظهرت أن زيادة حصة الطاقة المتجددة تسهم في تقليل انبعاثات الكربون، على الرغم من ارتفاع معدلات التحضر.

أكدت دراسة Salim et al. (2017) أن السكان والرفاهية واستهلاك الطاقة غير المتجددة هي من العوامل الرئيسية التي تؤثر على الانبعاثات، ودعمت فرضية منحنى كوزنتس البيئي (EKC) التي تفترض علاقة غير خطية بين النمو الاقتصادي والتلوث.

في السياق نفسه، استخدمت دراسة Aldegheishem (2024) نموذج ARDL لتحليل العلاقة بين التحضر، استهلاك الطاقة، النمو الاقتصادي، وانبعاثات الكربون في السعودية، مصر، والأردن. وأظهرت أن التحضر لم يكن له تأثير كبير في مصر، لكنه ساهم في زيادة الانبعاثات في السعودية والأردن.

أوضحت دراسة Chen et al. (2022) وجود علاقة على شكل منحنى (U) بين التحضر والانبعاثات في دول منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية(OECD) ، كما بينت أهمية فعالية الحكومة في التخفيف من هذه العلاقة.

أخيرًا، طُبّق نموذج STIRPAT في دراسات مثل Shahbaz et al. (2015) في ماليزيا، و Ma et al. (2024)عالميًا، وأظهرت النتائج أن التحضر له تأثير غير خطي، حيث يقلل من الانبعاثات في البداية ثم يرفعها بعد تجاوز مستوى معين، مما يؤكد أهمية النظر إلى التأثيرات طويلة الأجل.

خلاصة الدراسات السابقة:

تُظهر الأدبيات السابقة أن العلاقة بين التحضر وتلوث الهواء، الممثلة غالبًا في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، لا تزال محل جدل علمي واسع، حيث تنقسم النتائج بين من يرى أن التحضر يسهم في زيادة الانبعاثات نتيجة التوسع الصناعي والنمو السكاني، ومن يرى أن التحضر قد يحد من التلوث إذا ترافق مع تطور تكنولوجي واستثمار في الطاقة المتجددة.

وتؤكد معظم الدراسات على أن **العلاقة بين التحضر والانبعاثات الكربونية ليست خطية**، بل تتخذ غالبًا شكل منحنى (U) أو منحنى مقلوب(Inverted U) ، مما يدعم فرضية **منحنى كوزنتس البيئي (EKC)**. كما بينت الأدبيات أهمية عناصر مثل جودة المؤسسات، البنية التحتية، كفاءة الطاقة، وتباين مستويات الدخل، باعتبارها عوامل وسيطة تؤثر في اتجاه العلاقة وقوتها.

ورغم ثراء الأدبيات، إلا أن عددًا من الفجوات لا يزال قائمًا، من أهمها:

- قلة الدراسات التي تستهدف **الدول النامية ذات الدخل المتوسط والمنخفض بشكل مشترك**.
- إهمال **التأثيرات التعديلية (moderating effects)** مثل الطاقة المتجددة أو الكثافة السكانية.
- وجود عدد محدود من الدراسات التي تطبق نموذج **STIRPAT**بشكل موسّع في بيئة الدول النامية.

بناءً على ذلك، تسعى الورقة البحثية إلى سد هذه الفجوات من خلال تطبيق نموذج STIRPAT على مجموعة من الدول النامية، مع الأخذ في الاعتبار البعد الزمني والديناميكي، وذلك لتقديم فهم أعمق للعلاقة بين التحضر وتلوث الهواء، وتوضيح انعكاسات نتائج البحث على السياسات الاقتصادية في هذه الدول.

وبناءاً على الادبيات المذكورة اعلاه نفترض ما يلي :

الفرض الأول (H1): هناك علاقة موجبة ذات دلالة احصائية بين مستوي التحضر وتلوث الهواء في الدول النامية .

الفرض الثاني (H2):لا يؤثر التحضر وحده في تلوث الهواء بل يتأثر ايضاً بعوامل اقتصادية مثل استهلاك الطاقة المتجددة والمستوى التقني في الصناعات التحويلية.

٣: المنهجية ونتائج التقدير:

٣,١: الإطار العام للمنهجية:

اعتمدت الورقة البحثية على نموذج STIRPAT[١] (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) وهو نموذج إحصائي يُستخدم لتحليل العلاقة بين الأنشطة البشرية (مثل السكان، التنمية الاقتصادية، الحضرية) والتأثيرات البيئية (مثل انبعاثات الكربون، تدهور البيئة). و تم استخدامه لقياس تأثير التحضر Urbanization على تلوث الهواء Air pollution في مجموعة مختارة من البلدان النامية ذات الدخل المتوسط المنخفض وعددها ١٣ دولة وهي [مصر Egypt، باكستان Pakistan، المغربMorocco ، تونس Tunisia، نيجيريا Nigeria، لبنان Lebanon، الأردن Jordan ، الهند India،غانا Ghana، كينيا Kenya، طاجكستان Tajikistan، السنغال Senegal، أوزباكستان Uzbekistan]، وقد تم اختيار هذه الدول لأنها تجسد التحول الهيكلي من الاقتصاد القائم على الزراعة إلى الاقتصاد الصناعي خلال الفترة من عام ١٩٩٠ وحتى عام ٢٠٢٣. ولتحقيق هذا الهدف يستخدم النموذج المتغير التابع ومجموعة المتغيرات المستقلة كما في الجدول رقم (١).

ويعتبر نموذج STIRPAT امتداد لنموذج IPAT الذي استخدمه علماء البيئة لفهم التأثيرات البيئية، ويقوم النموذج بدارسة العلاقة بين المتغيرات الاجتماعية والاقتصادية (مثل السكان، التقنية، والرفاهية) وبين الأثر البيئي. ويظهر في شكل المعادلة التالية:

$$lnI_{it} = \alpha + bLnP_{it} + cLnA_{it} + dLnT_{it} + e_{it} \qquad (Eq.1)$$

- I : الأثر البيئي (مشكلة تلوث الهواء معبرا عنه بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون).
- P : عدد السكان .
- A : مستوى الرفاهية أو الدخل (عادة ما يتم قياسه باستخدام الناتج المحلي الإجمالي للفرد).
- T : التقنية (تقاس عادة بكفاءة استخدام الموارد).
- α : ثابت النموذج
- b ، c، d : القوى الأسية التي تعكس التأثيرات النسبية للمؤشرات المختلفة (مثل السكان، الرفاهية، والتكنولوجيا).

---

[١] يعتبر نموذج STIRPAT شكلاً احتماليًا لهوية IPAT، التي اقترحها في البداية كل من Ehrlich وHoldren في عام 1974 وتظهر الصيغة الأساسية لنموذج IPAT كما يلي: $I = P \times A \times T$ (١) حيث:

I تمثل تأثير الأنشطة البشرية على البيئة، بما في ذلك انبعاثات الكربون، واستهلاك الموارد والطاقة وغيرها من الانشطة.

P تمثل حجم السكان

A تمثل الثراء، وغالبًا ما يُعبر عنها بالثروة للفرد الواحد

T تمثل مستوى التكنولوجيا. ومن هنا يُستخدم هذا النموذج لتحليل تأثير الأنشطة البشرية على البيئة، كما يوفر أساسًا نظريًا لفهم أعمق لآليات انبعاث الكربون. ومع ذلك، يُعتبر هذا النموذج بسيطًا ويفترض تأثيرات نسبية لكل عامل من العوامل المؤثرة. وللتغلب على هذا القصور، اقترح Dietz و Rosa نموذج STIRPAT، والذي يتمثل في الصيغة التالية:

$I = a \times P^b \times A^c \times T^d \times e$ (٢) حيث:

- a هو الحد الثابت في النموذج
- b, c, d هي معاملات المتغيرات المستقلة
- e هو الحد العشوائي (الخطأ).

- ε : الخطأ العشوائي في النموذج.(يمثل المتغيرات التى تؤثر على الأثر البيئى ، لكنها لم تدخل صراحة فى النموذج).

وتم تطوير نموذج STIRPAT من خلال إدخال **معدل التحضر** لتحليل تأثير التحضر على انبعاثات ثاني اكسيد الكربون. وقد تمت صياغة النموذج الموسّع على النحو التالي:

$$lnCO2PC_{it} = \beta_0 + \beta_1 LnURBAN_{it} + \gamma_{it} X_{it} + \delta LnA_{it} + \varepsilon_{it} \quad (Eq.2)$$

حيث إن:

- **β** (المعامل الخاص بالسكان): يشير إلى التأثير الذي يحدثه عدد السكان على الأثر البيئي. إذا كان βأكبر من ١، فهذا يعني أن الزيادة في عدد السكان تزيد من الأثر البيئي بشكل غير متناسب.
- **γ** (المعامل الخاص بالرفاهية): يعكس تأثير مستوى الدخل أو الرفاهية على الأثر البيئي. إذا كانت γأكبر من ١، فهذا يعني أن زيادة الرفاهية (مثل زيادة الدخل) تؤدي إلى زيادة أكبر في الأثر البيئي.
- **δ** (المعامل الخاص بالتكنولوجيا): يعكس تأثير التقدم التكنولوجي على الأثر البيئي. تقنيات أكثر كفاءة قد تقلل من الأثر البيئي.

بصفة عامة، يعتبر نموذج STIRPAT أداة قوية لفهم كيفية تأثير العوامل الاجتماعية والاقتصادية والتكنولوجية على البيئة، ويساعد في تحليل آثار السياسات المختلفة على التغيرات البيئية. وفي هذه الورقة البحثية، تم اختيار انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون كمتغير تابع، لتمثيل تلوث الهواء وانبعاثات الكربون. وتم اعتماد نسبة السكان الحضريين إلى إجمالي السكان كمتغير تفسيري رئيسي، لتمثيل معدل التحضر. إذ إن التغيرات في التحضر قد تؤثر بشكل مباشر على أنشطة الإنتاج الاقتصادي، والطلب على الطاقة، وأنماط الحياة، وسلوكيات الاستهلاك، مما يؤثر على استخدام الطاقة والانبعاثات الناتجة عنها. وبالتالي، فإن **تغير معدل التحضر قد يؤثر بشكل مباشر على انبعاثات الكربون**.

٣,٢: النموذج القياسي للدراسة وطرق التقدير:

لقياس تأثير التحضر Urbanization على تلوث الهواء Air pollution في مجموعة مختارة من البلدان النامية ذات الدخل المتوسط المنخفض خلال الفترة من عام ١٩٩٠ وحتى عام ٢٠٢٣. تم استخدام أسلوب تحليل بيانات السلاسل المقطعية Panel Data Analysis، ويمكن صياغة هذا النموذج كما في المعادلة التالية:

$$Y_{it} = \beta_{0(i)} + \sum_{j=1}^{k} \beta_j X_{j(it)} + \varepsilon_{it} \qquad (Eq\ 3)$$

حيث ان :Y_{it} تمثل قيمة متغير الاستجابة (المتغير التابع) في المشاهدة (عدد الدول) i عند الفترة الزمنيـة t، كما تمثـل $\beta_{0(i)}$ قيمة نقطة التقاطع في المشاهدة i، β_j تمثل قيمة ميل خط الانحدار، $X_{j(it)}$ تمثل قيمة المتغير التفسيري j في المشاهدة iعند الفترة الزمنيـة t، وتشير ε_{it} الخطأ في المشاهدة i عند الفترة الزمنية t.

وهناك أكثر من طريقة لتقدير هذه العلاقة تعتمد على حزمة البرامج التي يتم الاعتماد عليها، ولكن بصفة عامة فإنه توجد ٤ نماذج يتم استخدامها في التقدير تعتمد على طبيعة البيانات والتي تكون في شكل بيانات السلاسل المقطعية وهي كالتالي: (١) نموذج الانحدار المجمع Pooled Regression Model (PRM)، (٢) ونموذج الأثار الثابتة Fixed Effects Model (FEM)، (٣)

ونموذج الأثار العشوائية Random Effects Model (REM). (Maddala et al 1992) وللاختيار والمفاضلة بين النماذج السابق الإشارة إليها وتحديد النموذج الأكثر ملائمة، يتم اجراء بإجراء اختبار.(Hausman, 1978) (Maddala et al 1992) فإذا كانت القيمة المحسوبة لإحصائية الاختبار χ^2 أكبر من القيمة الجدولية، نرفض فرض العدم وبالتالي يكون نموذج الأثار الثابتة هو الأفضل في التقدير، والعكس صحيح. (٤) تحليل السلاسل الديناميكية Dynamic Panel data. ويمكن تعرف هذه المتغيرات كما في الجدول رقم (١) التالي:

جدول رقم (١): جدول يوضح المتغيرات ومصادر الحصول عليها

م	المتغير	الرمز	مصدر البيان
١.	انبعاثات ثاني أكسيد الكربون السنوية (للفرد)	CO2PC	Global Carbon Budget (2024)
٢.	عدد سكان المناطق الحضرية كنسبة مئوية من إجمالي السكان	URBAN	World Bank Database, 2024
٣.	الكثافة السكانية (عدد الأشخاص لكل كيلومتر مربع من مساحة الأرض)	POP	
٤.	مؤشر استهلاك الطاقة المتجددة	REC	World Bank Database, 2024
٥.	القيمة المضافة للصناعات التحويلية المتوسطة والعالية التقنية كنسبة من القيمة المضافة للصناعات التحويلية	HTECH	

ويمكن تعريف هذه المتغيرات كما يلي:

١. **انبعاثات ثاني أكسيد الكربون السنوية (للفرد) (CO2PC):** (Annual CO2 emissions (per capita)) يتم حسابها على أنها إجمالي الانبعاثات مقسومًا على عدد السكان. تستند هذه البيانات إلى الانبعاثات الإقليمية، والتي لا تأخذ في الاعتبار الانبعاثات المضمنة في السلع المتداولة، لا يتم تضمين الانبعاثات من الطيران والشحن الدوليين في انبعاثات أي دولة أو منطقة.

٢. **عدد سكان المناطق الحضرية كنسبة مئوية من إجمالي السكان (URBAN):** (Urban population as % of total population) يشير إلى عدد الأشخاص الذين يعيشون في المناطق الحضرية كما حددتها المكاتب الإحصائية الوطنية. يتم جمع البيانات وتسويتها بواسطة شعبة السكان التابعة للأمم المتحدة.

٣. **الكثافة السكانية (عدد الأشخاص لكل كيلومتر مربع من مساحة الأرض) (POP):** (Population density (people per sq. km of land area)) وهي عدد السكان في منتصف العام مقسومًا على مساحة الأرض بالكيلومتر المربع. ويستند عدد السكان إلى التعريف الفعلي للسكان، والذي يحسب جميع المقيمين بغض النظر عن الوضع القانوني أو الجنسية - باستثناء اللاجئين غير المقيمين بشكل دائم في بلد اللجوء، والذين يُعتبرون عمومًا جزءًا من سكان بلدهم الأصلي.

٤. **القيمة المضافة للصناعات التحويلية المتوسطة والعالية التقنية كنسبة مئوية من القيمة المضافة للصناعات التحويلية (HTECH):** (Medium and high-tech manufacturing value added as % manufacturing value added) نسبة القيمة المضافة للصناعات التحويلية المتوسطة والعالية التقنية من إجمالي القيمة المضافة للصناعات التحويلية.

٥. **استهلاك الطاقة المتجددة كنسبة مئوية من إجمالي استهلاك الطاقة النهائي (REC):** (Renewable energy consumption as % of total final energy consumption) استهلاك الطاقة المتجددة هو حصة الطاقة المتجددة في إجمالي استهلاك الطاقة النهائي.

٣,٣: الاختبارات التشخيصية للنموذج Diagnostic Tests:

١. مصفوفة الارتباط بين المتغيرات correlation Matrix

تُظهر مصفوفة الارتباط مدي وجود علاقة بين المتغيرات المختارة في النموذج من عدمه. يوضح جدول رقم (٢) مصفوفة الارتباط بين المتغيرات محل الدراسة، والذي يقوم بدراسة العلاقة بين المتغير التابع نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون CO2PC والمتغيرات المستقلة المدرجة بالنموذج، ويظهر الجدول رقم (٢) وجود علاقة عكسية بين نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون CO2PC وبين واستهلاك الطاقة المتجددة (٠,٨٠٨٣-)، الكثافة السكانية (POP) (٠,١١٣١-). على الجانب الأخر، توجد علاقة طردية بين مستوي التحضر (URBAN) (٠,٦٨٨٧)، والقيمة المضافة للصناعات التحويلية المتوسطة والعالية التقنية كنسبة من القيمة المضافة للصناعات التحويلية (HTECH) (٠,٠٨٦).

جدول رقم (2): مصفوفة الارتباط بين المتغيرات محل الدراسة

	CO2PC	URBAN	POP	REC	HTECH
CO2PC	1.000٠٠٠				
URBAN	0.68870	1.000٠٠٠			
POP	-0.11312	-0.11263	1.000٠٠٠		
REC	-0.808290	-0.6863785	0.033826	1.000٠٠٠	
HTECH	0.086151	0.03156	0.05145	-0.1101	1.000٠٠٠

٢. تحليل التغاير Covariance Analysis:

من الاختبارات التشخيصية أيضا، اختبار قياس مقدار التغاير بين المتغيرات المدرجة في النموذج Covariance Analysis، وكانت النتائج كما بالجدول (A) بالملحق والتي تشير الي وجود علاقة عكسية بين نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون CO2PC وبين واستهلاك الطاقة المتجددة (٢٦,٧٧٩٨-)، الكثافة السكانية (POP) (٤٠,٤٠٠٦-). على الجانب الأخر، توجد علاقة طردية بين مستوي التحضر (URBAN) (١٦,٧٠٢٤)، والقيمة المضافة للصناعات التحويلية المتوسطة والعالية التقنية كنسبة من القيمة المضافة للصناعات التحويلية (HTECH) (١,٢٥٩٦)

٣. الإحصاءات الوصفية Descriptive Statistics :

بالنظر الي الجدول (٣) يُلاحظ ان متوسط كمية انبعاثات ثاني اكسيد الكربون الناتجة من كل فرد خلال الفترة بلغت ٣,٨٤٨ وحدة وهذه النسبة تتراوح في مدي بين (٠,٢ كحد ادني تحقق في دولة غانا عام ١٩٩٢- ٥ كحد اقصي تحقق في دولة أوزباكستان عام١٩٩٨)، وكما بلغ متوسط عدد السكان المقيمين بالمدن الي اجمالي عدد السكان حوالي ٦٠,٥٥٧ % وتتراوح هذه النسبة في مدي بين (٢٠ % كحد ادني تحقق في دولة كينيا عام ٢٠٠٠ -٩١٪ كحد اقصي تحقق في دولة الاردن عام ٢٠١٨)، ايضا بلغ متوسط استهلاك الطاقة المتجددة نسبة لاجمالي استهلاك الطاقة حوالي ٦,٥ % تقريباً.

جدول رقم (3) الإحصاءات الوصفية للمتغيرات المدرجة في النموذج

	CO2PC	URBAN	POP	REC	**HTECH**
Minimum	0.1717	18.26	42.50	0.700	0.6665
1st Qu.:	0.4738	32.78	67.00	8.575	12.7694
Median	1.4930	47.47	230.29	34.688	21.5507
Mean	3.848	60.557	76.360	6.484	22.758
3rd Qu.:	2.3068	55.82	296.24	51.9	28.5688
Maximum	5.2195	91.63	128.00	88.100	53.0366
Minimum	2.905	20.750	41.360	1.668	6.405

وتم استكمال الاختبارات التشخصية باجراء اختبار التوزيع الطبيعي للمتغيرات المدرجة في النموذج باستخدام اختبار شابيرو-ويلك *(Shapiro-Wilk Test)* لكل متغير، وتؤكد نتائج هذا الاختبار -كما بالجدول رقم (B) بالملحق -علي ان جميع المتغيرات محل الدراسة لا تتبع التوزيع الطبيعي .

كما تم اجراء اختبارات التوزيع الطبيعي للبواقي وذلك بهدف التحقق من ان البواقي موزعة بشكل عشوائي حول الصفر دون أي أنماط واضحة، وإذا ظهرت أنماط غير عشوائية، فيحتاج إلى تعديل النموذج لتحسين أدائه . وأهم هذه الاختبارات اختبار التوزيع الطبيعي للبواقي – *Histogram Normality Test* ، الرسم البياني *Residuals vs Fitted* ، بالاضافة الي رسم *Q-Q Plot (Quantile-Quantile Plot)* ، واسفرت نتائج هذه الاختبارات كما بالاشكال البيانية رقم (A) بملحق الدراسة، الي ان البواقي تتبع التوزيع الطبيعي .

***٣,٤ : اختبارات الاستقرارية أو سكون السلسلة* Stationarity Tests.**

تعد اختبارات استقرار السلسلة من الاختبارات الضرورية قبل البدء في عملية التقدير لان عدم استقرار السلسلة يؤدي الي عدم كفاءة ودقة التقدير، ويتم اجراء الاختبارات في المستوي الأصلي (Level default) وفي الفرق الأول للبيانات (First difference)، وتكون البيانات مستقرة إذا كانت قيمة الإحصائية المحسوبة باحتمال أقل من ٥٪، وغير مستقرة إذا كان الاحتمال أكبر من ٥٪. (Maddala et al ,1992) ومن أهم الاختبارات المستخدمة في اختبار السكون Panel unit root test في بيانات السلاسل المقطعية اختبار Levin, Lin & Chu t (Levin et al., 2002) وكذلك اختبار Im, Pesaran and Shin W-stat (Im et al., 2003)، بالإضافة إلى اختبار – ADF Fisher Chi-square واختبار PP – Fisher Chi-square (Maddla et al,1999).

وتشير نتائج هذه الاختبارات أن جميع المتغيرات مستقرة عند المستوي الأصلي والفرق الأول لها مما يدل على استقرار هذه السلاسل عند الفرق الأول كأقصى تقدير لها، وكانت نتائج الاختبارات، كما في الجدول رقم (٤).

جدول (4): اختبارات مدي استقراريه البيانات Stationarity Tests للمتغيرات محل الدراسة

الاختبارات		المستوي الاصلي (Level default)						الفرق الأول (First difference)		
	المتغيرات	Levin, Lin & Chu t*	Im, Pesaran and Shin W-stat	ADF – Fisher Chi-square	PP – Fisher Chi-square	Levin, Lin & Chu t*	Im, Pesaran and Shin W-stat	ADF – Fisher Chi-square	PP – Fisher Chi-square
LNCO2PC	قيمة الإحصائية Statistic	-1.14131	0.41685	36.1685	35.2787	-7.17110	-11.4691	186.711	385.693
	الاحتمالية Prob.**	0.1269	0.6616	0.2801	0.3158	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
URBAN	قيمة الإحصائية Statistic	-4.52188	3.05097	18.3227	174.781	-0.50853	-1.24115	60.1442	56.1138
	الاحتمالية Prob.**	0.0000	0.9989	0.9747	0.0000	0.3055	0.1073	0.0019	0.0053
REC	قيمة الإحصائية Statistic	-1.33463	0.90299	34.8644	37.3353	-6.35612	-9.31126	158.208	319.701
	الاحتمالية Prob.**	0.0910	0.8167	0.3333	0.2372	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
HTECH	قيمة الإحصائية Statistic	-3.21136	-3.91909	73.6356	75.3006	-15.9377	-15.5739	240.902	331.603
	الاحتمالية Prob.**	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
POP	قيمة الإحصائية Statistic	-4.52188	3.05097	18.3227	174.781	-0.50853	-1.24115	60.1442	56.1138
	الاحتمالية Prob.**	0.0000	0.9989	0.9747	0.0000	0.3055	0.1073	0.0019	0.0053

المصدر: إعداد الباحثين

٣,٥: نتائج تقدير نموذج STIRPAT:

وبناءً علي نتائج اختبار جذر الوحدة (Unit Root Test)– جدول رقم(٤)-سوف يتم الاعتماد في تقدير النموذج علي اسلوبي (طريقتي) (Fixed Effects Model) ، ((Random Effects

١. نموذج الآثار الثابتة (Fixed Effects Model)

تشير نتائج قياس العلاقة بين مستوي التحضر (LNURBAN) وعلاقته بلوغاريتم متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (LNCO2PC)، والتي تقدر عدد مشاهداته ٤٤٢ مشاهدة مكونة من عدد من الدول النامية (country_id) (Number of groups) تساوي ١٣ دولة، خلال الفترة ٣٤ سنة. نموذج الآثار الثابتة (Fixed Effects Model) والذي يتم تقديره باستخدام Oneway (individual) effect (within model) باستخدام حزمة برامج R ، هو نفس النموذج الذي يعتمد على "الآثار الثابتة" الفردية. هذا النموذج يُستخدم عند وجود تباين غير مرئي بين الوحدات (مثل الدول أو الشركات أو الأفراد) عبر الزمن، وهذه التباينات لا يمكن ملاحظتها، ولكن تؤثر على المتغير التابع.

جدول رقم (5): نتائج نموذج الآثار الثابتة(Fixed Effects Model)

Oneway (individual) effect Within Model				
Plm (formula = LNCO2PC ~ POP + URBAN + REC + LNHTCEX, data = panel_data, model = "within")				
Unbalanced Panel: n = 13, T = 25-32, N = 442				
Coefficients:	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(>|t|)
POP	0.00105526	0.00019778	5.3355	1.522e-07 ***
URBAN	-0.00591867	0.00242649	-2.4392	0.01511 *
REC	-0.01602626	0.00292981	-5.4701	7.527e-08 ***
HTECH	0.01103142	0.00283628	3.8894	0.0001159 ***
Total Sum of Squares:	30.781			
Residual Sum of Squares:	9.1654	F-statistic:	261.784 on 4 and 444 DF,	
R-Squared:	0.70224			
Adj. R-Squared:	0.69017	p-value:	< 2.22e-16	
Residuals:				
Min.	1st Qu.	Median	3rd Qu.	Max.
-0.4610082	-0.0972649	0.0017549	0.0983018	0.5751839

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

المصدر: إعداد الباحثين.

تشير نتائج نموذج الآثار الثابتة (Fixed Effects) الي أن قيمة الـ p-value لجميع المتغيرات أيضا أقل من 0.05 ، مما يشير إلى أن المتغيرات لها تأثير كبير على المتغير التابع. كما تشير قيمة معامل التحديد R-squared والتي تساوي 0.70224 هذا يشير إلى أن النموذج يفسر حوالي ٧٠,٢٢٪

من التباين في البيانات. كما تقدر قيمة إحصائية F-statistic بحوالي 261.784 مع احتمالية p-value تساوي 2.22e-16 وهي أقل من ٥٪ يشير إلى أن النموذج ككل ذو دلالة إحصائية قوية. يفسر نموذج الآثار الثابتة نسبة كبيرة من التباين مقارنة بنموذج الآثار العشوائية، وهذا يعكس أن الآثار الفردية (الخصائص الخاصة بكل دولة أو ملاحظة) لها دور كبير في تفسير التباين، كما في الجدول رقم (5).

٢. نموذج الآثار العشوائية (Random Effects) :

تشير نتائج نموذج الآثار العشوائية (Random Effects) الي أن قيمة الـ p-value للجميع أقل من0.05 مما يشير إلى أن جميع المتغيرات لها تأثير كبير على المتغير التابع. كما تشير قيمة معامل التحديد R-squared والتي تقدر قيمتها بحوالي 0.9001، هذا يشير إلى أن النموذج يفسر حوالي ٩٠,٠١٪ فقط من التباين في البيانات. تقدر قيمة إحصائية F-statistic بحوالي 999.99 on 4 and 195 DF مع قيمة احتمالية بحوالي p-value < 2.22e-16 وهي أقل من ٥٪ مما يشير إلى أن النموذج ككل ذو دلالة إحصائية قوية. أضف الى ذلك، فإن تأثيرات العوامل الفردية (individual effects) تشكل ٨٦,٩٪ من التباين في النموذج، بينما التأثيرات العشوائية (idiosyncratic effects) تشكل ١٣,١%. وهو ما يظهر في الجدول رقم (6).

جدول رقم (6): نموذج الآثار العشوائية Random Effects Model

Oneway (individual) effect Random Effect Model (Swamy-Arora's transformation)					
plm (formula = CO2PC ~ POP + URBAN + REC + HTCEX, data = panel_data, model = "random")					
Unbalanced Panel: n = 13, T = 25-32, N = 442					
Coefficients:					
	Estimate		**Std. Error**	**t-value**	**Pr(>|t|)**
C (Intercept)	**2.12291205**		**0.35575768**	**5.9673**	**2.412e-09 *****
POP	**0.00106738**		**0.00035057**	**3.0447**	**0.0023289 ** **
URBAN	**-0.00925322**		**0.00474464**	**-1.9502**	**0.0511467 .**
REC	**-0.01933002**		**0.00282201**	**-6.8497**	**7.398e-12 *****
HTECH	**0.01059521**		**0.00286963**	**3.6922**	**0.0002223 *****
Total Sum of Squares:	**12.345**				
Residual Sum of Squares:	**1.234**		**F-statistic:**	**999.99 on 4 and 195 DF**	
R-Squared:	**0.9001**				
Adj. R-Squared:	**0.8999**		**p-value:**	**< 2.22e-16**	
Effects:					
			var	**std.dev**	**share**
	idiosyncratic		**0.08902**	**0.29836**	**0.131**
	individual		**0.59000**	**0.76812**	**0.869**
theta:					
Min.	**1st Qu.**	**Median**	**Mean**	**3rd Qu.**	**Max.**
0.9225	**0.9293**	**0.9315**	**0.9303**	**0.9315**	**0.9315**
Residuals:					
Min.	**1st Qu.**	**Median**	**Mean**	**3rd Qu.**	**Max.**
-1.06285	**-0.1856**	**-0.0269**	**-0.00058**	**0.15376**	**1.08295**

Signif. codes: 0 ***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

٣. تحديد النموذج المناسب:

أي النموذجين مناسب؟ نموذج الآثار العشوائية (Random Effects) أم نموذج الآثار الثابتة (Fixed Effects) بالمقارنة المبدئية توضح نتائج النماذج أن قيمة الـ p-value لجميع المتغيرات في كلا النموذجين تدل على وجود دلالة إحصائية قوية، ولكن نموذج الآثار العشوائية (Random Effects Model) يوفر تفسيرًا أقوى ويبدو أكثر ملاءمة وذلك بناءً على أن R-squared فيه أعلي والتي تقدر بحوالي (٩٠,٠١٪) مقارنة بنموذج الآثار الثابتة (70.22%) ، وعليه فإن قدرته على تفسير التغيرات التي تحدث في المتغير التابع علاوة على ذلك، مما يؤكد افضلية نموذج الآثار العشوائية وقدرته على توضيح الاختلافات كبيرة بين الدول لأنه يسمح بالتعامل مع هذه الاختلافات بشكل أفضل.

إجراء اختبار هاوسمان (Hausman test) لتحديد أي النموذجين الأنسب بناءً على الدلالة الإحصائية لمقارنة النموذجين. لتحديد النموذج الأنسب بطريقة إحصائية فإننا نعتمد على اختبار هاوسمان (Hausman Test) هو الأداة المثالية لتحديد أي من النموذجين الأنسب: نموذج الآثار الثابتة (Fixed Effects) أو نموذج الآثار العشوائية (Random Effects) يتم استخدام هذا الاختبار للمقارنة بين النماذج وتحديد أيهما أكثر تناسبًا بناءً على دلالة إحصائية.

ويقوم اختبار هاوسمان على فرضيتين (١) الفرضية الصفرية (Null Hypothesis): لا يوجد اختلاف كبير بين النموذجين، أي أن نموذج الآثار العشوائية هو الأنسب. (٢) الفرضية البديلة (Alternative Hypothesis) يوجد اختلاف كبير بين النموذجين، مما يعني أن نموذج الآثار الثابتة هو الأنسب. وتتم خطوات إجراء الاختبار وتفسير نتيجة الاختبار كالتالي:

١. إذا كانت قيمة الـ p-value لاختبار هاوسمان أقل من ٠,٠٥: يتم رفض الفرضية الصفرية، مما يعني أن نموذج الآثار الثابتة هو الأنسب لأن الفرق بين النماذج كبير. ويقصد به أيضا أن الفروق بين الأفراد (الدول) هامة ويجب أن تؤخذ في الاعتبار.

٢. إذا كانت قيمة الـ p-value لاختبار هاوسمان أكبر من ٠,٠٥: لا يتم رفض الفرضية الصفرية، مما يعني أن نموذج الآثار العشوائية هو الأنسب. هذا يشير إلى أن الاختلافات بين الدول ليست هامة وصغيرة وأنه يمكن تفسيرها من خلال العوامل العشوائية فقط.

وبتنفيذ اختبار هاوسمان وبناء على قيم الـ p-value نجد أن قيمتها تقدر بـ 1.621e-07 وهي أقل من ٠,٠٥، مما يعني أن الفرضية الصفرية تُرفض، وبالتالي نموذج الآثار الثابتة هو الأنسب، كما يظهر في جدول رقم (7).

جدول (7) اختبار لاختيار النموذج المناسب Hausman Test

Hausman Test
data: CO2PC ~ POP + URBAN + REC + HTCEX chisq = 34.413, df = 3, p-value = 1.621e-07 alternative hypothesis: one model is inconsistent

التعليق على نتائج النموذج:

من نتائج الاختبارات نؤكد أن النموذج المناسب هو نموذج التأثيرات العشوائية والذي يهدف لقياس العلاقة بين مستوي التحضر (URBAN) وعلاقته بلوغاريتم متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (LNCO2PC)، والتي تقدر عدد مشاهداته 442 مشاهدة مكونة من عدد من الدول النامية (country_id) (Number of groups) تساوي 13 دولة، خلال الفترة ٣٤ سنة. نموذج الآثار الثابتة (Fixed Effects Model) والذي يتم تقديره باستخدام (individual) Oneway effect (within model) باستخدام حزمة البرامج R، هو نفس النموذج الذي يعتمد على "الآثار الثابتة" الفردية. هذا النموذج يُستخدم عند وجود تباين غير مرئي بين الوحدات (مثل الدول أو الشركات أو الأفراد) عبر الزمن، وهذه التباينات لا يمكن ملاحظتها، ولكن تؤثر على المتغير التابع.

تشير نتائج نموذج الآثار الثابتة (Fixed Effects) الي أن قيمة الـ p-value لجميع المتغيرات أيضا أقل من 0.05، مما يشير إلى أن المتغيرات لها تأثير كبير على المتغير التابع. كما تشير قيمة معامل التحديد R-squared والتي تساوي 0.70224 هذا يشير إلى أن النموذج يفسر حوالي ٧٠,٢٢٪ من التباين في البيانات. كما تقدر قيمة إحصائية F-statistic بحوالي 261.784 مع احتمالية p-value تساوي 2.22e-16 وهي أقل من ٥٪ يشير إلى أن النموذج ككل ذو دلالة إحصائية قوية. يفسر نموذج الآثار الثابتة نسبة كبيرة من التباين مقارنة بنموذج الآثار العشوائية، وهذا يعكس أن الآثار الفردية (الخصائص الخاصة بكل دولة أو ملاحظة) لها دور كبير في تفسير التباين، كما في الجدول رقم (5) وكما تظهر معادلة التقدير كما في المعادلة (Eq. 4).

$$LNCO2PC_{it} = 0.001056 * POP_{it} - 0.00591867 * \text{URBAN}_{it} - 0.016 * REC_{it} + 0.011 * HTECH_{it} + \varepsilon_{it} \qquad \text{(Eq .4)}$$

وفيما يتعلق بمعنوية المتغيرات المستقلة يمكن التأكيد – طبقا لنتائج النموذج في الجدول رقم (5) والمعادلة رقم (٤) - على معنوية جميع المتغيرات المستقلة، حيث أن قيمة احتمال إحصائية t-Prob. Statistic عند مستوي معنوية أقل من ٥٪.

ويمكن تفسير العلاقات بين المتغير التابع LNCO2PC والمتغيرات المستقلة فقد اشارت نتائج الد راسة أن عدد سكان المناطق الحضرية كنسبة مئوية من إجمالي السكان (URBAN) معنوي حيث أن احتمالية إحصائية Prob. t-Statistic أقل من ٥٪ حيث تقدر قيمتها (٠,٠١٥١١)، وتوجد علاقة عكسية بين هذا المؤشر وبين لوغاريتم متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (LNCO2PC)، حيث تظهر العلاقة العكسية في إشارة المعامل Coefficient السالبة والتي تقدر بنحو (-٠,٠٠٥٩)، وهذا يعني أن زيادة مستويات التحضر بمقدار ١٠٠٠ شخص لكل كم٢ يؤدي الى خفض تلوث الهواء بمقدار ٥,٩٪، والعكس صحيح. وهو ما يتفق مع العديد من الادبيات الاقتصادية، حيث تتفق مع دراسات كل Aldegheishem (2024) ، دراسة (Qu, Y et al ,2018)، دراسة (Rahman et al ,2021)، من حيث ان معدلات التحضر الأعلى قد تؤدي إلى استخدام أكثر كفاءة للطاقة وتقنيات أكثر تقدمًا، وبالتالي تقليل الانبعاثات. ايضا تماشت دراستنا مع كل من دراسة (Ma, 2024)، دراسة (Nazir, et al., (2018 ، دراسة Bashayreh et al., (2024) من حيث ان التحضر يسهم في تقليل حجم انبعاثات الكربون من خلال تحسين نظام النقل العام واستخدام الطاقة النظيفة في المنازل وتأثيره علي النمو الاقتصادي وكفاءة استخدام الطاقة واستهلاكها.

بالإضافة الى ما سبق، تشير نتائج هذا النموذج أيضا، إلى أن الكثافة السكانية (عدد الأشخاص لكل كيلومتر مربع من مساحة الأرض) (POP) معنوي حيث احتمالية إحصائية Prob. t-Statistic أقل من ٥٪ وتقدر بنحو (1.522e-07)، وتشير النتائج الى وجود علاقة طردية بين مؤشر الكثافة السكانية (عدد الأشخاص لكل كيلومتر مربع من مساحة الأرض) (POP) وبين لوغاريتم متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (LNCO2PC)، تظهر العلاقة الطردية الإشارة الموجبة تقدر بنحو (0.001056)، وهذا يعني أن تغير الكثافة السكانية (عدد الأشخاص لكل كيلومتر مربع من مساحة الأرض) بمقدار ١٠٠٠ شخص لكل كيلو متر مربع في اتجاه معين، يؤدي الى تغير نسبي قدره (١,٠٦٪) في الاتجاه الآخر. وهذه النتيجة تتفق مع عدد من الادبيات الاقتصادية منها دراسة (Mayar,1999)، دراسة (Jiao,2015) ،دراسة (Raman,et al,2021) حيث ان إجمالي عدد السكان يُعد سمة أساسية لأي دولة أو منطقة، وسبب ارتباطه بشكل إيجابي بانبعاثات الكربون هو ان زيادة عدد السكان قد تعني ارتفاعًا في الطلب على الطاقة.ايضا تشير نتائج هذا النموذج أيضا، إلى أن نسبة استهلاك الطاقة المتجددة الى إجمالي استهلاك الطاقة Renewable energy consumption (REC) as % of total final energy consumption معنوي حيث احتمالية إحصائية Prob. t-Statistic أقل من ٥٪ وتقدر بنحو (7.527e-08)، وتشير النتائج الى وجود علاقة عكسية بين نسبة استهلاك الطاقة المتجددة الى إجمالي استهلاك الطاقة **(REC)** وبين لوغاريتم متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (LNCO2PC)، تظهر العلاقة العكسية في الإشارة السالبة للمعامل تقدر بنحو (٠,٠١٦-)، وهذا يعني أن زيادة ا نسبة استهلاك الطاقة المتجددة الى إجمالي استهلاك الطاقة بمقدار ١٪، يؤدي الى خفض قدره (٠,٠١٦٪). وهذه النتيجة تتفق مع كل من(Zhu, J., et al., 2021)، Salim et al (2017)،Aldegheishem (2024)حيث يعبر هذا المؤشر عن هيكل الطاقة في الدولة، حيث إن اختلاف الهياكل الطاقوية يؤدي إلى تأثيرات مختلفة على انبعاثات الكربون، فمثلًا، قد تسهم مصادر الطاقة الاحفورية في زيادة الانبعاثات مقارنة بمصادر الطاقة المتجددة .**و**كما اظهرت نتائج النموذج معنوية القيمة المضافة للصناعات التحويلية المتوسطة والعالية التقنية كنسبة من القيمة المضافة للصناعات التحويلية (HTECH) عند مستوي ٥٪ حيث تقدر قيمة احتمالية إحصائية Prob. t-Statistic تقدر بنحو ٠,٠٠٠١١٥٩، وتشير نتائج النموذج الى وجود علاقة طردية بين القيمة المضافة للصناعات التحويلية المتوسطة والعالية التقنية كنسبة من القيمة المضافة للصناعات التحويلية (HTECH) وبين لوغاريتم متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (LNCO2PC)، والتي تظهر في العلاقة الطردية في الإشارة الموجبة لمعامل Coefficient والتي تقدر (0.011)، وهذا يعني أن القيمة المضافة للصناعات التحويلية المتوسطة والعالية التقنية كنسبة من القيمة المضافة للصناعات التحويلية (HTECH) بمقدار نقطة واحدة يؤدي الى زيادة لوغاريتم متوسط نصيب الفرد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (LNCO2PC) بمقدار 0.011%، والعكس صحيح، كما يظهر في جدول (5). وتماشت تلك النتيجة مع دراسة XU,L,et al (2022,) بحيث تعكس تلك النسبة مدى تطور هذه الصناعات ومساهمتها في الناتج المحلي الاجمالي، والتي قد يكون لها تأثيرات مختلفة على الطلب على الطاقة وانبعاثات الكربون، خاصة في قطاعات الصناعات التحويلية ذات الكثافة التكنولوجية العالية.

٣,٦: التفسير الاقتصادي للنتائج

استنادًا إلى التقديرات الإحصائية التي أُجريت باستخدام نموذج STIRPAT ، توصلت الورقة البحثية إلى نتائج توضح طبيعة العلاقة بين التحضر وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الدول النامية قيد الدراسة وهي على النحو التالي:

١. التأثير الإيجابي لمتغير عدد السكان (POP): تشير النتائج إلى أن الكثافة السكانية تؤثر بشكل إيجابي ومعنوي على انبعاثات الكربون، حيث بلغ معامل التأثير ٠,٠٠١٠٥٦. وهذا يعكس أن الزيادة السكانية تُشكل ضغطًا متزايدًا على الموارد وتُسهم في زيادة الانبعاثات نتيجة الأنشطة اليومية المرتبطة بالاستهلاك والطاقة.

٢. التأثير السلبي لمتغير التحضر (URBAN): أظهر التحضر تأثيرًا سلبيًا ومعنويًا على انبعاثات الكربون، إذ بلغ معامل التأثير -٠,٠٠٥٩١٨٦٧. يشير هذا إلى أن زيادة نسبة السكان الحضريين تسهم في خفض الانبعاثات، ربما نتيجة التحول نحو أنماط سكنية ونقل أكثر كفاءة أو تبني سياسات بيئية حضرية، مما يتوافق مع فرضية "التحضر البيئي المستدام".

يمكن تفسير هذه العلاقة السالبة بين التحضر والانبعاثات الكربونية من خلال عدة آليات:

أولاً: تسهم الكثافة السكانية في المدن في تعزيز وفورات الحجم في استخدام الطاقة والنقل، ما يؤدي إلى تقليل الانبعاثات.

ثانيًا: يرافق التحضر في كثير من الحالات تحول اقتصادي نحو القطاعات الخدمية الأقل استهلاكًا للطاقة مقارنة بالصناعات الثقيلة.

ثالثًا: يتيح التحضر للدول إمكانية تنظيم البنية التحتية وتطبيق سياسات بيئية حضرية مثل شبكات النقل الجماعي، المباني الخضراء، وتقنيات الطاقة النظيفة.

رابعًا: غالبًا ما يكون للمدن تأثير أقوى في تشكيل سلوك المستهلكين والمؤسسات نحو أنماط صديقة للبيئة بفعل التعليم، الضغط الاجتماعي، والرقابة المؤسسية.

هذه النتائج تتسق مع ما توصلت إليه دراسات سابقة:

(Qu et al. (2024) في دراسة على ٢٨١ مدينة في الصين ، حيث وجدوا أن التحضر يقلل من انبعاثات الكربون نتيجة كفاءة النقل والطاقة.

(Rahman et al. (2021) بيّنوا أن التحضر المقترن بالبنية التحتية الحديثة يؤدي لانخفاض الانبعاثات في إفريقيا.

(Bashayreh et al. (2024) أشاروا إلى أن التحضر يقلل التلوث إذا ترافق مع حكم محلي فعّال وتخطيط حضري ذكي.

(Wang et al. (2020) لاحظوا في الصين أن التحضر المقترن بسياسات بيئية صارمة أدى لانخفاض واضح في انبعاثات المدن الكبرى.

٣. تأثير الطاقة المتجددة (REC): كانت العلاقة بين استهلاك الطاقة المتجددة وانبعاثات الكربون سالبة ومعنوية، حيث بلغ معامل التأثير -٠,٠١٦. تعكس هذه النتيجة الدور المحوري الذي تلعبه الطاقات النظيفة في الحد من الانبعاثات وتحقيق التنمية البيئية المستدامة.

٤. تأثير التكنولوجيا العالية (HTECH): على الرغم من أن التكنولوجيا عادة ما ترتبط بالحد من الانبعاثات، إلا أن النتائج أظهرت علاقة موجبة بين نسبة القيمة المضافة للصناعات التحويلية عالية التقنية والانبعاثات، حيث بلغ معامل التأثير ٠,٠١١. قد يُعزى ذلك إلى عدم كفاءة تطبيق هذه التكنولوجيا أو اعتماد بعض الصناعات على طاقة كثيفة الانبعاثات.

وبناء على ذلك، فإن هذه النتائج تؤكد أن التحضر في الدول النامية لا يُعد عاملًا بيئيًا محايدًا، بل يرتبط بتدهور جودة الهواء، ما لم يُدار بطريقة ذكية ومستدامة. وتشير التجارب الدولية (UN-Habitat, 2022؛ World Bank, 2023) إلى أن التحول نحو مدن صديقة للبيئة يتطلب إعادة هيكلة نظم النقل، تشجيع الكفاءة الطاقية، التحول نحو الطاقة النظيفة، وتفعيل أدوات السياسة البيئية القائمة على الحوافز والمساءلة.

٤: الاستنتاجات وانعكاساتها على السياسات الاقتصادية

سعت هذه الورقة البحثية إلى تحليل العلاقة بين التحضر وتلوث الهواء في مجموعة من الدول النامية ذات الدخل المتوسط والمنخفض خلال الفترة ١٩٩٠–٢٠٢٣، وذلك من خلال تطبيق نموذج STIRPAT .

وقد بيّنت النتائج التجريبية وجود علاقة عكسية ومعنوية بين التحضر وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون للفرد، مما يدل على أن التحضر في الدول النامية يتوافق مع فرضية "التحضر البيئي المستدام، من خلال اسهام الكثافة السكانية في المدن في تعزيز وفورات الحجم في استخدام الطاقة والنقل، ما يؤدي إلى تقليل الانبعاثات.

ويصاحب التحضر في كثير من الحالات تحول اقتصادي نحو القطاعات الخدمية الأقل استهلاكًا للطاقة مقارنة بالصناعات الثقيلة. كما تحول المدن سلوك المستهلكين والمؤسسات نحو أنماط صديقة للبيئة بفعل التعليم، الضغط الاجتماعي، والرقابة المؤسسية.

أما استهلاك الطاقة فقد ظهر كأقوى محدد للانبعاثات ويرتبط بعلاقة عكسية معه، ويعني ذلك أهمية الطاقات النظيفة في الحد من التلوث وتحقيق التنمية البيئية المستدامة.

والعلاقة الطردية بين نسبة القيمة المضافة للصناعات التحويلية عالية التقنية وانبعاثات ثاني اكسيد الكربون ترجع إلى عدم الكفاءة في تطبيق هذه التكنولوجيا أو اعتماد بعض الصناعات على طاقة كثيفة الانبعاثات.

والعلاقة الطردية بين الكثافة السكانية وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون ترجع إلى أن زيادة عدد السكان تتسبب في الضغط على الموارد الاقتصادية مما يزيد من الانبعاثات الناتجة عن الاستهلاك والطاقة .

وتُعد نتائج هذه الورقة البحثية مساهمة مهمة في فهم العلاقة بين التحضر وتلوث الهواء في الدول النامية. فقد أظهرت أن التحضر - عندما يكون منظّمًا ومصحوبًا بسياسات تخطيط حضري ذكي - يمكن أن يسهم في خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، على عكس الاعتقاد الشائع بأنه مصدر مباشر للتلوث. كما أبرزت الورقة البحثية دور الطاقة المتجددة في تحقيق الأهداف البيئية، وأظهرت أن تأثير التكنولوجيا الصناعية قد يكون مزدوجًا بحسب كفاءة استخدامها. وبالإجمال، تُشير النتائج إلى أهمية التوازن بين النمو الاقتصادي والتنمية الحضرية المستدامة.

وتنعكس هذه النتائج علي عدد من السياسات ذات الصلة ، اهمها:i) تعزيز سياسات التحضر المستدام من خلال تخطيط حضري منظم يعتمد على النقل الجماعي، المساحات الخضراء، وكفاءة استخدام الطاقة. ii) دعم استثمارات الطاقة المتجددة من خلال تقديم حوافز حكومية وتشجيع الشراكة بين القطاعين العام والخاص.iii) توجيه الاستثمارات في التكنولوجيا الصناعية نحو الاستخدامات النظيفة ذات الكفاءة العالية، وتشجيع الابتكار البيئي.iv) بناء قدرات الحكومات المحلية في الدول النامية لتطبيق تشريعات بيئية فعالة ومتابعة الانبعاثات في المناطق الحضرية.v) ضرورة دمج البعد البيئي ضمن خطط التنمية الاقتصادية الكلية، خاصة في الدول ذات الكثافة السكانية المرتفعة. Vi) تعزيز التعاون الإقليمي والدولي لتبادل الخبرات في مجالات التحضر الأخضر والتكنولوجيا البيئية.

٥. قائمة المراجع:

Aldegheishem, A. (2024). The relationship between urbanization, energy consumption, economic growth, and carbon dioxide emissions in Middle Eastern countries: Saudi Arabia, Jordan and Egypt. *Environmental Research Communications, 6*(6), 065011.

Anwar, A., Younis, M., & Ullah, I. (2020). Impact of urbanization and economic growth on CO2 emission: A case of far east Asian countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(7), 2531.

Asghar, N., & Salman, M. (2023). Analyzing the impact of urbanization on carbon dioxide emissions: Fresh evidence from Pakistan. *Forman Journal of Economic Studies, 19*(1).

Bashayreh, A., Hindawi, H., & Tahta-Bashayreh, A. (2024). Modeling the urbanization rate associated with renewable electricity production and CO2 emissions: A threshold regression approach. *Discover Sustainability, 5*(1), 427.

Borck, R., & Pflüger, M. (2019). Green cities? Urbanization, trade, and the environment. *Journal of Regional Science, 59*(4), 743–766.

Chen, F., Liu, A., Lu, X., Zhe, R., Tong, J., & Akram, R. (2022). Evaluation of the effects of urbanization on carbon emissions: The transformative role of government effective.

Choia, J., Hearne, R., Lee, K., & Roberts, D. (2015). The relation between water pollution and economic growth using the environmental Kuznets curve: a case study in South Korea. Water International, 40(3), 499-512.

Du, Y., Wan, Q., Liu, H., Liu, H., Kapsar, K., and Peng, J. (2019). How does urbanization influence PM2. 5 concentrations? Perspective of spillover effect of multi-dimensional urbanization impact. J. Clean. Prod. 220, 974–983. doi:10.1016/j. jclepro.2019.02.222eness. *Frontiers in Energy Research, 10*, 848800.

Dietz, T., & Rosa, E. A. (1997). Effects of population and affluence on CO2 emissions. Proceedings of the national academy of sciences, 94(1), 175-179.

Fang, C., Zhou, C., Gu, C., Chen, L., & Li, S. (2017). A proposal for the theoretical analysis of the interactive coupled effects between urbanization and the eco-environment in mega-urban agglomerations. Journal of Geographical Sciences, 27, 1431-1449.

Gan, T., Yang, H., and Liang, W. (2021). How do urban haze pollution and economic development affect each other? Empirical evidence from 287 Chinese cities during 2000–2016. Sustain. Cities Soc. 65. doi:10.1016/ j.scs. 2020.102642

Gao, M., Wu, X., and Guo, S. (2016). Urbanization, environmental regulation and air pollution - an empirical analysis based on STIRPAT model. Ind. TechnoEconomics 35 (9), 110–117. doi:10.3969/ j.issn.1004-910X. 2016.09.015

Gnangoin, T. Y., Kassi, D. F., & Kongrong, O. (2023). Urbanization and CO2 emissions in Belt and Road Initiative economies: analyzing the mitigating effect of human capital in Asian countries. Environmental Science and Pollution Research, 30(17), 50376-50391.

Glaeser, E.L., & Kahn, M. E. (2011). The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. Journal of urban economics, 67(3), 404-418.

Houaneb, A., Khan, U., & Khan, A. M. (2025). Greening the Cityscape: Strategies for Sustainable Urbanization, Low Carbon Emissions, and Robust Economic Growth. International Journal of Energy Economics and Policy, 15(1), 292-300.

Hueglin, C., Gehrig, R., Baltensperger, U., Gysel, M., Monn, C., and Vonmont, H. (2005). Chemical characterisation of PM2.5, PM10 and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland. Atmos. Environ. 39 (4), 637–651. doi:10. 1016/j.atmosenv.2004.10.027

Holdren, J. P., & Ehrlich, P.R. (1974). Human Population and the Global Environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. American scientist, 62(3), 282-292.

Jiao, R. (2015). The relationship between population size, urbanization and environmental pollution - an analysis based on panel data from emerging economies. Urban issues. 5, 8–14. doi:10.13239/j.bjsshkxy.cswt.150502

Kivyiro, P. T. (2023). The causal links between urbanization, energy use and carbon emissions: A case of SADC region. Tanzania Journal of Science, 49(2), 503–515.

Liddle, B., & Sadorsky, P. (2017). How much does increasing non-fossil fuels in electricity generation reduce carbon dioxide emissions?. Applied energy, 197, 212-221.

Liu, H., Fang, C., Zhang, X., Wang, Z., Bao, C., and Li, F. (2017). The effect of natural and anthropogenic factors on haze pollution in Chinese cities:

A spatial econometrics approach. J. Clean. Prod. 165, 323–333. doi:10.1016/j.jclepro.2017.07. 127ISSN 0959-6526.

Mayer, H. (1999). Air Pollution in Cities. Atmospheric Environment 33, 4029–4037. doi:10.1016/S1352-2310(99)00144-2.

Ma, B., & Ogata, S. (2024). Impact of urbanization on carbon dioxide emissions—Evidence from 136 countries and regions. *Sustainability, 16*(18), 7878.

Maddala, G. S., & Lahiri, K. (1992). *Introduction to Econometrics* (Vol. 2). New York: Macmillan.

Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 61*(S1), 631–652.

Marcotullio, P. J., Rothenberg, S., & Nakahara, M. (2003). Globalization and urban environmental transitions: Comparison of New York's and Tokyo's experiences. *The Annals of Regional Science, 37*(3), 369–390.

McGee, J. A., & York, R. (2018). Asymmetric relationship of urbanization and CO2 emissions in less developed countries. *PLoS ONE, 13*(12), e0208388.

Ouyang, X., & Lin, B. (2017). Carbon dioxide (CO2) emissions during urbanization: a comparative study between China and Japan. Journal of cleaner production, 143, 356-368.

Pravitasari, A. E., Saizen, I., Tsutsumida, N., Rustiadi, E., & Pribadi, D. O. (2015). Local spatially dependent driving forces of urban expansion in an emerging asian megacity: the case of greater Jakarta (Jabodetabek). *Journal of Sustainable Development*, *8*(1), 108-119.

Qu, Y., Li, J., Wang, Y., & Zhang, H. (2024). How does new urbanization affect urban carbon emissions? Evidence based on panel data of 281 cities in China. Sustainable Cities and Society, 101, 104356. https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.104356.

Rahman, M. M., & Alam, K. (2021). Clean energy, population density, urbanization and environmental pollution nexus: Evidence from Bangladesh. Renewable Energy, 172, 1063-1072.

Salahuddin, M., Gow, J., Ali, M. I., Hossain, M. R., Al-Azami, K. S., Akbar, D., & Gedikli, A. (2019). Urbanization-globalization-CO2 emissions nexus revisited: empirical evidence from South Africa. Heliyon

Salim, R. A., Rafiq, S., & Shafiei, S. (2017). Urbanization, energy consumption, and pollutant emission in Asian developing economies: an empirical analysis (No. 718). ADBI Working Paper

Sasana, H., Prakoso, J. A., & Setyaningsih, Y. (2019). Urbanization Consequences on Environmental Conditions in Indonesia. In E3S Web of Conferences (Vol. 125, p. 02017). EDP Sciences.

Shahbaz, M., Loganathan, N., Muzaffar, A. T., Ahmed, K., & Jabran, M. A. (2016). How urbanization affects CO2 emissions in Malaysia? The application of STIRPAT model. Renewable and sustainable energy reviews, 57, 83-93.

UN-Habitat. (2022). World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities. United Nations Human Settlements Programme. Retrieved from https://unhabitat.org/world-cities-report-2022-envisaging-the-future-of-cities.

World Bank. (2023). World Bank Annual Report 2023: A New Era in Development. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Retrieved from https://documents. worldbank.org/en/ publication/documents-reports/documentdetail/099092823161580577/ bosib055c2cb6c006090a90150e512e6beb

Wang, Y., Li, L., Kubota, J., Han, R., Zhu, X., & Lu, G. (2016). Does urbanization lead to more carbon emission? Evidence from a panel of BRICS countries. Applied Energy, 168, 375-380.

Wang, W. Z., Liu, L. C., Liao, H., & Wei, Y. M. (2021). Impacts of urbanization on carbon emissions: An empirical analysis from OECD countries. Energy policy, 151, 112171

Wang, S., Tang, Y., Du, Z., and Song, M (2020). Export trade, embodied carbon emissions, and environmental pollution: An empirical analysis of China's high- and new-technology industries. J. Environ. Manag. 276, 111371. doi:10.1016/j.jenvman. 2020.111371.

Yuan, B., Ren, S., and Chen, X. (2015). The effects of urbanization, consumption ratio and consumption structure on residential indirect CO2 emissions in China: A regional comparative analysis. Appl. Energy 140, 94–106. doi:10.1016/j.apenergy.2014.11.047.

Yu, Q., Li, S., & Chen, N. (2024). Urbanization and greenhouse gas emissions from municipal wastewater in coastal provinces of China: Spatiotemporal patterns, driving factors, and mitigation strategies. Environmental Research, 259, 119398.

٦. الملحق :

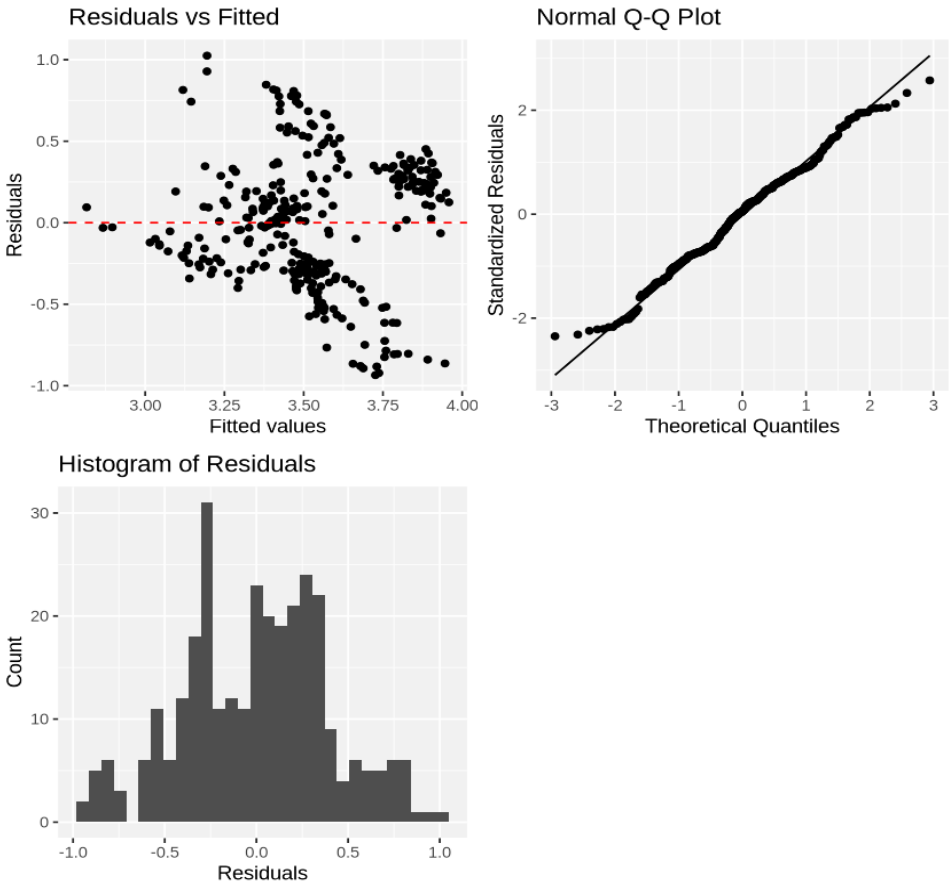
جدول (A): التغاير Covariance Analysis بين المتغيرات المدرجة في النموذج

	CO2PC	URBAN	POP	REC	HTECH
CO2PC	1.000000				
URBAN	16.7023993	1.000000			
POP	-40.400574	-606.657	1.000000		
REC	-26.77975	-342.96665	248.89	1.000000	
HTECH	1.2595571	6.960115	167.070	-33.178	1.000000

جدول (B): اختبار التوزيع الطبيعي للمتغيراتShapiro-Wilk normality test

	W	p-value
CO2PC	0.85512	< 2.2e-16
URBAN	0.91576	3.702e-14
POP	0.64844	2.2e-16
REC	0.92384	2.237e-13
HTECH	0.97422	1.558e-06

شكل (A): اختبارات التوزيع الطبيعي للبواقي



The Impact of Urbanization on Air Pollution in Selected Developing Countries: An Empirical Study Using the STIRPAT Model

Abstract

This paper aims to assess the impact of urbanization on air pollution in a selected group of 13 developing countries with low and middle incomes. These countries were chosen because they represent a structural shift from agriculture-based economies to industrial ones during the period from 1990 to 2023. To achieve this objective, the STIRPAT model was employed—an econometric model used to analyze the relationship between human activities (such as population, economic development, and urban growth) and environmental impacts (such as carbon emissions and environmental degradation). The analysis utilized both Fixed Effects and Random Effects models. The findings indicate a strong inverse relationship between the urban population as a percentage of the total population (LNURBAN) and the logarithm of per capita carbon dioxide emissions (LNCO2PC). Specifically, an increase in urbanization by 1,000 persons per km² leads to a 5.9% reduction in air pollution.

Keywords: Urbanization, Air Pollution, Developing Countries, STIRPAT Model, Fixed Effects model, Random Effects model.