السنة الثالثة والعشرون ملحق العدد 85 / شهرحزيران / سنة 2025
https://doi.org/10.31272/ijes.v23 i85.1284

المجلة العراقية للعلوم الاقتصادية
Iraqi Journal For
Economic Sciences

PISSN : 1812-8742 EISSE ONLIN : 2791-092X Arcif : 0.375

The Contribution of Digital Partnership Indicators to the Growth of the Economies of Some Countries in the World: An Analytical Study

مساهمة مؤشرات الشراكة الرقمية في نمو اقتصادات بعض دول العالم: دراسة

أ.د. سهاد علي شهيد مجيد
Suhad Ali Shaheed Al-Temimi
dr.suhadali@uomustansiriyah.edu.iq

أ.د. احمد هادي سلمان كاظم
Ahmed Hidi Salman
dr.ahmadhidi@uomustansiriyah.edu

م.د. خالد شامي ناشور
Khaled Shami
kh_7887@uomustansiriyah.edu.iq

كلية الادارة والاقتصاد، جامعة المستنصرية

المستخلص:

Abstract

With swift technological development, digital partnership has become a fundamental element in shaping the global economy. Principal Component Regression (PCR) was employed, a statistical technique that addresses these problems. The indicators adopted in the study represent the most important digital factors, and their number reached 10; they represent the dimensions of the digital partnership for 15 countries. The gross domestic product (GDP) was identified as an indicator of economic growth for these countries. Among the most important results of the study, it was shown that the (PCR) methodology helped in reducing the original interconnected data to three main components free of the problem of multicollinearity and building a significant model.

Keywords: Digital partnership, Sustainable Development Goals indicators, Digital partnership indicators, Principal component regression model, Multicollinearity problem.

المستخلص

مع التطور التكنولوجي السريع، أصبحت الشراكة الرقمية عنصرًا أساسيًا في تشكيل الاقتصاد العالمي. وقد تم توظيف انحدار المكونات الرئيسية (PCR)، وهو أسلوب إحصائي يعالج هذه المشكلات. وتمثل المؤشرات المعتمدة في الدراسة أهم العوامل الرقمية، وبلغ عددها (10) وتمثل أبعاد الشراكة الرقمية لـ (15) دولة. وقد تم تحديد الناتج المحلي الإجمالي (GDP) كمؤشر على النمو الاقتصادي لهذه الدول. ومن أهم نتائج الدراسة، تبين أن منهجية انحدار المكونات الرئيسية (PCR) ساعدت في تقليص البيانات المترابطة الأصلية إلى ثلاث مكونات رئيسية خالية من مشكلة التعدد الخطي وبناء نموذج ذي دلالة إحصائية.

الكلمات المفتاحية: الشراكة الرقمية، مؤشرات اهداف التنمية المستدامة، مؤشرات الشراكة الرقمية، انموذج انحدار المركبات الرئيسية، مشكلة التعدد الخطي.

1ـ المقدمة: Introduction

اشارت العديد من الدراسات الى مفهوم الشراكة الرقمية (Digital Partnership) على انها "التعاون بين جهات مختلفة (حكومات، شركات، منظمات دولية) لتعزيز التحول الرقمي في الاقتصاد"، وتشمل هذه الشراكات تطوير البنية التحتية الرقمية، تحسين الخدمات المالية الإلكترونية، وتعزيز الابتكار التكنولوجي، مما تقدم يمكن تلخيص اهداف الشراكة الرقيمة وكالاتي:

- تعزيز الشمول المالي من خلال توفير خدمات مالية للأفراد والشركات ذات الموارد الغير مستدامة.
- تحسين الكفاءة الاقتصادية من خلال تسريع المعاملات وتقليل التكاليف.
- تعزيز الابتكار من خلال تشجيع تطوير تقنيات جديدة مثل الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي.

واستنادا الى تقرير البنك الدولي لعام (2023)، ساهم الاقتصاد الرقمي بنحو (15%) من الناتج المحلي الإجمالي العالمي في عام (2022). كما وبلغت قيمة التجارة الإلكترونية العالمية (5.7) تريليون دولار في عام (2022)، بزيادة قدرها (20%) عن عام (2021) (الاستراتيجية الرقمية، 2022: 12) . كما تضمن تقرير منظمة العمل الدولية ((International Labor Organization (ILO) حول بيانات التحويلات المالية الرقمية انه تم إرسال ($630) مليار عبر التحويلات الرقمية في عام (2022)، بزيادة قدرها (10%) عن العام السابق. كما سجل التقرير ذاته انخفاض تكلفة التحويلات الدولية من (7%) في عام (2015) إلى (5%) في عام (2022) بسبب استخدام التقنيات الرقمية (منظمة العمل الدولية 2022: 14). كما إشارات بيانات الشمول المالي وفقًا لتقرير Global Findex لعام (2021) ، ارتفاع عدد الأشخاص الذين لديهم حسابات بنكية من (51%) في عام 2011 إلى (76%) في عام (2021) بفضل الخدمات المالية الرقمية (البنك الدولي، 2021: 13).

2ـ مشكلة البحث: Research Problemان من اهم المشاكل القياسية في النماذج هي التعدد الخطي(Multicollinearity)والتي تظهر عندما تكون المتغيرات المفسرة (ExplanatoryVariables) مرتبطة ببعضها بشكل كبير، والذي يكون من تداعياته عدم استقرار في تقدير معلمات الانحدار والحصول على تنبؤات غير دقيقة. ويعد انحدار المركبات الرئيسية (PrincipleComponents Regression (PCR)) أحد الطرائق الإحصائية التي تتعامل مع التعدد الخطي من خلال تحويل البيانات الاصلية الى تركيبات خطية غير مترابطة ببعضها (متعامدة) تسمى المركبات الرئيسية (Principles Components (PC)) مما يزيل مشكلة التعدد الخطي ويحسن القدرة التنبؤية للنموذج. اضافة الى ذلك قابلية انموذج (PCR) التعامل مع البيانات عالية الابعاد مما يعالج مشكلة فرط القياس (Overfitting) للمعلمات وذلك من خلال تقليص البيانات الاصلية الى مركبات رئيسية اقل اذ تلتقط المعلومات الأكثر أهمية في البيانات (الأعلى تباين) وتهمل الأقل اهمية.

3ـ هدف البحث: Research Objectiveمع سعي البلدان على المستويين العالمي والإقليمي نحو تحقيق الهدف السابع عشر من أهداف التنمية المستدامة للأمم المتحدة والمتمثل بهدف الشراكة (Partnership)، والذي يهدف الى إنشاء مؤسسات قوية وشاملة من خلال التعاون الدولي لسد الفجوات بين دول العالم لتحقيق النمو والتنمية المستدامة، من هنا تولدت الحاجة المتزايدة إلى تسخير قوة انتشار تكنولوجيا المعلومات والاتصالات بعد ان اصبح العالم اكثر ترابطاً من أي وقت مضى. من أجل تشجيع الاستثمار ونمو الاقتصاد في العالم والمتمثل بالناتج المحلي الإجمالي (GDP). ومن هنا جاءت الحاجة الى تحليل العلاقة بين مؤشر النمو الاقتصادي المتمثل بـ(GDP) وبين بيانات ترتبط بالشراكة الرقمية العالمية والتطور التكنولوجي وتفسير تلك العلاقة من منظور احصائي رصين في ظل وجود مشكلة التعدد الخطي (Multicollinearity) وتحليل البيانات عالية الابعاد.

4- الاثار الإيجابية والسلبية للشراكة الرقمية: Positive and Negative Effects of Digital Partnershipإن عوامل الابتكار والتكنولوجيا الرقمية وتوافر الموارد المالية تعد ضرورية لتحقيق

أهداف التنمية المستدامة في كل ابعادها، ولتحديد الاثار الإيجابية للشراكة الرقمية فيمكن تلخيصها كالاتي (Bakari, 2022:18)، (Elfaki, 2024:19) و (عبد الغني، 2022: 16):

- تعزيز النمو الاقتصادي: اذ ساهمت الشراكة الرقمية في زيادة الإنتاجية من خلال تحسين كفاءة العمليات والاجراءات.
- تحسين الخدمات المالية: اذ وفرت التقنيات الرقمية خدمات مالية أسرع وأرخص، خاصة في المناطق النائية.
- تعزيز الابتكار: اذ أدت الشراكات الرقمية إلى تطوير تقنيات جديدة مثل الذكاء الاصطناعي و blockchain.

اما فيما يخص بالآثار السلبية فيمكن تلخيصها بالآتي:

- الفجوة الرقمية: اذ لا تزال هناك فجوة بين الدول المتقدمة والنامية في الوصول إلى التقنيات الرقمية.
- تحديات الأمن السيبراني: اذ ان زيادة الاعتماد على التقنيات الرقمية أدى إلى ارتفاع مخاطر القرصنة والاحتيال.

5- البيانات المرتبطة بالشراكة الرقمية: Data Related to the Digital Partnershipان النجاح المستمر لكل من الشراكة الرقمية والاقتصادي العالمي يتمركز حول قدرتهما المشتركة في تحقيق اقتصاد عالمي متنامي ومستقر يستند الى قدرة دول العالم في تحقيق عدة عوامل أساسية، وقد حددت العديد من الدراسات وجود مؤشرات تم قياسها اعتماداً على اليات معينة إضافة الى العديد من المتغيرات التي تم تسجيلها منها اقتصادية وديمغرافية ... الخ، واستنادا لمصادر عديدة توثق تلك البيانات تم اختيار عدد من المتغيرات باعتبارها ذات علاقة بموضوع بحثنا، وكالاتي (الاستراتيجية الرقمية، 2022: 12):

- **البيانات الاقتصادية: تتمثل بـ(GDP):** اذ تعد أداة شاملة لقياس الأداء الاقتصادي لأي دولة، ويمثل القيمة الإجمالية لجميع الخدمات والمواد التي تقوم بإنتاجها تلك الدولة. ففي عام 2023، كان (GDP) لدول العالم أقل بنسبة 10 في المائة من المستوى الذي كان ليبلغه لو استمر اتجاه النمو قبل الجائحة (2010-2019). وكان نصيب الفرد من (GDP) ليكون أعلى بنسبة 16 في المائة في عام 2023 من التقديرات الحالية لو بلغ النمو هدف (7%) والمحدد في برامج عمل أقل البلدان نمواً. ونتيجة للتباطؤ الاقتصادي، يُقدر أن العدد الإجمالي للفقراء للغاية في أقل البلدان نمواً قد ارتفع، حيث يعيش ما لا يقل عن 15 مليون شخص في فقر شديد وهو اعلى مما كان عليه قبل الجائحة.

- **البيانات التكنولوجية: معدل انتشار الانترنيت ((Internet Penetration Rate (IPR):** يسلط التقدم المطرد ولكن غير المتكافئ في الاتصال العالمي بالإنترنت الضوء على التفاوتات في الفجوة الرقمية ويترك المجتمع في البلدان المنخفضة الدخل متخلفين عن الركب وذلك وفقًا لتقرير الحقائق والأرقام الصادر عن الاتحاد الدولي للاتصالات ((International Telecommunication Union's (ITU) لعام 2023.

- **البيانات الاجتماعية: نسبة الحاصلين على تعليم عالي (Percentage of People with Higher Education (PHE)):** يشكل التعليم العالي (خريجي الجامعات والمعاهد الاكاديمية) ثروة ثقافية وعلمية غنية تمكن من التنمية الشخصية وتعزز التغيير الاقتصادي والتكنولوجي والاجتماعي. كما أنه يعزز تبادل المعرفة والبحث والابتكار ويزود الطلاب بالمهارات اللازمة لمواجهة أسواق العمل المتغيرة باستمرار. وبالنسبة للطلاب الذين يعيشون في ظروف هشة، فإنه بمثابة جواز سفر إلى الأمن الاقتصادي ومستقبل مستقر.

- **البيانات السياسية: مؤشر الاستقرار السياسي ((Political Stability Index (PSI)** مؤشر الاستقرار السياسي وغياب العنف/الإرهاب يقيس مدى احتمالية عدم الاستقرار السياسي و/أو العنف بدوافع سياسية، بما في ذلك الإرهاب. ويعطي التقدير درجة الدولة على المؤشر الكلي، بوحدات التوزيع الطبيعي القياسي (standard normal distribution)، أي ما يتراوح بين (-2.5 إلى 2.5) تقريباً.

- **البيانات البيئية: مؤشر اداء التغير المناخي (Climate Change Performance Index (CCPI)):** مؤشر أداء تغير المناخ (CCPI) هو أداة مراقبة مستقلة لتتبع أداء البلدان في مجال حماية

المناخ. ويهدف إلى تعزيز الشفافية في سياسات المناخ الدولية وتمكين مقارنة جهود حماية المناخ والتقدم الذي أحرزته البلدان الفردية. ولحساب مؤشر أداء تغير المناخ يتم وفق الصيغة الاتية:

$I = \sum_{i=1}^{n} w_i X_i$ ... (1)

اذ ان :

I: مؤشر أداء تغير المناخ.

X_i: مؤشر المعيارية وان $i = 1, \dots, n$ عدد المؤشرات الفرعية والتي تبلغ (n=14)

w_i: الوزن لـ X_i وان $\sum_{i=1}^{n} w_i = 0 \quad and \; 0 \leq w_i \leq 1$

- البيانات الدولية: عدد الاتفاقيات الدولية الموقعة (NumberofInternationalAgreements Signed (NIAS)): الاتفاقيات الدولية هي تفاهمات أو التزامات رسمية بين دولتين أو أكثر. وتُسمى الاتفاقية المبرمة بين دولتين "ثنائية"، في حين تُسمى الاتفاقية المبرمة بين عدة دول "متعددة الأطراف". ويشار إلى الدول الملزمة باتفاقية دولية عمومًا باسم "الدول الأطراف".

- البيانات التنظيمية: مؤشر حماية البيانات (Data Protection Index (DPI)) تتطلب حماية البيانات نهجًا شاملاً لتصميم النظام يتضمن مجموعة من الضمانات القانونية والإدارية والفنية ويجب أن تكون أنظمة تحديد الهوية مدعومة بأطر قانونية تحمي البيانات الفردية والخصوصية وحقوق المستخدم. وقد تبنت العديد من البلدان قوانين عامة لحماية البيانات والخصوصية لا تنطبق فقط على نظام تحديد الهوية، بل وأيضًا على أنشطة حكومية أو خاصة أخرى تنطوي على معالجة البيانات الشخصية. ووفقًا للمعايير الدولية بشأن الخصوصية وحماية البيانات، فإن هذه القوانين عادةً ما تحتوي على أحكام ومبادئ واسعة النطاق خاصة بجمع وتخزين واستخدام المعلومات الشخصية.

- البيانات الديمغرافية: الكثافة السكانية (Population Density (PD)) الكثافة السكانية هي عدد السكان في منتصف العام مقسومًا على مساحة الأرض بالكيلومتر المربع. ويستند عدد السكان إلى التعريف الفعلي للسكان. مساحة الأرض هي المساحة الإجمالية للبلد، باستثناء المساحة الواقعة تحت المسطحات المائية الداخلية، والمطالبات الوطنية بالجرف القاري، والمناطق الاقتصادية الخالصة.

- البيانات النفسية: مؤشر ثقة المستخدمين (User Confidence Index (CCI)) يقيس مؤشر ثقة المستهلك مواقف المستهلكين وثقتهم فيما يتعلق بآفاقهم المالية. يتم إصدار هذا المؤشر من قبل مجلس المؤتمرات (Conference Board) (هو منظمة بحثية غير ربحية توزع معلومات اقتصادية حيوية على أعضائها من رجال الأعمال. وقد تأسس هذا المجلس الاقتصادي في عام 1916، وهو مصدر خاص يُستشهد به على نطاق واسع للمعلومات التجارية)، ويعتمد على استطلاع ثقة المستهلك، اذ يتم جمع البيانات على شكل استطلاع ويتم حساب القيمة النسبية لكل سؤال، ثم تتم مقارنتها بكل قيمة نسبية من عام 1985، والتي تم تحديدها كمعيار عند 100، اذ يوفر مؤشرCCIنظرة ثاقبة على الظروف الاقتصادية، بما في ذلك يقيس ويقارن كيفية نظر المستهلكين إلى الاقتصاد الكلي وظروف العمل وسوق العمل في الوقت الحاضر وعلى مدى الأشهر الستة المقبلة.

- البيانات الأمنية: معدل الجرائم الالكترونية (Cybercrime Rate (CCR)) تقدر شركة Cybersecurity Ventures أن حوالي نصف الهجمات الإلكترونية على مستوى العالم تضرب الشركات الصغيرة، وقد أفادت وسائل إعلام مختلفة على مدى العقد الماضي أن 60% من الشركات الصغيرة تخرج من العمل في غضون ستة أشهر من الوقوع ضحية لخرق البيانات أو الهجوم الإلكتروني. اذ تتجاوز التكلفة السنوية العالمية للجرائم الإلكترونية 8 تريليون دولار في عام 2023.

- **البيانات المؤسسية: مؤشر جودة المؤسسات ((IQI) Institutional Quality Index)** هو مؤشر مركب لتقييم الجودة المؤسسية .يعتمد (IQI) على خمس مجموعات من المؤشرات الأولية (تقييم الفساد والحوكمة والتنظيم وإنفاذ القانون والمشاركة الاجتماعية). فالمؤسسات تشكل مجموعة الحوافز التي توجه الاختيارات والسلوكيات الفردية. وبذلك فإنها تؤثر بشكل كبير على مسار التنمية والقدرة على النمو الذي يتبعه النظام الاقتصادي لدولة. كل من البيانات والمؤشرات ادناه تم جمع بياناتها لـ (15) دولة (متقدمة ونامية) بالاستعانة بمستودعات البيانات وحسب مصادر تلك البيانات، والجدول ادناه يوضح ذلك: (ITU, 2023: 3) (UNESCO, 2023: 15) ، (Climate Change, 2023: 1)، (World Bank, 2023: 6) ، (Privacy International, 2023: 4)، (Pew Research, 2023: 4) و (Cybersecurity Ventures, 2023: 2).

جدول (1) المتغيرات المرتبطة بالشراكة الرقمية لعينة من (15 دولة)

الدولة	الناتج المحلي الإجمالي (GDP) بالمليار دولار	نسبة معدل انتشار الانترنيت %	نسبة الحاصلين على تعليم عالي	مؤشر الاستقرار السياسي (-2.5 الى +2.5)	مؤشر التغيرات المناخية من (0-10)	عدد الاتفاقيات الدولية الموقعة	مؤشر حماية البيانات من (0-100)	الكثافة السكاني (شخص لكل كيلو متر مربع)	مؤشر ثقة المستخدمين (من 0 إلى 10)	معدل الجرائم الالكترونية (عدد الحوادث لكل 100,000 شخص)	مؤشر جودة المؤسسات من (0-100)
الولايات المتحدة	25000	95	45	1.2	7	200	70	36	8	500	85
الصين	18000	70	20	0.8	8	150	50	150	7	300	60
المانيا	4500	90	30	1.5	6	180	90	240	9	200	90
الهند	3200	50	15	0.5	9	100	60	450	6	400	50
اليابان	5000	93	50	1.8	7	170	80	330	8	150	85
المملكة المتحدة	3000	94	40	1.3	6	160	85	270	8	250	90
فرنسا	2800	88	35	1.0	5	150	88	120	7	200	85
البرازيل	1800	75	20	-0.5	8	120	65	25	6	350	55
كندا	1700	92	55	1.7	6	140	75	4	9	180	90
ايطاليا	2000	85	25	0.7	7	130	70	200	7	220	70
روسيا	1600	80	30	-1.0	8	110	55	9	6	400	50
استراليا	1500	91	45	1.6	7	130	80	3	8	150	90
كوريا الجنوبية	1700	96	50	1.4	6	140	85	520	9	200	80
المكسيك	1300	70	20	-0.3	8	100	60	65	6	300	60
جنوب افريقيا	400	60	10	-0.5	5	80	55	50	5	600	55

المصدر: من عمل الباحثين استناداً لتقارير الدولية وفق المصادر المشار اليها في متن البحث.

6- انموذج انحدار المركبات الرئيسية: Principal Components Regression Modelمن اجل تحليل العلاقات للوصول الى فهم أعمق لطبيعة بيانات الشراكة الرقمية وتأثيراتها على نمو (GDP) باعتباره المتغير المعتمد (dependent Variable) وبما يتلاءم مع مشكلة وهدف الدراسة تم توظيف اسلوب انحدار المركبات الرئيسية ((PCR) Principal Component Regression) لتحليل العلاقات في الانموذج قيد الدراسة، وتتضمن البيانات مشاهدات مقاسة وبيانات غير مشاهدة (بيانات كامنة) تعتمد على مؤشرات. ويعد انموذج (PCR) من منهجيات متعدد المتغيرات (Multivariate Approach) وتم تقديمه بعد تطوير منهجية التحليل العاملي (Factor Analysis) من قبل الباحث (.Hoteling, H) عام (1933)، يستند عمل انموذج (PCR) على تحويل المتغيرات التوضيحية (Explanatoryvariable) الأساسية والتي تعاني من مشكلة التعدد الخطي (Multicollinearity) الى متغيرات متعامدة (Orthogonal) يطلق عليها المركبات الرئيسية (PrincipalComponents) وكل مركبة تمثل تركيب خطي في المتغيرات الاصلية. المركبات الرئيسية يتم ترتيبها وفقا الى نسبتها من التباين الكلي، فأول مركبة هي ذات التباين المفسر الأكبر ويأتي بعدها المركبة الثانية من حيث التباين الأقل... وهكذا. (Alibuhtto, 2015:20) (Naes, 1989: 21) و (Desta and Colbert, 2002: 17). ولتسليط الضوء على منهجية (PCR) لتكن معادلة الانحدار بصيغة المصفوفات وفق الصيغة الاتية:

$$\underline{Y} = X\underline{B} + \underline{e} \qquad \dots (2)$$

اذ ان $\underline{Y}$ تمثل المتغير المعتمد (Dependent Variable) وهو متجه ابعاده $(n \times 1)$، وان X هي مصفوفة ابعادها $(n \times p)$ من المتغيرات المفسرة. اما $\underline{B}$ هي متجه المعلمات المرتبطة بـ X وابعادها $(p \times 1)$. وان $\underline{e}$ عبارة عن متجه الأخطاء العشوائية ذات بعد $(n \times 1)$. ويفترض ان يتوزع توزيعا طبيعياً $\underline{e} \sim N(0, \sigma^2)$.تشتمل المرحلة الأولى لتطبيق (PCR) هي توحيد البيانات (سواء كانت التوضيحية او المعتمدة) من خلال تحويلها الى الصيغة المعيارية (Standardized)،

$$y_i = \beta_o^s + \beta_1^s \left[\frac{x_{1i} - \bar{x}_1}{S_{x_1}}\right] + \beta_2^s \left[\frac{x_{2i} - \bar{x}_2}{S_{x_2}}\right] + \cdots + \beta_k^s \left[\frac{x_{1i} - \bar{x}_k}{S_{x_k}}\right] + \varepsilon_i \quad \ldots (3)$$

$$y_i = \beta_o^s + X^s B \beta^s + \varepsilon \quad \ldots (4)$$

ولتقدير المعلمات في معادلة (4) يتم الاستناد على طريقة المربعات الصغرى (OLS) لينتج الصيغة التقديرية وكالاتي:

$$\underline{\hat{\beta}^s} = (X^{s\prime} X^s)^{-1} X^{s\prime} \underline{Y} \quad \ldots (5)$$

وبما ان البيانات تم تحويلها الى الصيغة المعيارية فان مصفوفة الارتباطات للبيانات هي:

$$X^{s\prime} X^s = R \quad \ldots (6)$$

اذ تمثل $R()$ مصفوفة الارتباطات لمصفوفة المعلومات $X^{s\prime} X^s$ ذات البعد $(p \times p)$.

المرحلة الثانية يتم تحويل المتغيرات التوضيحية الاصلية الى مركبات رئيسية (تركيبات خطية) من خلال الصيغة الاتية:

$$X^{s\prime} X^s = PDP' = Z'Z \quad \ldots (7)$$

اذ تمثل (D) مصفوفة قطرية ابعادها $(k \times k)$ من القيم الذاتية (Eigen Values) لمصفوفة $(X^{s\prime} X^s)$، وان (P) مصفوفة من المتجهات الذاتية (Eigen Vectors) ذات البعد $(k \times k)$ لمصفوفة $(X^{s\prime} X^s)$ وهي مصفوفة متعامد أي ان $(P'P = I)$، وان (Z) تمثل مصفوفة المركبات الرئيسية المقابلة للمتغيرات الاصلية (X).

$$\left.\begin{aligned} Z_1 &= P_{11} D_1 + P_{12} D_2 + \cdots + P_{p1} D_P \\ Z_2 &= P_{12} D_2 + P_{13} D_3 + \cdots + P_{p1} D_P \\ &\vdots \\ Z_p &= P_{1p} D_p + P_{1p} D_p + \cdots + P_{pp} D_P \end{aligned}\right\} \quad \ldots (8)$$

القيم الذاتية الصغيرة (الأقل من 1) يتم استبعادها في مصفوفة (D) لأنها تشير الى وجود ارتباط خطي بين المتغيرات المفسرة مما يساعد في تخلص البيانات من التعدد الخطي (Multicollinearity) بالتالي يتم تقليص البيانات في مصفوفة (Z).

بعد الحصول على مصفوفة المركبات الرئيسية المتعامدة (Z) يتم التعويض في معادلة (4) لتصبح وفق الصيغة الاتية:

$$y_i = \alpha_o + X^* D D' \alpha^* + \varepsilon \quad \ldots (9)$$

او

$$y = \alpha_o + Z\alpha + \varepsilon \qquad \dots (10)$$

الصيغة التقديرية لمعادلة (10) وفق طريقة المربعات الصغرى (OLS) هي كالاتي:

$$\underline{\hat{\alpha}} = (Z'Z)^{-1}Z'\underline{y} \qquad \dots (11)$$

اذ ان كل من مجموعتي المعلمتين ($\underline{\alpha}$) و ($\underline{\beta}$) ترتبطان استناداً للصيغ الاتية:

$$\left.\begin{aligned}\underline{\alpha} &= P'\underline{\beta}\\ \underline{\beta} &= P\underline{\alpha}\end{aligned}\right\} \qquad \dots (12)$$

وللكشف عن مشكلة التعدد الخطي بين المتغيرات التوضيحية تم استعمال اختبار عامل تضخم التباين ((Variance Inflation Factor (VIF) والذي يقيس درجات زيادة تباين معلمات الانحدار مع زيادة درجة التعدد الخطي فعندما تكون $VIF \geq 10$ عندها نستنتج وجود مشكلة التعدد الخطي، وصيغة الاختبار كالاتي:

$$VIF = \frac{1}{1-R_k^2} \qquad \dots (13)$$

اذ تشير R_k^2 الى قيمة معامل التحديد عندما يتم التعامل مع المتغير التفسيري (X_k) كمتغير معتمد وبقية المتغيرات المفسرة كمتغيرات توضيحية، وان $k = 1,2, \dots, p-1$. وللكشف ان مشكلة التعدد الخطي عالية ام بسيطة في حال وجودها بين المتغيرات التوضيحية يتم من خلال قيمة رقم الشرط (Condition Number) ويحسب وفق الصيغة الاتية:

$$Condtion\ Number = \frac{max|\lambda_n|}{min|\lambda_1|} \qquad \dots (13)$$

اذ تمثل $max|\lambda_n|$ اعلى قيمة ذاتية وان $min|\lambda_1|$ تمثل أصغر قيمة ذاتية مقابله لها، اذ ان القيم الذاتية تحسب لمصفوفة الارتباطات لـ ($X'X$)، وبما ان الجذور المميزة تشير الى نسبة التباينات بالتالي يمكن اعادة صياغة المعادلة (12) كالاتي:

$$Condtion\ Number = \frac{\sigma_n}{\sigma_1} \qquad \dots (14)$$

فاذا كان رقم الشرط (C.N) أكبر من (1000) فنستنتج ان مشكلة التعدد الخطي عالية اما إذا كان رقم الشرط محصور بين (100-1000) عندها نستنتج ان مشكلة التعدد الخطي بسيطة.

6- نتائج الدراسة: Study Results تم اجراء التحليل الاحصائي للبيانات المدروسة لمعرفة اثر متغيرات الشراكة الرقمية (Digital Partnership) على الاقتصاد العالمي لعينة مؤلفة من (15) دولة (كما في جدول (1)، اذ تم تحديد المتغير المعتمد الذي يمثل الناتج المحلي الإجمالي (GDP) وتحديد المتغيرات التوضيحية وهي كل من (X1: نسبة معدل انتشار الانترنيت (IPR)، X2: نسبة الحاصلين على تعليم عالي (PHE)، X3: مؤشر الاستقرار السياسي (PSI)، X4: مؤشر التغيرات المناخية (CCPI)، X5: عدد الاتفاقيات الدولية الموقعة (NIAS)، X6: مؤشر حماية البيانات (DPI)، X7: الكثافة السكاني (PD)، X8: مؤشر ثقة المستخدمين (CCI)،X9: معدل الجرائم الالكترونية (CCR)، X10:

مؤشر جودة المؤسسات (IQS)). وللكشف عن وجود مشكلة التعدد الخطي (Multicollinearity) بين المتغيرات التوضيحية تم الاستعانة ببرنامج NCSS Ver.25 لأجراء اختبار (VIF)، وكانت النتائج كالاتي:

جدول (2) الكشف عن مشكلة التعدد الخطي بين المتغيرات التفسيرية

المتغيرات التفسيرية	VIF	R-squared vs. other X's
X1	16.2898	0.9386
X2	11.7399	0.9148
X3	23.4323	0.9573
X4	3.3354	0.7002
X5	6.9534	0.8562
X6	12.0175	0.9168
X7	3.7676	0.7346
X8	9.3955	0.8936
X9	4.6359	0.7843
X10	33.5731	0.9702

المصدر: من عمل الباحثين استناداً لمخرجات برنامج NCSS

واستناداً للجدول (2) والذي يبين اختبار وجود مشكلة التعدد الخطي (Multicollinearity) بين المتغيرات التفسيرية المدروسة، فقد كشفت قيمة (VIF) ان كل من المتغيرات (X1، X2، X3، X6، X10) قد حققت $VIF \geq 10$، بالتالي فان المتغيرات أعلاه تعاني من وجود مشكلة التعدد الخطي فيما بينها، وهذا يتوافق من قيم معامل ارتباط كندال-تاو بين المتغيرات التفسيرية، والتي حققت ارتباط عالي بلغ (0.872، 0.722، 0.761، 0.818، 0.853) على التوالي. وكما مبين في الجدول ادناه:

جدول (3) مصفوفة الارتباطات لبيانات عينة البحث

GDP	X10	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1	
0.1277	0.8534	0.5926-	0.8185	0.0055-	0.7614	0.7423	0.4668-	0.7223	0.8723	1.000	X1
0.1042	0.8119	0.5843-	0.8393	0.0973	0.6691	0.6233	0.3363-	0.8215	1.000	0.8723	X2
0.2089	0.8752	0.6833-	0.9113	0.3371	0.7302	0.7389	0.3246-	1.000	0.8215	0.7223	X3
0.1863	0.5892-	0.1380	0.3509-	0.0376	-0.5845	-0.2311	1.000	-0.3246	-0.3363	-0.4668	X4
0.6189	0.7446	0.3680-	0.7540	0.1304	0.5920	1.000	0.2311-	0.7389	0.6233	0.7423	X5
0.1917-	0.8696	0.6775-	0.7598	0.3242	1.000	0.5920	0.5845-	0.7302	0.6691	0.7614	X6
0.1065-	0.0779	0.2626-	0.2869	1.000	0.3242	0.1304	0.0376	0.3371	0.0973	0.0055-	X7
0.1760	0.8697	0.6736-	1.000	0.2869	0.7598	0.7540	0.3509-	0.9113	0.8393	0.8185	X8
0.2904	0.6286-	1.000	0.6736-	0.2626-	0.6775-	0.3680-	0.1380	0.6833-	0.5843-	0.5926-	X9
0.1138	1.000	0.6286-	0.8697	0.0779	0.8696	0.7446	0.5892-	0.8752	0.8119	0.8534	X10
1.000	0.1138	0.2904	0.1760	0.1065-	0.1917-	0.6189	0.1863	0.2089	0.1042	0.1277	GDP

المصدر: من عمل الباحثين استناداً لمخرجات برنامج NCSS

الجدول (3) يبين الارتباطات باستعمال معامل كندال-تاو لجميع المتغيرات المفسرة إضافة الى المتغير المعتمد اذ يمكن أن تؤثر القيم المتطرفة، وعدم تحقق شرط التوزيع الطبيعي، وعدم ثبات التجانس، والتعدد الخطي على هذه الارتباطات، ويتضح من نتائج الجدول اعلاه معاملات الارتباط بين المتغيرات التفسيرية التي ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالمتغير التابع ومع بعضها البعض اذ تتسبب المتغيرات المفسرة التي ترتبط ارتباطًا وثيقًا ببعضها البعض في ظهور مشكلة التعدد الخطي.

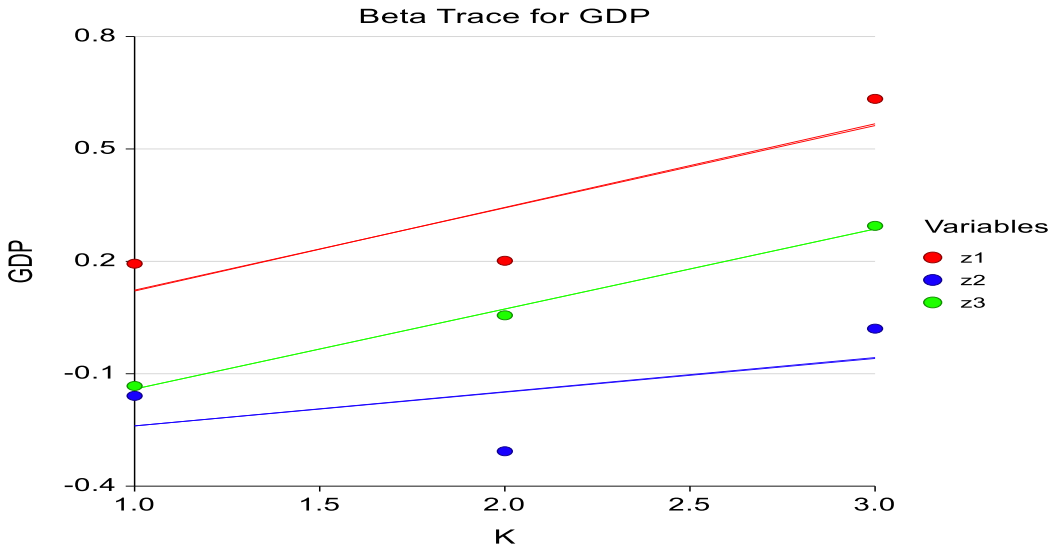
جدول (4) يوضح القيم الذاتية Eigen Values ورقم الشرط Condition Number لمصفوفة الارتباطات $(X'X)$

المتغيرات	القيم الذاتية eigen Values	النسبة المئوية للتباين		رقم الشرط Condition Number
		المتزايدة	التجميعية	
1	6.454972	64.55	64.55	1.00
2	1.220220	12.20	76.75	5.29
3	1.186285	8.86	85.61	7.28
4	0.318640	6.19	91.80	10.43
5	0.323076	3.23	95.03	19.98
6	0.240294	2.40	97.43	26.86
7	0.124378	1.24	98.68	51.90
8	0.087021	0.87	99.55	74.18
9	0.028221	0.28	99.83	228.73
10	0.016893	0.17	100.00	382.12

المصدر: من عمل الباحث استناداً لمخرجات برنامج NCSS

من خلال نتائج جدول (5) يتضح وجود ثلاث مركبات رئيسية حصلت على قيم ذاتية اعلى او تساوي (1) اذ يتم ترتيب القيم الذاتية بترتيب تنازلي من الأكبر إلى الاصغر والتي يتم عرضها على المحور y مقابل عدد المركبات الرئيسية. المركبات الرئيسية هي تلك المدرجة على الجانب الأيسر قبل نقطة انقطاع الرسم البياني مع المحور العمودي، بينما المركبات غير المهمة هي تلك التي ظهرت على الجانب الأيمن من نقطة الانقطاع مع المحور الافقي. كما يوضحه الشكل البياني (1). نسبة التباين المفسرة للمركبة الرئيسية الأولى من التباين الكلي للبيانات بلغت (64.55%)، اما المركبة الثانية والثالثة فقد بلغت (12.20%، 8.86%) على التوالي من التباين الكلي للبيانات. ولبيان درجة مشكلة التعدد الخطي بين المتغيرات التفسيرية يتم الكشف عنها من خلال اختبار رقم الشرط (C.N) والذي يشير انه في حال وجود جميع المتغيرات التفسيرية داخل الانموذج قيمة رقم الشرط بلغت (382.12) وهي اقل من 1000 واعلى من 100 بالتالي نستنتج ان درجة مشكلة التعدد الخطي بسيطة .بشكل عام فإن المكونات الثلاث الأولى لها قيمة ذاتية أكبر من واحد وتمثل مجتمعة (85.61٪) من تباين مجموعة البيانات الأصلية وتفقد (14.39٪) فقط من المعلومات. لذلك يتم استخراج ثلاث مركبات رئيسية فقط والاحتفاظ بها من مجموع عشرة متغيرات رئيسية دون فقدان كبير للمعلومات. بقية المركبات الرئيسية السبعة المتبقية غير مهمة لأنها تحتوي على قيم ذاتية <1.0 وتساهم في جزء صغير من التباين الإجمالي لمجموعة البيانات الأصلية. بعبارة أخرى، يتم التعامل مع المكونات الرئيسية ذات أصغر قيم ذاتية على أنها أخطاء قياس، وبالتالي يتم إزالتها من التحليل.

شكل (1) عدد المركبات الرئيسية (PC) ذات القيم الذاتية الأكبر من 1



يوضح الشكل (1) البياني معاملات الانحدار المعيارية (والتي يشار إليها غالبًا باسم Beta) على المحور العمودي الذي يمثل المتغير المعتمد (GDP)، وعدد المركبات الرئيسية (PC) المضمنة على طول المحور الأفقي (k)، بالتالي فإن المقدرات الموجودة على اليمين هي مقدرات المربعات الصغرى. من خلال دراسة هذا الرسم البياني، يمكنك تحديد ما تأثير حذف عدد معين من المركبات الرئيسية باختزال معاملات الانحدار المقدرة.

جدول (5) يبين المتجهات الذاتية (Eigen Vectors) لمصفوفة الارتباطات $(X'X)$

المتجهات الذاتية	القيم الذاتية	PC1	PC2	PC3
X1	6.454972	0.903857		
X2	1.220220	0.880274		
X3	1.086285	0.921634		
X4	0.418640			0.662506
X5	0.323076	0.780482		
X6	0.240294	0.882778		
X7	0.124378		0.834274	
X8	0.087021	0.941931		
X9	0.028221	0.720883		
X10	0.016893	0.957682		

المصدر: من عمل الباحثين استناداً لمخرجات برنامج NCSS

جدول (5) يبين قيم المتجهات الذاتية (Eigen Vectors) المرتبطة بكل قيمة ذاتية (Eigen Value). اذ ان الفكرة وراء تحليل القيم الذاتي هي أن المحاور تدّور إلى مجموعة جديدة تحددها تباينات المتغيرات في مصفوفة الارتباطات لـ $(X'X)$. ويتم احتساب التدّوير من خلال أخذ متوسطات مرجحة للمتغيرات الأصلية المعيارية لجعل تلك المحاور متعامدة (Orthogonal) بالتالي يتم التخلص من التعدد الخطي بين المغيرات التوضيحية، ويتم إنشاء المتغير الجديد الأول (المتجه الذاتي الأول) الذي يتضمن أكبر قدر ممكن من التباين ويليه المتغير الجديد الثاني (المتجه الذاتي الثاني) الذي يتضمن اقل تباين ... وهكذا.

PC1⇨Z_1=0.90385X_1+0.880274X_2+0.921634X_3+0.780482X_5+0.882778X_6+0.941931X_8+ 0.720883X_9+0.95768X_{10}

PC2⇨Z_2=0.834274X_7

PC3⇨Z_3=0.662506X_4

الي فان المركبات الرئيسية (PC) الثلاث تمثل المجموعة الخطية للمتغيرات الاصلية التي لها نسبة مساهمة عالية من التباين الكلي، ويمكن كتابتها وفق الاتي:

$\hat{y}$ =-35886.66 +13.11023*Z_1-12.8143*Z_2 + 328.6603*Z_3

اذ ان المركبة الرئيسية الأولى تمثل التركيب الخطي لثمانية متغيرات مرتبطة ببعضها البعض وهي المتغيرات (X_1، X_2، X_3، X_5، X_6، X_8، X_9، X_{10}) على التوالي، اما المركبة الرئيسية الثانية تتضمن المتغير (X_7) وتشمل المركبة الرئيسية الثالثة على المتغير (X_4). بعد إزالة المكونات الرئيسية الأقل أهمية، أصبح نموذج الانحدار المركبات الرئيسية وفقا لمعادلة (9) كالاتي:

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2 + \alpha_3 Z_3 + \varepsilon$$

نتائج تقدير نموذج انحدار المركبات الرئيسية (PCR) يتضح في الجدول ادناه:

جدول (6) يبين نتائج تقدير معاملات انحدار المركبات الرئيسية بعد إزالة مشكلة التعدد الخطي

المتغيرات المستقلة	معاملات الانحدار غير المعيارية	الأخطاء المعيارية	معاملات الانحدار المعيارية	T-test	Sig.	VIF
intercept	-35886.66			.72713	0.000	
Z1	13.11023	10.80392	0.2015	8.887	0.000	4.223
Z2	-12.8143	9.2119	-0.3069	8.110	0.000	3.098
Z3	328.6603	1462.002	0.0560	22.876	0.000	8.044
R-Squered	70.54%					
F-Value	34.643					
P-Value	0.0010					

المصدر: من عمل الباحثين استناداً لمخرجات برنامج NCSS

يتضح من نتائج جدول (6) ان قيمة معامل التحديد R-Squared لنموذج انحدار المركبات الرئيسية بلغ (70.54%) أي ان نسبة مساهمة المتغيرات الجديدة في احداث تغير على المتغير المعتمد (GDP) بلغت (70.54%) وهي نسبة جيدة. كما اظهرت نتائج القيم المقدرة لمعلمات الانحدار والتي تشير إلى مقدار التغير الذي تحدثه المركبات الرئيسية في المتغير المعتمد (GDP) اي عند تغير وحدة واحدة في Z عند ثبات باقي معلمات Z . اما الأخطاء المعيارية التي تقيس دقة التقدير لمعلمات انحدار المركبات الرئيسية. الخطأ المعياري لمعلمات الانحدار S_{b_j}، ويمثل الانحراف المعياري للمعلمة المقدرة. ويتضح من الجدول أعلاه ان اقل خطأ معياري للمعلمة المقدرة كانت لمعلمة المتغير (Z2).

اما بالنسبة لمقدرات معلمات الانحدار المعيارية فهي تمثل المعلمات التي يمكن الحصول عليها إذا قمنا بتوحيد كل متغير تفسيري بضمنها المتغير المعتمد. هنا يتم تعريف التوحيد على أنه طرح المتوسط وقسمته على الانحراف المعياري للمتغير. معادلة الانحدار المقدرة يمكن كتابتها بالشكل الاتي:

$$\hat{y} = -35886.66 + 13.11023 * Z1 - 12.8143 * Z2 + 328.6603 * Z3$$

من خلال المعادلة أعلاه يتضح ان المركبة الرئيسية الأول (Z1) التي تضم ثمانية متغيرات (X1: نسبة معدل انتشار الانترنيت (IPR)،X2: نسبة الحاصلين على تعليم عالي (PHE)،X3: مؤشر الاستقرار السياسي (PSI)،X5: عدد الاتفاقيات الدولية الموقعة (NIAS)،X6: مؤشر حماية البيانات (DPI)، X8: مؤشر ثقة المستخدمين (CCI)،X9: معدل الجرائم الالكترونية (CCR)،X10: مؤشر جودة المؤسسات (IQS)) فعند زيادة وحدة واحدة من Z1 يؤدي الى زيادة وحدة واحدة من الناتج المحلي الإجمالي (GDP) بمقدار (13.11023) . بالنسبة للمركبة الرئيسية الثانية التي تضم المتغير (X7: الكثافة السكاني (PD)) فعند زيادة وحدة واحدة من Z2 يؤدي الى نقصان في الناتج المحلي الإجمالي بمقدار (12.8143)، اما بالنسبة المركبة الرئيسية الثالثة Z3 والتي تضم المتغير (X4: مؤشر التغيرات المناخية (CCPI)) فعند زيادة وحدة واحدة من Z1 يؤدي الى زيادة الناتج المحلي الإجمالي بمقدار (328.6603).

الاستنتاجات والتوصيات: Conclusions and Recommendations

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو التعامل مع البيانات التي تعاني من التعدد الخطي (Multicollinearity) في انموذج الانحدار الخطي ويتم الكشف عن التعدد الخطي باستخدام عامل تضخم التباين (VIF) إضافة الى التعامل مع البيانات عالية الابعاد اذ يتم تقليصها الى مركبات رئيسية اذ ان اجراء تحليل المكونات الرئيسية يعد حل للمشكلة. أشارت الدراسة إلى أن تحليل المكونات الرئيسية هو أحد الطرائق المناسبة لحل هذه المسألة. وبالتالي فإن تطبيق المكونات الرئيسية ينتج تقديرًا وتوقعًا أفضل من المربعات الصغرى العادية عندما تكون المتغيرات التوضيحية مترابطة. وتوصلت النتائج الى اختزال المتغيرات التوضيحية الاصلية والبالغ عددها (10) الى ثلاث مركبات رئيسية خالية من مشكلة التعدد الخطي.

اما اهم التوصيات التي توصل لها البحث يمكن تلخيصها بالنقاط الاتية:

1- استعمال المنهجيات الإحصائية التي تحاكي تحليل البيانات التي تحتوي على العديد من المؤشرات المترابطة مثل انحدار المركبات الرئيسية (Principles Components Regression)، انحدار الحرف (Ridge Regression)، انحدار المربعات الصغرى الجزئية (Partial Least Squares Regression).

2- من خلال المركبة الرئيسية الأولى يتضح أهمية تسخير التقدم التكنولوجي لتحسين الأعمال التجارية القائمة وخلق منتجات وأسواق جديدة وتعزيز القدرات والابتكار لدى افراد المجتمع وخاصة فئة المتعلمين كما ان الاعتراف بالقيمة العالمية للإنترنت وبنيته المفتوحة كبيئة تمكين للاقتصاد الرقمي ومحفز للابتكار والاستقرار الاقتصادي.

3- التنسيق المحلي الفعّال لسياسات الاقتصاد الرقمي يمكن أن يساهم بشكل أكبر في تحقيق النمو الاقتصادي المستدام والاعتراف بترابطهم فيما يتعلق بالمسائل الخاصة بالاقتصاد الرقمي، في ظل تزايد الكثافة السكانية للبلدان العالم، بالتالي فانهم يشتركون في مصلحة حماية البنية الأساسية الحيوية وضمان إنترنت آمن وموثوق به يدعم الابتكار والتنمية الاقتصادية والاجتماعية.

4- التأكيد على الالتزام بالتعاون في إطار الشراكة في المسائل المتعلقة بكل من (عقد اتفاقيات الاقتصادات الرقمية، تعزيز الشفافية في سياسات المناخ الدولية، وتحديد الأولويات التشريعية والتنظيمية من اجل حماية حقوق الملكية وامنية المعلومات وحماية الرفاهية العامة).

المصادر: References

[1]برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، الاستراتيجية الرقمية للفترة 2022 — 2025 https://digitalstrategy.undp.org/documents/Digital-Strategy-2022-2025-Full-Document_AR_Interactive.pdf

[2] تقرير Climate Change Index (2023) https://ccpi.org/download/climate-change-performance-index-2023-background-and-methodology/

[3] تقرير Cybersecurity Ventures (2023) https://cybersecurityventures.com/our-company/

[4]تقرير ITU (2023) https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/facts-figures-2023/

[5]تقرير Pew Research (2023) https://www.investopedia.com/terms/c/cci.asp

[6]تقريـــــــــــــر International Privacy (2023)
https://www.dataprotection.ie/sites/default/files/uploads/2024-05/DPC%20EN_AR%202023_Final%20.pdf
[7]تقرير World Bank (2023) https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators/Series/EN.POP.DNST
[8]تقرير الأمم المتحدة (2023) https://investmentpolicy.unctad.org/international-investment-agreements/by-economy
[9] تقريـــــــر الأمـــــــم المتحـــــــدة لعـــــــام (2023) https://unctad.org/system/files/official-document/ldc2023_en.pdf
[10] تقريـــــــر الأمـــــــم المتحـــــــدة لعـــــــام (2023) https://unctad.org/system/files/official-document/ldc2023_en.pdf
[11]تقرير البنك الدولي (2023) https://databank.worldbank.org/source/worldwide-governance-indicators/Series/PV.EST
[12]تقرير البنك الدولي (2023) https://sajems.org/index.php/sajems/article/view/5180/2853
[13]تقريـر صـادر عـن البنـك الـدولي لعـام (2021) عـن الشـمول المـالي .Global Findex (2021). https://thedocs.worldbank.org/en/doc/8798cc2a73b5bfd50df31e138fa3c74c-0050062022/original/Findex-2021-Executive-Summary-Arabic.pdf
[14] تقريـــــــــــر منظمـــــــــــة العمـــــــــــل الدوليـــــــــــة (ILO) لعـــــــــــام (2022). https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40ed_dialogue/%40sector/documents/meetingdocument/wcms_836276.pdf
[15]تقرير UNESCO (2023) https://www.whed.net/home.php
[16]عبد الغني، سناء محمد، 2022. "انعكاسات التحول الرقمي على تعزيز النمو الاقتصادي في مصر". مجلة كلية السياسة والاقتصاد-المجلد الخامس عشر- العدد الرابع عشر. ص (44-79).
[17] B. Desta Fekedulegn, J.J. Colbert R.R. Hicks, Jr. & Michael E. Schuckers ,2002." Coping with Multicollinearity: An Example on Application of Principal Components Regression in Dendroecology". United States Department of Agriculture Forest Service Northeastern Research Station Research Paper NE-721.
[18] Bakari, S., El Weriemmi, M., Mabrouki, M., 2022. The impact of digitalization and trade openness on economic growth: new evidence from richest Asian countries. J. Res. Innov. Technol. I (2), 95–106. https://doi.org/10.57017/jorit.v1.2(2).01
[19] Elfaki, E. K., Ahmed, M. E., 2024. Digital technology adoption and globalization innovation implications on Asian Pacific green sustainable economic growth, Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity 10 (2024) 100221, https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100221
[20] M.C. Alibuhtto , T.S.G. Peiris, 2015. "Principal Component Regression for Solving Multicollinearity Problem". 5th International Symposium 2015 – IntSym 2015, SEUSL. pp(231-238), https://www.seu.ac.lk/researchandpublications/symposium/5th/pureandappliedsciences/29.pdf
[21] Naes, T. AND Indahl, U. (1998). A unified description of classical classification methods for multicollinear data. J. Chemometrics. 12, pp. (205-220).