مجلس الوزراء المصري
مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

IJPPE

المجلة الدولية
للسياسات العامة في مصر

المجلد ٤ (٢٠٢٥) - السنة الرابعة - العدد الثالث

٣

مجلة علمية ربع سنوية مُحكمة
(يناير- أبريل- يوليو- أكتوبر).
تصدر عن مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار التابع لمجلس الوزراء المصري

الترقيم الدولي المطبوع: ٢٨١٢-٤٧٥٨
الترقيم الدولي الإلكتروني: ٢٨١٢-٤٧٦٦

يوليو ٢٠٢٥

IJPPE

مجلس الوزراء المصري
مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

المجلة الدولية
للسياسات العامة في مصر

السنة الرابعة - العدد الثالث (يوليو ٢٠٢٥)

الترقيم الدولي المطبوع: ٢٨١٢-٤٧٥٨
الترقيم الدولي الإلكتروني: ٢٨١٢-٤٧٦٦

هيئة التحرير المحلية *

أ. د. أحمـــد زايـــد	أستاذ علم الاجتماع بكلية الآداب - جامعة القاهرة، وعضو مجلس الشيوخ
أ. د. أحمـــد وهبـــان	عميد كلية الدراسات الاقتصادية والعلوم السياسية- جامعة الإسكندرية
أ. د. خالـــد السقطـــي	عميد كلية النقل الدولي واللوجستيات (فرع الشيراتون) الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري
د. خديجـــة عرفـــة	رئيس الإدارة المركزية للتواصل المجتمعي
أ. د. ســـارة الجـــزار	عميد كلية النقل الدولي واللوجستيات الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحري
أ. د. سعيـد المصـــري	أستاذ علم الاجتماع - جامعة القاهرة، ومستشار وزير الثقافة لتطوير المنظومة الثقافية
أ. د. سمية عبـد المولـى	أستاذ الاقتصاد بكلية التجارة وإدارة الأعمال - جامعة حلوان
د. الشيمـاء عبـد السـلام	مدرس العلوم السياسية بكلية السياسة والاقتصاد - جامعة بني سويف، ومدرب معتمد للتحول الرقمي من المجلس الأعلى للجامعات
د. عبـدالوهـاب غنيـم	نائب رئيس الاتحاد العربي للاقتصاد الرقمي، ومستشار كلية كامبريدج الدولية البريطانية
أ. د. فريـــد النجـــار	أستاذ إدارة الأعمال الدولية - جامعة بنها، ومستشار سابق في البنك الدولي وجامعة الدول العربية
أ. د. فخـــري الفقـــي	أستاذ الاقتصاد بكلية الاقتصاد والعلوم السياسية- جامعة القاهرة، ورئيس لجنة الخطة والموازنة بمجلس النواب
أ. محمـد حسـان فلفـل	مدير الإدارة العامة لدراسات مخاطر تغير المناخ
د. محمـد بـاغـة	أستاذ إدارة الأعمال والتمويل المساعد بكلية التجارة- جامعة قناة السويس
السفيـر محمـد توفيـق	سفير مصر الأسبق بواشنطن
أ. د. مـحمـد كمـال	أستاذ العلوم السياسية بكلية الاقتصاد والعلوم السياسية-جامعة القاهرة
وزير مفوض **د. مـحمـود فتـح الله**	اقتصادي - مدير إدارة شؤون البيئة، ورئيس الأمانة الفنية لمجلس وزراء البيئة العرب
أ. د. منـــى الجـــرف	أستاذ الاقتصاد بكلية الاقتصاد والعلوم السياسية - جامعة القاهرة
أ. د. هانـــي الشـامـــي	أستاذ الاقتصاد وعميد كلية التجارة- جامعة طنطا

(*) تم ترتيب الأسماء أبجديًا

هيئة التحرير الدولية *

أ. د. أليكساندر نيديرمير	أستاذ بالهيئة الألمانية للتبادل الثقافي بمدينة بون الألمانية، DADD أستاذ زائر طويل الأجل في العلوم السياسية والاقتصاد السياسي الدولي بكلية الاقتصاد والعلوم السياسية – بجامعة القاهرة، أستاذ زائر في القانون التجاري وقانون العمل الدولي والأخلاق القانونية بكلية إدارة الأعمال – جامعة إسلسكا مصر
أ. د. أميـــرة الحـــداد	أستاذ الاقتصاد بكلية الاقتصاد والعلوم السياسية– جامعة القاهرة، وكبير الاقتصاديين بالمعهد الألماني للتنمية
أ. د. أيمـــن البراسنـــــة	رئيس قسم العلوم السياسية – الجامعة الأردنية
أ. د. بيتـــر هولمـــــز	حاصل على دكتوراه من جامعة كامبريدج، وأستاذ متفرغ في الاقتصاد، وزميل في مرصد السياسة التجارية في المملكة المتحدة بجامعة ساسكس بالمملكة المتحدة
د.جـــلال نـاصـــــر	مستشار رئيس بـ JAFCON Consultants for Productivity Improvements –البحرين
أ. د. حاتـــم زغلـــول	رئيس مجلس الإدارة والرئيس التنفيذي لمجموعة شركات أنوفيشن وشركة حاتم زغلول أكاديمي
أ. د. حطـــاب عبدالمـــلك	أستاذ بكلية العلوم السياسية والعلاقات الدولية، جامعة الجزائر ٣، الجزائر
د. خديجـة محمـد البرغثـي	مدرس الاقتصاد، جامعة الزيتونة الأردنية، الأردن
د. دانـــيلا رويـــز زاراتـي	خبير اقتصادي، البنك المركزي المكسيكي، المكسيك
د. رجـــاء نديـم غصينـي	أستاذة جامعية، الجامعة اللبنانية (جامعة حكومية)، بيروت، لبنان
أ. د. ريـــم أبـــو لـــغود	أستاذ بجامعة ولاية كاليفورنيا، بيكرسفيلد، الولايات المتحدة الأمريكية
روتينـــدو هابـــي جـونـــجا	باحث، جامعة نوتنغهام نينغبو الصين، الصين
أ. د. رولـــــف ألتـــــر	زميل أول بجامعة هيرتي للحوكمة– ألمانيا
أ. د. سوزانـــا المســـاح	أستاذ الاقتصاد والتنمية بكلية الاقتصاد والعلوم السياسية – جامعة القاهرة، وكلية إدارة الأعمال– جامعة زايد– الإمارات
د. ضحـا السـند سـامي	دكتوراة في إدارة الابتكارومحلل أنظمة تكنولوجيا المعلومات، سعودي أرامكو، السعودية
د. كريســـتوفر بلفـــورد	محاضر أول ورئيس قسم الاقتصاد والمالية، كلية إدارة الأعمال والإدارة العامة، جامعة غامبيا، غامبيا
د. ناڤـيديتا فـارون شـاند	جامعة فيجي الوطنية، كلية الزراعة والثروة السمكية والغابات، فيجي
د.نهـــال النـــجار	مدرس إدارة الأعمال، ومدير مركز التميز في تمكين المرأة الجامعة الملكية للبنات – البحرين
د. نـــور الشـــريفـى	دكتوراة في التكنولوجيا وإدارة الابتكار، رئيس قسم دعم تكنولوجيا المعلومات، الهيئة العامة للتعليم التطبيقي والتدريب، الكويت
د. هـــدى يـــوســـف	كبير اقتصاديين بالبنك الدولي
أ. د.هـــند مالايـــنين	أستاذ التعليم العالي، جامعة القاضي عياض، المغرب
أ. د. هوانـــج دليـــنا	أستاذ في معهد الاقتصاد والتنمية الزراعية، الأكاديمية الصينية للعلوم الزراعية، بكين، جمهورية الصين الشعبية

(*) تم ترتيب الأسماء أبجديًا

الهيئـة التنفيذيـة

رئيس مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

د. أسامـة الجوهـري

مساعد رئيس الوزراء

رئيس تحرير المجلة

د. أسعـد الصـادق

مستشار رئيس مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار لمتابعة التكليفات والإنتاج

نائب رئيس تحرير المجلة

د. ياسميـن غريـب

أستاذ مساعد الاقتصاد بكلية الاقتصاد والعلوم السياسية - جامعة القاهرة،
خبير اقتصادي ومنسق أكاديمي بمركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

مديرو التحرير

د. مـي محسـن

رئيس الإدارة المركزية لشؤون المكتب الفني
ومدير الإدارة العامة للمكتب الفني لرئاسة المركز

د. يسري نصر أحمد

مدرس الاقتصاد الزراعي، كلية الزراعة، جامعة القاهرة

سكرتير التحرير

أ. مونيكـا وليـام

باحثة ومحللة في العلاقات الدولية

مساعد تنفيذي

أ. ندى محمود مراد

باحث اقتصادي بالإدارة المركزية لدعم القرار

قواعد النشـــر

1 – مراعاة قواعد النشر العلمي الموجودة في دليل المؤلفين.

2 – مراعاة قواعد الأمانة العلمية ونسبة الاقتباس العلمي.

3 – مراعاة الرد على أي استفسارات خلال عملية النشر.

4 – مراعاة إجراء التعديلات المطلوبة من قِبل هيئة التحكيم.

5 – مراعاة عدم إجراء أي تعديلات جوهرية على البحث بعد الموافقة عليه.

6 –لا يجوز للباحث تقديم المستخلص في أي مجلة أو دورية أو مؤتمر آخر حتى الحصول على قرار القبول أو الرفض من المجلة.

7 –في حالة قبول البحث للنشر، تؤول كل حقوق النشر للمجلة، ولا يجوز نشره في أي مجلة أو دورية أو مؤتمر سواء ورقيًا أو إلكترونيًا.

8 –يتم ترتيب عملية نشر المقالات وفقًا لأولوية ورودها إلى هيئة التحرير بعد إجازتها من قِبل المحكمين، ووفقًا أيضًا لاعتبارات علمية وفنية قد تراها هيئة التحرير.

9 –يتم نشر جميع الأعداد الخاصة بالمجلة على الموقع الإلكتروني الخاص بالمجلة على بنك المعرفة المصري.

10 –يمكن للباحث مراجعة حالة البحث الخاص به من على الموقع الإلكتروني للمجلة (بحث تحت المراجعة – بحث في مرحلة النشر– بحث منشور).

وللمزيد من التفاصيل حول قواعد وأخلاقيات النشر، يرجى الدخول على الموقع الإلكتروني للمجلة:

ijppe.journals.ekb.eg

العملية التحكيمية

تمر عملية النشر في المجلة عبر مجموعة من الخطوات على النحو التالي:

1. تقديم البحوث

- تقبل المجلة البحوث والدراسات من مختلف تخصصات النشر على موقع المجلة في بنك المعرفة المصري: ijppe.journals.ekb.eg.
- يقوم الباحث بتقديم الورقة البحثية "كاملة" ضمن رؤية المجلة، في حدود (5000–7000) كلمة، ويتم منح استثناءات للبحوث ذات الطبيعة التحليلية الخاصة، كما يقدم الباحث مستخلصًا عن الورقة البحثية باللغة العربية وabastract باللغة الإنجليزية (150–250) كلمة لكل منهما.
- يجب أن تتضمن البحوث والدراسات المقدمة للنشر أداة تحليلية -كمية أو نوعية-، كما يجب أن يقدم البحث إضافة علمية في مجال التخصص.
- يلتزم الباحث بقواعد النشر العلمي والتنسيق المنصوص عليها في دليل المؤلفين.
- يلتزم الباحث بقواعد النزاهة العلمية، ومراعاة ألا تزيد نسبة الاقتباس عن 10%.
- في حالة استخدام المسوح أو أي أداة تحليلية يجب تقديم نسخة كاملة إذا لم تكن متضمنة في البحث.

2. المراجعة

- يخضع البحث لعملية مراجعة ثنائية غير معلومة الهوية Double-Blind Review إعمالاً لمبادئ الحيادية، والشفافية، والكفاءة، وعليه، يتم تقييم البحث من قبل لجنة مراجعة خارجية يرشحها رئيس التحرير تتكون من اثنين من المراجعين من ذوي الخبرة العلمية والأكاديمية الكافية في مجال البحث.
- تقوم لجنة المراجعة الخارجية بتقييم صلاحية البحث تمهيدًا لنشره بناءً على نموذج التقييم المرسل إلى اللجنة مع البحث. ويقوم المراجعون بتقدير درجات التقييم استنادًا إلى المعايير المحددة في نموذج التقييم؛ بهدف تقييم البحث من جوانب مختلفة. ويتوجب على المراجعين كتابة تقرير مفصل عن البحث.
- تستغرق عملية المراجعة الخارجية من خمسة إلى ستة أسابيع.

3. التعديلات

- تُرسل تقارير المراجعين إلى اللجنة التنفيذية للمجلة لاتخاذ قرار النشر وفقًا لعدة سيناريوهات:

1. **قبول المراجعين للبحث دون إجراء أي تعديل**
ترسل اللجنة التنفيذية للمجلة خطاب القبول النهائي للباحث، موقعًا من رئيس التحرير أو من ينيبه.

2. **قبول المراجعين للبحث مع عمل بعض التعديلات**
ترسل اللجنة التنفيذية للمجلة التعديلات إلى الباحث لعملها وتحميلها، بعد أسبوع من تاريخ إرسالها إلى المجلة على الموقع الإلكتروني للمجلة https://ijppe.journals.ekb.eg/journal/process?lang=en.

في حالة عمل جميع التعديلات، ترسل اللجنة التنفيذية للمجلة إلى الباحث خطاب القبول النهائي موقعًا من رئيس التحرير.

إذا لم يتم إجراء جميع التعديلات، يُمنح الباحث أسبوعًا إضافيًّا واحدًا. خلاف ذلك، سيتم رفض البحث.

3. **حال قبول البحث من أحد المراجعين ورفضه من المراجع الآخر**
في هذه الحالة يفصل رئيس التحرير في قرار قبول البحث بشكل نهائي أو رفضه. في كلتا الحالتين، يقوم رئيس التحرير بإخطار الباحث بالقرار.

4. **رفض المراجعين للبحث**
في هذه الحالة يتم إرسال خطاب اعتذار للباحث يفيد برفض نشر البحث.

4. إجراءات النشر

- يجب أن يقر المراجعان الخارجيان بصحة وصلاحية البحث للنشر بعد قيام الباحث بعمل التعديلات المطلوبة خلال الموعد النهائي (أسبوع واحد من تاريخ استلام التعديلات، بالإضافة إلى أسبوع آخر لتنفيذ التعديلات).
- يحصل الباحث على نسخة PDF رقمية من البحث بعد نشره.
- تُنشر الأوراق البحثية المقبولة، المتوافقة مع الإطار الزمني المحدد، وتَصدُر المجلة في شكلها النهائي بعد خضوعها للعمليات الفنية التالية:

  - التحرير، والتدقيق اللغوي، والتنسيق للأوراق البحثية المقبولة، حيث يتم قبول التعديلات الطفيفة.

  - إضافة بيانات المجلة حسب سياسة المجلة وتعليمات النشر، ومنها: صفحة العنوان، وتعليمات النشر، وأسماء الجهات المعنية بالمجلة، ورقم المجلد، ورقم الإصدار، وسنة ومكان النشر.

عن المجلة

- تعتبر المجلات العلمية الأكاديمية مصدرًا رئيسًا للمعلومات الحديثة في مختلف التخصصات.

وبناءً على إسهامات مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار الكبيرة في مجال البحث العلمي، يسعدنا إصدار المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر (IJPPE). فهي مجلة دورية علمية ربع سنوية، تنشر أوراقًا بحثية متخصصة للباحثين من جميع أنحاء العالم في مجال السياسات العامة للاستفادة من الخبرات الوطنية والإقليمية والدولية.

- تعد عملية المراجعة ضرورية لضمان جودة البحوث العلمية المنشورة والتحقق من المعلومات المذكورة. وتتبع المجلة عملية مراجعة مزدوجة غير معلومة الهوية، وذلك لضمان مبادئ الحيادية، والشفافية، والنزاهة والكفاءة العلمية في مراجعة الأوراق البحثية المقدمة، إذ إنه من الضروري للباحثين إنشاء قاعدة بحثية للتقدم في مجالات السياسات العامة. كما أنها تراعي أخلاقيات النشر العلمي، سواء من قبل المجلة أو الباحث.

- تهدف المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر إلى إثراء المكتبة المصرية والعربية والدولية ببحوث علمية تتناول السياسات العامة؛ من أجل تقييمها من وجهات نظر مبتكرة واستراتيجية وعملية. وتهدف إلى الاستفادة من البدائل والحلول القائمة على الأدلة لعملية صنع السياسة. وبالتالي، سيتم تعزيز القرارات التنموية والاستراتيجية، وإدارة الموارد والقدرات بحكمة. كما تعمل المجلة على تطوير قاعدة واسعة من العلماء والباحثين للتعاون المحتمل مع مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار في مختلف المجالات والتخصصات. علاوة على ذلك، تلبي المجلة احتياجات الباحثين محليًا وإقليميًا وعالميًا لنشر الأوراق البحثية باللغتين العربية والإنجليزية، وتسهم في إنشاء قاعدة مرجعية علمية في مجال البحوث والدراسات في جميع أنحاء العالم، لتحقيق الاستفادة من الخبرات الوطنية والإقليمية والدولية، كما تتكيف المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر مع احتياجات المجتمع العلمي والأكاديمي وتتعمق في نظام البحث العلمي.

- تهتم المجلة بالسياسات العامة، سواء أكانت اقتصادية، أم استراتيجية، أم اجتماعية، أم إدارية، أم تكنولوجية، أم تعليمية، أم بيئية، أم ثقافية، أم صحية.

- تضم هيئة تحرير المجلة أعضاء مصريين وأجانب للاستفادة من خبراتهم العلمية المتميزة، والحصول على الاعتماد من قواعد البيانات الدولية في المستقبل. كما انضمت إلى بنك المعرفة المصري (EKB) الذي يوفر نظامًا إلكترونيًا للتقديم والمراجعة.

د. أسعد الصادق

رئيس تحرير المجلة

محتويات العدد

الموضـــوع	الصفحة
أولًا : القسم العربي	
دراسة تحليلة لتحقيق استدامة الموارد المائية في البحرين: التحديات والفرص الاستراتيجية **سالم اذعار الرويلي**	12
التطور التكنولوجي وسياسات إدارة المخاطر البيئية: دراسة في المؤثرات والنتائج **أحمد همام محمد همام**	42
أولًا : القسم الإنجليزي	
The Effect(s) of E-Government on Corruption: Examining the Role of Development Level **أسماء محمد عزت، إنجى احمد حسن**	79
Investigating the Impact of Real Exchange Rate and Current Account Deficit on External Debt in Egypt During the Period (1980–2022) **رانيا أنيس الشرقاوي**	104
Global Pathways to Low-Carbon Economy: Trends, Challenges, and Opportunities **حاتم محمد عبدالعظيم**	123
The Impact of Green Supply Chain Management on Enhancing Mental Image: Empirical Case Study of Ain Shams Specialized Hospital **مروى سيد محمد حسين**	146

المراسلات

توجه جميع المراسلات باسم رئيس التحرير إلى:
مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار التابع لمجلس الوزراء
الحي الحكومي - العاصمة الإدارية الجديدة
جمهورية مصر العربية، رقم بريدي: 11582
هاتف: 27929292 (202)
البريد الإلكتروني: IJPPE@idsc.net.eg
الموقع الإلكتروني: ijppe.journals.ekb.eg

تنويه

- جميع الآراء المطروحة في البحوث العلمية المنشورة بالمجلة تعبر عن وجهة نظر كاتبيها، ولا تعبر -بالضرورة- عن آراء هيئة التحرير أو مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار، والمجلة غير مسؤولة عنها.
- جميع حقوق النشر محفوظة للمجلة.

المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر - مجلد 4 - العدد (3) - يوليو 2025
ISSN: Print: 2812 - 4758 , Online: 2812 - 4766
تصدر عن مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

دراسة تحليلة لتحقيق استدامة الموارد المائية في البحرين: التحديات والفرص الاستراتيجية

سالم اذعار الرويلي

باحث دكتوراه في إدارة الموارد البشرية، كلية العلوم الإدارية، جامعة العلوم التطبيقية، مملكة البحرين
salem333399@hotmail.com

Analytical Study to Achieve Sustainability of Water Resources in Bahrain: Strategic Challenges and Opportunities

Salem Edhaar Alrowaili

PhD Researcher in Human Resource Management, College of Administrative Sciences, Applied Science University, Kingdom of Bahrain
salem333399@hotmail.com

DOI: 10.21608/ijppe.2025.443487 URL: http://doi.org/ 10.21608/ijppe.2025.443487

تاريخ استلام البحث: 2024/11/07، وتاريخ قبوله: 2025/02/01

توثيق البحث: الرويلي، سالم. (2025). دراسة تحليلية لتحقيق استدامة الموارد المائية في البحرين: التحديات والفرص الاستراتيجية. *المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر*، *4*(3)، 12-41.

المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر - مجلد 4 - العدد (3) - يوليو 2025
ISSN: Print: 2812 - 4758 , Online: 2812 - 4766
تصدر عن مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار
سالم اذعار الرويلي

دراسة تحليلية لتحقيق استدامة الموارد المائية في البحرين: التحديات والفرص الاستراتيجية

المستخلص

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتحليل أبرز التحديات التي تواجه إدارة الموارد المائية في مملكة البحرين، حيث تعاني المملكة من أزمة مائية متزايدة؛ نتيجة ندرة الموارد الطبيعية والاعتماد الكبير على تحلية مياه البحر لتأمين الاحتياجات من المياه العذبة. وتستعرض الدراسة أثر التغيرات المناخية والنمو السكاني المتسارع في زيادة الطلب على المياه، مما يشكل ضغطًا كبيرًا على استدامة هذا المورد الحيوي. وتعتمد منهجية البحث على تحليل الأدبيات السابقة وبيانات ميدانية حول أنماط استهلاك المياه وكفاءة تقنيات التحلية، بالإضافة إلى دراسة دور المياه المعالجة في تقليل الطلب على المياه العذبة. وتُبرز النتائج أن تحسين كفاءة استهلاك المياه وتوسيع استخدام المياه المعالجة يُسهمان بشكل كبير في تخفيف الضغوط على الموارد المتاحة، حيث تدعم هذه الإجراءات التوازن بين العرض والطلب. وبناءً على النتائج التي توصلت إليها الدراسة، توصي بضرورة تطوير تقنيات تحلية تعتمد على الطاقة المتجددة للحد من التأثير البيئي، وتوسيع استخدام المياه المعالجة في القطاعات الزراعية والصناعية من خلال تحسين أساليب المعالجة. كما توصي بتبني سياسات مائية مرنة تشمل أنظمة تسعير متغيرة تشجع على ترشيد الاستهلاك، وتعزيز التعاون بين دول مجلس التعاون الخليجي لتبادل التقنيات والمعرفة الحديثة في مجال إدارة المياه. كذلك، سعت الدراسة إلى وضع إطار عمل شامل يدعم تحقيق الأمن المائي وتعزيز استدامة الموارد المائية للأجيال القادمة، بهدف زيادة قدرة البحرين على مواجهة التحديات البيئية والاقتصادية المتزايدة. وفي ضوء ما تقدم، توصي الدراسة بإجراء بحوث مستقبلية تركز على تقييم فاعلية التقنيات المستدامة في تحلية المياه، ودراسة سلوك المستهلكين تجاه سياسات ترشيد الاستهلاك، بالإضافة إلى استكشاف حلول مبتكرة لمواجهة التغيرات المناخية وتأثيرها على الموارد المائية في البحرين.

الكلمات الدالة: تحلية المياه، إدارة الموارد المائية، الاستدامة المائية، الميزان المائي، مملكة البحرين

المقدمة

تُعدّ مشكلة ندرة المياه من أبرز التحديات البيئية والاقتصادية التي تواجه العديد من دول العالم، ولا سيما الدول ذات المناخ الجاف مثل مملكة البحرين؛ إذ تؤدي الظروف المناخية الصعبة، والتغيرات البيئية المتسارعة، والنمو السكاني السريع إلى تفاقم أزمة المياه (Fanack Water, 2022). وتُعتبر البحرين من أكثر الدول تأثرًا بهذه الأزمة، مما يضطرها إلى الاعتماد شبه الكامل على تحلية مياه البحر كمصدر رئيسي للمياه العذبة لتلبية احتياجات السكان، ويؤدي هذا الاعتماد الكبير إلى زيادة تكاليف الإنتاج، مما يُثير تحديات بيئية تتعلق بتأثير عمليات التحلية على البيئة البحرية وارتفاع استهلاك الطاقة (UN-Water, 2023).

وتأسيسًا على ما سبق، تنبع أهمية هذا البحث في تقديم رؤية متكاملة لمواجهة هذه التحديات، بالاعتماد على منهجيات علمية وعملية تتماشى مع الاستراتيجيات الوطنية، وتدعم جهود البحرين في تحقيق استدامة الموارد المائية (المجلس الأعلى للبيئة، 2024). وتهدف هذه الدراسة إلى تحليل أزمة المياه في البحرين بعمق، واستقصاء العوامل التي تساهم في ندرة المياه، بدءًا من الظروف البيئية والمناخية، مرورًا بالتحديات التقنية والاقتصادية، ووصولًا إلى استعراض استراتيجيات تحسين كفاءة إدارة الموارد المائية (Fanack Water ,2022). ولا يقتصر البحث على تحديد التحديات فقط، بل يسعى إلى تقديم حلول عملية مستندة إلى تجارب دولية ناجحة وسياسات مستدامة يمكن للبحرين الاستفادة منها (UN-Water, 2023).

وتتجاوز هذه الدراسة الطرح النظري إلى تقديم توصيات تطبيقية تتناسب مع الإمكانات المحلية، والاستفادة من موارد البلاد المتاحة. فعلى سبيل المثال، يركز البحث على دراسة الجدوى الاقتصادية والبيئية للتحول إلى تقنيات تحلية أكثر كفاءة وأقل استهلاكًا للطاقة، مثل الاعتماد على الطاقة المتجددة في محطات التحلية (البنك الدولي، 2020)، وتقنيات إعادة تدوير المياه المعالجة للاستخدامات غير المنزلية. كما يُبرز البحث ضرورة ترسيخ ثقافة الاستدامة وترشيد استهلاك المياه بين مختلف شرائح المجتمع، مع تقديم حلول عملية قابلة للتطبيق في القطاعات السكنية والصناعية والزراعية (المجلس الأعلى للبيئة، 2024).

ويأتي توقيت هذا البحث في ظل تزايد ندرة الموارد المائية، مما يجعل تكاليف إدارة المياه عبئًا متزايدًا على الميزانية الوطنية (Fanack Water, 2022). ومع تزايد التحديات الاقتصادية والبيئية، تمثل هذه الدراسة أساسًا لوضع سياسات مرنة وفعّالة تضمن تلبية احتياجات الأجيال الحالية والمستقبلية من المياه، وتسهم في تعزيز قدرة البحرين على التعامل مع تحديات المياه بطريقة مستدامة (UN-Water, 2023).

بالإضافة إلى ما سبق، يوفر هذا البحث رؤية شاملة لأزمة المياه في البحرين، مع التركيز على الجوانب العملية التي تدعم صناع القرار في المملكة. ويطمح البحث إلى أن تكون التوصيات المقدمة بمثابة خطوات عملية تسهم في تعزيز قدرة البحرين على تحقيق استدامة الموارد المائية، بما يدعم الرؤية الوطنية والأهداف البيئية طويلة المدى (المجلس الأعلى للبيئة، 2024).

ورغم تعدد الدراسات التي تناولت تحديات إدارة الموارد المائية في البحرين ودول الخليج، فإن معظمها ركز على الجوانب النظرية أو التجارب المقارنة دون تقديم حلول تطبيقية متكاملة تتناسب مع خصوصية الوضع البحريني (Fanack Water, 2022). كما أن هناك نقصًا واضحًا في الأبحاث الميدانية التي تربط بين كفاءة تقنيات التحلية الحديثة، واستخدام المياه المعالجة، وتقييم الأثر الاقتصادي والبيئي لهذه الحلول ضمن السياق المحلي (UN–Water, 2023). ومن هنا، يسعى هذا البحث إلى سد هذه الفجوة من خلال تحليل معمق للواقع البحريني، وتقديم إطار عملي وتوصيات قابلة للتنفيذ تدعم صناع القرار في تبني سياسات مائية مستدامة وفعالة (البنك الدولي، 2020).

مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث في التحديات الكبيرة التي تواجه البحرين لتحقيق استدامة مواردها المائية، وذلك بسبب ندرة الموارد الطبيعية وتأثيرات التغير المناخي. ويعتمد توفير المياه بشكل شبه كامل على عمليات تحلية مياه البحر، مما يرفع من التكاليف من جانب ويؤدي إلى آثار بيئية ملحوظة من جانب آخر. علاوة ذلك، يسهم النمو السكاني والتوسع العمراني في زيادة الطلب على المياه، مما يضع ضغوطا إضافية على النظام البيئي ويشكل عبئا على الاقتصاد الوطني.

بناءً على ما سبق، يطرح البحث السؤال الرئيسي التالي: كيف يمكن للبحرين مواجهة التحديات المائية الحالية وتحقيق استدامة مواردها في ظل الظروف البيئية والاقتصادية المعقدة؟

أهداف البحث

يَهدف هذا البحث إلى فهم وتحليل العوامل التي تُسهم في أزمة المياه في البحرين، مع التركيز على تقييم السياسات والاستراتيجيات الحالية المتعلقة بإدارة الموارد المائية. وتسعى الدراسة إلى تقديم توصيات مبنية على الأدلة العلمية والتجارب الدولية والمحلية، بهدف توفير حلول مبتكرة ومستدامة لتعزيز الأمن المائي في البحرين.

يتمثل الهدف في مساعدة البحرين على تحليل الوضع المائي بالمملكة بهدف تطوير استراتيجية شاملة لإدارة الموارد المائية، بما يشمل تحسين كفاءة استخدام المياه، وزيادة الاعتماد على المياه المعالجة، وتطوير تقنيات تحلية مياه البحر بطرق تقلل من الآثار البيئية والاقتصادية. إضافة إلى ذلك، يهدف البحث إلى تعزيز التعاون الإقليمي بين دول مجلس التعاون الخليجي في إدارة الموارد المائية، بهدف تحقيق تكامل إقليمي يسهم في تحسين استدامة هذه الموارد. وفي سياق ذلك يتناول البحث ما يلي:

- الميزان المائي في البحرين (المصادر والاحتياجات أو الاستخدامات للموارد المائية في البحرين).
- التقييم الاقتصادي والبيئي (التكلفة، وإنتاجية الوحدة في اليوم، واستهلاك الطاقة) للأنواع المختلفة من تكنولوجيات تحلية المياه في ظل استخدام أنواع مختلفة من الطاقة في التشغيل.
- تكلفة إنشاء محطات المياه المعالجة أو التكنولوجيا الحديثة لمعالجة المياه واستخدامها في الري والصناعة.

- تكلفة تحسين البنية التحتية لأنظمة المياه والصرف الصحي.
- حساب تكلفة حصاد مياه الأمطار ومقارنتها بتكنولوجيا تحلية المياه المتطورة.
- الطرق والوسائل الحديثة لترشيد استخدام مياه الشرب والاستخدام المنزلي والصناعي.
- وأخيرا، تحليل مدى قدرة التعاون الإقليمي في تخفيف الأعباء المتعلقة بأزمة المياه.

أهمية البحث

تبرز أهمية هذا البحث في سعيه لمواجهة إحدى أهم المشكلات البيئية والاقتصادية التي تهدد البحرين ودول الخليج العربي، والمتمثلة في الاعتماد المتزايد على تحلية مياه البحر. إذ تُعد هذه التقنية عبئًا مزدوجًا من حيث التكلفة الاقتصادية المرتفعة والتأثيرات البيئية السلبية، نظرًا لما تتطلبه من استثمارات ضخمة في البنية التحتية، واستهلاك كميات كبيرة من الطاقة. بالإضافة إلى ذلك، فإن زيادة استهلاك المياه مع النمو السكاني والتوسع العمراني تؤثر سلبًا على استدامة الموارد الطبيعية. لذا، يُعد هذا البحث محوريا في هذا السياق، إذ يقدم حلولًا مبتكرة ومستدامة ويستند إلى التجارب العالمية الناجحة، وهو مما يمكن أن يساعد البحرين في تطوير استراتيجيات مرنة وفعالة لإدارة مواردها المائية (Fanack Water, 2020).

علاوة على ذلك، يتماشى هذا البحث مع رؤية البحرين 2030 وأهداف التنمية المستدامة التي وضعتها الأمم المتحدة، والتي تركز على ضمان توفر المياه وخدمات الصرف الصحي لجميع الأفراد. ومن هذا المنطلق، تأتي أهمية هذا البحث في كونه يوفر إطارًا متكاملًا يمكن أن يسهم في تحقيق تلك الأهداف، حيث يطرح مقترحات عملية تتوافق مع متطلبات البحرين الفريدة، ويدعم استدامة الموارد المائية بما يلبي احتياجات الأجيال القادمة (UN-Water, 2023).

المنهجية ومصادر البيانات

استند البحث إلى منهجية تحليلية تجمع بين الأسلوبين الكمي والنوعي لاستعراض التحديات المرتبطة بإدارة الموارد المائية في البحرين، مع الاعتماد على البيانات الميدانية والمصادر الأكاديمية ذات الصلة. وفي هذا السياق، تم تحليل الإحصاءات المتاحة حول استهلاك المياه، ومعدلات التحلية، واستخدام المياه المعالجة، بالإضافة إلى دراسة تأثير التغيرات المناخية على ندرة المياه. كما تضمن مراجعة الأدبيات السابقة التي تناولت تجارب دولية وإقليمية في إدارة المياه، بهدف استخلاص الدروس المستفادة وتحديد الفرص المتاحة لتطوير استراتيجيات فعالة في البحرين.

وعلى صعيد التحليل الكمي، تناول البحث دراسة بيانات استهلاك المياه وتطورها عبر السنوات، بينما ساعد التحليل النوعي في فهم الأبعاد البيئية والاجتماعية والسياسات المتعلقة بالمشكلة. بالإضافة إلى ذلك، تطرق البحث إلى مقارنة التجارب مع دول أخرى مشابهة، مثل سنغافورة وبعض دول الخليج، لتحديد الفروق واستخلاص أفضل الممارسات التي يمكن تطبيقها في البحرين.

أما بالنسبة لمصادر البيانات، فقد اعتمد البحث على عدة مصادر متنوعة، شملت التقارير الحكومية الصادرة عن وزارة شؤون الكهرباء والماء، والدراسات الأكاديمية المنشورة في المجلات العلمية، بالإضافة إلى البيانات الميدانية التي تم جمعها من محطات تحلية المياه ومرافق معالجة المياه في البحرين. وقد أتاح هذا التنوع في مصادر البيانات بناء صورة شاملة ودقيقة عن واقع إدارة الموارد المائية في المملكة.

الإضافة البحثية

يسعى هذا البحث لسد فجوات معرفية في الأدبيات الحالية حول إدارة الموارد المائية في البحرين، وذلك من خلال تحليل شامل يعزز من تبني سياسات مستدامة وتقنيات حديثة لتحسين الإدارة المائية. وتتميز عن الأبحاث السابقة بدمج الأدلة من مصادر عالمية ومحلية، وتطبيقها عمليًا في السياق البحريني، مما يوفر توصيات عملية قابلة للتنفيذ تتوافق مع التحديات البيئية والاقتصادية لدعم الأمن المائي المستدام.

كما يُقدم البحث إطارًا عمليًا لصانعي السياسات والمختصين في قطاع المياه، من خلال رؤى لتعزيز التعاون بين الجهات الرسمية والمجتمع المحلي، واستلهام التجارب الدولية لرفع كفاءة استخدام المياه وتحقيق التنمية المستدامة. كما يُبرز البحث أهمية التعاون الإقليمي في حل قضايا المياه عبر تبادل المعرفة والتجارب، مما يجعلها مرجعًا أساسيًا لصانعي السياسات وذوي الاختصاص، ويوفر دليلًا عمليًا لتحسين الاستدامة المائية وضمان الأمن المائي للأجيال القادمة.

مراجعة الأدبيات

تتناول الأدبيات المتعلقة بإدارة الموارد المائية موضوع ندرة المياه من زوايا متعددة، حيث تسلط الضوء على التحديات التي تواجه الدول ذات المناخ الجاف، وخاصة في منطقة الخليج العربي، وتقدم دراسات متنوعة يمكن تصنيفها إلى ثلاث فئات رئيسية، هي: الدراسات النظرية، والدراسات التطبيقية، والدراسات المقارنة. وفيما يلي عرض لكل منها.

أولًا: الدراسات النظرية

تسلط العديد من الدراسات النظرية الضوء على الأبعاد الاقتصادية والاجتماعية لإدارة المياه في المناطق التي تعاني من ندرة الموارد. فعلى سبيل المثال، تشير الأدبيات الحديثة إلى أن تعزيز مشاركة القطاع الخاص في إدارة قطاع المياه في البحرين ودول الخليج يمكن أن يُسهم في تحسين كفاءة استخدام الموارد المائية، خاصة مع توجه بعض الحكومات إلى خصخصة بعض القطاعات المرتبطة بإمدادات المياه، مما قد يؤدي إلى تقليل الفاقد ورفع كفاءة الاستهلاك (Gulf Research Center, 2024).

بالإضافة إلى ذلك، تؤكد دراسات أخرى أن تحقيق الإدارة المستدامة للمياه في البحرين يتطلب تعاونًا وثيقًا بين الحكومة والقطاع الخاص وأفراد المجتمع المحلي، مع الاعتماد على سياسات تكاملية تهدف إلى الحفاظ على

الموارد الطبيعية المتاحة وتطويرها. وتُبرز الأدبيات أيضًا أهمية الإدارة المتكاملة للموارد المائية، وتوصي بتفعيل دور المجتمع والقطاع الخاص في دعم السياسات المائية المستدامة (Fanack Water, 2020).

وتساهم هذه الدراسات النظرية في إثراء النقاش حول أفضل الممارسات في الإدارة المستدامة للمياه، وتوفر توجيهات لصانعي السياسات في البحرين لاتخاذ قرارات مبنية على أسس علمية تدعم الأمن المائي على المدى الطويل. كما تركز الأدبيات بشكل خاص على التحديات الاقتصادية المرتبطة بعمليات تحلية المياه وتأثيراتها البيئية، حيث تشير التحليلات الحديثة إلى أن العمليات الحالية بحاجة إلى تحسينات كبيرة لتصبح أكثر استدامة وفاعلية (Al Saif et al., 2025).

ثانيًا: الدراسات التطبيقية

تركز الدراسات التطبيقية الحديثة على تقديم رؤى عملية حول كيفية تطبيق السياسات المائية الفعالة في البحرين، مع إبراز أهمية مشاركة المجتمع المحلي وتبني حلول تقنية متقدمة. فقد أشار تقرير برنامج الأمم المتحدة الإنمائي إلى أن حملات التوعية المجتمعية وبرامج ترشيد استهلاك المياه في البحرين ساهمت في رفع مستوى الوعي وتقليل معدلات الاستهلاك، كما أكد التقرير أن إشراك المجتمع المحلي يعد ركيزة أساسية في نجاح سياسات إدارة المياه، خاصة في ظل محدودية الموارد الطبيعية وزيادة الطلب نتيجة النمو السكاني والتوسع العمراني (برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، 2022).

وفي السياق ذاته، أوضحت دراسة منشورة على منصة Fanack Water أن البحرين حققت تقدمًا ملموسًا في إعادة استخدام المياه المعالجة، حيث يتم توجيه جزء كبير من هذه المياه إلى قطاع الزراعة والصناعة، مما يخفف الضغط على المياه العذبة ويسهم في تحقيق أهداف الاستدامة. كما بينت الدراسة أن تطوير البنية التحتية لمحطات المعالجة وتوسيع نطاق استخدام المياه المعالجة يمثلان أحد المحاور الرئيسية في الاستراتيجية الوطنية للمياه (Fanack Water, 2022).

أما على صعيد التقنيات، فقد تناول بحث علمي مشترك بين جامعة البحرين وجامعة أكسفورد البريطانية التحديات التقنية في محطات التحلية، وركز على تحسين كفاءة الأغشية المستخدمة في تقنية التناضح العكسي، حيث أشار إلى أن تطوير هذه التقنيات يساهم في تقليل استهلاك الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية، وهو ما يمثل خطوة مهمة نحو تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية في قطاع المياه (University of Bahrain, 2020).

ثالثًا: الدراسات المقارنة

أظهرت الدراسات المقارنة أهمية تبادل الخبرات والمعرفة بين الدول التي تواجه تحديات مائية مماثلة. فقد تناول تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) لعام 2022 تجارب دول مثل سنغافورة في مواجهة ندرة المياه، حيث اعتمدت هذه الدول على تقنيات متقدمة مثل تحلية المياه وإعادة تدويرها بكفاءة عالية. وتوضح هذه التجارب أن الاعتماد على التقنيات الحديثة يساهم في تقليل الاعتماد على الموارد التقليدية، كما يساعد في

الحد من الأثر البيئي المرتبط بعمليات التحلية. وتشير تقارير الهيئة إلى أن كل ارتفاع إضافي في درجات الحرارة العالمية يجعل تحقيق الأمن المائي أكثر صعوبة، خاصة في المناطق الأكثر عرضة للمخاطر المناخية مثل منطقة الخليج العربي، مما يؤكد أهمية التعاون الإقليمي وتبني الحلول التقنية المبتكرة لتعزيز استدامة الموارد المائية في المستقبل (IPCC, 2022).

كما أشار تقرير البنك الدولي (2024) حول دول مجلس التعاون الخليجي إلى أن التعاون الإقليمي في تطوير تقنيات التحلية المستدامة وتبادل المعرفة بين دول المجلس يمكن أن يقلل التكاليف ويحسن كفاءة إدارة الموارد، خاصة مع تزايد التحديات المرتبطة بالتغيرات المناخية وارتفاع الطلب على المياه. وأكد التقرير أن الشراكة مع تبادل الخبرات في مجال إدارة المياه تمثل ركيزة أساسية لتحقيق الأمن المائي المستدام في المنطقة (البنك الدولي، 2024).

التعليق العام على الأدبيات

تُظهر الأدبيات المتعلقة بإدارة الموارد المائية في البحرين ومنطقة الخليج أن القطاع يواجه تحديات هيكلية تشمل الظروف المناخية الصعبة، وندرة المياه العذبة، والاعتماد المفرط على تحلية مياه البحر. وتجمع العديد من الدراسات الحديثة على أن هذه التحديات تتطلب نهجًا متكاملًا ومستدامًا لإدارة الموارد المائية، بما يتضمن تضافر الجهود بين الحكومة والقطاع الخاص وتفعيل دور المجتمع المحلي.

من الملاحظ أن معظم الدراسات ركزت على الأبعاد النظرية والتطبيقية المتعلقة بإدارة المياه، مع اهتمام خاص بتجارب الدول الأخرى التي واجهت تحديات مشابهة، كوسيلة لتعزيز السياسات المائية المحلية. ومع ذلك، يظهر بعض النقص في الأدبيات فيما يتعلق بتطبيق حلول مبتكرة على أرض الواقع في البحرين، حيث تفتقر بعض الدراسات إلى التوصيات العملية التي يمكن تنفيذها لمواجهة أزمة المياه.

علاوة على ذلك، توضح الدراسات التطبيقية أن الجهود المبذولة في إدارة الموارد المائية ليست كافية لتحقيق الأمن المائي المستدام، وتشير إلى الحاجة الملحة إلى استراتيجيات تكنولوجية حديثة وفعّالة، وتعاون إقليمي يُعزز من إمكانيات تحسين الكفاءة في استخدام المياه. لذا، تَبرز أهمية هذا البحث من خلال سد بعض الفجوات المعرفية –المشار إليها سلفا– وتقديم إطار متكامل يعزز فهم السياسات الحالية وتقديم توصيات عملية، مما يساهم في تحقيق الأمن المائي بطريقة تتماشى مع متطلبات البحرين الفريدة وظروفها البيئية والاقتصادية (جامعة الخليج العربي، 2025).

الإطار النظري

يتناول الإطار النظري أبرز التحديات التي تواجه الموارد المائية في مملكة البحرين، مع التركيز على تأثير التغيرات المناخية، ودور المياه المعالجة في تعزيز الأمن المائي، إلى جانب تحليل المصادر الحالية للمياه وسبل إدارتها لتحقيق الاستدامة في ظل ظروف بيئية ومناخية متغيرة.

التحديات المؤثرة على الموارد المائية بالبحرين

تُعتبر أزمة المياه من أكبر التحديات البيئية والتنموية عالميا، إذ تعاني العديد من الدول من نقص حاد في الموارد المائية نتيجة التغيرات المناخية، والنمو السكاني السريع، وسوء إدارة الموارد الطبيعية. وتبرز منطقة الخليج العربي، خاصة مملكة البحرين، كواحدة من أكثر المناطق تأثرًا بهذه الأزمة، حيث تعتمد بشكل شبه كامل على مصادر مائية غير تقليدية مثل تحلية مياه البحر لتلبية احتياجاتها المتزايدة، في ظل محدودية الموارد الطبيعية وتدهور جودة المياه الجوفية بفعل الاستنزاف والملوحة (EcoMENA, 2025).

تشير التقارير الدولية إلى أن البحرين تُصنف ضمن أكثر دول العالم تعرضًا للإجهاد المائي، حيث تعتمد بنسبة تزيد عن 90% على تحلية المياه لتأمين احتياجاتها، مع تزايد الضغوط الناتجة عن النمو السكاني والتوسع العمراني، وارتفاع الطلب على المياه في القطاعات المنزلية والصناعية والزراعية. وتُظهر البيانات أن نصيب الفرد من الموارد المائية المتجددة في البحرين من بين الأدنى عالميًا، مما يجعل تحقيق الأمن المائي هدفًا استراتيجيًا يتطلب سياسات مبتكرة وإجراءات فعالة لتعزيز كفاءة استخدام الموارد وتطوير حلول مستدامة لإدارة الأزمة (The Daily Tribune, 2023).

وقد أكدت دراسات تحليلية أن التغيرات المناخية، مثل ارتفاع درجات الحرارة وتراجع معدلات الأمطار، تُساهم في تفاقم أزمة المياه في البحرين، حيث أدت إلى تراجع مستويات المياه الجوفية وارتفاع ملوحتها، وزيادة الاعتماد على محطات التحلية كثيفة الاستهلاك للطاقة، وما يرافق ذلك من تحديات بيئية واقتصادية، مثل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتأثير تصريف المياه المالحة على البيئة البحرية (Carnegie Endowment, 2024) .

وتشير توقعات المنظمات الدولية إلى أن الطلب على المياه عالميًا قد يرتفع بنسبة 55% بحلول عام 2050، مما يضاعف الضغوط على المصادر المائية المتاحة، خاصة في المناطق الجافة مثل البحرين، ويستدعي تطوير استراتيجيات فعالة تشمل تحسين كفاءة التحلية، وتوسيع إعادة استخدام المياه، وتبني سياسات تسعير مرنة، وتعزيز الوعي المجتمعي حول أهمية ترشيد الاستهلاك (Save The Water, 2019).

يركز هذا البحث على تحليل التحديات المرتبطة بأزمة المياه في البحرين، واستعراض السياسات والاستراتيجيات المتبعة لتحقيق الاستدامة المائية، مع إبراز أهمية التكنولوجيا المتقدمة وإعادة استخدام المياه المعالجة كحلول رئيسية. كما يؤكد على ضرورة تعزيز التعاون الإقليمي والدولي في مجال إدارة الموارد المائية، وتقديم توصيات عملية مستندة إلى التجارب الدولية الناجحة، بما يدعم تحقيق الأمن المائي للأجيال القادمة (Green Climate Fund, 2018).

تأثير التغيرات المناخية

تُعتبر التغيرات المناخية من أبرز التحديات البيئية العالمية، إذ تؤثر بشكل مباشر على أنماط هطول الأمطار ودرجات الحرارة، وتؤدي إلى زيادة معدلات التبخر وتقلص كميات المياه المتاحة في الأنهار والبحيرات. وتواجه

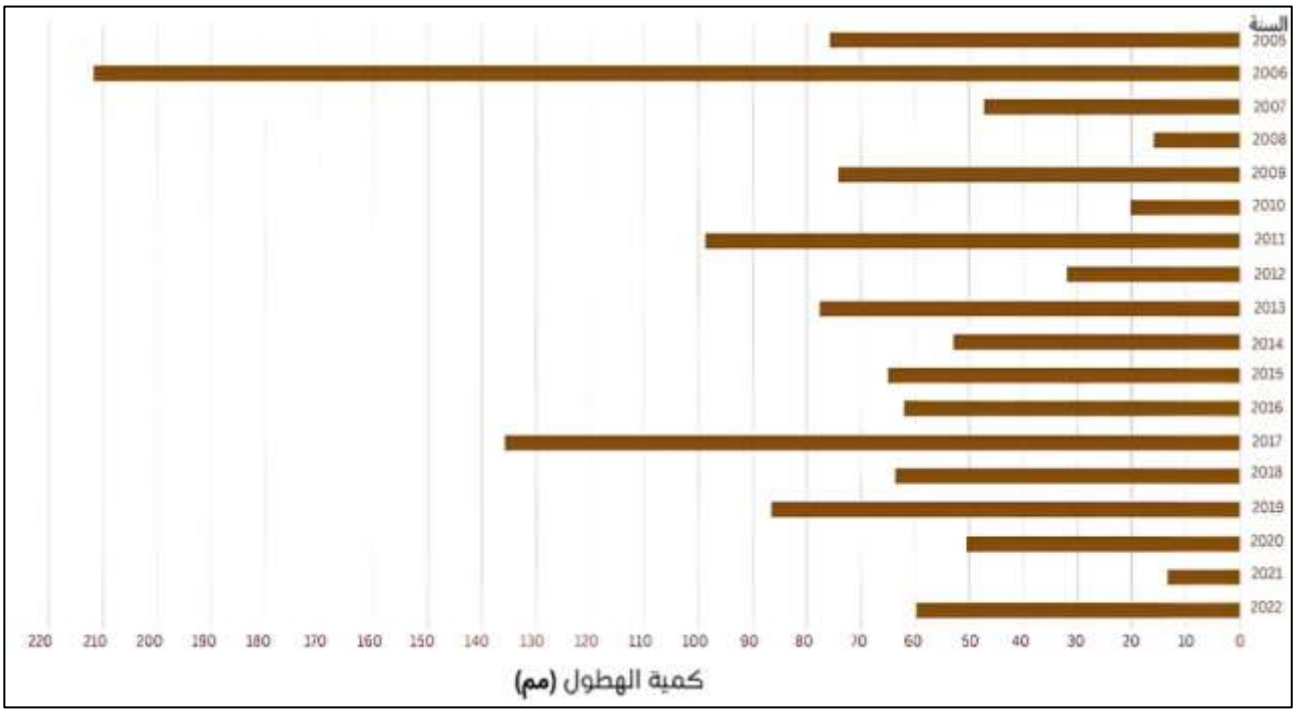
مناطق مثل الشرق الأوسط، ومنها البحرين، تأثيرات سلبية واضحة نتيجة الجفاف المتكرر، وتذبذب الهطول المطري، وارتفاع درجات الحرارة، مما ينعكس على توافر المياه ويهدد الأمن المائي والغذائي. وتشير تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ إلى أن استمرار ارتفاع درجات الحرارة العالمية سيؤدي إلى المزيد من موجات الجفاف والفيضانات، ويزيد من صعوبة تحقيق الأمن المائي، خاصة في المناطق القاحلة مثل منطقة الخليج العربي (IPCC, 2021).

وفي البحرين، تُعد بيانات تساقط الأمطار من العوامل الأساسية التي تؤثر على توافر الموارد المائية، إذ يسهم هطول الأمطار في تجديد المياه الجوفية، ويوجه استراتيجيات إدارة المياه في المملكة. وعلى الرغم من اعتماد البحرين بشكل رئيسي على تحلية مياه البحر لتأمين احتياجاتها، فإن فهم الأنماط التاريخية لتساقط الأمطار يمثل أداة مهمة لتعزيز جهود الاستدامة في ظل التحديات المناخية والنمو السكاني المتسارع. وتؤكد الدراسات التطبيقية أن تقلبات الأمطار وتراجعها في السنوات الأخيرة من العوامل التي تزيد من الاعتماد على مصادر المياه غير التقليدية، وتفرض تحديات إضافية على السياسات المائية.

يوضح الشكل رقم (1) الاتجاهات التاريخية لهطول الأمطار السنوية في مملكة البحرين للفترة الممتدة من عام 2005 حتى عام 2022. ويتبين من البيانات وجود تذبذب كبير في كميات الأمطار من سنة إلى أخرى، حيث تراوحت القيم بين أقل من 20 مم في بعض السنوات إلى أكثر من 200 مم في سنوات استثنائية. ويُلاحظ أن المتوسط السنوي طويل الأمد للأمطار، يبلغ حوالي 71 مم.

الشكل 1

المجموع السنوي لهطول الأمطار في مملكة البحرين (2005–2022)



المصدر: (بوابة البيانات المفتوحة البحرينية، دون تاريخ أ).

تعكس هذه التقلبات الحادة في كميات الأمطار مدى هشاشة الوضع المائي في البحرين أمام التغيرات المناخية الإقليمية والعالمية، حيث تتكرر فترات الجفاف وتقل سنوات الهطول الغزير، مما يفرض ضغوطًا متزايدة على موارد المياه الجوفية والمياه السطحية المحدودة في المملكة. وفي ظل هذه التحديات المناخية، يصبح من الضروري النظر في العوامل الأخرى المؤثرة على منظومة المياه، وفي مقدمتها النمو السكاني المتسارع والزيادة المستمرة في الطلب على المياه، والتي تمثل بدورها تحديًا إضافيًّا أمام تحقيق الاستدامة المائية في البحرين.

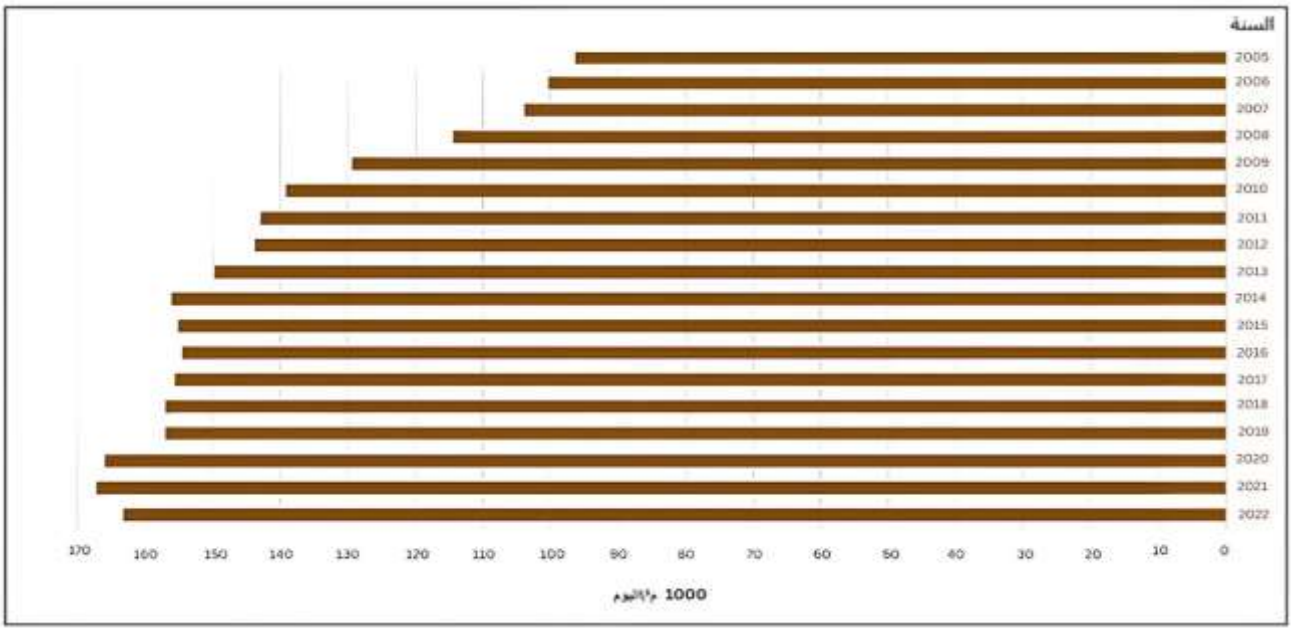
النمو السكاني واستهلاك المياه

يتزايد عدد سكان البحرين بوتيرة متسارعة، مما يؤدي إلى ارتفاع ملحوظ في الطلب على المياه بجميع القطاعات، ولا سيما مع التوسع العمراني والتحسن المستمر في مستويات المعيشة. وتعتمد المملكة بشكل كبير على تحلية مياه البحر لتلبية احتياجاتها اليومية، حيث تشكل المياه المحلاة أكثر من 60% من إجمالي استهلاك المياه، إلا أن هذا الاعتماد يرافقه تحديات اقتصادية وبيئية متزايدة، منها ارتفاع تكاليف التشغيل وتأثيرات سلبية على البيئة البحرية (Fanack Water, 2020).

ويوضح الشكل رقم (2) التطور الزمني لمعدل الاستهلاك اليومي للمياه في مملكة البحرين خلال الفترة من 2005 إلى 2022. ويتبين من الرسم البياني وجود زيادة مطردة في حجم الاستهلاك اليومي، حيث ارتفع المعدل من نحو 100 ألف متر مكعب يوميًّا في عام 2006 إلى أكثر من 166 ألف متر مكعب يوميًّا في عام 2020. ويعكس هذا النمو المتسارع في الاستهلاك أثر الزيادة السكانية والتوسع العمراني وارتفاع مستويات المعيشة، بالإضافة إلى التوسع في القطاعات الصناعية والخدمية.

الشكل 2

تطور معدل الاستهلاك اليومي للمياه في مملكة البحرين (2005–2022)



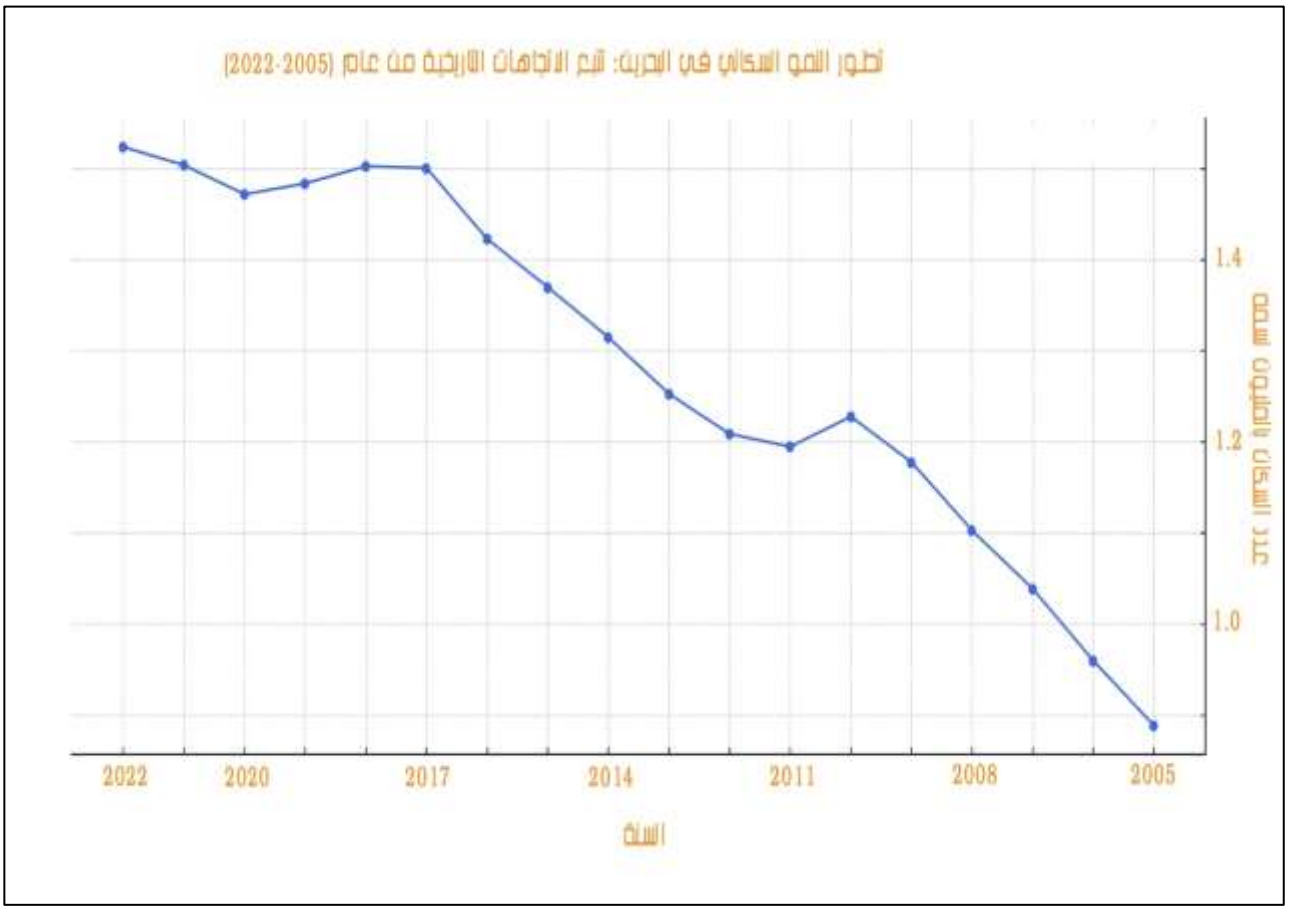
المصدر: (بوابة البيانات المفتوحة البحرينية، دون تاريخ ب).

تدل هذه البيانات على تصاعد الضغوط على منظومة المياه في المملكة، خاصة في ظل محدودية الموارد الطبيعية والاعتماد الكبير على تحلية مياه البحر كمصدر رئيسي لتلبية الاحتياجات اليومية. ويبرز من خلال التحليل أهمية تعزيز كفاءة استخدام المياه، وتطوير استراتيجيات لإدارة الطلب، وتوسيع الاعتماد على مصادر المياه غير التقليدية، مثل إعادة استخدام المياه المعالجة، لمواجهة التحديات المستقبلية وضمان استدامة الموارد المائية في البحرين (وزارة شؤون الكهرباء والماء، 2021).

ويوضح الشكل (3) الاتجاهات التاريخية للنمو السكاني في مملكة البحرين خلال الفترة من 2005 حتى 2022، استنادًا إلى بيانات المركز الإحصائي الوطني. وشهد عدد السكان زيادة ملحوظة خلال هذه الفترة، حيث ارتفع من نحو 1.0 مليون نسمة في عام 2005 إلى أكثر من 1.6 مليون نسمة في عام 2022. ويعكس هذا التزايد المستمر في عدد السكان الضغوط المتزايدة على منظومة الموارد المائية في المملكة، إذ يرتبط النمو السكاني بشكل مباشر بزيادة الطلب على المياه العذبة في القطاعات المنزلية والصناعية والزراعية (CEIC Data, 2024).

الشكل 3

تطور النمو السكاني في البحرين: تتبع الاتجاهات التاريخية (2005– 2022)



المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات (البنك الدولي، 2024).

يمثل التحليل التاريخي لهذه البيانات أداة حيوية لتقدير الاحتياجات المستقبلية من المياه وتوجيه السياسات المائية بشكل أفضل، حيث يساعد صناع القرار في وضع استراتيجيات فعالة لإدارة الموارد المائية وتعزيز كفاءة استخدامها. كما تبرز أهمية التعليم والتوعية المجتمعية بشأن ترشيد استهلاك المياه، خاصة مع استمرار النمو السكاني، لضمان تحقيق الاستدامة المائية للأجيال القادمة (Borgen Project, 2024).

كفاءة تقنيات التحلية

تُعد تقنيات تحلية المياه الركيزة الأساسية لتوفير المياه العذبة في مملكة البحرين، نظرًا لندرة الموارد الطبيعية وتزايد الطلب الناتج عن النمو السكاني والتوسع الحضري. وتعتمد معظم محطات التحلية في البحرين على تقنيات تقليدية مثل التقطير الومضي متعدد المراحل Multi-Stage Flash Distillation (MSF) والتقطير متعدد التأثير Multi-Effect Distillation (MED)، إلى جانب التوسع في استخدام تقنية التناضح العكسي (RO) Reverse Osmosis في السنوات الأخيرة.

ويوضح الجدول رقم (1) التطور التاريخي لمحطات التحلية في البحرين، حيث بدأت المسيرة بمحطة سترة التي افتتحت عام 1975 باستخدام تقنية MSF بطاقة تشغيلية تبلغ حوالي 113,600 متر مكعب يوميًّا، تلتها محطة رأس أبو جرجور عام 1984، التي اعتمدت على تقنية RO بطاقة تشغيلية تبلغ 73,400 متر مكعب يوميًّا. وفي عام 1990، بدأت محطة الدور القديمة باستخدام تقنية RO بطاقة تشغيلية تبلغ 45,500 متر مكعب يوميًّا. أما محطة الحد التي افتتحت عام 1999، فتستخدم تقنيتي MSF وMED معًا، وتبلغ طاقتها التشغيلية حوالي 409,100 متر مكعب يوميًّا. كما تشمل محطات ألبا التي بدأت العمل عام 2002، والتي تعتمد على تقنية MED بطاقة تشغيلية تبلغ 31,800 متر مكعب يوميًّا. وفي عام 2012، افتتحت محطة الدور الجديدة التي تعتمد على تقنية RO بطاقة تشغيلية تصل إلى 218,200 متر مكعب يوميًّا، مما يجعلها أكبر محطة تحلية في البحرين من حيث القدرة التشغيلية.

وتشير البيانات إلى أن تقنية التناضح العكسي (RO) أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة مقارنة بتقنيات التقطير الومضي متعدد المراحل (MSF) والتقطير متعدد التأثير(MED) ، حيث تتطلب تقنية MSF حوالي 17 كيلوواط/ساعة لإنتاج متر مكعب واحد من المياه، في حين تتطلب تقنية RO ما بين 3 إلى 4 كيلوواط/ساعة فقط. ورغم التحسن في كفاءة الطاقة، لا تزال محطات التحلية تعتمد بشكل كبير على الغاز الطبيعي كمصدر للطاقة، مما يفرض ضغوطًا على الميزانية الوطنية ويزيد من الأثر البيئي المرتبط بانبعاثات الكربون. لذلك، تتجه السياسات الوطنية نحو تطوير محطات تحلية تعتمد على مصادر الطاقة المتجددة، مثل مشروع محطة التناضح العكسي الجديدة في جزيرة حوار التي ستستخدم الطاقة الشمسية لتقليل التكاليف البيئية والاقتصادية.

الجدول 1

القدرات الإنتاجية اليومية لمحطات تحلية المياه في البحرين عام 2017

المحطة	نوع المياه الخام	السعة (متر مكعب/اليوم)	عدد الوحدات	التقنية المستخدمة	عام التشغيل	الملكية/ الإدارة
محطة سترة لتحلية المياه	مياه البحر	113,600	6	التقطير الومضي متعدد المراحل (MSF)	1975	حكومية
رأس أبو جرجور	المياه الجوفية قليلة الملوحة	73,400	10	التناضح العكسي (RO)	1984	حكومية
محطة الدور	مياه البحر	45,500	8	التناضح العكسي(RO)	1990	حكومية
محطة الحد	مياه البحر	409,100	MSF 4) 14 and 10 (MED	التقطير الومضي متعدد المراحل + (MSF) التقطير متعدد التأثير(MED)	1999	مخصخصة (يتم شراء الإنتاج بالكامل)
محطة ألبا	مياه البحر	31,800	4	التقطير متعدد التأثير (MED)	2002	خاصة (يتم شراء الإنتاج)
الدور – محطة التناضح العكسي	مياه البحر	218,200	غير محدد	التناضح العكسي(RO)	2012	خاصة (يتم شراء الإنتاج)
إجمالي قدرة تحلية المياه		**891,600**				

المصدر: (وزارة شؤون الكهرباء والماء، 2021).

وفي المجمل، يُعد تطوير تقنيات تحلية أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة، والانتقال إلى مصادر الطاقة المتجددة، من الأولويات الاستراتيجية لضمان استدامة قطاع المياه في البحرين، مع ضرورة الاستمرار في تحديث المحطات القديمة وتوسيع الاعتماد على التقنيات الحديثة. ولا يخفى أن استخدام مصادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية، لتشغيل محطات التحلية يمثل خطوة مهمة نحو تحقيق الاستدامة البيئية وتقليل الأثر الكربوني المرتبط بعمليات التحلية.

دور المياه المعالجة

تُعد المياه المعالجة من الموارد الحيوية التي تُسهم في تعزيز الأمن المائي في مملكة البحرين، خاصة في ظل محدودية الموارد الطبيعية واعتماد الدولة الكبير على التحلية. ووفق ما ورد في بوابة البحرين للبيانات المفتوحة، فقد شهدت المملكة تطورًا ملحوظًا في إنتاج ومعالجة المياه العادمة؛ حيث ارتفع متوسط المعالجة اليومية من نحو 169 ألف متر مكعب في عام 2005 إلى أكثر من 471 ألف متر مكعب يوميًا بحلول عام 2022. ويُعزى هذا النمو إلى التوسع المستمر في شبكات الصرف الصحي وزيادة الطاقة الاستيعابية لمحطات المعالجة، وعلى رأسها محطة توبلي المركزية، التي تُعد الأكبر من حيث القدرة التشغيلية على مستوى المملكة، كما هو موضح في منصة

البيانات الرسمية (Bahrain Open Data Portal, 2022). وتشير البيانات المنشورة في الموقع إلى أن هذه الكميات تُعاد الاستفادة منها بشكل متزايد في ري المسطحات الخضراء والمجالات الصناعية، مما يعكس توجه البحرين نحو تعزيز استدامة الموارد وتقليل الاعتماد على المياه العذبة.

المصادر الحالية للمياه في البحرين وطرق إدارتها

تُعَدّ مملكة البحرين من الدول ذات الموارد المائية المحدودة، حيث تعتمد بشكل رئيسي على أربعة مصادر رئيسية، هي: المياه الجوفية، وتحلية مياه البحر، والمياه المعالجة، ومياه الأمطار، حيث إن:

- **المياه الجوفية:** تتواجد في طبقتين رئيسيتين هما: طبقة الدمام وطبقة الرس–أم الرضمة، إلا أن هذه الموارد تعاني من الاستنزاف والملوحة المتزايدة نتيجة الاستخدام المفرط.
- **تحلية مياه البحر:** تُعد المصدر الرئيسي للمياه العذبة في البحرين، إذ تُنتج محطات التحلية أكثر من 60% من إجمالي الاستهلاك، مع استمرار الحاجة لتحسين كفاءة العمليات وتقليل التكاليف البيئية والاقتصادية (UN–ESCWA, 2021) .
- **لمياه المعالجة:** تُستخدم بشكل متزايد في الزراعة والصناعة، بما يساهم في تقليل الضغط على المياه الجوفية والمحلاة.
- **مياه الأمطار:** تُعد مصدرًا محدودًا، وتُجمع في خزانات للاستخدام الزراعي وبعض الأغراض الأخرى، لكنها غير كافية لتلبية الاحتياجات السنوية، رغم دورها في تجديد بعض مصادر المياه الجوفية.

في ظل محدودية الموارد المائية الطبيعية في البحرين، تعتمد المملكة على مزيج متكامل من مصادر المياه لتلبية احتياجات القطاعات المختلفة، بما في ذلك الزراعة، والاستخدامات المنزلية، والصناعة. وتشير التقارير الرسمية إلى أن المياه المحلاة أصبحت المصدر الرئيسي لتوفير المياه العذبة، حيث شكلت ما يقارب 62% من إجمالي الموارد المائية في عام 2022، ويستمر الطلب عليها في الارتفاع سنويًا (وزارة شؤون البلديات والزراعة، 2023؛ Fanack Water, 2024).

أما المياه الجوفية، فلا تزال تشكل مصدرًا مهمًا، خاصة للقطاعين الزراعي والصناعي، إلا أن استنزافها المتواصل يفرض تحديات كبيرة على استدامتها. وتشير البيانات إلى أن كميات المياه الجوفية المستخدمة في عام 2022 بلغت نحو 34 مليون متر مكعب، مع استمرار الضغط عليها بسبب الطلب الزراعي المتزايد (Statista, 2024).

وإلى جانب ذلك، تلعب المياه المعالجة دورًا متزايد الأهمية في دعم القطاع الزراعي والصناعي، حيث تم إنتاج أكثر من 165 مليون متر مكعب من المياه المعالجة في عام 2022، مما ساهم في تخفيف الضغط عن المصادر التقليدية (Fanack Water, 2024) . وفي المقابل، تظل مياه الأمطار محدودة جدًا من حيث الكمية، إذ لم

تتجاوز 3.8 ملايين متر مكعب في العام ذاته، مما يدفع الجهات المعنية إلى مواصلة جهودها لتحسين تقنيات جمع وتخزين مياه الأمطار بهدف تعزيز الأمن المائي في المملكة (وزارة شؤون البلديات والزراعة، 2023).

وتعكس هذه الأرقام مدى الترابط بين توافر الموارد المائية واستخداماتها في البحرين، وتبرز الحاجة إلى إدارة فعالة ومستدامة لضمان تلبية الاحتياجات الحالية والمستقبلية (وزارة شؤون البلديات والزراعة، 2023) (Fanack Water, 2024)(Statista, 2024).

المصادر الرئيسية للمياه في البحرين

تعتمد مملكة البحرين على ثلاثة مصادر رئيسية للمياه، على النحو التالي:

- **تحلية مياه البحر:** تمثل المصدر الرئيسي للمياه العذبة في المملكة، حيث توفر أكثر من 60% من الاحتياجات السنوية. وتَستخدم محطات التحلية تقنيات متقدمة مثل التقطير الومضي متعدد المراحل (MSF) والتناضح العكسي (RO)، مما يتطلب استثمارات كبيرة في الطاقة والبنية التحتية. إلا أن ارتفاع التكاليف والتحديات البيئية المرتبطة بزيادة ملوحة مياه البحر تشكل عقبة أمام استدامة هذا المصدر على المدى الطويل. لذلك، تعمل الحكومة على تحسين كفاءة هذه المحطات وتوسيع قدراتها، مع التوجه نحو الطاقة المتجددة لتقليل الأثر البيئي (Fanack Water, 2024).
- **المياه الجوفية:** تُمثل مصدرًا هامًا لكنه محدود، حيث تقتصر المياه العذبة على طبقات معينة مثل طبقة الدمام التي تتغذى من مصادر إقليمية. وفي سياق مُتصل، أدى الإفراط في استخراج المياه الجوفية إلى انخفاض منسوبها وزيادة ملوحتها، مما قلل من صلاحيتها للاستخدام، خاصة في الزراعة. وفي الإطار ذاته، تعتمد البحرين على سياسات للحد من الاستنزاف وتشجيع إعادة الاستخدام، مع التركيز على تقنيات الري الحديثة لرفع كفاءة الاستهلاك (UN-Water, 2023).
- **المياه المعالجة:** تلعب المياه المعالجة دورًا متزايد الأهمية في تلبية الاحتياجات غير المنزلية مثل الري الزراعي وتخضير المناطق الحضرية، مما يساهم في تخفيف الضغط على مصادر المياه العذبة. ومع ذلك، فإن التوسع في استخدام المياه المعالجة يتطلب تطوير أنظمة المعالجة ورفع كفاءة التقنيات المستخدمة، بالإضافة إلى زيادة الاستثمار في التكنولوجيا لضمان جودة المياه وسلامتها للاستخدامات المختلفة (Jiménez & Asano, 2008; Gude, 2017).

استراتيجيات إدارة الموارد المائية في البحرين

لمواجهة تحديات أزمة المياه وضمان استدامة الموارد، اعتمدت البحرين مجموعة من الاستراتيجيات، أبرزها:

- ❖ الاستراتيجية الوطنية للمياه 2030. تهدف إلى تحقيق الاستدامة عبر تطوير سياسات فعالة وإجراءات متكاملة.
- ❖ مجلس الموارد المائية. يشرف على تنسيق السياسات وتنفيذها لضمان الاستخدام الأمثل للموارد.

- ❖ التشريعات واللوائح. تشمل قوانين تنظيم استخدام المياه والحفاظ على جودتها، مثل قانون رقم 2006/33 بشأن خدمات الصرف الصحي.
- ❖ التعاون الإقليمي. تسعى البحرين لتعزيز التعاون مع دول مجلس التعاون الخليجي لتبادل المعرفة والتقنيات في إدارة المياه (وزارة شؤون البلديات والزراعة، 2023).

ترتكز هذه الاستراتيجيات على ثلاثة محاور رئيسية:

- **تحسين كفاءة استهلاك المياه:** تتبنى البحرين تقنيات ري حديثة وإدارة الطلب على المياه في القطاعات المختلفة، حيث إن:
  - ➢ القطاع الزراعي: يعتمد بشكل كبير على المياه الجوفية، مما يفرض ضغطًا كبيرًا على هذا المورد، مما أدى إلى تشجع الحكومة المزارعين على استخدام تقنيات الري بالتنقيط وزراعة المحاصيل الأقل استهلاكًا للمياه، مما يساهم في تقليل الاستنزاف (Fanack Water, 2024).
  - ➢ المنازل والمؤسسات العامة: تركز الجهود على التوعية وترشيد الاستهلاك، ودعم تركيب الأجهزة الموفرة للمياه، وفرض تعريفات متدرجة لتشجيع الاستخدام الرشيد. ومع النمو السكاني، تراجع نصيب الفرد من المياه بشكل ملحوظ، مما يستدعي تعزيز الكفاءة في جميع القطاعات (UN-Water, 2023).
  - ➢ القطاع الصناعي يشجع على إعادة تدوير المياه واستخدام المياه المعالجة في العمليات الصناعية، حيث يساهم ذلك في تقليل الطلب على المياه العذبة وتحقيق الاستدامة البيئية. وقد بينت الدراسات أن إعادة استخدام المياه في الصناعة يؤدي إلى تقليل استهلاك المياه العذبة وخفض التكاليف التشغيلية، إضافة إلى تقليل الأثر البيئي الناتج عن تصريف المياه الملوثة (Jiménez & Asano, 2008; Gude, 2017).
- **تطوير تقنيات تحلية المياه وإعادة استخدامها.** تولي البحرين أهمية متزايدة لتطوير تقنيات تحلية المياه وإعادة استخدامها، في ظل الاعتماد الكبير على التحلية لتلبية معظم احتياجاتها من المياه العذبة. وقد ركزت السياسات الوطنية خلال السنوات الأخيرة على تحديث محطات التحلية باستخدام تقنيات متقدمة، مثل التقطير الومضي متعدد المراحل (MSF) والتناضح العكسي المحسن (RO)، بهدف تقليل استهلاك الطاقة وخفض التكاليف التشغيلية والبيئية. فعلى الرغم من أن التحلية تتطلب استثمارات ضخمة في البنية التحتية والطاقة، فإن تحسين كفاءة التقنيات أدى إلى خفض تكلفة إنتاج المتر المكعب إلى ما بين 0.5 و1.5 دولار أمريكي، مع انخفاض استهلاك الطاقة في محطات RO إلى نحو 3–4 كيلوواط/ساعة للمتر المكعب، مقارنةً بحوالي 17 كيلوواط/ساعة في تقنيات MSF التقليدية (Fanack Water, 2024).

وتوسعت مملكة البحرين بشكل ملحوظ في إعادة استخدام المياه المعالجة إلى جانب الاعتماد على التحلية، حيث يتم توجيه نسبة كبيرة من المياه المعالجة للري الزراعي وتخضير المناطق الحضرية، مما يخفف الضغط على الموارد المائية العذبة ويقلل من التكاليف التشغيلية. وتشير الدراسات إلى أن تكلفة معالجة

مياه الصرف الصحي في البحرين أقل بكثير من تكلفة تحلية المياه، كما أن استهلاك الطاقة في محطات المعالجة في المملكة لا يتجاوز 0.8 كيلوواط/ساعة لكل متر مكعب. ويُعتبر تعزيز إعادة استخدام المياه المعالجة أحد أكثر الحلول الاقتصادية والبيئية فاعلية في قطاعات الزراعة والصناعة في البحرين (Fanack Water, 2020; Stantec, 2023).

كما تعتمد البحرين على شراكات فعالة مع القطاع الخاص في إنشاء وتشغيل محطات التحلية والمعالجة، مما ساهم في تحسين كفاءة الخدمات وتقليل التكاليف الاستثمارية والتشغيلية، إلى جانب تحفيز تبني التقنيات الحديثة ذات الكفاءة العالية في استهلاك الطاقة (MEED, 2020).

ورغم الاستثمارات الحكومية الكبيرة في قطاع التحلية، لا تزال التكاليف المرتفعة للطاقة والآثار البيئية تمثل تحديًا رئيسيًا أمام استدامة هذا القطاع، مما يجعل الاستثمار في تقنيات التحلية المتقدمة وتحسين كفاءة العمليات أولوية اقتصادية واستراتيجية للبحرين. وعلى صعيد آخر، تُظهر المقارنات بين التقنيات المختلفة أن التناضح العكسي المحسن يُعد الأكثر كفاءة من حيث استهلاك الطاقة وتكاليف التشغيل، إذ تتراوح تكلفة إنتاج المتر المكعب بين 0.5 و1.5 دولار أمريكي، ويبلغ استهلاك الطاقة من 3 إلى 4 كيلوواط/متر مكعب. وفي المقابل، يُعد التقطير الومضي متعدد المراحل (MSF) الأعلى في استهلاك الطاقة، حيث يصل إلى 17 كيلوواط/متر مكعب، وتبلغ تكلفة الإنتاج فيه ما بين 1.8 و2.5 دولار أمريكي للمتر المكعب، فضلًا عن ارتفاع الأثر البيئي نتيجة الانبعاثات الكربونية. أما إعادة استخدام المياه المعالجة، فتمثل الحل الأكثر اقتصادية والأفضل بيئيًا في بعض الاستخدامات مثل الري، إذ تتراوح تكلفتها بين 0.2 و0.5 دولار أمريكي للمتر المكعب، مع استهلاك طاقة منخفض جدًا يتراوح من 0.13 إلى 0.8 كيلوواط/متر مكعب، خاصة عند استخدام مصادر الطاقة المتجددة (Fanack Water, 2024؛ بوابة البيانات المفتوحة البحرينية، 2023).

وتشير البيانات الحديثة إلى أن تكلفة حصاد مياه الأمطار في البحرين لا تزال أقل بكثير من تكلفة تحلية المياه، لا سيما في السنوات التي شهدت وفرة في الهطول مثل عام 2017. فعلى سبيل المثال، بلغت تكلفة حصاد مياه الأمطار في عام 2022 نحو 0.62 دولار أمريكي لكل متر مكعب، بينما وصلت تكلفة تحلية المياه إلى 1.5 دولار أمريكي للمتر المكعب في نفس العام. ويلاحظ أن تكلفة التحلية ارتفعت تدريجيًا مع ارتفاع أسعار الطاقة، في حين بقيت تكلفة حصاد مياه الأمطار أقل تقلبًا، وإن كانت تتأثر بشكل مباشر بتغيرات المناخ وكميات الهطول السنوية. وتعكس هذه الأرقام أهمية تحقيق توازن بين استثمارات التحلية وحصاد مياه الأمطار، مع مراعاة التأثيرات المناخية والاقتصادية لضمان استدامة الموارد المائية بأقل تكلفة ممكنة (Statista, 2024؛ Fanack Water, 2022).

ويعرض الجدول رقم (2) مقارنة تفصيلية بين كميات مياه الأمطار السنوية وتكلفة حصادها، مقابل تكلفة تحلية المياه في البحرين خلال الفترة من 2005 إلى 2022.

الجدول 2

تطور كميات مياه الأمطار وتكلفة حصادها مقارنة بتكلفة تحلية المياه في البحرين(2005–2022)

السنة	كمية الأمطار (مليون م³)	تكلفة حصاد الأمطار (دولار/م³)	تكلفة التحلية (دولار/م³)	المصدر
2005	34.2	0.48	2.20	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Fanack Water (2022)
2008	29.5	0.55	2.10	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Statista (2024)
2010	65.7	0.50	2.00	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Fanack Water (2022)
2012	54.1	0.53	1.95	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Fanack Water (2022)
2015	36.0	0.60	1.92	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Statista (2024)
2017	41.3	0.58	1.88	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Statista (2024)
2018	49.7	0.52	2.10	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Fanack Water (2024)
2019	67.8	0.63	1.85	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Fanack Water (2024)
2020	39.7	0.75	1.90	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Fanack Water (2024)
2021	52.2	0.66	1.45	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Fanack Water (2024)
2022	58.4	0.62	1.50	بوابة البيانات المفتوحة البحرينية (دون تاريخ أ)؛ Fanack Water (2024)

المصدر: تم الحصول على بيانات كميات الأمطار السنوية من بوابة البيانات المفتوحة البحرينية، بينما تم تقدير تكلفة حصاد مياه الأمطار استنادًا إلى تقارير Fanack Water (2022، 2024) وStatista (2024)، مع استقراء بعض السنوات بناءً على الاتجاهات العامة في البيانات المنشورة. أما بيانات تكلفة تحلية المياه، فقد تم جمعها من تقارير Fanack Water (2022، 2024) وStatista (2024).

تحسين البنية التحتية لأنظمة المياه والصرف الصحي

تُعد عملية تطوير البنية التحتية لأنظمة المياه والصرف الصحي من الأولويات الاستراتيجية في مملكة البحرين، في ظل التحديات البيئية والاقتصادية المتزايدة التي تواجه قطاع المياه. وتستثمر الحكومة البحرينية سنويًا مبالغ كبيرة لتعزيز كفاءة الشبكات وتقليل الفاقد، مع الالتزام بتحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية على المدى البعيد. وتشمل هذه الجهود تحديث شبكات توزيع المياه، وتوسعة وبناء محطات معالجة مياه الصرف الصحي، وتطبيق تقنيات متقدمة للكشف عن التسربات، بالإضافة إلى رفع كفاءة عمليات الصيانة الدورية وتطوير مشاريع حصاد مياه الأمطار، خاصة لتلبية احتياجات القطاع الزراعي والصناعي.

وبالنظر إلى محدودية البيانات التفصيلية المنشورة من الجهات الحكومية حول التوزيع الدقيق للاستثمارات، فقد تم تقدير التكاليف المدرجة في الجدول رقم (3) بالاعتماد على متوسطات الإنفاق الحكومي المعلن، وتحليل تقارير المنظمات الدولية مثل Fanack Water (2024) وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (2022)، بالإضافة إلى مراجعة بيانات وزارة الأشغال وشؤون البلديات والتخطيط العمراني (2023). وتعكس هذه التقديرات النطاق المالي

المتوقع لكل فئة رئيسية من مشاريع البنية التحتية، بناءً على حجم المشاريع المنفذة وأولويات الاستثمار المعلنة في السنوات الأخيرة.

الجدول 3

تقديرات تكلفة تحسين البنية التحتية لأنظمة المياه والصرف الصحي في البحرين(2023-2024)

الفئة	التكلفة التقديرية (مليون دولار)	ملاحظات
تطوير شبكات توزيع المياه	45	تحديث الأنابيب، رفع كفاءة التوزيع، تقليل الفاقد
بناء وتوسعة محطات معالجة مياه الصرف	70	توسعة محطة توبلي ومحطات معالجة جديدة
الصيانة الدورية وتحديث المعدات	25	صيانة محطات المياه والصرف وتحديث المعدات
تحسين أنظمة الكشف عن التسربات	15	تطبيق تقنيات حديثة للكشف عن التسربات
مشاريع حصاد مياه الأمطار	10	إنشاء شبكات لجمع مياه الأمطار واستخدامها في الري والصناعة

المصدر: جميع الأرقام الواردة في الجدول تقديرية ومن إعداد الباحث بناءً على تحليل بيانات منشورة في التقارير الحكومية البحرينية، وتقارير المنظمات الدولية مثل Fanack Water (2024) وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (2022)، وذلك في ظل غياب بيانات تفصيلية منشورة لكل بند على حدة. وتعكس هذه التقديرات متوسطات الإنفاق السنوي على مشاريع المياه والصرف الصحي في البحرين خلال عامي 2023 و2024.

تشمل محاور التطوير ما يلي:

- تطوير شبكات توزيع المياه: يجري تحديث الشبكات وصيانة الأنابيب بشكل دوري وتطبيق أنظمة متقدمة للكشف عن التسربات، مما يقلل من الهدر ويعزز كفاءة الموارد المائية (Hossain & Noor, 2022).
- بناء محطات معالجة مياه الصرف الصحي: تركز البحرين على تطوير محطات حديثة مثل محطة توبلي التي تعتمد على تقنية المعالجة الثلاثية لإنتاج مياه عالية الجودة صالحة للاستخدام الزراعي، مما يقلل الضغط على الموارد التقليدية (Fanack Water, 2022).
- إدارة المياه المشتركة مع الدول المجاورة: تواصل البحرين التنسيق مع السعودية لضمان استدامة المياه الجوفية المشتركة، مما يحقق التوازن الاقتصادي والبيئي (Al-Harbi & Al-Dosary, 2022).
- الاستثمار في حصاد مياه الأمطار: يمثل حصاد الأمطار حلا فعالا لتقليل الاعتماد على المياه التقليدية، حيث يمكن استخدام المياه المجمعة في الري والمسطحات الخضراء، مما يساهم في خفض التكاليف وتحقيق إدارة مستدامة للموارد (Green Climate Fund, 2018).

وتؤكد الدراسات أن هذه الاستثمارات في البنية التحتية تُسهم في خفض التكاليف وزيادة الكفاءة الاقتصادية، وتدعم تحقيق الأمن المائي في البحرين على المدى الطويل.

التحديات البيئية والاقتصادية لتحلية المياه وإعادة استخدامها

تشكل عمليات تحلية المياه وإعادة استخدامها في البحرين تحديات بيئية واقتصادية كبيرة، إذ تتطلب استهلاكًا مرتفعًا للطاقة، مما يؤدي إلى زيادة التكاليف التشغيلية ويضغط على الميزانية العامة للدولة. وتعتمد البحرين بشكل

أساسي على الغاز الطبيعي كمصدر للطاقة في محطات التحلية، مما يجعلها عرضة لتقلبات أسعار الوقود الأحفوري ويزيد من انبعاثات الكربون (Ghaly & Al-Ismail, 2020).

ومن الناحية البيئية، ينتج عن تحلية المياه تصريف كميات كبيرة من المياه المالحة والمخلفات الكيميائية إلى البحر، مما يؤثر سلبًا على الحياة البحرية ويرفع ملوحة المياه الساحلية. كما أن الانبعاثات الكربونية الناتجة عن استهلاك الطاقة في محطات التحلية تُسهم في زيادة البصمة البيئية للقطاع المائي (Al-Farisi & Al-Shaikh, 2019). ولهذه الأسباب، تسعى البحرين إلى تبني تقنيات الطاقة المتجددة في تشغيل محطات التحلية، وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، بما يسهم في خفض التكاليف والآثار البيئية (Al-Harbi & Al-Dosary, 2022).

ملامح أساسية لخطة مقترحة لتنمية وإدارة الموارد المائية في مملكة البحرين

تتطلب مواجهة أزمة المياه في البحرين وضع إطار عملي شامل لتطوير استراتيجيات فعّالة تضمن استدامة الموارد المائية وتعزز كفاءة استخدامها. وتستند الخطة المقترحة إلى الاستراتيجية الوطنية للمياه، مع تحديد الجهات المسؤولة وتوزيع الأدوار بوضوح، وتشمل الإجراءات التالية:

1. **إنشاء لجنة تنسيقية عليا:** لتوحيد جهود إدارة الموارد المائية بين الجهات الحكومية والقطاع الخاص، مع مراجعة دورية للتقدم المحرز.
2. **التحول إلى تقنيات تحلية متجددة:** عبر تبني الطاقة الشمسية ومصادر الطاقة النظيفة لتشغيل محطات التحلية، مما يقلل التكاليف والانبعاثات على المدى الطويل.
3. **إعادة تدوير المياه المعالجة:** توسيع استخدام المياه المعالجة في الزراعة والصناعة لتقليل الضغط على المياه العذبة.
4. **حملات توعية مجتمعية:** رفع الوعي العام حول أهمية ترشيد استهلاك المياه من خلال حملات إعلامية وبرامج تعليمية في المدارس والمجتمع.
5. **التعاون الإقليمي:** تعزيز التعاون مع دول مجلس التعاون الخليجي في مشاريع إدارة المياه المشتركة وتبادل التقنيات والخبرات.
6. **إطار قانوني لتعزيز الاستدامة:** تطوير وتحديث القوانين المائية لتشجيع الترشيد والاستهلاك المستدام للمياه.
7. **نظام رصد وتحليل الاستهلاك:** تركيب عدادات ذكية لرصد استهلاك المياه وتحليل البيانات لدعم السياسات المستقبلية وتحسين كفاءة الإدارة.

وتعتمد هذه الخطة على الشراكة بين القطاعين العام والخاص، وتطوير تقنيات جديدة في تحلية المياه وإعادة استخدامها، مع التركيز على تنويع مصادر المياه وتحسين الكفاءة، بما يضمن تحقيق الأمن المائي والاستدامة البيئية والاقتصادية في المملكة (Fanack Water, 2024).

تجارب دول أخرى في إدارة المياه

تُعد تجارب دول، مثل: السعودية، وإسرائيل، وإسبانيا، واليابان، وسنغافورة، والإمارات العربية المتحدة، نماذج رائدة في مواجهة تحديات ندرة المياه، حيث نجحت هذه الدول في تطوير حلول مبتكرة تجمع بين التكنولوجيا المتقدمة والإدارة المتكاملة للموارد المائية. فعلى سبيل المثال، تعتمد المملكة العربية السعودية بشكل كبير على تحلية مياه البحر باستخدام تقنيات متطورة مثل التناضح العكسي، إلى جانب تطبيق أنظمة الري الذكي في الزراعة لرفع كفاءة استهلاك المياه (Al-Saidi & Saliba, 2021).

أما إسرائيل، فقد حققت تقدمًا ملحوظًا من خلال دمج تقنيات تحلية المياه مع إعادة تدوير المياه بنسبة تفوق 80%، إضافة إلى استخدام أنظمة الري بالتنقيط التي تعد من أكثر التقنيات كفاءة في العالم. بينما في إسبانيا، يُركز على استدامة المياه الجوفية وإعادة استخدام المياه المعالجة، بينما تطبق اليابان تقنيات متقدمة في إعادة تدوير المياه الصناعية وتطوير حلول لتحسين كفاءة الاستهلاك في القطاعات المختلفة (Ghaly & Al-Ismail, 2020).

وفي سنغافورة، اعتمدت الحكومة استراتيجية شاملة لإدارة المياه، تجمع بين تحلية المياه، وجمع مياه الأمطار، واستخدام المياه المعالجة. ويُعتبر مشروع "NEWater" من أبرز الأمثلة العالمية، حيث تتم معالجة المياه المستعملة وتحويلها إلى مياه صالحة للاستخدام في الشرب والصناعة، مما يقلل الاعتماد على المصادر التقليدية. أما الإمارات العربية المتحدة، فقد استثمرت بكثافة في تقنيات تحلية المياه وتطوير بنية تحتية متكاملة لتوزيع المياه، مع تطبيق تقنيات الري الذكي في الزراعة لترشيد الاستهلاك (Sadiq & El-Houjami, 2003).

وتعكس هذه التجارب أهمية التكنولوجيا المستدامة والتعاون الدولي في تحقيق إدارة فعالة للموارد المائية، مع التركيز على الحلول المتكاملة التي تشمل التحلية، وإعادة التدوير، وتقنيات الري الحديثة، مما يسهم في مواجهة تحديات المياه العالمية (Fanack Water, 2024).

وعند مقارنة هذه التجارب مع الوضع في البحرين، يمكن استخلاص عدة دروس عملية؛ أبرزها ضرورة تعزيز الاستثمار في تقنيات التحلية الحديثة، وتوسيع إعادة استخدام المياه المعالجة، وتفعيل برامج التوعية المجتمعية لترشيد الاستهلاك. كما ينبغي على البحرين تعزيز التعاون الإقليمي والدولي لتبادل المعرفة والخبرات، بما يدعم تطوير استراتيجيات مبتكرة تضمن استدامة الموارد المائية للأجيال القادمة.

النتائج

تشير نتائج البحث إلى أن تحلية المياه تظل المصدر الأساسي لتلبية احتياجات مملكة البحرين من المياه العذبة، وهو ما يعكس محدودية الموارد الطبيعية المتجددة في البلاد. إلا أن هذا الاعتماد الكبير على التحلية يأتي بتكلفة اقتصادية وبيئية مرتفعة؛ إذ تعتمد محطات التحلية بشكل رئيسي على الغاز الطبيعي كمصدر للطاقة، مما يجعلها عرضة لتقلبات أسعار الوقود الأحفوري ويرفع من تكاليف الإنتاج. كما أن عمليات التحلية تؤدي إلى تصريف كميات كبيرة من المياه المالحة والمخلفات الكيميائية إلى البحر، مما يؤثر سلبًا على الحياة البحرية ويزيد من ملوحة المياه الساحلية. وبالإضافة إلى ذلك، تساهم هذه العمليات في انبعاثات كربونية مرتفعة نتيجة استهلاك الطاقة، وهو ما يفاقم الأثر البيئي للتحلية.

أما فيما يخص إعادة استخدام المياه المعالجة، فقد أظهرت النتائج أن هذه المياه تمثل حلا مهما لتخفيف الضغط على المياه العذبة، خاصة في القطاعات الزراعية والصناعية. ومع ذلك، لا تزال هناك تحديات تتعلق بتحسين كفاءة أنظمة المعالجة، وضمان جودة المياه المعالجة، وزيادة ثقة المستهلكين في استخدامها. ويتطلب ذلك دعمًا تقنيًا وماليًا مستمرًا لتوسيع نطاق إعادة الاستخدام وتحقيق الفوائد المرجوة على مستوى الموارد والاقتصاد الوطني.

كما أظهرت الدراسة أن النمو السكاني السريع والتوسع العمراني في البحرين يؤديان إلى زيادة ملحوظة في استهلاك المياه، مما يرفع الضغوط الإدارية والاقتصادية المرتبطة بإدارة الطلب على المياه. وهذا الواقع يفرض ضرورة تطوير استراتيجيات مبتكرة لإدارة الطلب، وتحسين كفاءة الاستهلاك، وتبني حلول تقنية متقدمة لضمان استدامة الموارد.

وتؤكد النتائج أن التعاون الإقليمي والدولي يعد عاملًا حيويًا لتحقيق استدامة الموارد المائية في البحرين، حيث يمكن لدول مجلس التعاون الخليجي تبادل الخبرات والتقنيات، وتطوير سياسات مشتركة تساهم في تخفيف الضغط على الموارد المائية وتحقيق الأمن المائي الإقليمي. كما تبرز التجارب الدولية الناجحة في تنويع مصادر المياه وتطبيق التكنولوجيا الحديثة كأحد الحلول الفعالة لتحقيق الاستدامة على المدى الطويل.

وأخيرًا، يتطلب تحقيق الأمن المائي في البحرين نهجًا متكاملًا يوازن بين تلبية الطلب المتزايد على المياه وضمان استدامة الموارد الطبيعية. ويشمل ذلك تنفيذ سياسات مبتكرة في التحلية، وتوسيع نطاق إعادة استخدام المياه المعالجة، واعتماد تقنيات موفرة للطاقة، وتعزيز التعاون الإقليمي، وتطوير نظم مراقبة ذكية لرصد الاستهلاك وتحليل البيانات لدعم متخذ القرار.

التوصيات

في ضوء ما توصل إليه البحث من نتائج حول واقع إدارة الموارد المائية في مملكة البحرين والتحديات البيئية والاقتصادية التي تواجهها، تبرز أهمية صياغة توصيات عملية وقابلة للتطبيق تسهم في دعم صناع القرار والجهات المعنية في تطوير سياسات واستراتيجيات فعالة لتحقيق الاستدامة المائية. وتأتي هذه التوصيات استنادًا إلى الأدلة والبيانات التي جمعتها الدراسة، مع مراعاة خصوصية الظروف المحلية وأفضل الممارسات الدولية ذات الصلة، بحيث تكون موجهة بشكل واضح للجهات التنفيذية وصناع السياسات، وتستجيب للاحتياجات الفعلية للمملكة في ظل التغيرات المناخية والنمو السكاني المستمر. وفيما يلي عرض لأبرز التوصيات التي خلص إليها البحث:

1. **تطوير تقنيات التحلية المستدامة**

- الاستثمار في تقنيات تحلية منخفضة الطاقة، مثل اعتماد الطاقة الشمسية أو مصادر الطاقة المتجددة الأخرى لتشغيل محطات التحلية، بهدف تقليل التكاليف البيئية والاقتصادية المرتبطة بعمليات التحلية (Ghaly & Al-Ismail, 2020).
- تبني تقنيات متقدمة مثل التناضح العكسي المتطور (Advanced Reverse Osmosis) الذي يقلل من استهلاك الطاقة ويحسن كفاءة التحلية، مع الاستمرار في تحديث المحطات القائمة.

2. **تعزيز إعادة استخدام المياه المعالجة**

- توسيع نطاق استخدام المياه المعالجة في الزراعة، والري، وتخضير المناطق العامة والصناعية، مع تطوير أنظمة معالجة متقدمة لضمان جودة المياه وسلامتها للاستخدام (Fanack Water, 2024).
- تقديم حوافز للقطاعات الزراعية والصناعية التي تستخدم المياه المعالجة، بما يسهم في تعزيز الاستدامة وتخفيف الضغط على موارد المياه العذبة.

3. **تنويع مصادر المياه**

- تبني مشاريع تجميع مياه الأمطار وإنشاء خزانات احتياطية لتحسين توافر المياه خلال فترات الجفاف.
- تعزيز استكشاف واستخدام المياه الجوفية بطرق مستدامة، من خلال أنظمة الرصد والاستخدام الرشيد، مع مراعاة عدم استنزاف المخزون الجوفي.

4. **تطبيق نظام تسعير مائي ديناميكي**

- تطبيق نظام تسعير يعتمد على معدلات الاستهلاك ونوعية الاستخدام، بما يشجع الأفراد والقطاعات على ترشيد استهلاك المياه.
- ربط التسعير بتكاليف الإنتاج الفعلية لتحفيز الاستخدام الرشيد للمياه، مما يُسهم في تقليل الهدر وتحقيق الاستدامة الاقتصادية.

5. **إطلاق برامج توعية مجتمعية**

- تطوير برامج توعية شاملة تركز على ترشيد استهلاك المياه في المنازل والمؤسسات، وتعزيز وعي الأجيال الجديدة من خلال تضمين مفاهيم الحفاظ على المياه في المناهج الدراسية.
- التعاون مع وسائل الإعلام لنشر رسائل توعوية تؤكد أهمية الحفاظ على المياه كمسؤولية مجتمعية.

6. **تعزيز التشريعات والسياسات المائية**

- تطوير إطار قانوني متكامل يدعم الإدارة المستدامة للموارد المائية، ويشمل التشريعات اللازمة لحماية المياه من التلوث وضمان توزيعها بعدالة (وزارة شؤون البلديات والزراعة، 2023).
- تشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص لتطوير البنية التحتية للمياه، وتعزيز الابتكار في إدارة المياه من خلال تقديم حوافز للشركات التي تتبنى ممارسات مستدامة.

7. **تعزيز التعاون الإقليمي والدولي**

- دعم التعاون مع الدول المجاورة لمواجهة تحديات المياه المشتركة، بما في ذلك تبادل الخبرات حول تقنيات التحلية وإعادة الاستخدام، وتنسيق السياسات المائية لتحقيق الأمن المائي الإقليمي.
- المشاركة في المبادرات العالمية التي تدعم الأبحاث المتعلقة بالموارد المائية، مما يتيح للبحرين الاستفادة من الخبرات والتقنيات الحديثة المتاحة عالميًا (Al-Saidi & Saliba, 2021).

8. **الاستفادة من التجارب الدولية**

- استعراض وتطبيق أمثلة ناجحة من دول أخرى، مثل تجربة سنغافورة في إدارة المياه، وتكييفها بما يتناسب مع الظروف المحلية لتحقيق الأمن المائي على المدى الطويل.
- اعتماد استراتيجيات إدارة تعتمد على البيانات والابتكارات التقنية، مما يسهم في تحقيق كفاءة أعلى في توزيع المياه وضمان استدامتها.

ومن خلال تنفيذ هذه التوصيات بشكل متكامل، يمكن لمملكة البحرين تعزيز استدامة مواردها المائية وتحقيق الأمن المائي للأجيال القادمة، رغم التحديات المناخية والنمو السكاني المستمر.

قيود البحث

واجه البحث عددا من القيود التي يجب أخذها في الاعتبار عند تفسير النتائج. أولا، اعتمد التحليل على بيانات رسمية وإحصائية متاحة حتى عام 2022، مما قد لا يعكس بدقة التطورات السريعة أو التغيرات الطارئة في سياسات إدارة المياه أو أنماط الاستهلاك خلال السنوات الأخيرة. ثانيا، اقتصرت الدراسة على تحليل البيانات الثانوية والتقارير المنشورة، دون إجراء مسوحات ميدانية أو مقابلات مباشرة مع أصحاب المصلحة، وهو ما قد يؤثر على شمولية النتائج. كما أن بعض المؤشرات الاقتصادية والبيئية، مثل التكاليف الفعلية لتحلية المياه أو الانبعاثات الكربونية، تم تقديرها استنادا إلى متوسطات إقليمية ودولية في ظل غياب بيانات محلية دقيقة. وأخيرا،

ركز البحث على البحرين كنموذج، وقد تختلف جدوى التوصيات عند تطبيقها في دول أو مناطق ذات ظروف مناخية واقتصادية مختلفة.

الدراسات المستقبلية في هذا الصدد

تشير نتائج البحث إلى الحاجة لتوسيع نطاق الدراسات المستقبلية في مجال إدارة الموارد المائية في البحرين ودول الخليج. ومن أبرز الاتجاهات المقترحة: تطوير نماذج محاكاة ديناميكية لرصد آثار التغير المناخي والنمو السكاني على منظومة المياه الوطنية، ودراسة الجدوى الاقتصادية والبيئية لتقنيات التحلية المعتمدة على الطاقة المتجددة. كما تبرز أهمية إجراء دراسات ميدانية حول فاعلية برامج التوعية المجتمعية وسلوك المستهلكين في القطاعات المختلفة، وتحليل أثر السياسات المائية على كفاءة الاستهلاك الفعلي. ويُوصى أيضا بتعزيز البحث في مجال حصاد مياه الأمطار وإعادة تغذية المياه الجوفية، وإجراء مقارنات بين البحرين ودول ذات تجارب ناجحة مثل سنغافورة والإمارات للاستفادة من الخبرات الدولية في تطوير سياسات مبتكرة ومستدامة.

تنفيذ البحث والجهات المستفيدة منه

يمكن تطبيق نتائج وتوصيات هذا البحث عمليا من قبل وزارات شؤون البلديات والزراعة والكهرباء والماء في البحرين، والتي يمكنها الاستفادة من التحليل المقارن لتطوير استراتيجيات وسياسات فعالة لإدارة الموارد المائية. كما يستفيد القطاع الخاص، خاصة الشركات العاملة في مجالات التحلية والمعالجة، من نتائج البحث في توجيه الاستثمارات نحو حلول أكثر استدامة وكفاءة. وتوفر النتائج إطارا مرجعيا للباحثين والمؤسسات الأكاديمية لتطوير دراسات تطبيقية أو مقارنة في مجال إدارة المياه. وكذلك، يمكن للمنظمات الإقليمية والدولية، مثل مجلس التعاون الخليجي والمنظمات البيئية، الاستفادة من إطار العمل المقترح لتعزيز التعاون ونقل المعرفة بين دول المنطقة. وأخيرا، يستفيد المجتمع البحريني من تنفيذ التوصيات عبر تحسين جودة وكفاءة خدمات المياه، وتعزيز الأمن المائي ورفع الوعي المجتمعي حول أهمية الترشيد والاستدامة.

المراجع

المراجع العربية

برنامج الأمم المتحدة الإنمائي. (2022). التقرير السنوي حول استدامة الموارد المائية في البحرين. تم الاسترجاع في 6 يوليو 2024 من: https://www.undp.org/ar/bahrain/publications

Barnamej al-Umam al-Muttahida al-Inmaii. (2022). Al-taqrir al-sanawi hawla istidamat al-mawarid al-maiyya fi al-Bahrayn. Retrieved on July 6, 2024 from: https://www.undp.org/ar/bahrain/publications

البنك الدولي. (2020، 26 مارس). من الندرة إلى الاستدامة: مسيرة دول الخليج نحو تحقيق الأمن المائي. تم الاسترجاع في 6 يوليو 2024 من: https://www.albankaldawli.org/ar/news/opinion/2024/03/26/from-scarcity-to-sustainability-the-gcc-s-journey-towards-water-security

Al-Bank al-Duwali. (2020, 26 Mars). Min al-nadra ila al-istidama: Masirat duwal al-Khalij nahwa tahqiq al-amn al-mai. Retrieved on July 6, 2024 from: https://www.albankaldawli.org/ar/news/opinion/2024/03/26/from-scarcity-to-sustainability-the-gcc-s-journey-towards-water-security

البنك الدولي. (2024، 26 مارس). من الندرة إلى الاستدامة: مسيرة دول الخليج نحو تحقيق الأمن المائي. تم الاسترجاع في 6 يوليو 2024 من: https://www.worldbank.org/ar/news/opinion/2024/03/26/from-scarcity-to-sustainability-the-gcc-s-journey-towards-water-security

Al-Bank al-Duwali. (2024, 26 Mars). Min al-nadra ila al-istidama: Masirat duwal al-Khalij nahwa tahqiq al-amn al-mai. Retrieved on July 6, 2024 from: https://www.worldbank.org/ar/news/opinion/2024/03/26/from-scarcity-to-sustainability-the-gcc-s-journey-towards-water-security

بوابة البيانات المفتوحة البحرينية. (2023). إنتاج ومعالجة مياه الصرف الصحي في البحرين. تم الاسترجاع في 19 يونيو 2024 من: https://www.data.gov.bh/explore/dataset/wastewater-generation-and-treatment/analyze/

Bawwabat al-Bayanat al-Maftuha al-Bahrainiyya. (2023). Intaj wa mualajat miyah al-sarf al-sihhi fi al-Bahrayn. Retrieved on June 19, 2024 from: https://www.data.gov.bh/explore/dataset/wastewater-generation-and-treatment/analyze/

بوابة البيانات المفتوحة البحرينية. (دون تاريخ أ). كميات الأمطار في البحرين حسب الأشهر. تم الاسترجاع في 19 يونيو 2024 من: https://www.data.gov.bh/explore/dataset/rainfall-in-by-month/analyze/

Bawwabat al-Bayanat al-Maftuha al-Bahrainiyya. (Dun Tarikh A). Kamiyyat al-amtar fi al-Bahrayn hasb al-ashhur. Retrieved on June 19, 2024 from: https://www.data.gov.bh/explore/dataset/rainfall-in-by-month/analyze/

بوابة البيانات المفتوحة البحرينية. (دون تاريخ ب). متوسط استهلاك المياه اليومي. تم الاسترجاع في 19 يونيو 2024 من: https://www.data.gov.bh/explore/dataset/average-daily-water-consumption0/analyze/?flg=ar-001&sort=year

Bawwabat al-Bayanat al-Maftuha al-Bahrainiyya. (Dun Tarikh B). Mutawassit istihlak al-miyah al-yawmi. Retrieved on June 19, 2024 from: https://www.data.gov.bh/explore/dataset/average-daily-water-consumption0/analyze/?flg=ar-001&sort=year

المجلس الأعلى للبيئة. (2024). المحافظة على المياه في البحرين. تم الاسترجاع في 6 يوليو 2024 من: https://www.sce.gov.bh/المحافظةعلىالمياه

Al-Majlis al-Ala lil-Bia. (2024). Al-muhafaza ala al-miyah fi al-Bahrayn. Retrieved on July 6, 2024 from: https://www.sce.gov.bh/المحافظةعلىالمياه

جامعة الخليج العربي. (2025، 18 فبراير). ندوة تناقش سبل تطبيق الذكاء الاصطناعي في قطاع المياه في دول مجلس التعاون الخليجي. تم الاسترجاع في 26 فبراير 2025 من:
https://www.agu.edu.bh/ar/events/akdt-drwrt-tzyz-mmarsat-adart-almyah-almstdamt-ndwt-tnaqsh-sbl-ttbyq-aldhka-alastnay-fy-qta?language=ar

Jamiyat al-Khalij al-Arabi. (2025, 18 Fibrayir). Nadwa tunaqish subul tatbiq al-dhaka al-istinaai fi qita al-miyah fi duwal Majlis al-Taaawun al-Khaliji. Retrieved on February 26, 2025 from:
https://www.agu.edu.bh/ar/events/akdt-drwrt-tzyz-mmarsat-adart-almyah-almstdamt-ndwt-tnaqsh-sbl-ttbyq-aldhka-alastnay-fy-qta?language=ar

وزارة الأشغال وشؤون البلديات والتخطيط العمراني. (2023). مشاريع المياه والصرف الصحي في البحرين. المنامة: وزارة الأشغال وشؤون البلديات والتخطيط العمراني.

Wizarat al-Ashghal wa Shuun al-Baladiyyat wa al-Takhtit al-Umrani. (2023). Mashari al-miyah wa al-sarf al-sihhi fi al-Bahrayn. Al-Manama: Wizarat al-Ashghal wa Shuun al-Baladiyyat wa al-Takhtit al-Umrani.

وزارة شؤون البلديات والزراعة. (2023). الاستراتيجية الوطنية للمياه في البحرين. المنامة: وزارة شؤون البلديات والزراعة.

Wizarat Shuun al-Baladiyyat wa al-Ziraa. (2023). Al-istratijiyya al-wataniyya lil-miyah fi al-Bahrayn. Al-Manama: Wizarat Shuun al-Baladiyyat wa al-Ziraa.

وزارة شؤون الكهرباء والماء. (2021). الإحصائيات السنوية لاستهلاك المياه في البحرين. تم الاسترجاع في 6 يوليو 2024 من:
https://www.ewa.bh/

Wizarat Shuun al-Kahraba wa al-Ma. (2021). Al-ihsaiyyat al-sanawiyya li-istihlak al-miyah fi al-Bahrayn. Retrieved on July 6, 2024 from: https://www.ewa.bh/

المراجع الأجنبية

Al Saif, A., Al-Kuwaiti, A., Al-Zayani, H., & Ahmed, R. (2025). Evaluating future alternatives for a sustainable water management system in the Kingdom of Bahrain. *Journal of Water Resource and Protection, 17*(3), 1–18.

Al-Farisi, O., & Al-Shaikh, H. (2019). Environmental impacts of seawater desalination in the Arabian Gulf. *Marine Pollution Bulletin, 146*, 678–685.

Al-Harbi, S., & Al-Dosary, A. (2022). Transboundary groundwater management in the GCC: Challenges and opportunities. *Arabian Journal of Geosciences, 15*(3), 112–123.

Al-Saidi, M., & Saliba, T. (2021). Water desalination in the Middle East and North Africa: History, current status, and future prospects. *Water, 13*(6), 849. https://doi.org/10.3390/w13060849

Borgen Project. (2024, June 7). 10 facts about freshwater and sanitation in Bahrain. https://borgenproject.org/10-facts-about-freshwater-and-sanitation-in-bahrain/

Carnegie Endowment. (2024, April 19). *The looming climate and water crisis in the Middle East and North Africa*. https://carnegieendowment.org/research/2024/04/the-looming-climate-and-water-crisis-in-the-middle-east-and-north-africa?lang=en

CEIC Data. (2024). *Bahrain population, 1950–2024*. Retrieved July 6, 2025, from https://www.ceicdata.com/en/indicator/bahrain/population

EcoMENA. (2025, January 12). *Water scarcity in Bahrain*. Retrieved July 6, 2025, from https://www.ecomena.org/water-scarcity-in-bahrain/

Fanack Water. (2022, June 9). *Water challenges in Bahrain*. Retrieved July 6, 2025, from https://water.fanack.com/ar/bahrain/water-challenges-bahrain/

Fanack Water. (2024). *Water resources in Bahrain*. Retrieved July 5, 2025, from https://water.fanack.com/ar/bahrain/water-resources-bahrain/

Fanack Water. (2024). *Water use in Bahrain*. Retrieved July 5, 2025, from https://water.fanack.com/bahrain/water-uses-bahrain/

Ghaly, A., & Al-Ismail, M. (2020). Economic and environmental challenges of water desalination in the Gulf. *Desalination and Water Treatment, 190*, 1–12.

Green Climate Fund. (2018, October 20). *Enhancing climate resilience of the water sector in Bahrain (SAP003)*. Retrieved July 5, 2025, from https://www.greenclimate.fund/project/sap003

Gulf Research Center. (2024, October 20). *Water issues in the GCC countries: Status, challenges, and solutions*. Retrieved July 5, 2025, from https://www.grc.net/single-commentary/196

Gude, V. G. (2017). Desalination and water reuse: Sustainability perspectives. *Science of the Total Environment, 576*, 825–837.

Hossain, M., & Noor, M. (2022). Water infrastructure management in the Gulf region. *Middle East Journal of Water Resources, 11*(2), 45–61.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Chapter 4: Water. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, et al. (Eds.), *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 553–672). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-4/

Jiménez, B., & Asano, T. (2008). *Water reuse: An international survey of current practice, issues and needs*. IWA Publishing.

MEED. (2020, August 27). *Bahrain ramps up its PPP plans*. Retrieved July 5, 2025, from https://www.meed.com/bahrain-ramps-up-its-ppp-plans

Sadiq, R., & El-Houjami, M. (2003). Water reuse and desalination in the United Arab Emirates: A review. *Desalination, 152*(1–3), 183–190.

Save the Water. (2019, June 13). *World water demand will increase 55% by 2050*. Retrieved July 5, 2025, from https://savethewater.org/water-demand-to-increase-55-globally-by-2050/

Statista. (2024). *Production volume of desalinated water in Bahrain 2007–2022*. Retrieved July 5, 2025, from https://www.statista.com/statistics/800386/bahrain-production-volume-desalinated-water/

Stantec. (2023). *Guidelines and procedures for wastewater re-use in Bahrain*. Retrieved from https://www.stantec.com/en/projects/middle-east-projects/guidelines-procedures-for-wastewater-reuse-bahrain

The Daily Tribune. (2023, May 10). *Consumption of water on the rise in Bahrain*. Retrieved July 5, 2025, from https://www.newsofbahrain.com/bahrain/82329.html

University of Bahrain. (2020, March 9). *UOB publishes the first joint scientific research in cooperation with the British University of Oxford*. Retrieved July 5, 2025, from https://science.uob.edu.bh/2020/03/09/uob-publishes-the-first-joint-scientific-research-in-cooperation-with-the-british-university-of-oxford/

UN-Water. (2023, February). *What progress looks like – Bahrain*. Retrieved July 5, 2025, from https://www.unwater.org/sites/default/files/2023-03/sdg6_acceleration_snapshot_642_bahrain_feb_2023.pdf

UN-ESCWA, 2021. Bahrain: *Water Development Report*. United Nations Economic and Social Commission for Western Asia.

International Journal of Public Policy in Egypt - Volume 4 - Issue (3) - July 2025
ISSN: Print: 2812 - 4758 , Online: 2812 - 4766
Published by IDSC

Analytical Study to Achieve Water Resource Sustainability in Bahrain: Strategic Challenges and Opportunities

Abstract

This study analyzes the most prominent challenges facing water resource management in the Kingdom of Bahrain, which suffers from an increasing water crisis due to the scarcity of natural resources and heavy reliance on seawater desalination to secure fresh water. This study reviewed the impact of climate change and rapid population growth on the increasing water demand, which places significant pressure on the sustainability of this vital resource. The research methodology relies on analyzing previous literature and field data on water consumption patterns and desalination technology efficiency, in addition to examining the role of treated water in reducing the demand for fresh water. The results highlight that improving water consumption efficiency and expanding the use of treated water significantly contribute to alleviating pressures on available resources, as these measures support a balance between supply and demand. Based on the findings of this study, it is necessary to develop desalination technologies dependent on renewable energy to reduce the environmental impact and expand the use of treated water in the agricultural and industrial sectors by improving treatment methods. It also recommends adopting flexible water policies, including variable pricing systems that encourage rational consumption, and enhancing cooperation among Gulf Cooperation Council countries to exchange technologies and modern knowledge in water management. Likewise, this study sought to establish a comprehensive framework that supports achieving water security and enhancing water resource sustainability for future generations, aiming to increase Bahrain's capacity to confront the growing environmental and economic challenges. In light of the foregoing, this study recommends conducting future research that focuses on evaluating the effectiveness of sustainable technologies in water desalination, studying consumer behavior toward rational consumption policies, and exploring innovative solutions to address climate change and its impact on water resources in Bahrain.

Keywords: Water desalination, water resource management, water sustainability, water balance, Bahrain

المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر - مجلد 4 - العدد (3) - يوليو 2025
ISSN: Print: 2812 - 4758 , Online: 2812 - 4766
تصدر عن مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

التطور التكنولوجي وسياسات إدارة المخاطر البيئية: دراسة في المؤثرات والنتائج

أحمد همام محمد همام

مدرس العلوم السياسية والإدارة العامة، كلية التجارة، جامعة أسيوط، مصر
ahmedhammam@aun.edu.eg
ahmedhammam881@gmail.com

Technological Development and Environmental Risk Management Policies: A Study on Influences and Outcomes

Ahmed Hammam Mohammed Hammam

Lecturer of Political Science and Public Administration, Faculty of commerce, Assuit University, Egypt
ahmedhammam@aun.edu.eg
ahmedhammam881@gmail.com

DOI: 10.21608/ijppe.2025.443488 URL: http://doi.org/ 10.21608/ijppe.2025.443488

- تاريخ استلام البحث: 2025/01/25، وتاريخ قبوله: 2025/03/26
- توثيق البحث: همام، أحمد. (2025). التطور التكنولوجي وسياسات إدارة المخاطر البيئية: دراسة في المؤثرات والنتائج. *المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر*، *4*(3)، 42-67.

المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر - مجلد 4 - العدد (3) - يوليو 2025
ISSN: Print: 2812 - 4758 , Online: 2812 - 4766
تصدر عن مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

التطور التكنولوجي وسياسات إدارة المخاطر البيئية: دراسة في المؤثرات والنتائج

المستخلص

أسـهم التطور التكنولوجي في إحداث الكثير من التغيرات البيئية نتيجة اسـتغلال مخرجات التقدم التكنولوجي منذ الثورة الصـــناعية الأولى وما تبعها من تطورات ركزت على التصـــنيع واســـتغلال الموارد البيئية بطرق غير مُســـتدامة، مما أدى إلى تهديد الموارد الطبيعية وتلوث الهواء والمياه وانتشـــار الأمراض والأوبئة وغيرها من المؤثرات البيئية بفعل الانبعاثات الضارة من التصنيع، والتي أدت إلى التغير المناخي وتلوث التربة وتهديد الأمن الغذائي والصحي، ولكن النظرة المُختلفة للتطور التكنولوجي أنه يُمكِن استخدامه في تحسين الأوضاع البيئية من خلال التقنيات الحديثة، مثل الزراعة الذكية وتوليد الطاقة المتجددة النظيفة والاعتماد على الاقتصـــاد الأخضـــر وتقليل الانبعاثات الضـــارة بالبيئة واســـتغلال التقنيات الحديثة في إدارة المخاطر البيئية، مثل الإنذار المبكر والاستشعار عن بعد وتحليل البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي. ومن هذا المنطلق، تسعى هذه الدراسة إلى بحث مدى إمكانية الاعتماد على التكنولوجيا في إدارة المخاطر البيئية ووضـــع ســـياســـات تعمل على تقليل المخاطر البيئية، وذلك بالاعتماد على منهج تحليل النظم لاســـتغلال التغيرات البيئية في المجال التكنولوجي أفضل استغلال ممكن لوضع سياسات فعّالة في إدارة المخاطر البيئية والعمل على تقليل آثارها السلبية والتكيف معها. وتُشـير نتائج الدراسـة إلى أهمية الاعتماد على التكنولوجية الآمنة والنظيفة واسـتغلالها الاسـتغلال الأمثل لتقليل الآثار السـلبية الناتجة عن الاسـتغلال غير الرشـيد للموارد الطبيعية، والذي نتج عنه الكثير من الأزمات والكوارث الطبيعية، وهذا ما يعتبر حقلا علميا جديرا بالدراسات المستقبلية لتعزيز الاعتماد على تكنولوجيا الأشياء وتخزين البيانات والذكاء الاصطناعي والاستشعار عن بعد لتفادي الأزمات والكوارث الطبيعية.

الكلمات الدالة: التطور التكنولوجي، السياسات، إدارة المخاطر، التغيرات البيئية، التهديدات، الأمن البيئي

المقدمة

عَملَ التطور التكنولوجي الذي مَرت به البشرية على تسهيل الكثير من الأنشطة الحياتية وتغير نمط حياة المجتمع، بدءاً من الثورة الصناعية الأولى التي حولت الأنشطة من الجهد الإنساني إلى الجهد الآلي؛ مما زاد الاعتماد على الآلة في الكثير من الأنشطة البشرية مرورا بالكثير من التطورات التكنولوجية حتى الثورة الرقمية التي ألقت بظلالها وبتأثيراتها المباشرة وغير المباشرة على الحياة البشرية، فقد أضحى الإنسان بفعل التطور التكنولوجي يعتمد على الآلات والمعدات والتكنولوجيا في أداء المهام التي كانت تعتمد على الأداء البشري بشكل أساسي في أدائها (Schwab, 2016).

ومع التقدم التكنولوجي الذي وصلت إليه البشرية اليوم والفوائد الإيجابية التي ترتبت على هذا التقدم مثل الفوائد الاقتصادية والاجتماعية الضخمة، سرعان ما تم اكتشاف الجانب السلبي لهذه التطورات التكنولوجية وموجات التقدم المختلفة على الحياة البشرية المُتمثلة في التهديدات البيئية والتغير المناخي وقلة الموارد؛ بسبب سوء استغلالها والتهديد بنضوبها وغير ذلك.

ولذلك يواجه عالم اليوم الكثير من التحديات العالمية الناتجة عن التطور السريع والمتزايد في التصنيع والإنتاج والاستغلال السيّئ للموارد المُتاحة؛ مما عمل على ظهور قضية مُعقدة ومتداخلة، مثل قضية التغيرات البيئية وما يترتب عليها من تهديدات بسبب التقدم والتطور في عمليات الإنتاج والتصنيع، مثل تدهور التنوع البيولوجي وتلوث الموارد الطبيعية ونضوب هذه الموارد والتصحر والجفاف والتغير المناخي، ولذلك بات على الدول أن تُركز على أهمية وضع سياسات بيئية فعالة كضرورة استراتيجية لضمان استدامة الحياة البشرية والأنظمة البيئية (IPCC,2021).

ولذلك يعد التقدم التكنولوجي والتطور الذي وصلت إليه البشرية اليوم هو سبب التهديدات البيئية، وعلى المجتمع البشري أن يُدرِك خطورة هذه الآثار البيئية على الإنسان والاستقرار الاجتماعي والسياسي والاقتصادي والتنمية في مختلف المجالات البشرية، ولكن من جانب آخر يمكن الاعتماد على التكنولوجيا الحديثة والابتكارات الجديدة في مواجهة المخاطر البيئية وإدارتها بغرض تقليل الآثار السلبية الناتجة عن التطور التكنولوجي ومواجهة التهديدات البيئية.

المشكلة البحثية

التطور التكنولوجي وما ترتب عليه من إنتاج الآلات والمعدات وبرامج نظم المعلومات فائقة القدرة على التعامل مع أي تهديد مُتوقع أو غير مُتوقع مثل التهديدات البيئية والعمل على إدارة هذه المخاطر البيئية وتقليل آثارها السلبية الناتجة عنها يعد فرصة مهمة لصناع القرار لاستغلال هذه التطورات لوضع سياسات فعّالة في إدارة المخاطر البيئية، ولذلك تأتي الدراسة للإجابة على تساؤل بحثي رئيسي، وهو:

إلى أي مدى يمكن الاعتماد على التقدم التكنولوجي في إدارة المخاطر البيئية ورسم سياسات بيئية فعالة تُقلل من الآثار السلبية الخاصة بها؟

ويتفرع من السؤال البحثي الرئيسي عدد من التساؤلات الفرعية، منها:

- ما طبيعة التطور التكنولوجي الذي وصل إليه المجتمع البشري؟
- ما طبيعة التغيرات البيئية التي طرأت على المجتمع البشري؟
- ما تأثير التطورات التكنولوجية المُتلاحقة على التغيرات البيئية؟
- كيف يمكن استغلال التقدم التكنولوجي في وضع سياسات لإدارة المخاطر البيئية وتقليل الآثار السلبية الناتجة عن هذه التغيرات؟

أهداف الدراسة

تسعى الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف، وهي:

- التعرف على ملامح التطور التكنولوجي على مر عصور المجتمع البشري.
- التركيز على الإيجابيات والسلبيات الخاصة بالتطورات التكنولوجية المُتلاحقة.
- التركيز على التغيرات البيئية والتهديدات المُترتبة عليها.
- استكشاف آثر التطورات التكنولوجية الإيجابية والسلبية على التغيرات البيئية وكيف يمكن استغلال الجانب الإيجابي للتخلص أو تقليل التأثيرات السلبية.
- التعرف على كيفية استغلال التطور التكنولوجي في وضع سياسات فعّالة لإدارة المخاطر البيئية.

أهمية الدراسة

تنقسم أهمية الدراسة إلى الأهمية العلمية والأهمية العملية، وذلك على النحو التالي:

- الأهمية العلمية: تنبع الأهمية العلمية للدراسة في التعرف على التطور التكنولوجي وآثاره الإيجابية والسلبية على مر التاريخ البشري وما يترتب عليه من تغيرات بيئية تهدد الوجود البشري.
- الأهمية العملية: تنبع الأهمية العملية للدراسة في الالتزام الأخلاقي بالاهتمام بالتغيرات البيئية وتقديم رؤى لصناع القرار لكيفية إدارة التغيرات البيئية باستخدام الابتكارات التكنولوجية والحفاظ على البيئة.

منهجية الدراسة

تعتمد الدراسة في تحقيق أهدافها والإجابة على التساؤلات الأساسية والفرعية الخاصة بها على اقتراب تحليل النظم، وذلك من خلال التطور التكنولوجي كمجموعة تغيرات بيئية محيطة بالنظام السياسي بما يحقق أمن الإنسان البيئي، حيث تعتبر هذه التغيرات مدخلات للنظام السياسي، وكيفية تعامل النظام السياسي مع جملة المطالب والاحتياجات الناتجة عن التغيرات البيئية ورسم سياسات واستراتيجيات وخطط قابلة للتنفيذ على أرض الواقع لحل المشكلات الناتجة عن هذه التغيرات البيئية المحيطة.

محاور الدراسة

ومن خلال أهداف الدراسة والتساؤل الرئيسي والتساؤلات الفرعية يمكن تناول الموضوع من خلال عدد من المحاور؛ حيث يتناول المحور الأول الإطار النظري (التطور التكنولوجي – التغيرات البيئية)، ويتناول المحور

الثاني التطور التكنولوجي وأثره على التغيرات البيئية، ويعرض المحور الثالث التقدم التكنولوجي وسياسات إدارة المخاطر البيئية، ثم الخاتمة والتوصيات.

المحور الأول: الإطار النظري (التطور التكنولوجي – التغيرات البيئية)

الإنسان في سعيه لتحقيق المصلحة والمنفعة الخاصة به يستغل كل ما يمكن استغلاله لتحقيق تلك المصلحة بدون الاكتراث بما يترتب على هذا الاستغلال من سلوك رشيد أو غير رشيد، ولكن الأنانية البشرية تدفع الإنسان إلى تحقيق المصلحة الآنية أو الوقتية باعتبارها حاجة مُلحة لضمان المعيشة الكريمة وتلبية الاحتياجات الأساسية بالنسبة له، ولذلك أضحى الإنسان يمارس سلوكيات غير رشيدة لضمان إشباع الاحتياجات الأساسية؛ مما أدى إلى الكثير من القضايا والتهديدات التي تؤثر على مستقبل البشرية جمعاء (Krause et al., 2018).

ولما كانت التطورات التكنولوجية هي أحد أهم السلوكيات البشرية الناتجة عن سوء استغلال الإنسان للموارد البيئية لمواكبة التطور في الاحتياجات والمُتطلبات الحياتية المُختلفة بدءًا من اكتشاف الآلات والمعدات والسيارات والقطارات والطائرات والصواريخ، كل ذلك في حقيقة الأمر هو نوع من الاستغلال السيئ للموارد الطبيعية الخاصة بالبيئة بسبب الإسراع في عملية التصنيع واستهلاك الموارد الطبيعية بشكل يهدد بنضوبها وتهديدها مثل التصحر والجفاف ونقص المياه والتغير المناخي، ولذلك أضحى الإنسان مُهددا في أمنه الإنساني بسبب نقص الغذاء والتهديد الصحي والاقتصادي والاجتماعي بالنسبة للفرد، ولهذا أصبح من الضروري إلقاء الضوء على تأثير التطور التكنولوجي على البيئة وكيف يمكن استغلال هذا التطور في وضع سياسات فعّالة في إدارة المخاطر البيئية، ولذلك يتناول هذا المحور عرضا نظريا للمتغيرات الرئيسية للدراسة، وهي التطورات التكنولوجية والتغيرات البيئية، كما يلي:

التطورات التكنولوجية

يُعّد التطور التكنولوجي أحد أهم السمات الخاصة بالتطور البشري، ويلعب دورا محوريا في بيئة الإنسان وحياته على مدار الفترات الزمنية المُختلفة، لذا فإن التطور التكنولوجي يمثل القوة الدافعة الرئيسية لتغيير المجتمعات والاقتصادات في العصر الحديث، من الثورة الصناعية وحتى الثورة الرقمية، وقد لعبت التكنولوجيا دورًا محوريًا في تشكيل العالم من خلال تحسين الإنتاجية، وتسهيل الاتصال، وتعزيز جودة الحياة، فالتطور التكنولوجي يُعرف بأنه "عملية التقدم والابتكار في استخدام الأدوات، والأجهزة، والأساليب لتحقيق أهداف معينة بفاعلية أكبر، ويشمل: التقنيات الصلبة (Hard Technologies) وهي تمثل الأجهزة الملموسة مثل الآلات والمعدات، ويشمل أيضا التقنيات الناعمة (Soft Technologies) التي تُمثل البرمجيات، والخوارزميات، وأنظمة المعلومات (Rogers, 2003).

وهذا الشكل من التطور التكنولوجي أو التقدم بشكل عام مر بالكثير من المراحل التاريخية بدءا بالثورة الزراعية التي بدأت مع تطويع الإنسان للأدوات الحجرية والزراعة، مما كان لها دور كبير في تحسين إنتاج الغذاء واستقرار المجتمعات، وتليها الثورة الصناعية في القرن الثامن عشر التي ساد فيها اختراع الآلات مثل المُحرك البخاري الذي عمل على تعزيز التصنيع وتغيير البنية الاجتماعية والاقتصادية للمجتمعات البشرية خاصة

الأوروبية، وبعد ذلك الثورة التكنولوجية الثانية في القرن العشرين التي اتسمت باختراع الكهرباء، والهاتف، والآلات الحديثة التي كان لها دور كبير في تسريع الإنتاج وتسهيل الاتصال، وترتب على هذا التطور إنتاج الثورة الرقمية أواخر القرن العشرين التي تمثلت في تطور الحواسيب والإنترنت الذي عمل على تغيير جذري في التواصل والعمل والتعليم، وأخيرا الثورة الصناعية الرابعة التي تميزت بتقنيات الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، والطباعة ثلاثية الأبعاد؛ مما كان لها أثر كبير في أتمتة العمليات وتعزيز الكفاءة والفاعلية في المشروعات والإنتاج وغيرها (Schwab, 2016) .

ولذا ترتب على هذا التطور التكنولوجي الكثير من الأدوات الحديثة التي تتمثل في التكنولوجيا الرقمية التي تشمل البرمجيات، والحوسبة السحابية، والذكاء الاصطناعي التي تعمل على تحسين إدارة البيانات واتخاذ القرار، ومن ضمن هذه الأدوات الحديثة التكنولوجيا البيئية التي تُمثِل اختراع أدوات لإنتاج الطاقة المتجددة والنظيفة، وإدارة الموارد، وإعادة تدوير الموارد، وغيرها. وهذا ما يُساهم بشكل كبير في دعم الاستدامة وتقليل البصمة الكربونية وتقليل المخاطر البيئية والحفاظ على البيئة.

ولقد صاحب هذا التطور التكنولوجي الكثير من التأثيرات على كافة المجالات، فعلى المستوى الاقتصادي عمل التطور التكنولوجي على تحسين الإنتاجية وزيادة التصنيع وتحقيق معدل مرتفع من النمو الاقتصادي وظهور العديد من المجالات الصناعية الجديدة مثل التكنولوجيا المالية FinTech ، والتكنولوجيا الزراعية مثل agri tech، والسيارات الذكية مثل auto tech، مما ساهم بتأثير كبير على الأوضاع البيئية، حيث ساعد في اختراع تقنيات صديقة للبيئة يمكن الاعتماد عليها بدلًا من الآليات التي تضر بالأوضاع البيئية، مثل تقنيات الطاقة المتجددة التي تعمل على تقليل النفايات والانبعاثات وتخفيف التلوث الصناعي(UNCTAD, 2021) .

ورغم ذلك التطور الهائل في مجال التكنولوجيا وتشعبها في الكثير من المجالات وآثارها الإيجابية والسلبية الظاهر منها والكامن فإن هناك العديد من التحديات الخاصة بالتطور التكنولوجي، وتتمثل هذه التحديات في أولها الفجوة الرقمية المتمثلة في التفاوت في الوصول إلى التكنولوجيا بين الدول المتقدمة والنامية، حيث تنتشر هذه التكنولوجيا في الدول المتقدمة وتندر أو يُساء استغلالها إن وجدت في دول العالم النامي، ولذلك للتغلب على هذه التحدي وجب تعزيز التعليم التكنولوجي في الدول النامية (German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2020)، وثاني هذه التحديات هي البطالة، وذلك بسبب الاعتماد الكلي على الآلات والمعدات التكنولوجية وعدم التأهيل للعاملين للتعامل معها؛ مما يُزيد من معدلات البطالة، ولذلك وجب العمل على توفير برامج تدريبية وتأهيلية للعاملين ووضع برامج تعليمية لتأهيل الطلاب لمُتطلبات سوق العمل الجديد، وثالث هذه التحديات هو الخصوصية والأمن الشخصي للبيانات والتهديدات المتزايدة للأمن السيبراني، ولذلك يجب وضع تشريعات وقوانين لحماية البيانات الشخصية وتعزيز الخصوصية، ورابع هذه التحديات هو الأثر البيئي للتكنولوجيا، وذلك بفعل انتشار استخدام البرامج والتطبيقات الإلكترونية التي ينتج عنها الكثير من المُخلفات والنفايات الإلكترونية التي لا يقل تأثيرها السلبي عن انبعاثات الصناعات التقليدية، مما يضر بالبيئة، ولذلك يجب وضع سياسات لإعادة التدوير والاستدامة للحفاظ على البيئة من المخاطر التكنولوجية (World Economic Forum, 2020).

ولهذا يُعد التطور التكنولوجي قوة دافعة لتحقيق التقدم البشري، ولكنه يواجه تحديات تتطلب إدارة فعالة لتحقيق التوازن بين الابتكار والاستدامة، يجب على الحكومات والمؤسسات الدولية تبني استراتيجيات لتعزيز الوصول للتكنولوجيا ومعالجة التحديات المُرتبطة بها لضمان تحقيق فوائدها عالميًا، وأهم هذه التحديات التي تعد محور هذه الدراسة هي المخاطر البيئية المُترتبة على التقدم التكنولوجي، ولذا وجب وضع سياسات وتشريعات وبرامج وخطط استراتيجية لمواجهة هذه المخاطر اعتمادا على التكنولوجيا المتوفرة باختراع وابتكار تطبيقات تكنولوجية تعمل على تقليل المخاطر البيئية والحد منها، وهذا ما يدفعنا إلى التعرف على التغيرات البيئة والمخاطر الناتجة عنها وكيفية التعامل مع تهديدات التطور التكنولوجي على البيئة.

التغيرات البيئية

في ظل العديد من التحديات البيئية العالمية المُتزايدة، مثل: التغير المناخي، وتدهور التنوع البيولوجي، وتلوث الموارد الطبيعية، أصبحت السياسات البيئية ضرورية لضمان استدامة الحياة البشرية والأنظمة البيئية وذلك لوضع أطر قانونية وإدارية لتنظيم الأنشطة البشرية وحماية البيئة، وجاء ذلك من جراء التهديدات المُتزايدة للتغيرات البيئية الناتج عن سوء استغلال الموارد البيئية من تصنيع للمواد الخام وهدر للمياه والأراضي وتغير المناخ والتلوث وغيرها من مظاهر التغيرات البيئية العديدة التي بات لها تأثير واضح عن الأمن الإنساني في العديد من الأبعاد الصحية والبيئية والغذائية والمائية وغيرها، وهذا ما يدفع الدول للسعي الجاد لوضع سياسات تنظيمية لتقييد الممارسات السلبية التي تؤثر على البيئة.

ولذا يُمكن تعريف "السياسات البيئية" بأنها مجموعة من التدابير والتشريعات والأنظمة التي تتخذها الحكومات والمؤسسات بهدف تنظيم استخدام الموارد الطبيعية، وتقليل التلوث والانبعاثات، والحفاظ على التنوع البيولوجي والأنظمة البيئية، وتحقيق التنمية المستدامة.

وفي حقيقة الأمر الاهتمام بالتغيرات البيئية لم يأتِ فجاءة، وإنما مر بمراحل مختلفة خاصة بعد ما ظهر تأثير الثورة الصناعية الأولى، ولذلك كانت أولى مراحل الاهتمام بالبيئة في نهاية القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين وسميت بمرحلة "الوعي البيئي المبكر" (Harris et al., 2021) وتمثلت في ظهور الحركات البيئية نتيجة للثورة الصناعية وآثارها السلبية مثل وضع قوانين للحد من التلوث الصناعي في بريطانيا "قانون الهواء النظيف 1956" ، وازداد الوعي البيئي إلى حد الحركات العالمية في سبعينيات القرن العشرين بظهور المنظمات الدولية مثل برنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP، والتي كان لها دور كبير في توقيع اتفاقية مونتريال 1987، وأخيرا في أقصى درجات الاهتمام العالمي بالتغيرات البيئية ووضعها على الأجندة العالمية لكل برامج التنمية لدول العالم، خاصة في برامج التنمية المُستدامة منذ ثمانينيات القرن العشرين والعمل على إدماج البيئة ومهدداتها ضمن أهداف التنمية المستدامة بل وأحد الأبعاد الرئيسية للتنمية المُستدامة، بالإضافة إلى البعد الاقتصادي والاجتماعي والتقني، وفي ظل الاهتمام بهذه القضايا البيئية تم إبرام اتفاقية باريس للمناخ 2015، والتي تُعقد بشكل دوري سنويًا لمتابعة حالة التغيرات المناخية (UNEP, 2020).

ونتيجة لتلك التغيرات البيئة أصبح هناك اهتمام مُتزايد بالسياسات البيئية، وأصبح هناك العديد من الأدوات التي تتبعها الدول من أجل بناء سياسات فعّالة لمواجهة التهديدات البيئية، منها الأدوات التشريعية التي تمثل القوانين واللوائح لتنظيم الأنشطة البيئية، مثل قانون المياه النظيفة في الولايات المتحدة الأمريكية عام 1972، وهناك الأدوات الاقتصادية التي تتمثل في الحوافز الاقتصادية مثل فرض ضرائب على معدل الانبعاثات مثل ضرائب الكربون لتقليل الانبعاثات الضارة (Giddens, 2009)، وهناك الأدوات التكنولوجية التي تعتمد على تعزيز الابتكار واستخدام التكنولوجيا النظيفة، مثل دعم تقنيات الطاقة المتجددة والعمل على انتشار استخدامها بشكل كبير لتخفيف استخدام الطاقات غير النظيفة لتجنب الانبعاثات الضارة بالبيئة، وأخيرا هناك الأدوات التثقيفية والتوعوية مثل حملات التوعية والتعليم لتغيير سلوك الأفراد مثل مبادرات إعادة التدوير المجتمعية.

وتأتي هذه الأدوات المُستخدمة لحماية البيئة انطلاقا من إيمان الدول بأهمية الحفاظ على البيئة وتبني سياسات فعّالة لتحقيق مجموعة من الأهداف، أولها حماية الموارد الطبيعية مثل المياه والأراضي الزراعية والغابات، وذلك لضمان استدامتها مثل سياسات مكافحة إزالة الغابات في الأمازون، وثانيها تقليل التلوث البيئي مثل تنظيم الانبعاثات الصناعية واستخدام المواد الكيميائية، وثالثها مواجهة التغير المناخي التي تتمثل في تقليل انبعاثات الغازات الدفيئة وتحفيز استخدام الطاقة المتجددة، وذلك للوصول إلى الحياد الكربوني، ورابعها الحفاظ على التنوع البيولوجي مثل إنشاء المحميات الطبيعية وتقليل الأنشطة البشرية الضارة (IPCC, 2021).

واتباع السياسات البيئية له تأثير كبير على كافة المستويات الفردية والوطنية والدولية، فعلى المستوى الفردي تحسين صحة الأفراد وتقليل الأمراض والاهتمام بصحة المجتمع وزيادة الوعي الفردي بخطورة المخاطر البيئية، وعلى المستوى الوطني العمل على تحسين جودة المياه والهواء وخلق فرص اقتصادية واجتماعية أفضل بالنسبة للأفراد، وعلى المستوى الدولي تعزيز التعاون الدولي لمعالجة القضايا البيئية العابرة للحدود مثل اتفاقية باريس 2015 (UNEP, 2019).

ورغم الاهتمام الكبير بسياسات البيئة لمواجهة المخاطر البيئية فإن هناك العديد من التحديات التي تواجه هذه السياسات خاصة في دول العالم النامي، ومن هذه التحديات وأولها التكلفة الاقتصادية، حيث إن تنفيذ السياسات البيئية يتطلب تكاليف كبيرة أكبر من طاقة بعض الدول النامية، ويمكن ذلك فقط من خلال الشراكة ما بين الدول والمجتمع والقطاع الخاص، وثانيها المصالح المتعارضة، وذلك بسبب تعارض مصالح القطاعات الصناعية مع أهداف السياسات البيئية التي تعمل على تقليل التصنيع أو الانبعاثات الصادرة عن التصنيع، مما يعني تقليل التصنيع، ولتجنب ذلك التحدي يمكن وضع آليات لتعويض الشركات المُتضررة من التغيرات البيئية مثل خفض الضرائب، وثالثها ضعف الالتزام الدولي بالسياسات البيئية، وذلك إما بسبب تكلفتها العالية بالنسبة للدول النامية أو رفض الدول المُتقدمة تقليل التصنيع أو خفض معدل الانبعاثات الذي يؤثر على الإنتاج وأحوالها الاقتصادية، ولتجنب ذلك التحدي يمكن وضع آليات تعزيز المُراقبة والشفافية، ورابعها التفاوت بين الدول النامية والدول المتقدمة في الأحوال الاقتصادية؛ مما يشكل خطورة كبيرة على الدول النامية بسبب عدم توافر الإمكانيات الاقتصادية والتكنولوجية اللازمة لمواجهة المخاطر البيئية (World Bank, 2020).

لذا تمثل السياسات البيئية أداة أساسية لتحقيق الاستدامة وحماية البيئة للأجيال القادمة، ورغم التحديات، فإن التعاون الدولي، والابتكار التكنولوجي، وزيادة الوعي المجتمعي يمكن أن يسهم في تعزيز فاعلية هذه السياسات، ويبرز مما تم عرضه أهمية استخدام التكنولوجيا لتحقيق أهداف بيئية أكثر كفاءة لتجنب المخاطر البيئية.

المحور الثاني: التطور التكنولوجي وأثره على التغيرات البيئية

يُعدّ التطور أحد أهم سمات المُجتمعات البشرية، فكل مرحلة من مراحل التجمع البشري تاريخيا يصحبها مجموعة تغيرات تدفع الأفراد إلى إبداع وابتكار ما هو مُناسب لمعيشتهم ونمط حياتهم، فكان التقدم الذي تحققه المُجتمعات البشرية من فترة زمنية إلى أخرى ناتج عن الضغوط البيئية المُحيطة لتوفير الاحتياجات الأساسية، وفي حقيقة الأمر كل تقدُم يُصاحِب التطور البشري يكون له تأثيراته الإيجابية والسلبية ولكن دائما العنصر البشري يبرز الجانب الإيجابي طمعا منه في الانتشار وتحقيق المنفعة الخاصة به وإشباع احتياجاته، ولكن هناك جانبا سلبيا لهذه التطورات على المستوى الاقتصادي والاجتماعي والبيئي والسياسي.

فالعلاقة بين البيئة والتقنية متجذرة في التاريخ، حيث سعى الإنسان دائمًا لتطويع الأفكار والابتكارات لمواجهة تحديات بيئته وتحسين ظروف معيشته، ورغم أن التقنية ساهمت بشكل كبير في تسهيل الحياة وتحقيق الرفاهية، فإنها أثرت سلبًا من خلال زيادة التلوث البيئي، وذلك في مراحل الثورات الصناعية المختلفة وتأثيراتها البيئية (عبد الصادق، 2022).

ولذلك يمكن توضيح تأثير التقنية والتطور التكنولوجي على البيئة، سواء من حيث تحسين الحياة أو تفاقم التحديات البيئية، وهو ما يوضح التأثيرات الإيجابية والسلبية للتطور التكنولوجي على البيئة، ويمكن تناول تلك التأثيرات على النحو التالي:

التأثيرات المُختلفة للتطور التكنولوجي على البيئة

تتعدد التأثيرات الخاصة بالتطور التكنولوجي على البيئة تاريخيا وفقا لفترات التطور الزمنية المُختلفة ولكل مرحلة، كما أتاحت فرصة قوية لتحسين معيشة الأفراد والمجتمعات كان لها آثارها السلبية في تغير المناخ والتلوث والأضرار البيئية الأخرى.

فمع التركيز على الجوانب الضارة للتكنولوجيا على البيئة والمناخ، تظهر الآثار السلبية التالية (عبد الصادق، 2022):

1. زيادة استهلاك الطاقة: يؤدي الاعتماد المُتزايد على الأجهزة التقنية إلى ارتفاع الطلب على الطاقة، وبالتالي زيادة التنقيب على الوقود المولد لهذه الطاقة، وهذا يترتب عليه الكثير من الآثار السلبية الضارة على الإنسان والبيئة بسبب الانبعاثات الضارة عن استخدام الوقود الأحفوري لتوليد الطاقة.
2. الرقائق الإلكترونية واستخراج المعادن: إن التوسع الإلكتروني يصحبه نمو متزايد في إنتاج الرقائق الإلكترونية التي تتطلب موارد طبيعية تكاد تكون نادرة أو غير مُتوفرة بشكل كبير، ولذلك تعتمد الأجهزة

الإلكترونية على معادن نادرة يصعب استخراجها، والتنقيب عن هذه المعادن يؤدي إلى تلوث البيئة، وقد يهدد التنوع البيولوجي، خاصة إذا تم إجراؤه في مناطق موائل طبيعية (زهران، 2024).

3. انبعاثات الغازات الدفيئة: يُساهم التصنيع واستخدام الأجهزة الإلكترونية في زيادة هذه الانبعاثات الضارة التي تضر بالبيئة والمناخ، حيث إن تصنيع هذه التقنيات ينتج عنه الكثير من الانبعاثات الضارة بالبيئة مثل تسريب فريون التكيفات الذي يساعد على الاحتباس الحراري.
4. الزحف العمراني وتجريف الأراضي الزراعية: الزيادة السكانية والتوسع العمراني يقلصان المساحات الخضراء التي تجدد الهواء وتوفر الغذاء، وهو ما يُعدّ مصدر تهديد مباشر للأمن الغذائي والصحي والبيئي والمناخي للإنسان (زهران، 2024).
5. النفايات الإلكترونية: عمر الأجهزة الإلكترونية القصير نسبيًا يؤدي إلى تراكم النفايات التي تُسبب أضرارًا بيئية كبيرة، والتي ينتج عنها الكثير من النفايات الأكثر ضررا على البيئة.
6. تأثير العملات المُشفرة: عملية التعدين المُستمرة للعملات مثل "البيتكوين" تستهلك كميات هائلة من الطاقة، مما ينتج عنه 22–29 مليون طن متري من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سنويًا، بما يعادل انبعاثات دول كاملة، حيث تحتل عملية تصنيع "البيتكوين" المرتبة 35 عالميًا في استهلاك الكهرباء، بينما تسهم مراكز البيانات بنحو 2% من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري على مستوى العالم (خليف، 2024).
7. الاحتباس الحراري وانبعاثات الكربون: مع تزايد عدد المصانع ووسائل النقل المُعتمِدة على الوقود الأحفوري يؤدي هذا إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض، وإذا تجاوز ارتفاع الحرارة 3 درجات مئوية، قد تواجه الأرض كوارث كذوبان الجليد والفيضانات وغيرها (زهران، 2024).

وفي إطار التأثيرات السلبية للثورات الصناعية المُتلاحقة على التطور البشري في فتراته الزمنية المُختلفة تشير العديد من الدراسات إلى أن حوالي 3.6 مليارات إنسان معرضون للآثار المُدمرة لتغير المناخ كأحد المُهددات الناتجة عن التلوث الصناعي، وهذه نتيجة مباشرة للتطور التكنولوجي الداعم للنمو الاقتصادي منذ الثورة الصناعية الأولى في القرن الـ 18 (خليف، 2024)، فالنمو الاقتصادي العالمي يعتمد بشكل كبير على التطورات التكنولوجية المُتلاحقة، ومن الظاهر أن تأثير التكنولوجيا الرقمية أقل وضوحًا من تأثير الصناعات التقليدية على البيئة ولكن هذا التصور هو صحيح ولكن ليس كليا، حيث أكدت الدراسات أن التطور التكنولوجي يخلق آثار بيئية مباشرة وغير مباشرة، فالتكنولوجيا لها آثار إيجابية كبيرة مثلًا على أقل تقدير التحول باستخدام التكنولوجيا لحفظ البيانات والمعلومات والوثائق في شكل إلكتروني ساعد على تقليل الحاجة إلى حفظها ورقيا وهذا يترتب عليه خفض معدل الحاجة إلى صناعة الورق، وذلك يقلل من معدل قطع الأشجار مما يدعم البيئة. ولكن من جانب آخر، أتاحت التكنولوجيا فرصة أَسرع لإنتاج الآلات والمعدات التي تناسب هذه التطورات مثل الحواسيب والهواتف الذكية ومراكز البيانات، وفي حقيقة الأمر صناعة هذه الآلات لا تختلف كثيرًا عن تأثير الصناعات التقليدية على البيئة (خليف، 2024).

والدليل على ذلك استهلاك الكهرباء في إنتاج التكنولوجيا الرقمية يُقدّر بحوالي 7% من إجمالي الطاقة المُستهلكة عالميا وهناك توقع بزيادة النسبة سنويا حتى عام 2030، حيث رصدت العديد من الدراسات أن التوسع في استخدام برامج الذكاء الاصطناعي وإنتاجه وإنتاج مُشتملاته يزيد من استهلاك الكهرباء العالمي، إذ تقدر بعض الدراسات أن استهلاك برنامج Chatgpt من الكهرباء يكافئ استهلاك 33 ألف منزل أمريكي في المتوسط(*خليف 2024*)، فضلًا عن أن التقدم الهائل في مستوى التطورات التكنولوجية يصاحبه استخدام مُتزايد للموارد الطبيعية ويترتب على هذا الإنتاج الكثير من المُخلفات الإلكترونية بسبب الاستهلاك اليومي، وهذه المُخلفات تزيد خطورتها عن المُخلفات التقليدية، حيث تشير بعض الدراسات إلى أنه قد وصل إجمالي ما أنتجه العالم من مُخلفات إلكترونية في عام 2022 حوالي 62 مليار كيلو جرام بما يعادل 7.8 كيلو جرام لكل شخص من سكان العالم، خاصة أن هذه المُخلفات الإلكترونية لها آثار صحية كبيرة على الإنسان، حيث تشير الدراسات إلى أن أكثر المُخلفات الإلكترونية المُستخدمة في الأجهزة الإلكترونية هي من بين أكثر عشر مواد كيميائية شديدة الخطورة على صحة الإنسان والبيئة (خليف، 2024).

المخاطر البيئية للتكنولوجيا والأمن الإنساني

نتيجة التطور المُتزايد للتكنولوجيا وما ترتب عليها من تهديدات، أصبح تهديد الأمن لم يقتصر على أمن الدول الخاص بسيادة واستقلال الدول وحماية حدودها في النظام السياسي الدولي فيما كان يطلق عليه الأمن القومي وله استراتيجياته وآليات التعامل مع مهدداته، وإنما ظهرت مجموعة جديدة من التهديدات غير التهديدات التقليدية، ففي الوقت الحالي أصبحت التهديدات المُصاحبة للتطور التكنولوجي والعولمة وغيرها تصيب الأفراد قبل الدول، ولذلك ظهر مفهوم الأمن الإنساني وبقوة في النظام السياسي الدولي التي تختلف أهدافه ووسائله وآلياته عن الأمن القومي وإن كانا مكملين لبعضهما، وتشعب هذا الأمن إلى الأمن الصحي والأمن البيئي والأمن الغذائي والأمن الاقتصادي والأمن الاجتماعي والأمن الشخصي، وهذه الأبعاد الأمنية مترابطة إلى حد بعيد ومُتداخِلة ومُعقدة بشكل كبير (همام، 2022).

فمع تطور التكنولوجيا والاتصالات وظهور مظاهر العولمة، بات مفهوم الأمن يتجاوز معناه التقليدي ليشمل أبعادًا متعددة، على النحو التالي:

- الأمن التقليدي. يُعنى بحماية الدولة من التهديدات العسكرية الخارجية عبر الردع، والدفاع الوطني، والتحالفات العسكرية، وحماية حدود الدولة وسيادتها (Buzan et al., 1998).
- الأمن الإنساني. يركز على حماية الأفراد من التهديدات غير العسكرية، مثل: الفقر، والجوع، والأمراض، وانتهاكات حقوق الإنسان، خاصة بعد انتهاء الحرب الباردة، ويشمل الأمن الإنساني العديد من الأبعاد، وأحد أبعاده هو الأمن البيئي الذي يتعامل مع التحديات البيئية مثل التغير المناخي والتلوث، لضمان استدامة الموارد الطبيعية. وهناك أبعاد أخرى مثل الأمن الاقتصادي والاجتماعي والصحي والغذائي وغيرها (Williams, 2012).

وهذه الأبعاد تعكس تحول مفهوم الأمن ليشمل جميع جوانب الحياة، مما يجعل تحقيقه ضرورة لضمان الاستقرار والازدهار، فالأمن يمثل أولوية أساسية للدول، مما أدى إلى ظهور رؤى نظرية متعددة لتفسيره وفقًا لمتغيرات البيئة الدولية:

- النظرية الواقعية. تركز على الدولة كفاعل رئيسي في النظام الدولي، وترى أن القوة العسكرية والردع هما أساس تحقيق الأمن، وباتت هذه النظرية لا تحقق أهداف الأمن الإنساني، والوسيلة التي يُعتمد عليها في تحقيق الأمن هي الأداة العسكرية، وهي غير فعّالة مع أغلب التهديدات القائمة في الوقت الحالي.
- النظرية الليبرالية. تعطي الأولوية للتعاون الدولي والمؤسسات العالمية لتعزيز الأمن من خلال الشراكات الاقتصادية والسياسية، ويأتي هُنا التركيز على أهمية التعاون الدولي لمواجهة المخاطر الجديدة التي تُهدد الدول جميعا وليس عددا من الدول أو دولة بعينها.
- النظرية البنائية. تسلط الضوء على دور الأفكار، والهويات، والثقافات في صياغة السياسات الأمنية، للتهديدات الجديدة التي تهدد الأمن والاستقرار في النظام السياسي الدولي.

وتعدد هذه الرؤى يعكس اختلاف الأساليب التي تتبعها الدول لتحقيق الأمن بناءً على طبيعة التهديدات، سواء كانت عسكرية أو تعاونية، ومع التطورات التكنولوجية المتسارعة، ازدادت التهديدات غير المباشرة، مما جعل الأمن أكثر إلحاحًا وصعوبة في تحديد الفاعلين وراء هذه التهديدات، ليصبح الأمن الرقمي والتكنولوجي جزءًا لا يتجزأ من مفهوم الأمن الحديث، وعلى الدول والمؤسسات العالمية التعاون والتكاتف لتحقيق نوع من الردع لهذه التهديدات بالوسائل التكنولوجية الحديثة التي تناسبها (Booth, 2007) .

ومع تعدد التهديدات بسبب التغيرات البيئية المُختلفة في كافة الجوانب الاقتصادية والاجتماعية والثقافية، وهذه التهديدات تُهدد الأفراد والدول والنظام الدولي ككل، لذلك تنوعت مستويات الأمن لتشمل:

- الأمن الفردي. يُعنى بحماية الأفراد من التهديدات وضمان حقوقهم وحرياتهم.
- الأمن الوطني. يُركز على حماية الدولة من التهديدات الداخلية والخارجية وضمان الاستقرار السياسي والاجتماعي.
- الأمن الدولي. يَسعى للحفاظ على السلم والأمن الدوليين من خلال التعاون بين الدول، والالتزام بالقانون الدولي، ودور المؤسسات الدولية العالمية في تقديم الدعم والتمويل اللازم (Clarke et al., 2019).

وهذا التعدد في الأبعاد والمستويات يعكس تعقيد مفهوم الأمن في العصر الحديث، وضرورة معالجته بوسائل شاملة ومتكاملة تتناسب مع التهديدات المُتغيرة، وخاصة الأمن البيئي الذي يعد محور كل القضايا الخاصة بالأمن الإنساني بسبب ارتباطه الوثيق بالغذاء والصحة والاقتصاد والزراعة وغيرها مما يترتب على التغيرات البيئية من تهديدات على كافة أبعاد الأمن الإنساني، وتتمثل هذه الأبعاد الأمنية فيما يلي:

1. الأمن البيئي. يشمل الأمن البيئي كل التهديدات الخاصة بالبيئة من التغير المناخي والكوارث الطبيعية وغيرها الذي يُشكل تهديدًا مُتزايدًا للأمن البيئي، وكذلك النزاعات حول الموارد والتلوث البيئي ستؤثر على الاستقرار (Giddens & Anthony, 2009).
2. الأمن الصحي. من المُهددات الخاصة بالتغيرات البيئة احتمالية ظهور أوبئة جديدة ستؤثر على الأمن العالمي، مما يشكل خطرا كبيرا على الأمن الصحي ويمكن الاعتماد على الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة لتطوير العلاجات واللقاحات والتصدي للأزمات الصحية، وتحسين أنظمة الرصد والاستجابة للأزمات لتعزيز المرونة الصحية عالميًّا (Paltiel& Douglas, 2019).
3. الأمن الغذائي. تشكل التغيرات البيئة تحديا كبيرا للنظم الاقتصادية في المجتمع العالمي بسبب تأثيره الكبير على إنتاج الغذاء العالمي؛ مما يُهدد الأمن الغذائي للإنسان على مستوى العالم، وذلك ناتج عن التغير المناخي وعدم صلاحية المناخ لنمو المحاصيل الزراعية المُعتمد عليها في الغذاء Zuboff & (Shoshana, 2019).

لذا فإن التطور التكنولوجي سيظل عاملًا محوريًا في تشكيل مُستقبل الأمن، مما يتطلب استراتيجيات شاملة للتعامل مع التحديات والفرص الناشئة، خاصة مع تراكم الأضرار الناتجة عن التطور التكنولوجي في الفترات الزمنية المُختلفة على البيئة؛ مما يستوجب وضع سياسات لإدارة المخاطر البيئة اعتمادا على العامل التكنولوجي الذي يدعم عمليات التنبؤ بالمخاطر المُستقبلية وكيفية التعامل مع هذه المخاطر وإدارتها بنحو يقلل الخسائر المادية والبشرية على أقل تقدير.

الأضرار الخاصة بالتطورات التكنولوجية على البيئة

تُعدّ التكنولوجيا أحد المحركات الرئيسية للنمو الاقتصادي والاجتماعي في العصر الحديث، لكنها تثير أيضًا تحديات بيئية تؤثر بشكل مباشر وغير مباشر على الأمن الإنساني، حيث يشمل الأمن الإنساني مجموعة من العوامل التي تتعلق بالاستقرار الشخصي والاجتماعي، مثل: الصحة، والحياة المستدامة، والسلامة البيئية، والحقوق الأساسية، وعلى الرغم من الفوائد العديدة للتكنولوجيا، فإن استخداماتها غير المُنظّمة أو المُفرطة قد تسبب أضرارًا بيئية خطيرة تؤثر على البشر والنظم البيئية، ومن التأثيرات الضارة ما يلي:

1. التأثيرات البيئية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات. تعتبر تكنولوجيا المعلومات والاتصالات Information and Communication Technology (ICT) واحدة من أبرز مجالات التكنولوجيا التي تتسبب في مخاطر بيئية، ويتمثل أحد أكبر التحديات في استهلاك الطاقة العالمي الذي يتطلبه تشغيل مراكز البيانات والأجهزة الإلكترونية. على سبيل المثال، تقدر دراسة أجراها الاتحاد الدولي للاتصالات أن قطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات يمثل حوالي 4% من الانبعاثات العالمية للغازات الدفيئة(Belhassen, 2019). وبالإضافة إلى استهلاك الطاقة، تسهم عملية تصنيع الأجهزة الإلكترونية

في تلوث المياه والهواء بسبب المواد الكيميائية المستخدمة في التصنيع، مثل المعادن الثقيلة (Li et al., 2020).

2. الأضرار البيئية من المخلفات الإلكترونية. هناك مشكلة بيئية كبيرة ناتجة عن المُخلفات الإلكترونية التي تتزايد بشكل ملحوظ نتيجة للتطور السريع في صناعة التكنولوجيا، وغالبًا ما تحتوي الأجهزة الإلكترونية على مواد سامة مثل الرصاص والكادميوم والزئبق، والتي إذا لم يتم التخلص منها بطريقة مُناسبة، يمكن أن تلوث البيئة وتضر بالصحة العامة، مع تزايد انتشار النفايات الإلكترونية (e-waste) باعتبارها إحدى النتائج غير المرغوب فيها للتطور التكنولوجي، حيث تزداد كمية النفايات الإلكترونية سنويًا بسبب الاستخدام المُتزايد للأجهزة الإلكترونية والرقمية، وهذه النفايات تحتوي على مواد سامة مثل الزئبق والرصاص، التي قد تلوث التربة والمياه وتسبب مشكلات صحية (Zhang et al., 2022) .
3. استنزاف الموارد الطبيعية. تتطلب التكنولوجيات الحديثة، مثل الأجهزة الإلكترونية المتطورة، المعادن الأرضية النادرة، مثل الليثيوم والكوبالت، وهي موارد غير مُتجددة، واستخراج هذه المعادن يمكن أن يؤدي إلى تدمير الموائل الطبيعية وتلوث المياه والهواء، حيث تشير دراسة هاريس وآخرون (2021) إلى أن استخراج المعادن اللازمة لتصنيع الأجهزة الإلكترونية يزيد من تدهور البيئة ويشكل تهديدًا للأنظمة البيئية المحلية (Harris et al., 2021).
4. زيادة انبعاثات الكربون والتلوث الهوائي. تعد الصناعات التي تعتمد على التكنولوجيا الحديثة أحد الأسباب الرئيسية لزيادة انبعاثات الغازات الدفيئة، وعلى الرغم من تقدم تقنيات الطاقة المُتجددة، فإن العديد من الصناعات مثل النقل والطاقة ما تزال تعتمد على الوقود الأحفوري، وتُعتبر السيارات التقليدية، على سبيل المثال، المصدر الرئيس لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) ، مما يُسهم في ظاهرة الاحتباس الحراري وتغير المناخ، ووفقًا لدراسة أجرتها جونسون وآخرون (2022)، فإن انبعاثات الكربون من وسائل النقل التقليدية تزداد بشكل مقلق، رغم الابتكارات التي تم إدخالها في تقنيات السيارات الكهربائية التي يمكن أن تقلل الانبعاثات بشكل كبير (Johnson et a l., 2022).
5. التكنولوجيا والطاقة المُتجددة وتأثيراتها على البيئة. على الرغم من أن التكنولوجيا تساهم في الابتكارات التي تهدف إلى تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري عبر تطوير مصادر طاقة متجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، فإن هذه التقنيات لا تخلو من مخاطر بيئية. على سبيل المثال، يترتب على تصنيع الألواح الشمسية وتوربينات الرياح استخدام موارد خام قد تضر بالبيئة وتزيد من التلوث (Krause et al., 2018)، علاوة على ذلك، فإن عملية نقل وتخزين الطاقة المتجددة قد تؤدي إلى حدوث مشاكل بيئية في حال عدم اتباع تقنيات صديقة للبيئة.
6. تأثيرات الذكاء الاصطناعي على البيئة. تُعد تطبيقات الذكاء الاصطناعي من المجالات التي شهدت تطورًا سريعًا في السنوات الأخيرة، لكن هذه التطبيقات قد تُشكل تهديدات بيئية أيضًا. فالتدريب على نماذج الذكاء الاصطناعي يتطلب استهلاكًا هائلًا للطاقة، خاصةً عند استخدام الحوسبة السحابية، وفقًا لدراسة أجراها

باحثون في جامعة ماساتشوستس، ويمكن لتدريب نموذج واحد للذكاء الاصطناعي أن ينتج عنه انبعاثات كربونية مماثلة لتلك الناتجة عن قيادة سيارة على مدار عدة سنوات (Strubell et al., 2019).

7. التلوث الناتج عن صناعة الأجهزة الإلكترونية: إن صناعة الأجهزة الإلكترونية، مثل الهواتف الذكية وأجهزة الكمبيوتر، لا تقتصر فقط على تأثيراتها البيئية أثناء التصنيع، بل تمتد أيضًا إلى دورة الحياة الكاملة للمنتجات، فمنذ استخراج المواد الخام مثل النحاس والذهب والليثيوم، مرورًا بعمليات التصنيع، وصولاً إلى التخلص من الأجهزة التالفة، تتسبب الصناعة الإلكترونية في تلوث كبير، حيث تشكل المعادن الثقيلة مثل الزئبق والكادميوم تهديدًا مباشرًا للبيئة والبشر إذا تم تسريبها إلى التربة والمياه (Miller et al., 2021) .

على الرغم من الفوائد العديدة التي تُقدمها التكنولوجيا في مُختلف المجالات، فإن آثارها السلبية على البيئة لا يمكن إغفالها، من خلال فهم المخاطر البيئية للتكنولوجيا واتخاذ تدابير لتقليل هذه المخاطر حتى يمكننا الحفاظ على الأمن الإنساني وضمان استدامة كوكب الأرض للأجيال القادمة، من خلال وضع سياسات فعّالة لإدارة المخاطر البيئية المُترتبة على التطور التكنولوجي.

المحور الثالث: التطور التكنولوجي وإدارة المخاطر البيئية

يُشكِل التطور التكنولوجي أحد العوامل الرئيسية في صياغة السياسات البيئية للدول التي تعمل على مواجهة المخاطر البيئية، خاصة مع تزايد الضغط البيئي الناتج عن الأنشطة البشرية، وأصبحت التكنولوجيا أداة لا غنى عنها لتحقيق الاستدامة البيئية وتقليل التأثير السلبي على النظام البيئي، ولهذا يُمكِن الاعتماد على التكنولوجيا وتقنياتها الحديثة في تلاشي أو تقليل المخاطر البيئية المُتراكمة منذ بداية النشاط البشري المسيء للبيئة ومواردها.

فمع استمرار التقدم التكنولوجي، من المتوقع أن تظهر حلول جديدة لمواجهة المخاطر البيئية، فتقنيات جديدة مثل الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence (AI)والتعلم الآلي (Machine Learning) وتحليل البيانات الضخمة قد تلعب دورًا رئيسيًّا في تحسين عمليات اتخاذ القرارات في مجال إدارة المخاطر البيئية، من خلال التنبؤ بالأحداث البيئية المُدمرة واتخاذ إجراءات استباقية، بالإضافة إلى ذلك، فإن تقنيات النانو والمواد المستدامة قد تفتح آفاقًا جديدة لتحسين الأداء البيئي في الصناعات المُختلفة.

ولهذا يُظهِر التقدم التكنولوجي إمكانيات كبيرة في مجال إدارة المخاطر البيئية، حيث توفر التقنيات الحديثة أدوات مبتكرة لرصد المخاطر البيئية، وإدارة الموارد الطبيعية، والحد من آثار التلوث، ومع ذلك، فإن التحديات المُرتبطة بالتلوث التكنولوجي، والإفراط في الاعتماد على الحلول التكنولوجية، والتحديات الأخلاقية والتنظيمية عوامل تتطلب اهتمامًا جادًا لضمان استخدام التكنولوجيا بشكل مستدام. لذلك، من الضروري أن تستمر البحوث في إيجاد توازن بين الفوائد والتحديات المُرتبطة باستخدام التكنولوجيا في إدارة المخاطر البيئية.

أهمية استخدام التقنيات الحديثة في إدارة المخاطر البيئية

تُعد التكنولوجيا سلاحا ذا حدين، أحدهما يعمل على التصنيع والتطوير واستغلال الموارد بشكل سيئ؛ مما يضر بالبيئة وصحة الإنسان ويهدد بندرة الموارد، وهذا ما يتنافى مع التنمية المستدامة التي تعمل على تحقيق التنمية باستغلال أمثل للموارد لضمان استمرارية الاستفادة من هذه الموارد، والآخر يعمل على تخفيف العبء على الموارد الطبيعة واستغلالها بأفضل استغلال ممكن ولكن ذلك يتطلب الرشادة اللازمة للتعامل مع التكنولوجيا وتوجيهها لأفضل استخدام ممكن من أجل إدارة الموارد الطبيعية بشكل فعّال، ولذلك تم إدراج البعد التقني كأحد الأبعاد الرئيسية للتنمية المستدامة، بالإضافة إلى البعد الاقتصادي والاجتماعي والبيئي، ومع الإقرار بأهمية التكنولوجيا وإمكانية استغلالها في إدارة المخاطر البيئية، كيف يمكن الاستفادة من التقنيات الحديثة في تقليل الانبعاثات الضارة والحفاظ على البيئة والموارد الطبيعية وتقليل المخاطر الناجمة عن التغيرات البيئية وغيرها؟

هناك الكثير من الحلول والبرامج التنموية الحديثة التي اعتمدت على التكنولوجيا لتقليل المخاطر البيئية، ومن هذه الحلول (UNDP, 2020) :

1. التكنولوجيا الخضراء: وذلك من خلال دعم البحث والتطوير في مجال التكنولوجيا الخضراء التي تهدف إلى تقليل استهلاك الطاقة وتقليل التلوث، والتي لها دور كبير في الحفاظ على البيئة وتقليل آثار التغير المناخي.
2. إعادة التدوير: وذلك من خلال تعزيز استخدام تقنيات إعادة تدوير الأجهزة الإلكترونية بطرق آمنة لتقليل النفايات الإلكترونية الضارة التي تُهدد صحة الإنسان والتلوث البيئي.
3. تحسين كفاءة الطاقة: وذلك من خلال تطوير تقنيات لتحسين كفاءة الطاقة في مراكز البيانات والأجهزة الإلكترونية لتقليل استهلاك الطاقة والبحث عن مصادر مُتجددة للطاقة وتوليدها باستخدام التقنيات الحديثة.
4. الوعي العام والتشريعي: زيادة الوعي بين الأفراد والشركات حول أهمية الحد من التأثيرات البيئية، بالإضافة إلى تطبيق قوانين وتشريعات صارمة لتنظيم صناعة التكنولوجيا والحد من الصناعات المُضرة للبيئة مع عمل حوافز اقتصادية مثل خفض الضرائب.

ولذا، تلعب التقنيات الحديثة دورً مهما في صنع السياسات البيئية التي تتعامل مع المشاكل الخاصة بالبيئة واستغلال التكنولوجيا الحديثة المُتطورة للحد من الآثار السلبية للتغيرات البيئية الناتجة عن التصنيع المُتزايد وغيرها، ولذلك تعمل التقنيات الحديثة على (IPCC, 2021) :

1. الإدارة الفعّالة للموارد الطبيعية: تعمل التقنيات الحديثة على إدارة الموارد الطبيعية بشكل فعّال، حيث تتيح التقنيات الحديثة مثل إنترنت الأشياء Internet of Things (IoT) والذكاء الاصطناعي فرصا مهمة في مراقبة وإدارة الموارد المائية والطبيعية بكفاءة، مثل هولندا، تستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي لإدارة أنظمة المياه وتقليل مخاطر الفيضانات.

2. تعزيز الطاقة المُتجددة: توفر التقنيات الحديثة القدرة على إنتاج الطاقة المُتجددة، حيث تعمل على تطوير الابتكارات في مجال الطاقة الشمسية والرياح التي ساعدت على تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، وتقليل نسبة الكربون والانبعاثات الضارة الناتجة عن الوقود الأحفوري، سواء بسبب التنقيب عنه أو استخدامه، مثل ألمانيا التي تعد رائدة في مجال الطاقة المُتجددة بفضل استثماراتها الكبيرة في تقنيات الطاقة الشمسية.
3. مكافحة التلوث وإدارته: حيث توفر التكنولوجيا الكثير من أنظمة الأمان اللازمة لمكافحة التلوث ورصد التلوث والعمل على مُعاقبة المُتسبب في التلوث وتغريمه، وذلك من خلال تقنيات الاستشعار عن بُعد، حيث تُساعد الدول على رصد مستويات التلوث الهوائي والمائي، مثل الصين التي تستخدم تكنولوجيا الطائرات بدون طيار لرصد التلوث الصناعي وتنفيذ سياسات صارمة ضد الشركات المُخالفة.

ومن ثَّم تُساعد التكنولوجيا في إدارة المخاطر البيئية على تحسين الأوضاع البيئية بشكل كبير، حيث تعمل على إعادة هيكلة الجوانب البيئية بالأساليب التكنولوجية، إذ تؤثر الأساليب التكنولوجية على السياسات البيئية من خلال (UNEP, 2022):

1. التغير في نماذج الحوكمة البيئية. حيث تعزز التكنولوجيا شفافية البيانات واتخاذ القرارات المُستنيرة للتعامل مع القضايا البيئية، مثل الاتحاد الأوروبي الذي يعتمد على نظم المعلومات البيئية لرصد انبعاثات الكربون وتحقيق أهداف خفض الانبعاثات للحفاظ على البيئة.
2. تزايد الاعتماد على البيانات الضخمة. توفر الأساليب التكنولوجية القدرة على الاعتماد على تحليل البيانات الضخمة لدعم فهم الأنماط البيئية وتُمكِّن من التنبؤ بالكوارث البيئية، مثل الولايات المتحدة التي تعتمد على تقنيات البيانات الكبيرة لتطوير سياسات مكافحة حرائق الغابات.
3. التوجه نحو الاقتصاد الدائري. تُمكِّن التطورات التكنولوجية من إعادة التدوير وتحويل النفايات إلى طاقة بالأساليب العلمية التكنولوجية، وذلك للتخلص الآمن من هذه النفايات الضارة بالبيئة بل والعمل على تحويلها إلى طاقة يمكن استغلالها أو موارد يمكن إعادة إنتاجها من جديد، مثل السويد، والتي تحقق نجاحًا ملحوظًا في تحويل 99% من نفاياتها إلى طاقة باستخدام تقنيات مُتقدمة (Zang et al., 2022).

تأسيساً على ما سبق، فإن التوسع في الاستخدام التكنولوجي –في إدارة المخاطر البيئة وتفعيل سياسات بيئية فعّالة لمُكافحة الآثار السلبية للمخاطر البيئة– يَلقى اهتماما كبيرا في جدية تعامل هذه التقنيات مع المخاطر البيئية، ولذلك تعمل التقنيات الحديثة المُستخدمة في المجال البيئي على:

- تقليل الأثر البيئي. السياسات المُعتمدة على التكنولوجيا قللت من انبعاثات الغازات الدفيئة وساهمت في تحسين جودة الهواء، مثل الدنمارك، التي تتطلع إلى أن تصبح خالية من الكربون بحلول عام 2050 باستخدام تقنيات الطاقة النظيفة.

- تعزيز الاستدامة الاقتصادية. الاستثمارات في التقنيات البيئية تعود بفوائد اقتصادية طويلة المدى، مثل الهند، التي شهدت نموًا كبيرًا في قطاع الطاقة الشمسية بفضل السياسات الداعمة للتكنولوجيا.
- التعاون الدولي. التكنولوجيا أصبحت عنصرًا أساسيًّا في الاتفاقيات الدولية مثل اتفاقية باريس للمناخ، حيث تتطلب الدول الالتزام بتقنيات خفض الانبعاثات (World Economic Forum, 2021).

دور التقنيات الحديثة في الحفاظ على البيئة

لا يخفى أن ما آلت إليه الأوضاع البيئية العالمية من قضايا وأزمات مُتلاحقة من التدهور البيئي وشح الموارد الطبيعية وإزالة الغابات والاحتباس الحراري وندرة المياه وسوء استغلال الطاقة وتهديد التنوع البيولوجي وغيرها عمل على تعقيد الأزمات العالمية (موسى، 2013). ولذلك بدأت مراكز الفكر ودوائر صنع السياسات في العالم –وأوروبا على وجه التحديد– تستخدم عدة مصطلحات لوصف الوضع العالمي المتأزم، ومنها مصطلح أزمات مركبة polycrisis، ومصطلح الأزمة الدائمة Permacrisis، والتي تشير جميعها إلى الوقوع المتزامن لعدد من الأزمات التي تتداخل مع بعضها على نحو يولد عددًا من المخاطر العالمية التي يتخطى تأثيرها قطاعا بعينه، حيث يكون في هذه الحالة وضع الأزمة قابلا للإدارة وليس الحل، مما يعني استمراريتها ولكن هنا الإدارة للتكيف والتخفيف من مخاطرها (رجب، 2023).

وما تحتله الأزمات البيئية في الوقت الحالي من مخاطر شديدة التعقيد ومستمرة لفترات زمنية طويلة يزيد من تداعياتها السياسية والاقتصادية والاجتماعية وغيرها، خاصة أن هذه الأزمات في عالم شديد التغيير؛ مما يزيد صعوبة التعامل مع هذه الأزمات وكذلك يزيد من حدة تأثيراتها المُختلفة وتشابكها مع أزمات أخرى؛ مما يجعلها أزمات مُعقدة وحادة ومتعددة ومستمرة، وتشير الكثير من الدراسات إلى أن من أكثر الأزمات المُربِكة للنظام السياسي للدولة والمجتمع الدولي سبع أزمات أساسية، من بينها التغير البيئي (محيي الدين، 2023).

وبسبب الوضع المُعقد للأزمات البيئية للنظام السياسي الدولي وجب الاعتماد على التكنولوجيا لإدارة المخاطر البيئية والعمل على تقليل آثارها السلبية وفقا للكثير من المُعطيات والتجارب الناجحة في التعامل مع القضايا البيئية مثل السيارات الذكية والزراعة الذكية وغيرها التي تعمل على الحفاظ على البيئة وترشيد استخدام الموارد الطبيعية الخاصة بها.

خاصة أن بعض الدراسات تؤكد على أن التكنولوجيا تُساعد على خفض معدلات الانبعاثات الكربونية للصناعات التقليدية في القطاعات الرئيسية المسؤولة عن هذه الانبعاثات، وهي قطاعات الطاقة واستخراج المواد الخام النقل، حيث تُسهم هذه القطاعات بنسب 34% و21% و19% على الترتيب من إجمالي الانبعاثات على حسب تقديرات عام 2020. ولهذا تشير التقديرات إلى أن استخدام التكنولوجيا يمكن أن يخفض الانبعاثات في قطاع الطاقة إلى 8% من إجمالي الانبعاثات الكربونية بحلول عام 2050. وذلك اعتمادا على مصادر الطاقة

النظيفة باستخدام الذكاء الاصطناعي، خاصة مع انتشار تكنولوجيا الجيل الخامس 5G، وخفض الانبعاثات من قطاع استخراج المواد بنسبة 7% وفي قطاع النقل بنسبة 5% بحلول عام 2050 (خليف، 2024).

وبناء على ما سبق، تُتيح التكنولوجيا الكثير من الحلول لمواجهة التحديات البيئية، وذلك من خلال التكنولوجيا الخضراء عبر تطبيقات تقنية مُصممة لتلبية معايير الاستدامة البيئية والحفاظ على البيئة، وتتيح أيضا الإدارة البيئية الذكية عبر دمج تكنولوجيا المعلومات في مراقبة وإدارة الموارد البيئية بكفاءة وفعالية لضمان استدامتها وكذلك نشر الوعي البيئي عبر استخدام المنصات الرقمية لتعزيز الوعي بتأثيرات التغير المناخي وإطلاق مبادرات للحد من المُلوثات، والعمل على إيجاد حلول مُبتكرة من خلال الاستفادة من التطورات في مجالات مثل إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي لتقديم حلول عملية تُقلل من التأثيرات البيئية الضارة، ولذلك انتشر مصطلح "آليات مواجهة المخاطر البيئية" (الأمير، 2023).

لذا، تلعب التكنولوجيا الحديثة دورا كبيرا في تعزيز الاستدامة البيئية ومواجهة التغير المناخي، ومن أهم الإسهامات التقنية التي تُمكِّن التكنولوجيا من حماية البيئة والحفاظ على مواردها وتقليل أو إدارة المخاطر الناجمة عن التغيرات البيئية خلال الفترات الزمنية المُختلفة، وتشمل هذه الإسهامات:

- الذكاء الاصطناعي (AI). الذي يعمل على تحسين الحوكمة البيئية وتقليل المخاطر البيئية، وإدارة جودة المياه والهواء باستخدام تقنيات التعلم العميق وتحليل البيانات الضخمة، ودعم اتخاذ القرار من خلال معلومات دقيقة.
- الحوسبة السحابية ومراكز البيانات. من خلال اعتماد أنظمة ذات كفاءة عالية في استخدام الطاقة.
- التحول الرقمي الحكومي. وذلك يقلل الاعتماد على الورق، مما يقلل الأثر البيئي، مع تعزيز مشاركة المعلومات عبر الشبكات الاجتماعية لدعم الوعي البيئي والمبادرات الخاصة بالاستدامة.
- تصحيح التصورات البيئية: عبر مواجهة انتشار المعلومات المُضللة حول التغير المناخي، وتعزيز دور المجتمع المدني وأصحاب المصلحة في التصدي للتحديات البيئية (Dwivedi et al., 2022).

وكان من أهم التطبيقات التكنولوجية للحفاظ على البيئة في مجال الزراعة كمثال للتكيف مع التغيرات المناخية الزراعة الذكية، حيث تُعّد الزراعة الذكية من أهم تطبيقات التكنولوجيا في مواجهة التغير المناخي، حيث تتيح التحول من النظم التقليدية إلى نظم حديثة تعتمد على التقنيات المتطورة لتلبية الاحتياجات الغذائية المتزايدة، والتي تعتمد بشكل أساسي على بعض التقنيات الحديثة مثل: الذكاء الاصطناعي، والروبوتات الزراعية، وإنترنت الأشياء، حيث تعمل هذه التقنيات على توظيف حلول مُتقدمة للتكيف مع ظروف المناخ، وتحقيق كفاءة عالية في الإنتاج مع تقليل الأثر البيئي، ولذلك أثبتت هذه الجهود أن التكنولوجيا يمكن أن تلعب دورًا حاسمًا في تحقيق التنمية المُستدامة، عبر تقليل الآثار السلبية وتعزيز القدرة على مواجهة التحديات البيئية والمناخية (Minpenget al., 2020).

وبهذا الارتباط ما بين التكنولوجيا والنمو الاقتصادي تتحقق الكثير من المكاسب الاقتصادية والاجتماعية التي تعود بالنفع المباشر على الدولة والمجتمع في تحسين الأحوال الاقتصادية والاجتماعية والاهتمام بالتعليم ومواكبة كافة التغيرات الموجودة في البيئة المحيطة، ومن مظاهر هذه المكاسب:

- تحول الاقتصاد الصناعي. بإحداث نقلة نوعية من الاقتصاد الصناعي التقليدي إلى الاقتصاد الأخضر، الذي لا يضر بالبيئة.
- تحسين البنية التحتية. عبر تطوير البنية التحتية المحلية بما يواكب المُتطلبات البيئية الحديثة.
- تعزيز الطاقة المُتجددة. من خلال دعم استخدام مصادر الطاقة المُتجددة، مما يسهم في تحقيق نمو اقتصادي مستدام.
- كفاءة قطاع النقل. وذلك من خلال تحسين استخدام الطاقة في النقل، مما يحقق مكاسب اقتصادية ويقلل الانبعاثات.
- الحد من التغير المناخي. عن طريق تقليل انبعاثات الكربون والتخفيف من آثار التغير المناخي.
- تحسين الصحة العامة. بتقليل الآثار البيئية الضارة على صحة الإنسان.
- توفير فرص العمل. عبر خلق وظائف جديدة، مما يساهم في مواجهة البطالة ودعم المجتمعات المحرومة.
- تقليل الهدر: من خلال تحسين إدارة الموارد والحد من الفاقد، مما يعزز العدالة الاجتماعية والبيئية (زهران، 2024).

ولذا تُعد التكنولوجيا الخضراء أداة محورية لدعم التنمية المُستدامة وتحقيق توازن بين مُتطلبات الاقتصاد وحماية البيئة، من خلال تعزيز الابتكار، وتحسين كفاءة الطاقة، وتقليل التأثيرات البيئية السلبية، حيث تُقدم التكنولوجيا الخضراء حلولًا عملية للتحديات العالمية المُتعلقة بالطاقة والتغير المناخي.

ومن الأنظمة التكنولوجية الحديثة التي يتم الاعتماد عليها للحفاظ على البيئة نظام الإنذار المُبكر، حيث يُعتبر نظام الإنذار المبكر أداة حيوية تهدف إلى الوقاية ومنع الأزمات قبل حدوثها من خلال اتخاذ تدابير استباقية، ولذلك أصبح يُستخدم للتنبؤ بالكوارث الطبيعية، مثل الجفاف ونقص الغذاء، وكذلك في مجالات منع النزاعات، وقد زادت أهمية هذا النظام مع التقدم التكنولوجي، حيث أصبح مُرتبطًا بالذكاء الاصطناعي وبرمجيات مُتطورة، حيث تُعرّف الأمم المتحدة نظام الإنذار المبكر على أنه «توفير معلومات دقيقة وفعالة من خلال مؤسسات معينة، مما يتيح للأشخاص المُعرضين للخطر اتخاذ تدابير للوقاية أو الحد من آثار المخاطر، بالإضافة إلى الاستعداد للاستجابة الفعالة». وبناءً على هذا التعريف، فإن الهدف الأساسي من الإنذار المبكر هو توفير أداة للتأهب والوقاية من الكوارث وحالات الطوارئ والعمل على تقليل آثارها، أما من الناحية التقنية، فيُعرف الإنذار المبكر بأنه «نظام يركز على جمع البيانات بشكل منهجي، وتحليلها، وصياغة التوصيات، مع إجراء تقييم للمخاطر»، ويشمل ذلك إدخال الذكاء الاصطناعي في هذا النظام لتعزيز كفاءته (سالم، 2023).

الخاتمة والتوصيات

شكلت التغيرات البيئية المحيطة الكثير من التهديدات الخاصة بالإنسان، رغم أنها نتاج السلوك البشري غير الرشيد في استغلال التطور التكنولوجي في كل مراحل التطور البشري، بدءا من الثورة الصناعية إلى الوقت الحاضر، إلا أن ذلك ناتج عن السلوك غير الرشيد للإنسان؛ وذلك طمعا منه في تحقيق الرفاهية والمعيشة الكريمة، لذا سعى إلى استغلال نواتج التقدم بشكل يعمل على رفاهيته دون أن يبالي لنتائج هذا السلوك؛ مما أدى إلى تراكم الانبعاثات الضارة والمخلفات في المراحل الزمنية المُختلفة للتطور التي لم يعطِ الإنسان لها أي اهتمام إلى أن أصبحت كارثة على المجتمع البشري وتتولد عنها الكثير من الأزمات التي توصف بأنها أزمات ممتدة ومُعقدة ومُتشابكة، والتي تقع آثارها المُدمرة ليس فقط في قطاع معين وإنما في مُختلف قطاعات الحياة، فحدث التغير المناخي وتلوث الهواء والمياه والانبعاثات الضارة وتهديد الموارد الطبيعية بالنضوب وتجريف التربة وقلة المياه وغيرها من التغيرات البيئية التي ترتب عليها العديد من الأزمات والقضايا المُلحة في المجتمع مثل الصراعات الداخلية والخارجية بسبب قلة الموارد وتهديد الأمن الإنساني في الغذاء والصحة والاستقرار بفعل العديد من القضايا البيئية مثل التصحر والجفاف والفيضانات والزلازل والبراكين والأعاصير والاحتباس الحراري، ورغم ذلك كله إلا أنه ما زالت هناك قدرة على الاعتماد على التقنيات الحديثة لإدارة المخاطر البيئية والعمل على تقليل آثارها السلبية، سواء كانت البشرية أو الاقتصادية، وذلك من خلال استغلال التقنيات الحديثة مثل الاستشعار عن بُعد وتحليل البيانات الضخمة والذكاء الاصطناعي وتقنيات الإنذار المُبكر في التكيف والتعامل مع المخاطر البيئية وتقليل الآثار السلبية الخاصة بها، وذلك بعمل تشريعات قانونية محلية ودولية لاستغلال التقدم التكنولوجي والتعاون الدولي في ذلك القطاع ما بين الدول لتقليل المخاطر البيئة وإدارتها بالشكل الذي يؤدي إلى تخفيف حجم المخاطر المترتبة على القضايا البيئية.

وبناء على ذلك، توصي الدراسة بمجموعة من التوصيات على النحو التالي:

- ضرورة استغلال التقدم التكنولوجي في كافة القطاعات بالشكل الذي يخدم البيئة لدعم أنشطة الطاقة النظيفة والاقتصاد الأخضر وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري الذي تصدر منه أغلب الغازات الضارة بالبيئة.
- تحديث التقنيات الخاصة بالسيارات الذكية والزراعة التكنولوجية لتقليل الأنشطة السلبية المُضرة بالبيئة.
- التعاون الدولي في مجال نشر التقنيات الحديثة الخاصة بالبيئة والعمل على نقلها من الدول المُتقدمة إلى دول العالم النامي لتجنب الكثير من الآثار السلبية المُضرة بالبيئة.
- الاهتمام بالمُخلفات التكنولوجية المُضرة بالبيئة وصحة الإنسان والعمل على إعادة تدويرها حتى تصبح صالحة للاستخدام مرة أخرى دون أن يترتب عليها أي ضرر بيئي، وذلك يتطلب الاهتمام بالاقتصاد الدائري الذي يركز على اقتصاد عديم النفايات خاصة النفايات الضارة.
- نشر الوعي الثقافي المحلي والعالمي بأهمية الحفاظ على البيئة ضمانا للأمن والاستقرار ونشر المخاطر البيئية المُترتبة على عدم ترشيد السلوك الإنساني في التعامل مع البيئة.

- أهمية التعاون الدولي بوضع مجموعة قواعد دولية آمرة في مجال الحفاظ على البيئة وإدراج مُهددات الأمن البيئي في الاستراتيجية الأمنية العالمية كمُهدد للأمن والسلم الدوليين، بما يتطلب تدخلا دوليا في حال عدم الالتزام بهذه القواعد الدولية.
- أهمية قيام الدول بوضع التشريعات اللازمة لحماية البيئة وضبط السلوك البشري ضمن أهداف التنمية المُستدامة وعمل مُحفزات اقتصادية للأنشطة الصديقة للبيئة، مثل خفض الضرائب وتسهيل إجراءات الترخيص وغيرها.

الدراسات المستقبلية

من المتوقع أن يُحدث التطور التكنولوجي، خلال السنوات القادمة، تحوّلًا جذريًا في أساليب إدارة المخاطر البيئية، من خلال الانتقال من نماذج الاستجابة المتأخرة إلى استراتيجيات استباقية قائمة على البيانات والذكاء الاصطناعي. وستلعب تقنيات مثل إنترنت الأشياء (IoT)، والحوسبة السحابية، والذكاء الاصطناعي (AI)، ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) دورًا محوريًا في رصد المتغيرات البيئية في الوقت الفعلي، وتحليل الأنماط البيئية المعقدة، والتنبؤ بالكوارث الطبيعية قبل وقوعها.

وفي المقابل، ستتطور سياسات إدارة المخاطر لتصبح أكثر تكاملًا وشمولًا، مدعومة بأنظمة تشريعية مرنة تسمح بتوظيف هذه التقنيات ضمن خطط الاستجابة السريعة، والتخطيط الحضري، والإدارة المستدامة للموارد. ومن المرجح أن تتبنى الدول والمنظمات نماذج حوكمة رقمية تتضمن منصات ذكية لمراقبة الأداء البيئي، ودعم اتخاذ القرار بناءً على مؤشرات فورية وتحليل تنبؤي.

وبينما تتيح التكنولوجيا فرصًا غير مسبوقة لتعزيز القدرة على التكيّف مع التغيرات المناخية وتقليل المخاطر البيئية، فإن التحدي الأكبر سيكمن في ضمان العدالة الرقمية، وحماية الخصوصية، وبناء القدرات المؤسسية والبشرية للاستفادة من هذه الإمكانات بشكل فعّال ومنصف.

المراجع

المراجع العربية

الأمير، نيللي. (2023). المخاطر البيئية في مصر: التهديدات وآليات المواجهة. في: مصر وعصر المخاطر العالمية المتعددة. الملف *المصري*، (104).

Al-Amir, Nelly. (2023). Al-makhater al-biiya fi Misr: al-tahdidat wa aliyat al-muwajaha. Fi: Misr wa asr al-makhater al-alamiya al-mutadadda. Al-Malaf al-Masri, (104).

خليف، محمد. (2024، يوليو 29). *الأثر البيئي للتكنولوجيا: من مراكز البيانات إلى الذكاء الاصطناعي*، موقع المسار. تاريخ الاسترداد 5 يناير 2025. https://shorturl.at/09dkC

Khalif, Muhammad. (2024, Yulyu 29). Al-athar al-bii lil-tiknolojia: min marakiz al-bayanat ila al-dhaka al-istinaai, Mawqi Masaar. Retrieved on January 5, 2025 from: https://shorturl.at/09dkC

رجب، إيمان. (2023). السياسات الأمنية في عالم الأزمات المركبة. في: مصر وعصر المخاطر العالمية المتعددة. *الملف المصري*، (104).

Rajab, Iman. (2023). Al-siyasat al-amniya fi alam al-azamat al-murakkaba. Fi: Misr wa asr al-makhater al-alamiya al-mutadadda. Al-Malaf al-Masri, (104).

زهران، محمد. (2024، أكتوبر 11). *تأثير التكنولوجيا على البيئة، القاهرة*، مجلة الشروق. تاريخ الاسترداد 5 يناير 2025 https://www.shorouknews.com/columns/view.aspx?cdate=11102024&id=c87f0fa9-662f-42cb-abfd-946d4fba286a

Zahran, Muhammad. (2024, Uktubar 11). Tathir al-tiknolojia ala al-biiya, Al-Qahira, Majallat al-Shuruq. Retrieved on January 5, 2025 from: https://www.shorouknews.com/columns/view.aspx?cdate=11102024&id=c87f0fa9-662f-42cb-abfd-946d4fba286a

سالم، مروة. (2023). الإنذار المبكر وتوقع الأزمات والكوارث: آليات التطوير ومنهجية العمل. في: مصر وعصر المخاطر العالمية المتعددة. *الملف المصري*، (104).

Salim, Marwa. (2023). Al-indhar al-mubakkir wa tawaqqu al-azamat wa al-kawarith: aliyat al-tatwir wa manhajiyat al-amal. Fi: Misr wa asr al-makhater al-alamiya al-mutadadda. Al-Malaf al-Masri, (104).

عبد الجواد، جمال. (2023). بولي كرايسيس.. العالم في مواجهة مخاطر مركبة. في: مصر وعصر المخاطر العالمية المتعددة. *الملف المصري*، (104).

Abd al-Jawad, Jamal. (2023). Polycrisis… al-alam fi muwajahat makhater murakkaba. Fi: Misr wa asr al-makhater al-alamiya al-mutadadda. Al-Malaf al-Masri, (104).

عبد الصادق، عادل. (2022). COP27 وسبل تعزيز دور التكنولوجيا في مواجهة التغير المناخي، مركز الأهرام للدراسات السياسية والاستراتيجية: الملف المصري، (99). متاح على الرابط: https://acpss.ahram.org.eg/Esdarat/MalafMasry/99/files/downloads/Mallf-99-November-2022-Final.pdf

Abd al-Sadiq, Adel. (2022). COP27 wa subul taaziz dawri al-tiknolojia fi muwajahat al-taghyur al-munaakhi, Markaz al-Ahram lil-dirasat al-siyasiyya wa al-istratijiyya: Al-Malaf al-Masri, (99). Retrieved from: https://acpss.ahram.org.eg/Esdarat/MalafMasry/99/files/downloads/Mallf-99-November-2022-Final.pdf

محي الدين، محمود. (2023). مواجهة الأزمات في عالم شديد التغير. في: مصر وعصر المخاطر العالمية المتعددة. *الملف المصري*، (104).

Muhi al-Din, Mahmoud. (2023). Muwajahat al-azamat fi alam shadid al-taghyur. Fi: Misr wa asr al-makhater al-alamiya al-mutadadda. Al-Malaf al-Masri, (104).

موسى، غادة. (2023). آليات التكيف والاستعداد لمواجهة المخاطر العالمية المتعددة.. مصر نموذجا. في: مصر وعصر المخاطر العالمية المتعددة. *الملف المصري*، (104).

Musa, Ghada. (2023). Aliyat al-takayyuf wa al-isti'dad limuwajahat al-makhater al-alamiya al-mutadadda… Misr namudhajan. Fi: Misr wa asr al-makhater al-alamiya al-mutadadda. Al-Malaf al-Masri, (104).

همام، أحمد. (2022). *مقرر قضايا معاصرة*. مجموعة محاضرات لطلاب المستوى الأول لبرنامج نظم معلومات السياسات العامة. كلية التجارة – جامعة أسيوط.

Hammam, Ahmad. (2022). Maqarr qadayaa muasira. Majmuat muhadarat li-tullab al-mustawa al-awwal li-barnamaj nuzum malumat al-siyasat al-amma. Kuliyyat al-Tijara – Jamiat Assiut

المراجع الأجنبية

Belhassen, Y. (2019). ICT and its environmental impact. *Journal of Environmental Technology, 45*(7), 1024–1035. https://doi.org/10.1016/j.jenvtech.2019.04.032

Booth, K. (2007). *Theory of world security*. Cambridge University Press.

Buzan, B., Waever, O., & de Wilde, J. (1998). *Security: A new framework for analysis*. Lynne Rienner Publishers.

Chen, M., Zhang, L., Teng, F., Dai, J., Li, Z., Wang, Z., & Li, Y. (2020). Climate technology transfer in BRI era: Needs, priorities, and barriers from receivers' perspective. *Ecosystem Health and Sustainability, 6*(1), 1780948.

Clarke, R. A., & Knake, R. K. (2019). *The fifth domain: Defending our country, our companies, and ourselves in the age of cyber threats*. Penguin Press.

Dwivedi, Y., Hughes, L., Kar, A., Baabdullah, A., Grover, P., Abbas, R., Andreini, D., Abumoghli, I., Barlette, Y., Bunker, D., Kruse, L., Constantiou, I., Davison, R., De', R., Dubey, R., Fenby-Taylor, H., Gupta, B., He, W., Kodama, M., Mäntymäki, M., Metri, B., Michael, K., Olaisen, J., Panteli, N., Pekkola, S., Nishant, R., Raman, R., Rana, N., Rowe, F., Sarker, S., Scholtz, B., Sein, M., Shah, J., Teo, T., Tiwari, M., Vendelø, M., &Wade, M. (2022). Climate change and COP26: Are digital technologies and information management part of the problem or the solution? An editorial reflection and call to action. *International Journal of Information Management*. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102456.

German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. (2020). *Energiewende: Progress and challenges*.

Giddens, A. (2009). *The politics of climate change*. Polity Press.

Harris, A., Clark, L., & Johnson, P. (2021). Resource depletion and the environmental cost of technological growth. *Global Environmental Change, 35*(1), 75–89.

Maskus, K., Hoekman, B., Saggi, K. (2004). Transfer of technology to developing countries: Unilateral and multilateral policy options. *World Bank Policy Research Working Paper, 3332*. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/14181

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change and technological innovations*. IPCC Publishing.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change and environmental policies*. IPCC Publishing.

Johnson, M., Davis, P., & Lee, T. (2022). The impact of electric vehicles on carbon emissions. *Transportation Research Journal, 45*(2).

Krause, T., Hofmann, W., & Tsang, E. (2018). Environmental implications of renewable energy technologies. *Energy Policy.* https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.021

Li, S., Yang, Z., & Zhang, Y. (2020). Environmental impacts of electronic waste recycling. *Environmental Science and Pollution Research, 27*(24). https://doi.org/10.1007/s11356-020-09144-3

Miller, J., Deitz, T., & Wang, Z. (2021). The environmental consequences of electronic waste: A global perspective. *Science of The Total Environment, 781*, 146295. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146295

Paltiel, A. D., & Douglas, S. G. (2019). Public health and global health security. *Journal of Global Health*.

Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.

Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum.

Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. In *Proceedings of the 57th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (pp. 3645–3650). https://doi.org/10.18653/v1/P19-1341

UNEP. (2019). *State of the global environment report*. United Nations Environment Programme.

UNDP. (2020). *Technology and sustainable development goals*. United Nations Development Programme.

UNEP. (2020). *History of environmental policies*. United Nations Environment Programme.

UNCTAD. (2021). *Technology and innovation report*. United Nations Conference on Trade and Development.

UNEP. (2022). *Sustainable waste management practices in Sweden*. United Nations Environment Programme.

Williams, P. D. (Ed.). (2012). *Security studies: An introduction*. Routledge.

World Bank. (2020). *Environmental challenges in developing nations*. World Bank Publishing.

World Economic Forum. (2020). *Global technology trends*. World Economic Forum Publishing.

World Economic Forum. (2021). *Big data and climate policy*. World Economic Forum Publishing.

Zhang, S., Liu, J., & Zhang, Y. (2022). The impact of e-waste on environmental health. *Environmental Health Perspectives, 130*(3), 35004–35012. https://doi.org/10.1289/EHP8304

Zuboff, S. (2019). *The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power*. PublicAffairs.

International Journal of Public Policy in Egypt - Volume 4 - Issue (3) - july 2025
ISSN: Print: 2812 - 4758 , Online: 2812 - 4766
Published by IDSC

Technological Development and Environmental Risk Management Policies: A Study on Influences and Outcomes

Abstract

Technological advancements have significantly impacted the environment, largely owing to the exploitation of industrial progress since the first industrial revolution and subsequent developments focused on manufacturing and the improper use of environmental resources. This has led to the depletion of natural resources, air and water pollution, the spread of diseases and epidemics, and other environmental impacts resulting from harmful emissions from manufacturing, which have contributed to climate change, soil pollution, and threats to food and health security. However, an alternative perspective suggests that technological advancements can play a crucial role in improving the environmental conditions. Innovations include smart agriculture, clean renewable energy, reliance on a green economy, and reducing harmful emissions. In addition, modern technologies can be used in environmental risk management through tools such as early warning systems, remote sensing, big data analysis, and artificial intelligence. Therefore, this study explored the potential of leveraging technological development to manage environmental risks and develop policies to reduce such risks. This will be based on the theory of rationality and the systems analysis approach to make optimal use of environmental changes in the technological field, thereby formulating effective policies for environmental risk management and working to reduce their negative impacts and adapt to them. The findings of this study underscore the critical importance of adopting safe and clean technologies and utilizing them optimally to mitigate the adverse impacts resulting from the unsustainable exploitation of natural resources. These irresponsible practices have led to numerous environmental crises and natural disasters. Accordingly, this represents a significant scientific domain that warrants further investigation, particularly in leveraging the potential of the Internet of Things (IoT), data storage technologies, artificial intelligence (AI), and remote sensing to prevent and manage natural disasters and related crises.

Keywords: Technological development, policies, risk management, environmental changes, threats, environmental security

The Egyptian Cabinet
Information and Decision Support Center
IDSC

IJPPE

The International Journal of Public Policies in Egypt

Volume 4 (2025) - Fourth Year - Third Issue

3

Scholarly Peer - reviewed Quarterly Journal
(January, April, July, and October).
Issued by IDSC

ISSN
Print: 2812-4758
Online: 2812-4766

July 2025

The Egyptian Cabinet
Information and Decision Support Center
IDSC

IJPPE

The International Journal of Public Policies in Egypt

Volume 4 (2025)- Fourth Year - Third Issue

ISSN
Print: 2812-4758
Online: 2812-4766

The National Editorial Board*

Dr. Abd El Wahab Ghoneim	Vice Chairman of the Arab Federation for the Digital Economy, Consultant for International Cambridge College- UK, Board member of Studies & Research Center at Al-Sadat Academy for Admin Studies,International ICT Advisor
Prof. Ahmed Zayed	Professor of Sociology, Faculty of Arts, Cairo University
Prof. Ahmed Wahban	Professor of Political Sciences Dean of Faculty of Economic Studies and Political Science Alexandria University
Prof. Fakhry El-fiky	The chairperson of the Planning and Budget Committee in the Parliament.,Former Board member of the Central Bank, Former Executive Assistant of the IMF, Full-time professor at the Faculty of Economics and Political Science- Cairo University
Prof. Fareed ElNaggar	Ph.D. (New York University) Professor of Business and Independent Consultant
Prof. Hany Elshamy	Professor of Economics Dean of Faculty of Commerce, Tanta University
Dr. Khadiga Arafa Mohammed	Head of the Central Department of Community Outreach
Prof. Khaled El Sakty	Professor and Dean of College of International Transport and Logistics (Sheraton Branch), Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport
Minister plenipotentiary **Dr. Mahmoud Fath-Allah**	Economist, Director of the Department of Environmental Affairs, Head of the Technical Secretariat of the Council of Arab Ministers Responsible for the Environment (CAMRE)
Dr. Mohamed Bagha	Ph.D. of Business Administration in Finance and Investment, Associate Professor of Business Administration, Finance, and Investment Economics, Faculty of Commerce, Suez Canal University
Mr. Mohamed Hassaan Felfel	Head of Climate Change Risk Studies Department
Prof. Mohamed Kamal	Ph.D. In international Relations, Johns Hopkins University, Professor of Political Science, Faculty of Economics and Political Science, Cairo University
Ambassador Mohamed Tawfik	Master's Degree in International Law, University of Paris, Retired Ambassador, Ministry of Foreign Affairs, Egypt
Prof. Mona Elgarf	Ph.D. In Economics, Full Professor of Economics Faculty of Economics and Political Science, Cairo University
Prof. Saeed Elmasry	Ph.D. In Sociology Professor of Sociology and Anthropology, Head of The Center for Social Studies, Faculty of Arts, Cairo University
Prof. Sara Elgazzar	Professor of Supply Chain Finance, Dean of The College of International Transport and Logistics, Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport, Alexandria
Dr. Alshimaa Abd alsalam Ibrahim	Assistant Professor of Political Sciences, Faculty of Politics and Economics, Beni Suef University, Certified Trainer of Digital Transformation by the Supreme Council of Universities
Prof. Somaya Abdel-Mowla	Ph.D. in Economics, Professor of Economics, Faculty of Commerce and Business Administration, Helwan University

(*) In alphabetical order

The International Editorial Board*

Prof. Adil Cherkaoui	Associate Professor Faculty of Legal, Economic and Social Sciences, Ain Chock, Hassan II University, Casablanca, Morocco
Prof. Alexander Niedermeier	DAAD, Professor, Bonn, Germany - Long Term,Visiting Professor for Political Science and International Political Economy, FEPS-Cairo University, - Visiting Professor for Commercial Law, International Business Law, and Legal Ethics, ESLSCA University Business School Paris (Cairo Campus)
Prof. Amira Al-Haddad	Ph.D. in Economics, Senior Economist, German Development Institute, Professor of Economics, Faculty of Economics and Political Sciences, Cairo University
Prof. Ayman Al-Barasnah	Ph.D. in Politics and International Relations, The United Kingdom Head of Political Science Department, The University of Jordan/Amman
Dr. Christopher Belford	Senior Lecturer &Head of Departmentof Economics & Finance, School of Business & Public Administration University of the Gambia, Gambia
Dr.Daniela Ruiz Zárate	Economist, Central Bank of Mexico, Mexico
Dr. Galal Nasser	Principal Consultant, JAFCON Consultants for Productivity Improvement, Kingdom of Bahrain
Prof. Hatem Zaghloul	Ph.D. in Physics, CEO HZ Academy Inc., CEO Innovation Inc.
Dr. Hattab Abdelmalek	Lecturer,Faculty of Political Sciences and International Relations, University of Algeria 3, Algeria
Dr. Hind Malainine	Higher Education Professor, University Cadi Ayyad, Morocco
Dr. Huda Youssef	Ph.D. in Economics,Senior Economist, World Bank
Prof. Khadiga Mohamed Elbargathi	Assistant professor in Economics, Al Zaytoonah University of Jordan
Dr.Nehal Al-Najjar	Doctor of Business Administration (DBA) in Human Resources Management, Assistant Professor of Business and Director of the Center of Excellence for Women Empowerment, Royal University for Women, Kingdom of Bahrain
Prof. Nividita Varun Chand	Fiji National University, College of Agriculture Fisheries & Forestry, Fiji
Dr. Nour Al-Sharifi	PhD in Technology and Innovation Management, Head of IT Support Section, The Public Authority of Applied Education and Training, Kuwait
Prof. Peter Holmes	Ph.D. (University of Cambridge) Emeritus Reader in Economics Fellow UK Trade Policy Observatory, University of Sussex- UK
Prof. Rajaa Nadim Ghoussainy	University Professor, Lebanese University (Public University), Beirut, Lebanon
Prof. Reem Abu-Lughod	Professor,California State University,Bakersfield, USA
Prof. Rolf Alter	Senior Fellow, Hertie School of Governance- Germany
Rutendo Happy Jonga	Researcher, University of Nottingham Ningbo China, China
Prof. Susan Al-Massah	Professor of Economics and Development, Faculty of Business Administration- Zayed University, Faculty of Economics and Political Sciences, Cairo University

(*) In alphabetical order

The Executive Committee

IDSC Chairman

Dr. Osama El-Gohary

Prime Minister Assistant

Editor-in-Chief

Dr. Asaad El-Sadek

Senior Advisor to the Chairman of the Information and Decision Support Center for Assignments and Intellectual Production

Deputy Editor-in-Chief

Dr. Yasmine Gharieb

Associate Professor, Faculty of Economics and Political Sciences, Cairo University
Economic Expert and Academic Coordinator, IDSC

Managing Directors

Dr. Mai Mohsen

Head of the Central Department of Chairman's Technical Office Affairs
Head of the Technical Office Department

Dr. Yosri Nasr Ahmed

Lecturer, Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Cairo University

Editorial Secretary

Miss Monica William

Section Head at IDSC Chairman' Office
Researcher and Analyst in International Relations

Executive Assistant

Miss Nada Mahmoud Mourad

Economic researcher

Publishing Rules

1- Committing to the rules of scientific publishing stipulated in the authors' guide.

2- Committing to the rules of scientific integrity and plagiarism percentage.

3- Committing to responding to any inquiries during the publishing process.

4- Committing to the modifications requested by the reviewing committee.

5- Abstaining from any fundamental modifications on the research after being accepted.

6- Abstaining from submitting the abstract to any other journal, periodical or conference unless decision of acceptance or rejection is obtained from the journal.

7- If the research is accepted for publication, all copyrights are vested upon the journal. It cannot be published in any journal, periodical, or conference, whether in paper or digitally.

8- Publishing of researches follow the order of their receipt by the editorial board after being approved by the reviewers, as per the scientific and technical criteria set by the editorial board.

9- Publishing all issues on the website of the journal on the Egyptian Knowledge Bank.

10- Researcher can review the status of the research on the website of the journal (under review, publishing stage, published research).

For Further details on the authors' guidelines and publishing rules and ethics, please visit the journal website:

ijppe.journals.ekb.eg

Scholarly Review

Publishing in the journal undergoes the following process:

1. Submission

- The Journal accepts research and studies in different disciplines for publication on the journal's website on the Egyptian Knowledge Bank: https://ijppe.journals.ekb.eg/ .
- The researcher sumbits the full research paper under the scope of the journal, within (5,000-7,000) words, exceptions are made for research of a special analytical nature, and researcher also submits an abstract in English and Arabic of (150-250) words each.
- Research and studies submitted for publication should include an analytical tool -quantitative or qualitative- and the research should add a scientific value in the respective discipline.
- The researcher is committed to the rules of scientific publishing and formatting stipulated in the authors' guide.
- The researcher is committed to the rules of scientific integrity and plagiarism not to exceed 25%.
- In case of the use of survey or any analytical tool, a complete version shall be submitted, if not included in the reserch.

2. Assessment

- The research undergoes an anonymous double-peer review process to ensure impartiality, efficiency, and transparency. The research is evaluated by an external review committee nominated by the Editor-in-Chief. The committee is composed of two scholars with adequate relevant experience in the respective discipline.
- The external review committee evaluates the validity of the research for publishing based on the evaluation form sent to the reviewers with the research. The reviewers shall write a detailed report on the research to determine its validity.
- The external reviewing process takes from five to six weeks.

3. Modifications

● The reviewers' reports are sent to the Journal's Executive Committee to make the decision of publishing according to several scenarios:

1. **Reviewers' acceptance of the research without any modifications**
   In this case, the executive committee of the journal sends the final acceptance letter of publishing to the researcher signed by the editor-in-chief. Then, the publishing process is completed.

2. **Reviewers' acceptance of the research with some modifications**
   The Journal's Executive Committee sends the modifications to the researcher to make and upload, one week from date of sending to him/her, on the journal's website *https://ijppe.journals. ekb.eg/journal/process?lang=en.* If all modifications are covered, the Editor-in-Chief sends the final letter of acceptance to the researcher.
   If modifications are not made, the researcher is given a final extra one (1) week time extension, otherwise, the research will be rejected.

3. **One reviewer accepts and the second rejects the research**
   In this case, the Editor-in-Chief resolves its final acceptance or rejection. In both cases, the Editor-in-Chief notifies the researcher accordingly.

4. **Reviewers' rejection of the research**
   In this case, a letter of apology is sent to the researcher.

4. Publishing Procedures

● The two external reviewers must declare the validity of the research for publishing after researcher's compliance with the required modifications within the deadline (1 week from the date of receiving the modifications, in addition to another 1 week to implement the modifications). Failure to comply with the deadlines signifies that the research will be rejected, without any need for notifications.

● The researcher will receive a digital PDF version of the research after publishing.

● The accepted research papers, complying within the set out timeframe, shall be published, and the journal is released in its final form, after undergoing the following technical operations:

- Editing and formatting the accepted research papers, minor edits are accepted.

- Adding data of the journal according to the journal's policy and instructions of publishing; namely, these include the title page, publishing instructions, names of bodies concerned with the journal, volume number, issue number, year and place of publication.

Editorial Foreword

About the Journal

- Scholarly scientific journals are considered a key source of up-to-date information in diversified disciplines. Based on IDSC's key contribution to scientific research, it is our pleasure to issue the International Journal of Public Policies in Egypt (IJPPE). It is a quarterly scholarly anonymously peer-reviewed journal disseminating specialized research papers of researchers worldwide in the field of public policies building on national, regional, and international experiences.

- The review process is necessary to ensure the quality of published scientific research and verify the information Contained.The journal adopts an anonymous double review process. This process ensures the principles of impartiality and integrity in reviewing the submitted research papers, as it is essential for researchers to create a research base for the progress in the public policies fields. Ethics of scientific publishing are adhered to whether by the journal or the researcher.

- IJPPE aims at enriching the Egyptian, Arab, and international library with scholarly scientific researches that tackle public policies in order to assess their value from innovative, strategic, and practical standpoints. The objective is to avail evidence-based alternatives and solutions for the policy making process. Thus, developmental and strategic decisions would be reinforced, and resources and capabilities would be wisely managed. The journal also developes a vast base of scholars and researchers for potential collaborating with IDSC in various fields and specialities. Furthermore, IJPPE meets the needs of researchers, locally, regionally and globally, to disseminate research papers in Arabic and English, contributes to creating a scholarly scientific reference base in the field of research and studies worldwide, and benefits from national, regional and international experiences. IJPPE copes with the needs of the scientific and academic community and indulges in the scientific research system.

- The journal is concerned with public policies, whether economic, strategic, social, administrative, technological, educational, environmental, cultural, or health.

- The journal's editorial board comprised Egyptian and foreign members to benefit from their distinguished scientific experiences and to be granted accreditation by international databases in the future. Also, it joins the Egyptian Knowledge Bank (EKB), which provides a digital system for submission and review.

Dr. Asaad El-Sadek
IJPPE's Editor-in-Chief

Issue Content

Topic	Page
First: Arabic Section	
Analytical Study to Achieve Sustainability of Water Resources in Bahrain: Strategic Challenges and Opportunities Salem Edhaar Alrowaili	12
Technological Development and Environmental Risk Management Policies: A Study on Influences and Outcomes Ahmed Hammam Mohammed Hammam	42
Second: English Section	
The Effect(s) of E-Government on Corruption: Examining the Role of Development Level Asmaa Mohamed Ezzat, Engy Ahmed Hassan	79
Investigating the Impact of Real Exchange Rate and Current Account Deficit on External Debt in Egypt During the Period (1980–2022) Rania Anis Elsharkawy	104
Global Pathways to Low-Carbon Economy: Trends, Challenges, and Opportunities Hatem Mohamed Abdelazim	123
The Impact of Green Supply Chain Management on Enhancing Mental Image: Empirical Case Study of Ain Shams Specialized Hospital Marwa Sayed Mohamed Hussein	146

Correspondence

All correspondence should be directed to the
:Editor-in-Chief at the following address
The Cabinet's Information and Decision Support
- Center- 1 Magless El Shaab St. – Qasr Al Einy
:Cairo - Egypt, Postal Code: 11582. Telephone
27929292 (202)
E-mail: IJPPE@idsc.net.eg
-Website: https://ijppe.journals.ekb.eg

Disclaimer

-The opinions expressed in the journal represent the authors' views and do not necessarily the journal's views. The work submitted should take into consideration the nature of the journal and not engage in political, religious, security, or other related matters.

- All copyright reserved to the journal

The International Journal of Public Policies In Egypt- Volume 4, Issue 3 (July 2025)
ISSN: Print: 2812-4758, Online: 2812- 4766
Published by IDSC

IJPPE

The Effect(s) of E-Government on Corruption: Examining the Role of Development Level

Asmaa Mohamed Ezzat[1], Engy Ahmed Hassan[2]

[1]Associate Professor, Faculty of Economics and Political Sciences, Cairo University, Egypt
[2] Assistant Lecturer of Economics, School of Business, Coventry University, Egypt
Correspondence: engy.elbasyoni@gmail.com

تأثير الحكومة الإلكترونية على الفساد: دراسة دور مستوى التنمية

أسماء محمد عزت[1]، إنجى احمد حسن[2]

[1] أستاذ الاقتصاد المساعد، كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، جامعة القاهرة، مصر
[2] مدرس مساعد فى الاقتصاد، كلية الإدارة، جامعة كوفنترى، مصر
المراسلة: engy.elbasyoni@gmail.com

- **DOI: 10.21608/ijppe.2025.443490** **URL: http://doi.org/ 10.21608/ijppe.2025.443490**
- Received: 18/01/2024, Accepted: 23/12/2024
- Citation: Ezzat, A., & Hassan, E. (2025). The effect(s) of e-government on corruption: Examining the role of development level. The International Journal of Public Policies in Egypt, 4(3), 79-103.

The International Journal of Public Policies In Egypt, Volume 4, Issue 3 (July 2025)
ISSN: Print: 2812-4758, Online: 2812- 4766
Published by IDSC
Asmaa Mohamed Ezzat
Engy Ahmed Hassan

The Effect(s) of E-Government on Corruption: Examining the Role of Development Level

Abstract

E-government is one of the important innovations that has recently changed public administration. Although many governments have implemented e-government initiatives to reduce corruption in the public sector, the effectiveness of e-government in this regard is still a subject of debate. This paper examines the effectiveness of e-government in reducing corruption in the public sector for 168 countries from 2012 to 2022. Thus, this paper studies the relationship between the United Nations E-Government Development Index (EGDI) as the independent variable and corruption as the dependent variable, measured by the Corruption Perceptions Index developed by Transparency International and the Control of Corruption (COC) index alternately. To this end, three models were estimated: The baseline model examined the overall effect of the E-Government Development Index on corruption for the whole sample. The second one examined the impact of each sub-indicator of EGDI, namely, Online Service Index (OSI), Telecommunication Infrastructure Index (TII), and Human Capital Index (HCI), on corruption, also for the whole sample. Finally, the third model divided the data set into three subsets: developed, developing, and in-transition countries by adding a dummy variable to account for the development level, and compared the effect of EGDI on reducing corruption among the three groups of countries. The models were estimated using Ordinary Least Squares (OLS) fixed effects. The results of the baseline model showed that e-government can reduce corruption. As for the second model, results showed that OSI and HCI are significant. Finally, the third model showed that the impact of e-government on corruption is the highest in developing countries, followed by in-transition countries, and then developed countries. Therefore, this paper recommends a multi-faceted approach, encompassing e-government, institutional strengthening, transparency, and international cooperation to fight corruption effectively. Moreover, future research should address methodological limitations, such as employing panel dynamic analysis (e.g., GMM), and incorporate a wider range of indicators, including cultural, behavioral, and religious factors, to enhance the robustness of the findings.

Keywords: E-government, corruption, transparency, developing countries, developed countries

Introduction

The digital age has transformed many aspects of life, including how governments operate. E-government, which uses technology to deliver services and interact with citizens, is gaining attention worldwide. Although the scope and scale of implementation vary greatly between countries, many governments have adopted e-government initiatives (Mossberger et al., 2007; Weill and Woerner, 2013; Halpin, 2013).

While definitions of e-government vary, the World Bank offers a comprehensive definition as it states that e-government is "*The use of information technologies (such as Wide Area Networks, the Internet, and mobile computing) by government agencies that can transform relations with citizens, businesses, and other arms of government. These technologies can serve various ends: better delivery of government services to citizens, improved interactions with businesses, citizen empowerment through access to information, or more efficient government management. The resulting benefits can be less corruption, increased transparency, greater convenience, revenue growth, and/or cost reduction*" (Kingham, 2003).

This is the most comprehensive definition found in the literature, as it identifies some of the ICT tools used to implement e-government programs. Moreover, it identifies the main benefits that come with e-government. However, previous literature presented other definitions for e-government. For instance, The Department of Economic and Social Affairs (UNDESA) defined e-government as "*The public sector's use of the most innovative information and communication technologies, like the Internet, to deliver to all citizens improved services, reliable information, and greater knowledge to facilitate access to the governing process and encourage deeper citizen participation*" (UNDESA, 2002). This definition is slightly different from the other definition as it focuses primarily on the relationship between the government and citizens. In addition, it focuses on increasing citizens' participation. This definition emphasizes the potential of e-government to improve service delivery, transparency, and efficiency, all of which can combat corruption, a major obstacle to development.

Corruption has long been recognized as a major obstacle to the development of a country. It diverts public resources, undermines the rule of law, and distorts markets, which in turn hampers economic growth and social progress. Corruption also erodes public trust in government institutions and discourages both domestic and foreign investment. As a result, the provision of essential public services such as healthcare, education, and infrastructure is often compromised, leading to a decline in citizens' overall quality of life (Mauro, 2002; Villoria et al., 2013; Farrag & Ezzat, 2016). Economists have turned their attention to this issue a long time ago; however, measuring and reducing corruption has never been an easy task for countries. The World Bank (1997) defines corruption simply as "*The abuse of public power for private benefit*". While governments often try to combat corruption by strengthening laws and penalties, these traditional methods have proven largely ineffective (Jain, 2001; Shim and Eom, 2009; Park & Kim, 2020).

Corruption can be classified differently, but the most discussed distinction is between "grand" and "petty" corruption. Grand or political corruption, occurs at the elite level, where politicians manipulate policies and systems for personal gain, enriching themselves or their groups. In contrast, petty corruption involves lower-level public officials who demand bribes from the public in exchange for services that should be free, often due to a lack of accountability or bureaucratic inefficiencies (Jain, 2001).

Additional classifications include coercive versus collusive corruption, based on whether the bribe is forced or agreed upon by both parties, and systemic versus individual corruption, where systemic corruption is widespread and entrenched, while individual corruption involves isolated incidents. Despite these various distinctions, none fully capture all forms of corruption, and this paper focuses on the petty-grand corruption dichotomy, particularly petty corruption, as it is most relevant to the study of e-government initiatives designed to address this issue (Tanzi, 2006; Farrag & Ezzat, 2016; Boisvert, 2019).

Previous studies suggested that e-government reduces opportunities for corruption by minimizing direct contact between citizens and officials. Additionally, it provides cost-effective platforms for monitoring and supporting transparent decision-making (Mistry and Abu Jalal, 2012; El-Bahnasawy,2014; Park & Kim, 2020). Developed nations have successfully utilized e-government for this purpose, but developing countries still face challenges related to infrastructure, cultural factors, and digital literacy (Ifinedo, 2007; Sodhi, 2016). These hurdles must be addressed to fully harness the anti-corruption potential of e-government.

Consequently, the main objective of this paper is to explore the relationship between e-government and corruption theoretically and empirically. In the empirical analysis of this paper, we first estimate the effect of e-government, measured as the composite index, on the levels of petty corruption in a country. Given that the composite index consists of three sub-indices, we also investigate which of the three—OSI, TII, and HCI— drives the effect of e-government on corruption. Then, a third model is proposed by dividing the sample into three sub-groups to reflect the three development levels: developed, developing, and in-transition.

Our empirical analysis is based on a panel data set to test whether e-government can reduce corruption through three models from 2012 to 2022. The first one estimates the overall effect of e-government on corruption for all countries with available data for the chosen variables, which are almost 168 countries. In contrast, the second one disaggregates the E-government Development Index (EGDI) components. The third one compares the impact of e-government on corruption across developed, developing and in-transition countries by adding a dummy variable to account for the development level. In this regard, the OLS fixed and random effects method is applied to three model specifications, and then the Hausman test is conducted to choose the appropriate model.

To this end, this paper is organized into three sections. The first section explores various corruption theories and connects them to e-government. The second section reviews the existing empirical literature to examine the link between e-government and corruption. The third section presents the empirical analysis, followed by a discussion of the key results and findings. Based on the empirical outcomes, the paper concludes with policy recommendations.

Theoretical Framework

As corruption is a complex phenomenon, no one theory explains it all. However, several scholars have tried to explain the causes of corruption and how it can be tackled. Theoretically, the potential of e-government to reduce corruption can be explained through different theories, such as the principal-agent theory. According to this theory, conflicts arise when one party acts for another with information asymmetry. This can lead to self-serving actions by the agent (Ross, 1973). In the government context, citizens are the principals, and officials are the agents. Corruption occurs when

the principal cannot monitor the agent effectively, and the agent betrays the principal's interest in the pursuit of self-interest (Laffont and Martimort, 2002; Miller, 2005; Norris & Moon, 2005; Persson et al., 2013). Therefore, the principal needs to control the agent and narrow the information gap. Consequently, it would be crucial to reform the principal-agent relationship to prevent corruption by reducing the amount of discretionary power given to agents and increasing their accountability to the principal.

In this regard, e-government can be seen as a powerful tool in restructuring the principal-agent relationship to decrease corruption through increased access to information, simplifying rules and procedures, and increased transparency. It also provides detailed data on transactions, making tracking the actions made by agents easier. It reduces their discretionary power through standardizing service delivery and encourages accountability. Additionally, it permits the keeping of complete transaction records, increasing the likelihood of exposure. As a result, e-government may typically provide disincentives for public servants to commit corruption (Bhatnagar, 2009; Ojha et al.,2008; Garcia-Murillo, 2013).

While the principal-agent theory has long been used to explain corruption, other scholars have seen the emergence of collective action theory as an alternative explanation for the persistence of corruption despite anti-corruption laws. This theory views corruption as a collective problem, where individuals rationalize their behavior based on the actions of others, leading to corruption becoming a social norm. People engage in corrupt practices not because they are unaware of their negative consequences but because they believe it is futile to be the only honest person in a corrupt system (Marquette & Peiffer, 2015). To address this, collective and coordinated efforts are needed, and e-government can play a key role by fostering communication, cooperation, and shared responsibility among local and central governments, as well as private agencies, ultimately helping to reduce corruption by involving all sectors of society (Appolloni and Nshombo, 2014).

Moreover, scholars have explored the relationship between e-government and corruption through the lens of General Deterrence Theory (GDT), which posits that individuals are rational decision-makers who weigh the expected costs and benefits before committing crimes. In the context of corruption, rational actors are more likely to engage in corrupt acts when the expected benefits outweigh the perceived costs. To deter corruption, GDT suggests increasing the costs of engaging in such acts by enhancing the certainty, swiftness, and severity of punishment (Gibbs, 1968).

While e-government may not directly influence the severity or swiftness of punishment, it can increase the certainty of punishment by improving the monitoring, tracking, and sharing of data, making it easier to detect corruption and hold individuals accountable. By reducing the opportunities for undetected corruption, e-government raises the costs of engaging in corrupt behavior, thus discouraging rational individuals from participating in it (Bhattacherjee & Shrivastava, 2018).

Literature Review

Most of the past literature addressing the relationship between e-government and corruption has used different approaches and samples to explore this relationship. Some studies have examined this relationship globally, while others have focused on specific regions or countries. Yet, all these studies have achieved mixed results. Some empirical studies claim that e-government reduces corruption. Others have shown that e-government has no significant impact on reducing corruption, and even in some cases, it creates new opportunities for corruption.

On a global level, for instance, Seiam and Salman (2024) utilized a panel dataset of 110 countries spanning 2003-2021 to examine the impact of the E-government Development Index (EGDI) and its components (OSI, TII, HCI, and EPI) on the Corruption Perception Index (CPI). The study employed a fixed-effects model, and findings suggest that higher levels of e-government development are associated with lower levels of corruption. Similarly, Castro and Lopes (2023) used a large panel data set of 175 countries from 2003 to 2019 and applied random effects and GMM linear models. The results showed that e-government can be an effective tool in curbing corruption, particularly after reaching a threshold of 0.39 for the e-government development index. Also, they emphasized the importance of factors such as political stability, accountability, and sound regulation in enhancing the impact of e-government on corruption.

In a similar framework, Martins et al. (2021) used two more indices for corruption, along with CPI and the COC index, which are the International Country Risk Guide (IC_ICRG) and the Public Sector Corruption Index (PSCI). The study used EGDI for e-government along with a set of control variables for more than 170 countries from 2002 to 2020. The empirical results suggest that e-government serves as a deterrent to corrupt activities, highlighting that the potential of e-government to deter corruption is higher in countries where corruption is moderate or high and economic development is lower.

Other studies have delved deeper into the moderating factors of the relationship between e-government and corruption. For example, Park and Kim (2020) studied data from 214 countries from 2003 to 2016, and fixed-effects analysis was applied to explore the role of the rule of law, suggesting that e-government is more likely to reduce corruption in countries with stronger legal frameworks. Similarly, Nam (2018) used path analysis instead of OLS to investigate the moderating role of cultural factors, highlighting that e-government's effectiveness may vary across different cultural contexts.

Further, some studies used both measures of corruption to check for robustness. For example, Máchová et al. (2018) have also used the two corruption proxies and used three different indices for e-government, namely EGDI, the Networked Readiness Index (NRI) by the World Economic Forum (WEF), and the ICT Development Index (IDI) by the International Telecommunication Union (ITU) between 2002 and 2016. The results of the OLS model identified the key factors for a successful e-government initiative, which are the environment sub-index of the NRI, which assesses the extent to which a country's market conditions and regulatory framework support entrepreneurship, innovation, and ICT development; the usage sub-index of IDI, which assesses the level of ICT adoption by a society's main stakeholders; and the telecommunication infrastructure sub-index of EGDI, measuring a country's ICT infrastructure capacity.

On a regional/country level, Kalesnikaite et al. (2023) used OLS to analyze data from Latin America and the Caribbean, a region often affected by corruption. Their study showed that e-government significantly reduces bureaucratic corruption, particularly in services that avoid direct interactions between citizens and street-level officials. They examine the impact of e-government through a composite index and investigate the influence of its sub-indices—OSI, TII, and HCI—on corruption. The findings indicated that the positive effects of e-government primarily stem from the OSI sub-index.

Asorwoe (2014) investigated the impact of e-government on corruption in sub-Saharan Africa. The author stated that Africa remains the region with the lowest ranking in adopting e-government

technology. Thus, data for CPI, EGDI, and a set of control variables for a sample of 48 countries were collected, and the empirical findings showed that e-government has the potential to reduce administrative corruption within public service. Furthermore, Walle et al. (2018) used the same proxies for corruption and e-government for the same region from 2012 to 2016. The results of OLS showed that e-government has the potential to reduce corruption, but realizing such potential requires strengthening law enforcement and political will.

Similarly, Ali et al. (2021) examined the relationship for selected South Asian countries (Pakistan, India, Bangladesh, and Sri Lanka) from 2003 to 2018. The study incorporated other potential determinants of corruption, such as government effectiveness, press freedom, and education. The results of this study indicated that e-government plays a significant role in reducing corruption.

Despite the fact that evidence for the positive effects of e-government initiatives on reducing corruption is growing, a few studies have found that the implementation of e-government may not help to reduce corruption. Instead, adopting e-government may encourage corrupt public officials to enter new practices. **On a global level**, for instance, Basyal et al. (2018) analyzed panel data from 176 countries between 2003 and 2014 using a probability reduction approach. The study employed CPI and EGDI along with other potential determinants, such as gross domestic product per capita, inflation, political stability, government effectiveness, and press freedom indicators. The study found no significant impact of e-government on corruption, concluding that there was no evidence of an association between these constructs. Furthermore, Mélon & Spruk (2020) conducted a study on 108 countries from 1996 to 2017 using synthetic control estimation and difference-in-difference comparison. The findings of this study suggested that the institutional quality effects of e-government reform are not uniform across countries. The authors further argued that the introduction of e-government in an environment where prospects for widespread and pervasive corruption that breed rent-seeking incentives for business actors may have countervailing impacts.

While the above studies examined this issue globally, other studies have focused on specific regions by applying qualitative analysis. For example, Chernov et al. (2020) examined this relationship in Azerbaijan as they relied upon interviews given by several citizens of the Azerbaijani Republic and descriptive statistics of the access to the Internet and the level of corruption in Azerbaijan in 2013–2017. Based on this, the authors concluded that e-government implementation within the existing governing bodies can decrease corruption only to a certain point. They further explained that despite all the achievements and implementation of new digital services, Azerbaijan took a step backward in its struggle against corruption.

Moreover, Ismail et al. (2020) conducted a qualitative study on a local government in Indonesia to examine the impact of e-government on reducing corruption. The author reached the conclusion that, in reality, the use of electronic-based public services or e-government has not been successful in preventing corruption in Indonesian local government. The author also presented the argument that, to make this system reliable, an increase in a particular set of social attitudes, the professionalism of public officials, and public awareness must go hand in hand with the deployment of e-government and transparency, not just as a result.

In sum, despite the growing research in this field, the impact of e-government on corruption is not yet confirmed, as some studies have found empirical evidence for the role of e-government in reducing corruption on the global and regional or specific country levels. On the other hand, a few

studies have found that e-government initiatives may have no influence on reducing corruption or may even generate adverse effects. Besides these two extreme points of view, several studies argued that the ability of e-government to reduce corruption may vary across countries due to economic, educational, and cultural dimensions. To address this research gap, this study will empirically investigate the impact of e-government on corruption across a panel of 168 countries from 2012 to 2020. Further, the sample will then be divided into three subgroups based on the development level to examine whether the effectiveness of e-government in reducing corruption varies across different levels of economic development.

Empirical Analysis

Model and Variable Specifications

The main objective of this study is to estimate the impact of e-government on reducing perceived corruption using panel data analysis for 168 countries from 2012 to 2022. Some observations were dropped due to data availability. Variables and models are specified in the following part.

Dependent Variable

In this analysis, corruption is the dependent variable, and the study uses two measures of corruption for robustness. The first one is the Corruption Perceptions Index (CPI), issued annually for 180 countries since 1996 by Transparency International (TI). This index initially gives countries a score from zero to 10 (where zero is highly corrupt and 10 is very clean). However, since 2012, the methodology of the CPI has changed, as it has given countries a score from zero to 100 (where zero is highly corrupt and 100 is very clean). Thus, it is worth mentioning that pre-2012 scores are not comparable with post-2012 scores.

The second measure is the Control of Corruption (COC) index from the World Bank's Worldwide Governance Indicators (WGI) database. It measures perceptions of the extent to which public power is exercised for private gain, including petty and grand forms of corruption. The COC scores lie between -2.5 and 2.5, with higher scores indicating better control of corruption (i.e., lower levels of corruption).

Independent Variable

The main independent variable of interest in this study is e-government, which is measured by the E-government Development Index (EGDI). This index is issued by the United Nations for 192 member states as a comprehensive measure of the willingness and capacity of national administrations to use online technology in executing government functions. The index ranges from 0 to 1, where higher scores indicate a better e-government development level. Mathematically, the EGDI is a weighted average of normalized scores on the three most important dimensions of e-government, namely scope and quality of online services (Online Service Index, OSI), status of the development of telecommunication infrastructure (Telecommunication Infrastructure Index, TII), and inherent human capital (Human Capital Index, HCI). Each of these sets of indices is a composite measure that can be extracted and analyzed independently.

Control Variables

The study employs the most important and well-known determinants of corruption as control variables in the empirical analysis. The first variable is Gross Domestic Product (GDP) per capita. Wealthier countries have more resources to combat corruption, explaining why poor countries tend to have higher perceived corruption levels. This study uses the log of GDP per capita (LNGDPPPP)

to control data variability (Elbahnasawy and Revier,2012; Elbahnasawy, 2014; Kalesnikaite et al., 2023; Seiam and Salman, 2024). The second one is openness to international trade (TRADE), which is measured by the sum of exports and imports as a share of GDP. Studies suggest that increased trade openness enhances market competition, which can discourage corrupt behavior by reducing officials' monopoly power (Elbahnasawy and Revier,2012; Elbahnasawy, 2014; Kalesnikaite et al., 2023; Seiam and Salman, 2024).

Also, the rural population (as a percentage of the total population) is included. Its impact on corruption is debated. Rural populations may be less informed about government processes, increasing tolerance for corruption. Alternatively, smaller transaction volumes and closer social ties in rural areas could limit opportunities for corruption or increase potential consequences for corrupt officials. Additionally, this study also includes the level of law enforcement measured by the World Bank's Rule of Law Index (ROL). The ROL assesses public confidence in societal rules, contract enforcement, property rights, policing, courts, and the threat of crime. Higher ROL scores indicate a stricter rule of law and more effective enforcement, which can potentially deter corruption (Elbahnasawy and Revier,2012; Elbahnasawy, 2014; Kalesnikaite et al., 2023; Seiam and Salman, 2024).

The following table summarizes definitions and data sources for the dependent, independent, and control variables.

Table 1

Definitions of Variables

Variable	Definition	Source
Dependent Variable		
Corruption Perception Index	The CPI Score relates to perceptions of the degree of corruption as seen by businesspeople, risk analysts, and the general public and ranges between 100 (highly clean) and 0 (highly corrupt).	Transparency International
Control of Corruption Index	Control of Corruption captures perceptions of the extent to which public power is exercised for private gain, including petty and grand forms of corruption, as well as "capture" of the state by elites and private interests. The estimate gives the country's score on the aggregate indicator in units of a standard normal distribution, ranging from approximately -2.5 to 2.5, with higher scores corresponding to better control of corruption.	World Governance Indicators by the World Bank
Independent Variable		
E-government Development Index	A comprehensive measure of the willingness and capacity of national administrations to use online and mobile technology to execute government functions. The index ranges from 0 to 1, where higher scores indicate better e-government.	United Nations

Telecommunication Infrastructure Index	Arithmetic average composite of five indicators: (i) estimated internet users per 100 inhabitants; (ii) number of main fixed telephone lines per 100 inhabitants; (iii) number of mobile subscribers per 100 inhabitants; (iv) number of wireless broadband subscriptions per 100 inhabitants; and (v) number of fixed broadband subscriptions per 100 inhabitants.	International Telecommunication Union / United Nations
Human Capital Index	It consists of four components, namely: (i) adult literacy rate; (ii) the combined primary, secondary, and tertiary gross enrolment ratio; (iii) expected years of schooling; and (iv) average years of schooling.	International Telecommunication Union / United Nations
Online Service Index	It assesses the level of web content accessibility in each country according to the Web Content Accessibility Guidelines of the World Wide Web Consortium. This index is based on a four-stage model of online service maturity: the emerging online presence with simple websites; the enhanced information services with the deployment of multimedia content and two-way interaction; the online provision of transactional services; and the connected services where government websites communicate with citizens using interactive tools.	International Telecommunication Union / United Nations
Control Variables		
GDP Per Capita (Purchasing Power Parity- PPP)	GDP PPP is gross domestic product converted to international dollars using purchasing power parity rates. An international dollar has the same purchasing power over GDP as the US dollar has in the United States. GDP at purchaser's prices is the sum of gross value added by all resident producers in the country, plus any product taxes, and minus any subsidies not included in the value of the products. It is calculated without making deductions for the depreciation of fabricated assets or for the depletion and degradation of natural resources. Data are in constant 2017 international dollars.	WDI
Openness to International Trade	Trade is the sum of exports and imports of goods and services measured as a share of gross domestic product.	WDI
Rule of Law	Rule of Law captures perceptions of the extent to which agents have confidence in and abide by the rules of society, particularly the quality of contract enforcement, property rights, the police, and the courts, as well as the likelihood of crime and violence. The estimate gives the country's score on the aggregate indicator in units of standard normal distribution, ranging from approximately -2.5 to 2.5.	World Governance Indicators by the World Bank
Rural Population (% of total population)	Rural population refers to people living in rural areas as defined by national statistical offices. It is calculated as the difference between the total population and the urban population.	WDI

Source: Prepared by the authors based on the official data sources.

The specified models are estimated using OLS fixed/random effects models. We then use the Hausman test to identify the appropriate model among the three models. The baseline model estimates the general effect of e-government on corruption while controlling GDP per capita, rule of law, trade openness, and rural population as determinants of corruption, as shown by equation (1.1). Furthermore, to give more insights, the second model disaggregates the EGDI into its three sub-indicators and estimates the effect of each one separately on COC and CPI alternately (Kalesnikaite et al., 2023) while controlling for the same set of control variables as shown in equations (2.1), (2.2), and (2.3). The first two models are estimated for the whole sample (168 countries).

The third model divides the sample into three groups by adding an interaction term between EGDI and a dummy variable that accounts for the country's development level[1]. Three dummy variables are created to account for three different development levels, namely, developed, developing, and in transition. The first dummy variable takes the value of 1 if the country is developed and zero otherwise. The same applied to the second and third dummy variables that account for developing and transition countries, respectively.[2] Consequently, two interaction terms are created by multiplying the EGDI by two dummy variables and then estimated, as shown in equation (3.1).

$$\boldsymbol{CI_{it} = \beta_0 + \beta_1 EGDI_{it} + \gamma\, Z_{it} + \varepsilon_{it}} \quad \textbf{(1.1)}$$

$$\boldsymbol{CI_{it} = \beta_0 + \beta_1 HCI_{it} + \gamma\, Z_{it} + \varepsilon_{it}} \quad \textbf{(2.1)}$$

$$\boldsymbol{CI_{it} = \beta_0 + \beta_1 TCI_{it} + \gamma\, Z_{it} + \varepsilon_{it}} \quad \textbf{(2.2)}$$

$$\boldsymbol{CI_{it} = \beta_0 + \beta_1 OSI_{it} + \gamma\, Z_{it} + \varepsilon_{it}} \quad \textbf{(2.3)}$$

$$\boldsymbol{CI_{it} = \beta_0 + \beta_1 EGDI_{it} + \beta_2 ROL + \beta_2 EGDI * Developed_{it} + \beta_3 EGDI * Developing_{it} + \gamma\, Z_{it} + \varepsilon_{it}} \quad \textbf{(3.1)}$$

Where:
$\mathbf{CI_{it}}$: Corruption Index (either CPI or COC) in country *i* at time *t*.
$\mathbf{EGDI_{it}}$: E-government Development Index in country *i* at time *t.*
$\boldsymbol{HCI_{it}}$: Human Capital Index in country *i* at time *t*.
$\boldsymbol{TCI_{it}}$: Telecommunication Infrastructure Index in country *i* at time t.
$\boldsymbol{OSI_{it}}$: Online Service Index in country *i* at time t.
$\boldsymbol{EGDI * Developed_{it}}$**:** Interaction term between EGDI and the dummy for developed in country *i* at time t.
$\boldsymbol{EGDI * Developing_{it}}$**:** Interaction term between EGDI and the dummy for developing in country *I* at time t.
$\mathbf{Z_{it}}$: Vector of control variables representing the determinants of corruption.
$\boldsymbol{\varepsilon_{it}}$**:** Error term in country *i* at time *t*.

Descriptive Statistics:

Before proceeding to the empirical analysis, this section includes some descriptive statistics and correlation analysis for the variables used in the analysis. Descriptive statistics for the variables are presented in Table (2).

[1] The classification of the selected countries is based on the classification of the United Nations, 2023
[2] The selected countries are presented in Table (1) in the appendix.

Table 2
Descriptive Statistics

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
COCSCORE	1980	-.054	.971	-1.816	2.407
CPISCROE	1855	43.679	18.893	0	92
EGDI	1979	.536	.217	0	.976
OSI	1978	.504	.26	0	1
HCI	1978	.675	.199	0	1
TCI	1978	.431	.255	0	.998
LNGDPPPP	1788	9.309	1.147	6.571	11.666
RURAL	1979	41.648	22.607	0	88.806
ROL	1980	-.05	.952	-2.423	2.13
TRADE	1850	89.29	53.934	.785	396.625

Source: Prepared by the authors based on statistical results.

Table (3) shows the correlation matrix for all variables, which is considered a primary tool to efficiently describe and measure the strength of relationships between variables of interest in this study. First, it is evident from the table below that the two corruption indices are highly correlated (0.98), with all correlation coefficients significant at the 5% significance level. Additionally, there is a strong positive correlation between CPI-IT and EGDI since higher values of CPI-IT mean lower levels of corruption. This implies that corruption and e-government are negatively correlated. The same correlation holds for the COC-WB. In addition, the two measures of corruption have a strong positive correlation with the three sub-indicators of EGDI, namely, OSI, TCI, and HCI. The two measures of corruption almost have the same correlation coefficient, with TCI having the highest correlation, followed by OSI and then HCI. As for the correlation between corruption and the control variables, it seems that the two measures of corruption are positively correlated with ROL, LNGDPPPP, and TRADE, with a positive sign. On the other hand, CPI-IT and COC-WB are negatively correlated with RURAL.

Table 3
Correlation Matrix

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
(1) CPISCROE	1.000									
(2) COCSCORE	0.986*	1.000								
(3) EGDI	0.733*	0.712*	1.000							
(4) OSI	0.641*	0.610*	0.908*	1.000						
(5) TCI	0.730*	0.704*	0.938*	0.779*	1.000					
(6) HCI	0.637*	0.618*	0.864*	0.649*	0.762*	1.000				
(7) LNGDPPPP	0.715*	0.689*	0.864*	0.706*	0.846*	0.820*	1.000			
(8) ROL	0.941*	0.933*	0.748*	0.643*	0.723*	0.671*	0.723*	1.000		
(9) RURAL	-0.525*	-0.471*	-0.622*	-0.518*	-0.614*	-0.571*	-0.712*	-0.454*	1.000	
(10) TRADE	0.301*	0.306*	0.232*	0.122*	0.296*	0.225*	0.350*	0.303*	-0.250*	1.000
*** $p<0.01$, ** $p<0.05$, * $p<0.1$										

Source: Prepared by the authors based on statistical results**.**

Stylized Facts

Before moving to the empirical analysis, some stylized facts are given to provide key insights into the patterns and relationships observed in the data. Figures (1) and (2) show a scatter plot for COC-WB and EGDI for the countries included in the analysis at two points in time: 2012 and 2022. The graphs show a positive association between the two variables, reflected by the upward-sloping lines, which signifies that higher development levels of e-government are associated with lower levels of perceived corruption. (higher COC scores).

Figure 2: COC-WB and EGDI in 2012

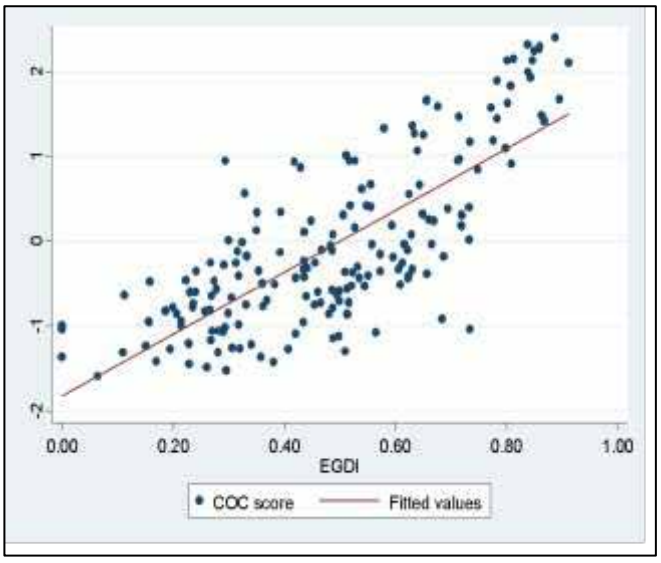
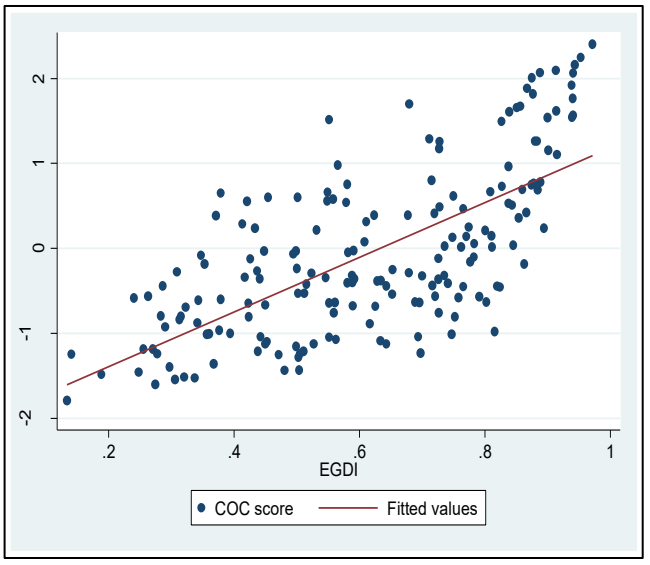


Figure 1: COC-WB and EGDI in 2022



Source: Prepared by the authors using data from the WB and the UN.

Figures (3-5) give different insights into the association between e-government and corruption across countries with different development levels over the period 2012-2022. For instance, Figure 3 plots the relationship between COC-WB and EGDI in developed countries. As is evident, developed countries are experiencing low levels of corruption, as reflected by the high scores of COC-WB. Also, this group of countries has high levels of EGDI. In contrast, developing countries are experiencing high levels of corruption (reflected by the low scores of COC-WB) and lower levels of EGDI compared to developed countries, as shown in Figure 4. This, in turn, clarifies that, although the association between COC-WB and EGDI exists in both developed and developing countries, it is much stronger in the latter than in the former. This is because the role of e-government in reducing corruption depends on the level of corruption within countries. Accordingly, e-government in these countries will have a lower potential to reduce corruption, whereas there are already low levels of corruption. In contrast, it has proved to be more effective in developing countries with higher levels of corruption.

As for the in-transition countries, it is shown in Figure (5) that these countries have different levels of corruption and moderate levels of e-government development. The Figure reveals a more scattered relationship between corruption and e-government development, suggesting that the impact of e-government in these countries remains unclear.

Figure 4: COC-WB and EGDI for Developed Countries

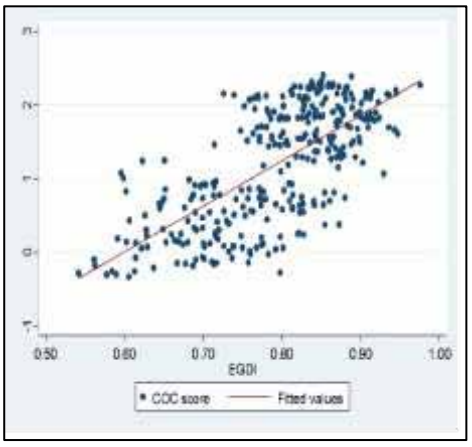


Figure 5: COC-WB and EGDI for Developing Countries

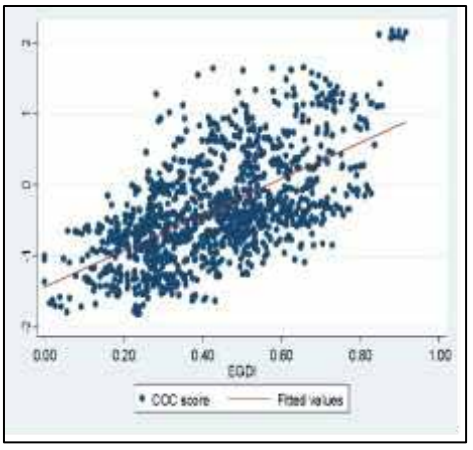
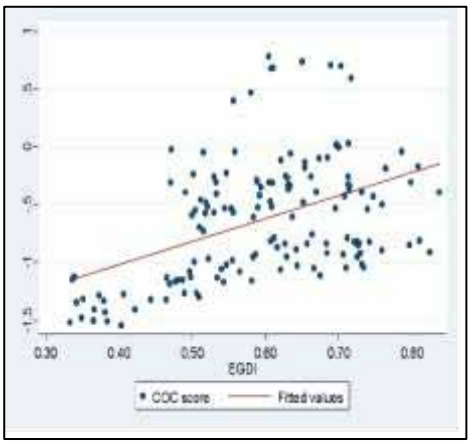


Figure 3: COC-WB and EGDI for in-transition Countries



Source: Prepared by the authors using data from the WB and the UN.

Results

For all specifications of the three described models in the previous section, fixed and random effects were applied. Then we employed the Hausman specification test to choose the appropriate model. According to the results of the Hausman test, as shown in Table (4), under the current specifications, it is appropriate to use the fixed effects model. In addition, a VIF test was also conducted to check for collinearity. Results are shown by tables (5-9), where the highest variance inflation factor value across all models is 6.83, which is below the common threshold value of 10 (Salmerón et al., 2018) and indicates no serious collinearity issues.

The results of the first model are reported in columns (1-2), which showed a positive and significant relationship between EGDI and corruption measured by CPI-IT and COC-WB alternately at a significance level of 10%. This means that the higher the development level of e-government is, the lower the level of perceived corruption, where an increase in EGDI by 1 unit leads to a decrease in CPI-IT by 2.349 points and a decrease in COC-WB by 0.109 points. This significant relationship confirms the correlations previously obtained and strongly verifies the first hypothesis of this thesis (H1). These empirical findings are in alignment with the findings of many previous studies, including Elbahnasawy (2014), Martins et al. (2021), Kalesnikaite et. al. (2023), and others.

Moving on to the results of the second model, which disaggregates the components of EGDI to its three sub-indicators, columns (3-4) show that OSI has a positive and significant relationship with both measures of corruption (CPI-IT and COC-WB) at 10% and 5% significance levels, respectively. Similarly, columns (5-6) show that HCI has a positive and significant relationship with the two measures of corruption, with a significance level of 5% and 10%, respectively. In contrast, surprisingly, TCI has an insignificant effect on both measures of corruption, as shown in columns (7-8). This suggests that the impact of e-government on corruption is mainly driven by the OSI and HCI.

Turning to the results of the third model, it is evident from columns (9-10) that EGDI is statistically significant at 1% with both measures of corruption. Also, as shown, the interaction terms of the developed countries are significant at 1% with both measures of corruption. Meanwhile, the interaction terms of the developing countries are significant, at 1% with CPI-IT and 5% with COC-WB. According to the coefficients of the interaction terms, the impact of e-government on reducing

corruption is lower for the developed countries by 0.75 and 0.137 points compared to the in-transition countries. However, it is higher for developing countries at 0.29 and 0.106 points compared to the in-transition countries.

As for the control variables, ROL is statistically significant at 1% across all models with a positive sign. This supports the argument that enforcement of laws is an important factor in the fight against corruption. Likewise, LNGDPPPP is found to be significantly positive in both models at different significance levels. This supports the argument that rich countries can devote more resources to fighting corruption. These results were supported by many scholars, such as Jain (2001), Elbahnasawy (2014), Elbahnasawy and Revier (2012), and Kaufmann, Kraay, & Mastruzzi (2010). On the other hand, trade and rural population are found to be insignificant in all estimated models, which contradicts the results of the correlation analysis along with some previous studies (Treisman, 2007; Elbahnasawy, 2014).

Table 4

Results of the Hausman test

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	CPI-IT	COC-WB	CPI-IT	COC-WB	CPI-IT	COC-WB	CPI-IT	COC-WB	CPI-IT	COC-WB
Chi-square test value	321.53	321.53	329.24	301.94	318.13	299.491	325.344	307.875	284.478	269.377
P-value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Source: Prepared by the authors based on statistical results.

Table 5

VIF for the first model

	CPI-IT	COC-WB
	VIF	VIF
LNGDPPPP	6.375	5.97
EGDI	4.917	4.833
ROL	2.836	2.536
RURAL	2.537	2.24
TRADE	1.197	1.194
Mean VIF	3.572	3.354

Source: *Prepared by the authors based on statistical results.*

Table 6

VIF for the second model

	CPI-IT	COC-WB
	VIF	VIF
LNGDPPPP	5.97	4.856
EGDI	4.833	2.788
ROL	2.536	2.548
RURAL	2.24	2.534
TRADE	1.194	1.221
Mean VIF	3.354	2.789

Source: Prepared by the authors based on statistical results.

Table 7

VIF for the third model

	CPI-IT	COC-WB
	VIF	VIF
LNGDPPPP	6.831	5.527
HCI	3.538	3.191
RURAL	2.536	2.242
ROL	2.417	2.239
TRADE	1.182	1.164
Mean VIF	3.301	2.872

Source: Prepared by the authors based on statistical results.

Table 8

VIF for the fourth model

	CPI-IT	COC-WB
	VIF	VIF
LNGDPPPP	5.542	5.24
TCI	4.011	3.897
ROL	2.754	2.405
RURAL	2.563	2.249
TRADE	1.156	1.148
Mean VIF	3.205	2.988

Source: Prepared by the authors based on statistical results.

Table 9

VIF for the fifth model

	CPI-IT	COC-WB
	VIF	VIF
LNGDPPPP	6.375	5.971
EGDI	5.001	4.949
ROL	3.678	3.169
RURAL	2.544	2.241
EGDI*developed	2.274	2.185
TRADE	1.2	1.195
Mean VIF	3.512	3.285

***Source*:** Prepared by the authors based on statistical results.

Table 10

Regression Results

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
VARIABLES	CPI-IT	COC-WB	CPI-IT	COC-WB	CPI-IT	COC-WB	CPI-IT	COC-WB	CPI-IT	COC-WB
EGDI	2.349*	0.109*							18.90***	0.455***
	(1.288)	(0.0557)							(3.509)	(0.155)
ROL	7.356***	0.446***	7.297***	0.445***	7.348***	0.446***	7.289***	0.446***	7.063***	0.439***
	(0.672)	(0.0245)	(0.673)	(0.0246)	(0.673)	(0.0246)	(0.674)	(0.0246)	(0.672)	(0.0247)
Rural	0.0342	0.000475	0.0237	9.36e-05	0.00796	-0.000758	0.0150	-0.000363	0.0233	0.000613
	(0.0427)	(0.00186)	(0.0412)	(0.00179)	(0.0401)	(0.00174)	(0.0435)	(0.00188)	(0.0429)	(0.00187)
trade	-0.00696	0.000136	-0.00751	0.000107	-0.00754	0.000104	-0.00688	0.000136	-0.0100*	9.60e-05
	(0.00568)	(0.000240)	(0.00568)	(0.000240)	(0.00568)	(0.000240)	(0.00570)	(0.000241)	(0.00567)	(0.000241)
lnGDPppp	1.240*	0.0419	1.193*	0.0386	1.297**	0.0454	1.292**	0.0439	1.108*	0.0455
	(0.648)	(0.0278)	(0.650)	(0.0279)	(0.648)	(0.0278)	(0.649)	(0.0279)	(0.653)	(0.0282)
OSI			1.395*	0.0717**						
			(0.772)	(0.0333)						
HCI					4.369**	0.180*				
					(2.163)	(0.0917)				
TCI							0.431	0.0229		
							(0.830)	(0.0358)		
EGDI*developed									-19.65***	-0.592***
									(4.625)	(0.204)
EGDI*developing									-18.61***	-0.349**
									(3.763)	(0.166)
Constant	30.62***	-0.506*	32.07***	-0.436	29.54***	-0.549*	31.99***	-0.442	32.72***	-0.519*
	(7.065)	(0.304)	(6.982)	(0.300)	(7.132)	(0.307)	(7.064)	(0.303)	(7.088)	(0.306)
Observations	1,573	1,667	1,572	1,666	1,572	1,666	1,572	1,666	1,573	1,667
R-squared	0.089	0.190	0.088	0.189	0.088	0.189	0.086	0.187	0.105	0.194
Number of id	159	167	159	167	159	167	159	167	159	167

Standard errors in parentheses, *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

Source: Prepared by the authors based on statistical results.

Discussion

As claimed by previous studies, E-government can play a significant role in reducing perceived corruption in the public sector while considering a variety of factors, including the effectiveness of law enforcement, the level of development in the country, the degree of openness to international trade, and others. Therefore, the previous part intended to empirically examine the effect of e-government on corruption to verify this assumption. According to the results from the baseline model, we can infer that e-government can be used effectively to fight corruption. These results are consistent with those of El-Bahanasawy (2014), Nam (2018), Zuffova (2020), Martin et al. (2021), and others.

Further, despite the fact that many authors have examined the impact of e-government on corruption, few papers have examined the components of the EGDI to know the main constituents that drive the impact of e-government on corruption. This study contributes to the literature by examining the OSI, HCI, and TCI separately on corruption. However, these results need to be interpreted with caution. The results showed that OSI and HCI are significant constituents working together to reduce corruption. The increased offering of online services and the resultant reduction in direct communication between citizens and bureaucrats limit petty corruption in a country. This finding emphasizes the role of online platforms in facilitating communication between the public and government institutions. The use of mobile applications, data analysis, artificial intelligence, and websites contributes to the fight against corruption by increasing access to public information, digitizing government services, monitoring officials' operations, and facilitating corruption reporting. What was surprising is that TCI is not significant, which means that although having a sound technological infrastructure is an important requirement for transforming the traditional government into an electronic one, this transformation still does not guarantee that corruption will be reduced. Yet, it depends on the level of education and participation of the citizens or businesses.

This study also compared the impact of e-government on corruption across developed, developing, and in-transition countries. This comparison showed different insights, as the results showed that the impact of e-government on corruption is the highest in developing countries, followed by in-transition countries, and then developed countries.

Limitations and Future Research

Several limitations are identified in the empirical analysis used, which should be considered when interpreting the conclusions. For example, the empirical findings are mostly determined by the variable specification, the control variables included, the number of countries included and their characteristics, and the time and methodology used for the analysis. Furthermore, there may be certain limitations to the current research, which are primarily due to the presence of missing data in corruption measures and some control variables. Furthermore, we believe that the likely endogeneity of several explanatory factors (such as e-government and GDP per capita) is a source of constraint for our findings.

Consequently, future study extensions are suggested that should attempt to fill gaps in the existing literature and address methodological issues in the empirical analysis used. Different estimation approaches, such as panel dynamic analysis (i.e., GMM), can be employed to account for endogeneity. Furthermore, other WGI sub-indicators, such as cultural, behavioral, and religious indicators, could be addressed in the future. Furthermore, this empirical analysis might be extended in terms of country coverage or across time to test the robustness of the reported results.

Conclusion and Policy Recommendations

Corruption is a serious problem that threatens the achievement of economic development goals in different countries, and it can also cause government inefficiency. Corruption is defined as using public power to gain personal or private gains. Therefore, countries have been trying to fight corruption with different approaches, yet these approaches have not successfully reduced corruption, as it is still prevailing in all countries with varying degrees. Recently, there has been much focus on the role of e-government in reducing corruption in the public sector. Previous studies have claimed that e-government can be used as one of the key tools to fight corruption. It is argued that e-government reduces the incentives for corruption by removing the direct contact between citizens and public officials.

Developed countries have gone a long way in implementing e-government, while developing countries are still struggling to adopt this method to control corruption due to technical, cultural, and other challenges. Despite that, previous studies that empirically examined this claim have reached mixed results, as some studies claim that e-government can successfully reduce corruption. Other studies have shown that e-government has no significant effect on reducing corruption, and even in some cases, it has countervailing effects.

Consequently, this paper examined empirically the role of e-government in reducing corruption for a panel of 168 countries from 2012 to 2022. The results showed that e-government can effectively reduce corruption. After that, this impact was compared across developed, developing, and in-transition countries. The results revealed that the influence of e-government on decreasing corruption is greater in developed countries than in developing and in-transition countries.

Based on the preceding review and analysis, the paper proposes the following policy implications:

- While e-government initiatives offer significant potential to reduce corruption, a comprehensive approach is necessary to address this complex issue effectively. Countries should combine e-government strategies with other measures, such as strengthening institutions, promoting transparency and accountability, and enhancing international cooperation. By adopting a multi-faceted approach, governments can create a more robust and resilient anti-corruption framework
- Although developed countries have made significant progress in implementing e-government, developing countries continue to face challenges due to a variety of contextual factors such as resource constraints, a lack of digital infrastructure, low literacy levels, poor basic education, a lack of internet access, particularly among rural populations, a low level of technological adaptation, poor IT literacy, and political aspects that revolve around lack of cyber laws, low budget allocation among others. Thus, developing countries must make greater efforts to overcome these obstacles and benefit from e-government.
- To improve the efficiency of e-government, governments must review their laws, administrative manuals, and codes to make them amenable to e-government, as results have proved that law enforcement facilitates the influence of e-government on the corruption level. This should be done to ensure that government processes can be moved to e-government channels. In cases where the e-government service has been offered alongside outdated laws and procedures, its utility to the citizen or business could be marginal.
- To fully leverage the potential of ICTs in the public sector, governments must invest in the training and retraining of their workforce. Governments can enhance service delivery, improve efficiency, and foster innovation by equipping public servants with the necessary

digital skills. Regular training programs should focus on a range of ICT skills, including data analysis, cybersecurity, and digital literacy. Additionally, it is essential to create a supportive work environment that encourages the adoption of new technologies and continuous learning.

- To avoid creating new forms of corruption after the implementation of e-government, security measures must be strategically incorporated in all phases of implementation, starting from the design phase. Cybersecurity is a critical component of resilient e-government systems. Governments can protect sensitive information and prevent cyberattacks by implementing robust security measures, such as encryption, firewalls, and access controls. Additionally, regular security audits and training programs for government employees can help to mitigate the risk of cyber threats.

References

Ali, M., Raza, S., Puah, C., & Arsalan, T. (2021). Does e-government control corruption? Evidence from South Asian countries. Journal of Financial Crime, 29(1), 258-271.

Appolloni, A., & Nshombo, J. (2014). Public procurement and corruption in Africa: a literature review. Public Procurement's Place in the World: The Charge towards Sustainability and Innovation, 185-208.

Asorwoe, E. (2014). Can e-Government mitigate administrative corruption? An empirical study into the potential role of e-Government in eradicating administrative corruption in sub-Saharan Africa. Global Journal of Interdisciplinary Social Sciences, 3(4), 41-47.

Basyal, D., Poudyal, N., & Seo, J. (2018). Does E-government reduce corruption? Evidence from a heterogeneous panel data model. Transforming Government: People, Process and Policy, 12(2), 134-154.

Bhatnagar, S. (2009). Unlocking e-government potential: Concepts, cases and practical insights. SAGE Publications India.

Bhattacherjee, A., & Shrivastava, U. (2018). The effects of ICT use and ICT Laws on corruption: A general deterrence theory perspective. Government Information Quarterly, 35(4), 703-712.

Boisvert, A., Dent, P., & Quraishi, O. (2019). Definitions of Corruption. Research Brief NO. 48 2014.

Castro, C., & Lopes, I. (2023). E-government as a tool in controlling corruption. International Journal of Public Administration, 46(16), 1137-1150.

Chernov, I., Niyazov, N., Niyazova, G., & Bolgov, R. (2020). E-Government as a Tool in the Fight Against Corruption: Case of Azerbaijan. In Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia: 6th International Conference, EGOSE 2019, St. Petersburg, Russia, November 13–14, 2019, Proceedings 6 (pp. 258-269). Springer International Publishing.

Elbahnasawy, N.., & Revier, C. (2012). The determinants of corruption: Cross-country-panel-data analysis. The Developing Economies, 50(4), 311-333.

Elbahnasawy, N. (2014). E-government, internet adoption, and corruption: an empirical investigation. World Development, 57,114-126

Farrag, N. , & Ezzat, A. (2016). The Impact of Corruption on Economic Growth: A Comparative Analysis between Europe and MENA Countries. In Handbook of Research on Comparative Economic Development Perspectives on Europe and the MENA Region (pp. 74-97). IGI Global.

Garcia-Murillo, M. (2013). Does a government web presence reduce perceptions of corruption?. Information Technology for Development, 19(2), 151-175.

Gibbs, J. (1968). Crime, punishment, and deterrence. The Southwestern Social Science Quarterly, 515-530.

Halpin, E. (2013). Digital Public Administration and E-Government in Developing Nations: Policy and Practice: Policy and Practice. IGI Global. https://www.researchgate.net/publication/305985564_Digital_Public_Administrat ion_and_E-Government_in_Developing_Nations_Policy_and_Practice

Ifinedo, P. (2007). Moving towards e-government in a developing society: Glimpses of the problems, progress, and prospects in Nigeria. Global e-government: Theory, applications and benchmarking, 148-166.

Ismail, I., Fathonih, A., Prabowo, H., Hartati, S., & Redjeki, F. (2020). Transparency and Corruption: Does E-government Effectively Combat Corruption? International Journal of Psychosocial Rehabilitation, 24(4), 5396- 5404.

Jain, A. (2001). Corruption: A review. Journal of economic surveys, 15(1), 71-121.

Kalesnikaite, V., Neshkova, M. , & Ganapati, S. (2023). Parsing the impact of E-government on bureaucratic corruption. Governance, 36(3), 827-842.

Kaufmann, D., Kraay, A., & Mastruzzi, M. (2010). The worldwide governance indicators: Methodology and analytical issues. World Bank policy research working paper, (5430).

Kingham, T.(2003). e-Parliaments: The use of information and communication technologies to improve parliamentary processes. *WBI Working Papers*, (28641). https://documents1.worldbank.org/curated/en/866001468778800783/pdf/286410E1parliaments0WBI0WP.pdf

Laffont, J., & Martimort, D. (2002). The Theory of Incentives: The Principal Agent Problem. (Princeton

University Press, Princeton).
Marquette, H., & Peiffer, C. (2015). Corruption and collective action. DLP Research Paper.
Martins, J., Veiga, L. , & Fernandes, B. (2021). Does electronic government deter corruption? Evidence from across the world.
Mauro, P. (2002). The persistence of corruption and slow economic growth.
Mélon, L., & Spruk, R. (2020). The impact of e-procurement on institutional quality. Journal of Public Procurement, 20(4), 333-375.
Máchová, R., Volejníková, J., & Lněnička, M. (2018). Impact of e-government development on the level of corruption: Measuring the effects of related indices in time and dimensions. Review of Economic Perspectives, 18(2), 99-121.
Miller, G. (2005). The political evolution of principal-agent models. Annu. Rev. Polit. Sci., 8(1), 203-225.
Mistry, J. , & Jalal, A. (2012). An empirical analysis of the relationship between e-government and corruption. International Journal of Digital Accounting Research, 12.
Mossberger, K., Tolbert, C. , & McNeal, R. (2007). Digital citizenship: The Internet, society, and participation. MIt Press.
Nam, T. (2018). Examining the anti-corruption effect of E-government and the moderating effect of national culture: A cross-country study. Government Information Quarterly, 35(2), 273-282.
Norris, D. , & Moon, M. (2005). Advancing e-government at the grassroots: Tortoise or hare?. Public administration review, 65(1), 64-75.
Ojha, A., Palvia, S., & Gupta, M. (2008). A model for impact of E-government on corruption: Exploring theoretical foundations. Critical thinking in e-governance, 160-170.
Park, C. , & Kim, K. (2020). E-government as an anti-corruption tool: Panel data analysis across countries. International Review of Administrative Sciences, 86(4), 691-707.
Persson, A., Rothstein, B., & Teorell, J. (2013). Why anti-corruption reforms fail— systemic corruption as a collective action problem. Governance, 26(3), 449-471.
Ross, S. (1973). The economic theory of agency: The principal's problem. The American Economic Review, 63(2), 134-139.
Salmeron, R., García, C. , & García, J. (2018). Variance inflation factor and condition number in multiple linear regression. Journal of statistical computation and simulation, 88(12), 2365-2384.
Seiam, D. , & Salman, D. (2024). Examining the global influence of e-governance on corruption: a panel data analysis. Future Business Journal, 10(1), 29.
Shim, D. , & Eom, T. (2008). E-government and anti-corruption: Empirical analysis of international data. Intl Journal of Public Administration, 31(3), 298-316.
Sodhi, I. (2016). Application of e-government in developing countries—issues, challenges and prospects in India. SOCRATES: An International, Multi-lingual, Multi-disciplinary, Refereed (peer-reviewed), Indexed Scholarly journal, 4(3), 91- 109.
Tanzi, V. (2006). Corruption and economic activity. Distinguished Lecture Series, 26.
Treisman, D. (2007). What have we learned about the causes of corruption from ten years of cross-national empirical research?. Annual review of Political science, 10(1), 211-244.
United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Division for Public Administration and Development Management. (2002). Benchmarking e-government: A global perspective: Assessing the progress of the UN member states.
Villoria, M., Van Ryzin, G. , & Lavena, C. (2013). Social and political consequences of administrative corruption: A study of public perceptions in Spain. Public Administration Review, 73(1), 85-94.
Walle, Y. , Janowski, T., & Estevez, E. (2018). Fighting Administrative Corruption with Digital Government in Sub-Saharan Africa. In Proceedings of the 18th European conference on digital government, ECDG (pp.249-256).
Weill, P., & Woerner, S. (2013). The Future of the CIO in a Digital Economy. MIS Quarterly Executive,12(2).
Zuffova, M. (2020). Do FOI laws and open government data deliver as anti-corruption policies? Evidence from a cross-country study. Government information quarterly, 37(3), 101480.

Appendix

Table 1

Countries included in the study

Australia *	Afghanistan [d]	Egypt [d]	Marshall Islands [d]	South Africa [d]
Austria *	Algeria [d]	El Salvador [d]	Mauritania [d]	Sri Lanka [d]
Belgium*	Angola [d]	Equatorial Guinea [d]	Mauritius [d]	Sudan [d]
Bulgaria*	Antigua and Barbuda [d]	Eswatini [d]	Mexico [d]	Suriname [d]
Canada*	Argentina [d]	Ethiopia [d]	Mongolia [d]	Thailand [d]
Croatia*	Bahamas [d]	Fiji [d]	Morocco [d]	Timor-Leste [d]
Cyprus*	Bahrain [d]	Gabon [d]	Mozambique [d]	Togo [d]
Czech Republic*	Bangladesh [d]	Gambia [d]	Myanmar [d]	Tonga [d]
Denmark*	Barbados [d]	Ghana [d]	Namibia [d]	Trinidad and Tobago [d]
Estonia*	Belize [d]	Grenada [d]	Nauru [d]	Tunisia [d]
Finland*	Benin [d]	Guatemala [d]	Nepal [d]	Turkey [d]
France*	Bhutan [d]	Guinea [d]	Nicaragua [d]	Tuvalu [d]
Germany*	Bolivia [d]	Guinea-Bissau [d]	Niger [d]	Uganda [d]
Greece*	Botswana [d]	Guyana [d]	Nigeria [d]	United Arab Emirates [d]
Hungary*	Brazil [d]	Haiti [d]	Oman [d]	United Republic of Tanzania [d]
Iceland*	Brunei Darussalam [d]	Honduras [d]	Pakistan [d]	Uruguay [d]
Ireland*	Burkina Faso [d]	India [d]	Palau [d]	Vanuatu [d]
Italy*	Burundi [d]	Indonesia [d]	Panama [d]	Vietnam [d]
Japan*	CÃ´te d'Ivoire [d]	Iran (Islamic Republic of) [d]	Papua New Guinea [d]	Zambia [d]
Latvia*	Cabo Verde [d]	Iraq [d]	Paraguay [d]	Zimbabwe [d]
Lithuania*	Cambodia [d]	Israel [d]	Peru [d]	Albania [T]
Luxembourg*	Cameroon [d]	Jamaica [d]	Philippines [d]	Armenia [T]
Malta*	Central African Republic [d]	Jordan [d]	Qatar [d]	Azerbaijan
Netherlands*	Chad [d]	Kenya [d]	Rwanda [d]	Belarus [T]
New Zealand*	Chile [d]	Kiribati [d]	Saint Kitts and Nevis [d]	Bosnia and Herzegovina [T]
Norway*	China [d]	Kuwait [d]	Saint Lucia [d]	Georgia (Country) [T]
Poland*	Colombia [d]	Lao People's Democratic Republic [d]	Saint Vincent and the Grenadines [d]	Kazakhstan [T]
Portugal*	Comoros [d]	Lebanon [d]	Samoa [d]	Kyrgyzstan [T]
Romania*	Congo [d]	Lesotho [d]	São Tomé and Príncipe [d]	Montenegro [T]

Slovakia*	Costa Rica [d]	Liberia [d]	Saudi Arabia [d]	North Macedonia [T]
Slovenia*	Cuba [d]	Libya [d]	Senegal [d]	Russian Federation [T]
Spain*	Democratic Republic of the Congo [d]	Madagascar [d]	Seychelles [d]	Serbia [T]
Sweden*	Djibouti [d]	Malawi [d]	Sierra Leone [d]	Tajikistan [T]
Switzerland*	Dominica [d]	Malaysia [d]	Singapore [d]	Turkmenistan [T]
United Kingdom of Britain*	Dominican Republic [d]	Maldives [d]	Solomon Islands [d]	Ukraine [T]
United States of America*	Ecuador [d]	Mali [d]	Somalia [d]	Uzbekistan [T]

([*]) Refers to developed countries, ([d]) refers to developing countries, and ([T]) refers to transition countries.
Source: Prepared by the authors.

المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر - مجلد 4 - العدد (3) - يوليو 2025
ISSN: Print: 2812 - 4758 , Online: 2812 - 4766
تصدر عن مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

تأثير الحكومة الإلكترونية على الفساد:
دراسة دور مستوى التنمية

المستخلص

تعد الحكومة الإلكترونية من أهم الابتكارات التي غيرت الإدارة العامة في السنوات الأخيرة. وعلى الرغم من قيام العديد من الحكومات باستخدامها للحد من الفساد في القطاع العام، فإن فاعلية الحكومة الإلكترونية في هذا الصدد ما تزال موضع نقاش. لذلك، تدرس هذه الدراسة فاعلية الحكومة الإلكترونية في الحد من الفساد في القطاع العام لـ168 دولة خلال الفترة من 2012 إلى 2022. ولتحقيق هذا الهدف، تحلل هذه الدراسة العلاقة بين مؤشر الأمم المتحدة لتطوير الحكومة الإلكترونية باعتباره المتغير المستقل، والفساد باعتباره المتغير التابع، ويتم قياسه من خلال مؤشر مدركات الفساد التي وضعتها منظمة الشفافية الدولية ومؤشر مكافحة الفساد بالتناوب. وتم تقدير هذه النماذج الثلاث على النحو التالي: النموذج الأساسي لدراسة الأثر الكلي لمؤشر الأمم المتحدة لتطوير الحكومة الإلكترونية على الفساد، والنموذج الثاني لدراسة أثر كل من المؤشرات الفرعية لمؤشر الأمم المتحدة لتطوير الحكومة الإلكترونية، وهي: مؤشر الخدمات عبر الإنترنت، ومؤشر البنية التحتية للاتصالات، ومؤشر رأس المال البشري، على الفساد. وأخيرا، يقارن النموذج الثالث أثر مؤشر الأمم المتحدة لتطوير الحكومة الإلكترونية على الحد من الفساد بين الدول المتقدمة والنامية والدول التي تمر بمرحلة انتقالية. وتم احتساب النماذج المذكورة باستخدام تحليل انحدار الآثار الثابتة. وقد دعمت نتائج النموذج الأساسي الفرضية الأولى بأن للحكومة الإلكترونية دورا فعالا للحد من الفساد. علاوة على ذلك، أظهرت نتائج النموذج الثاني أن مؤشر الخدمات عبر الإنترنت، ومؤشر رأس المال البشري ذو أهمية فعالة للحد من الفساد، بينما أظهرت النتائج أن مؤشر البنية التحتية للاتصالات ليس له تأثير على الفساد. وأخيرا أظهرت نتائج النموذج الثالث أن الدول النامية لديها القدرة على الاستفادة بشكل أكبر من الحكومة الإلكترونية في مكافحة الفساد مقارنة بالدول المتقدمة والدول التي تمر بمرحلة انتقالية. لذلك، توصي هذه الورقة باتباع نهج متعدد الجوانب لمكافحة الفساد، يشمل دمج استراتيجيات الحكومة الإلكترونية مع تدابير أخرى، مثل: تعزيز المؤسسات، وتعزيز الشفافية والمساءلة، وتعزيز التعاون الدولي. علاوة على ذلك، يجب أن يتناول البحث المستقبلي القيود المنهجية، مثل استخدام تحليل ديناميكي لوحدة البيانات (على سبيل المثالGMM)، وتضمين مجموعة أوسع من المؤشرات، بما في ذلك العوامل الثقافية والسلوكية والدينية، لتعزيز قوة النتائج.

الكلمات الدالة: الحكومة الإلكترونية، الفساد، الشفافية، مساءلة، القطاع العام

The International Journal of Public Policies In Egypt- Volume 4, Issue 3 (July 2025)
ISSN: Print: 2812-4758, Online: 2812- 4766
Published by IDSC

IJPPE

Investigating the Impact of Real Exchange Rate and Current Account Deficit on External Debt in Egypt During the Period (1980–2022)

Rania Anis Elsharkawy

Assistant Professor of Economics, Faculty of Economic Studies and Political Sciences, Egypt
rania.elsharqawy@alexu.edu.eg

أثر سعر الصرف الحقيقي وعجز الحساب الجاري على الدين الخارجي في مصر خلال الفترة (1980-2022)

رانيا أنيس الشرقاوي

مدرس الاقتصاد، كلية الدراسات الاقتصادية والعلوم السياسية، جامعة الإسكندرية، مصر
rania.elsharqawy@alexu.edu.eg

- **DOI: 10.21608/ijppe.2025.443491** **URL: http://doi.org/ 10.21608/ijppe.2025.443491**
- Received: 17/09/2024, Accepted: 08/04/2025
- Citation: Elsharkawy, R. (2025). Investigating the impact of real exchange rate and current account deficit on external debt in Egypt during the period (1980–2022). The International Journal of Public Policies in Egypt, 4(3), 104-122.

The International Journal of Public Policies In Egypt, Volume 4, Issue 3 (July 2025) Rania Anis Elsharkawy
ISSN: Print: 2812-4758, Online: 2812- 4766
Published by IDSC

Investigating the Impact of Real Exchange Rate and Current Account Deficit on External Debt in Egypt During the Period (1980-2022)

Abstract

This study examines the impact of the real exchange rate, the current account deficit, and their combined effect on external debt in Egypt. This study employed the ARDL bounds testing procedure for annual time-series data spanning 1980–2022. This study finds a long-run cointegration relationship between variables in the empirical model. The results reveal that real exchange rate depreciation and current account deficits stimulate external debt. However, their combined effect is that real exchange rate depreciation negatively moderates the impact of the current account deficit on external debt in Egypt. This finding suggests that real exchange rate depreciation can act as a buffer, thus reducing the impact of the current account deficit on external debt. Accordingly, this study recommends that government policies should reduce foreign currency-denominated debt to reduce exposure to exchange rate risks, develop domestic capital markets to provide alternative sources of financing, reduce reliance on external debt, utilize hedging instruments such as currency swaps to mitigate the impact of exchange rate fluctuations on external debt, address the causes of the current account deficit by improving export competitiveness, and adopt import substitution strategies to enhance the effectiveness of real exchange rate adjustments.

Keywords: Exchange rate, current account deficit, external debt, combined effect, Egypt

Introduction

In 2020, total global debt surged to an unprecedented level of around USD 226 trillion and 263 percent of global GDP (Kose et al., 2021). This significant increase can be attributed to the outbreak of the COVID-19 pandemic and the associated recession witnessed worldwide. Global external debt accumulation was further amplified by the Russia-Ukraine War in 2022 and other country-specific factors.

Rapidly increasing debt has not only been experienced by developing and transition economies but also by developed economies. Governments depend on various internal and external sources to finance expenditures and implement development policies. In developing countries, public debt is a crucial tool for increasing public expenditures and accelerating economic growth. However, overdependence on borrowing may result in severe unfavorable economic consequences, such as a high debt service burden, crowding out of private investments, and increased vulnerability to economic shocks. Unsustainable debt levels can drain government revenues, induce capital flights, and lead to defaults (IMF, 2021).

Additionally, indebted governments face four risk sources. Public debt is perceived as the main risk factor. However, a high external debt-to-GDP ratio increases the vulnerability of government finances to external shocks. Debt maturity is also a risk factor. Short-term debt maturity exposes governments to refinancing risk. Moreover, high-debt services expose the economy to debt spirals and impose further challenges on debt management (Kose et al., 2020). Finally, government liabilities are considered a hidden source of fiscal risk (Polackova, 1998).

External debt escalates due to several internal and external economic and political factors. Internal economic factors include a lack of domestic financial resources, reduction in international reserves, insufficient foreign exchange, past accumulated debt, high debt service payments, and persistently rising fiscal and current account deficits. Political challenges such as political instability, corruption, and poor institutional quality may also trigger external debt accumulation. On the other hand, rising energy and commodity prices, high global interest and inflation rates, and wars are among the most important external drivers of external debt (Okwoche & Nikolaidou, 2024; Tarek & Ahmed, 2017; Tiruneh, 2004).

For several decades, Egypt relied on external debt to finance its growing deficits. Egypt`s external debt has been increasing by 6% annually since 1980. However, the Egyptian economy has experienced successive cycles of debt accumulation over the past decade. In 2016, the Egyptian government secured a conditional loan from the International Monetary Fund (IMF) contingent upon liberalizing the exchange rate regime and devaluing the Egyptian pound (IMF 2016). This devaluation increases the cost of borrowing and contributes significantly to external debt accumulation in Egypt (Hashem and Fahmy, 2019). The outbreak of the COVID-19 pandemic in 2020, followed by the Russia-Ukraine War in 2022, worsened the government's fiscal and external positions. In 2022, external debt, external debt to GDP ratio, and external debt service surged significantly to USD 163 billion, 34.2% and USD 17.9 billion, respectively (World Bank, 2023). This continuous increment raises concerns about external debt sustainability and raises the following questions: To what extent do real exchange rates and current account deficits affect external debt? What are the combined effects of Egypt's external debt?

Unlike the most recent empirical studies on the determinants of Egypt's public debt (Abdu, 2020; Alnashar, 2019; Hashem & Fahmy, 2019), and external debt (Youssef, 2024; Ghaly, 2023), this study

focuses on investigating the impact of real exchange rates, current account deficits, and their combined effect on external debt. The relative importance of the study is reinforced by its time span, which covers the major changes witnessed by the Egyptian economy, including the structural adjustment programs adopted, successive domestic currency devaluations, and international economic events, such as financial crises and the recent COVID-19 pandemic. The findings of this study will serve as a catalyst for policymakers in Egypt to manage external debt sustainably.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 presents an overview of the theoretical and empirical literature. Section 3 presents an analytical overview of Egypt's exchange rate development, current account deficit, and external debt. Sections 4 and 5 present the model specification, data, and econometric methodology. Section 6 presents the empirical results. Section 7 concludes the study and offers policy recommendations.

Literature Review

This section outlines the theoretical framework of this study. Then, empirical literature examining the impact of the exchange rate and current account deficit on external debt is presented.

Theoretical Framework

The relationship between current account deficit and external debt can be explained by the "Two Gap" model introduced by Chenery and Strout (1966) and the "Three Gap" model extended by Bacha (1990). Both models are perceived as extensions of the growth model. In their seminal works, Harrod (1939) and Domar (1946) assert that the desired growth rate of a country depends on capital accumulation, which in turn depends on the savings rate. The two-gap model posits that there are two primary gaps constraining economic growth in any country: the savings–investment gap and the foreign exchange gap. A savings–investment gap occurs when a country's domestic savings are insufficient to finance the desired level of investment required for economic growth. However, a foreign exchange gap arises when a country's export earnings are inadequate to cover import payments. The "Two Gap" model is derived from the expenditure approach of GDP calculation in an open economy without government intervention and can be expressed by equations 1 and 2:

$$Y = C + I + X - M \quad (1)$$

$$S - I = X - M \quad (2)$$

where Y is income, C is consumption, I is investment, X is exports, M is imports, and S is savings. S-I is the savings–investment gap, and X-M is the foreign exchange gap.

According to Chenery and Strout (1966), if the savings–investment gap is not equal to the foreign exchange gap, foreign capital inflows are required to eliminate this difference between the two gaps. Bacha (1990) extended the "Two Gap" model to include a third gap, which is the fiscal gap. The "Three Gap" model is formulated in an open economy with government intervention as follows:

$$X - M = (S - I) + (T - G) \quad (3)$$

where T and G are the government revenue and expenditure, respectively, and (T-G) is the fiscal surplus.

The Three-Gap Model illustrated in equation (3) provides a framework for understanding how domestic economic imbalances (savings-investment gap, fiscal deficit) and external imbalances (current account deficit) interact to drive the accumulation of external debt.

According to the Marshall-Lerner Condition, domestic currency depreciation makes a country`s goods and services relatively cheaper than those of foreign countries. This causes an increase in foreign demand for domestic goods and services, and hence stimulates domestic exports. Furthermore, domestic currency depreciation makes foreign goods and services more expensive than domestic ones. This causes a decrease in the demand for imports (Blanchard, 2017). Consequently, domestic currency depreciation increases export competitiveness and improves the country's trade and current account balances. Marshall-Lerner provided a condition that a currency depreciation will improve the trade balance only if the sum of the price elasticity of demand for exports and the price elasticity of demand for imports is greater than one.

While currency depreciation can potentially enhance export competitiveness, it may initially have a negative short-term impact on a country's trade balance. This phenomenon is known as the J-curve hypothesis (Rodseth, 2000). The J-curve describes the initial deterioration of the trade balance following currency devaluation before it eventually improves. This is because the immediate impact of depreciation often involves increased import costs, whereas export volumes may take time to adjust.

On the other hand, recent economic literature emphasized the "currency mismatch" and "balance sheet effects" of domestic currency depreciation on external debt. Cespedes et al. (2001), Aghion et al. (2004), and Berganza et al. (2004) argue that exchange rate depreciation increases a country's external indebtedness. This impact is more significant for countries with substantial foreign currency-denominated debt. When domestic currency depreciates, servicing these foreign currency debts becomes significantly more expensive, increasing external indebtedness and vulnerability to the debt crisis.

Empirical Literature

Various empirical studies have analyzed the impact of exchange rates and current account deficits on external debt. In studying the impact of current account deficits on external debt in Sri Lanka during the period (1971-2012), Nath (2023) found that current account deficits have a negative effect on the debt-GDP ratio in the long run. However, in the short run, current account deficits were found to positively affect the debt-GDP ratio. In a comparative study between two groups of countries (12 oil and gas exporting and 12 oil and gas importing countries) for a period spanning 2004–2013, Waheed (2017) showed that the current account deficit has a significant positive impact on external debt in oil-exporting countries. Beyene and Kustoz (2020) show that trade deficit, government budget deficit, saving-investment gap, and debt service increased external debt in Ethiopia during the period (1981-2016); however, inflation, trade openness, and real GDP growth reduced external debt accumulation.

Empirical literature on the impact of exchange rates on external debt is extensive. Utilizing the linear and nonlinear autoregressive distributed lag (ARDL) model in Indonesia, Nazamuddin et al. (2024) find that the exchange rate increases external debt in the country. In addition, the results of the nonlinear ARDL estimation show that the effect of the foreign exchange rate on external debt is asymmetric, where the depreciation of the Indonesian rupiah leads to an increase in the country's external debt, while its appreciation leads to a decline in the country's external debt. Using time series data from Pakistan for 1973 to 2021, Zahra et al. (2023) examine the impact of the real effective exchange rate, fiscal deficits, foreign direct investment, and economic expansion on external debt.

The results confirm that the real effective exchange rate, foreign direct investment, fiscal deficit, and economic growth positively and significantly affect external debt in the long run. However, in the short run, the real effective exchange rate and fiscal deficit negatively impact external debt, whereas economic growth positively affects external debt.

Based on cross-country analysis, Dawood et al. (2021) employed a panel generalized method of moments (GMM) to investigate the impact of the exchange rate, among other determinants, on external debt for a panel of 32 Asian developing and transitioning economies during the period (1995-2019). The results indicate that the exchange rate positively impacts external debt. Adamu (2019) used the Johansen Cointegration approach and the vector error correction model (VECM) in Nigeria during the period (1970-2017). The results reveal that domestic currency devaluation, fiscal deficit, and debt relief increase external debt, while gross domestic savings and international oil prices reduce external debt. Adane et al. (2018) used the ARDL model on time-series data from 1981 to 2016 in Ethiopia. The results revealed that the exchange rate, primary budget deficit, and domestic savings positively impact Ethiopian external debt accumulation, while the inflation rate and resource balance negatively affect external debt.

Using the ARDL cointegration technique, Al-Fawwaz (2016) found that exchange rate, trade openness, and terms of trade had a positive impact on external debt, whereas gross domestic product per capita had a negative impact on external debt in Jordan during the period (1990-2014). Additionally, Adamu and Rasiah (2016) found evidence that the exchange rate and fiscal deficit increased external debt in Nigeria during the period (1970-2013). In Pakistan, Awan et al. (2015) concluded from the VECM estimates that domestic currency depreciation, government fiscal deficit, trade openness, and escalated external debt, while terms of trade had a negative impact on external debt during the period (1976-2010). In a study conducted on five MENA countries (Tunisia, Morocco, Egypt, Jordan, and Turkey) using cointegration for the period (1970-2006), Neaime (2009) found that despite the enormous external debt accumulated in Egypt, the devaluation of the Egyptian Pound stimulated export competitiveness, decreased the current deficit, and reduced pressure for servicing enormous external debt.

The literature provides a crucial foundation for this study by highlighting the individual impacts of both exchange rate and current account deficits on external debt. The literature review reveals that previous studies obtained different results regarding the impact of exchange rates and current account deficits on external debt. Furthermore, empirical studies have investigated the individual impacts of exchange rates and current account deficits on external debt, often treating these variables in isolation. However, there is a significant gap in the literature regarding the combined and interactive effects of these two factors. Accordingly, this study aims at addressing this gap by empirically testing the following hypotheses.

Hypothesis (1): There is a positive relationship between the real exchange rate and external debt in Egypt during the period (1980-2022).

Hypothesis (2): There is a positive relationship between current account deficit and external debt in Egypt during the period (1980-2022).

Hypothesis (3): There is a negative and significant combined effect between the real exchange rate and the current account deficit on external debt in Egypt during the period (1980-2022).

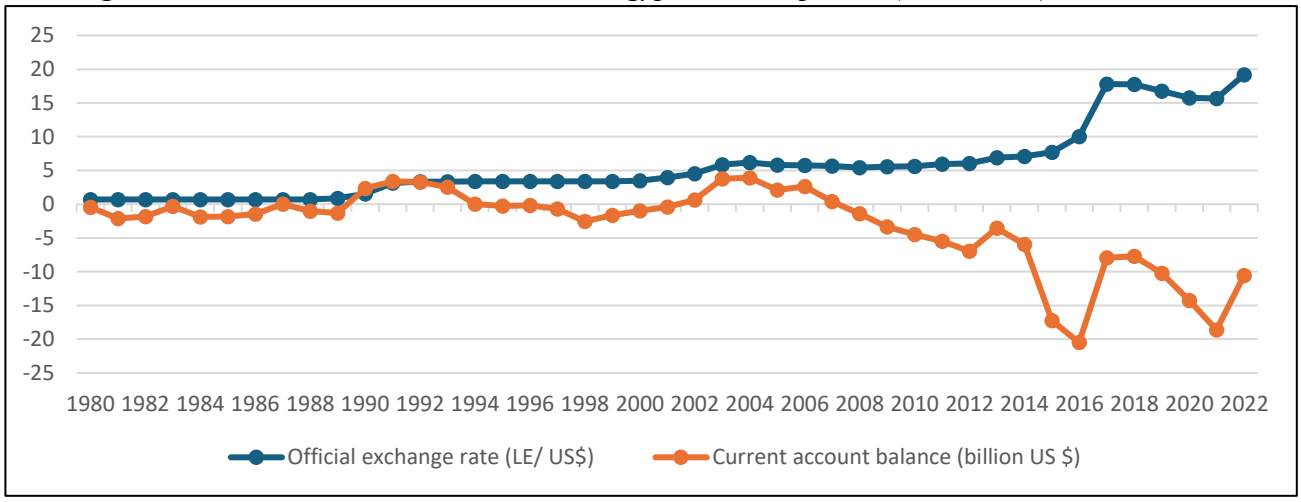
Analytical Overview on Exchange Rate, Current Account Deficit, and External Debt in Egypt

Development of Exchange Rate and Current Account Balance in Egypt

Figure (1) depicts the development of the exchange rate and current account balance in Egypt during the period (1980-2022). The current account balance in Egypt recorded a deficit during most of the study period. During the 1980s, the current account deficit increased steadily because of the open-door policy that was adopted in 1975. However, in 1987, the current account balance showed slight improvement. This can be attributed to establishing the free foreign exchange market and the devaluation of the Egyptian Pound, which has improved the confidence of foreign investors and boosted Egyptian exports (Dissou and Nafie, 2021).

Figure 1

Exchange rate and current account balance in Egypt over the period (1980-2022)



Source: Prepared by the author based on data from World Development Indicators (WDI).

In the early 1990s, the current account balance witnessed a surplus of USD 3.4 billion in 1991 due to the corrective measures implemented by the Egyptian government through applying the Economic Reform and Structural Adjustment Program (ERSAP). Under the ERSAP, the foreign exchange market was liberalized to unify the multiple rates that existed in the foreign exchange market. The exchange rate of the Egyptian pound devalued from 1.55 (LE/USD) in 1990 to 3.4 (LE/USD) in 1991 (World Bank, 2023).

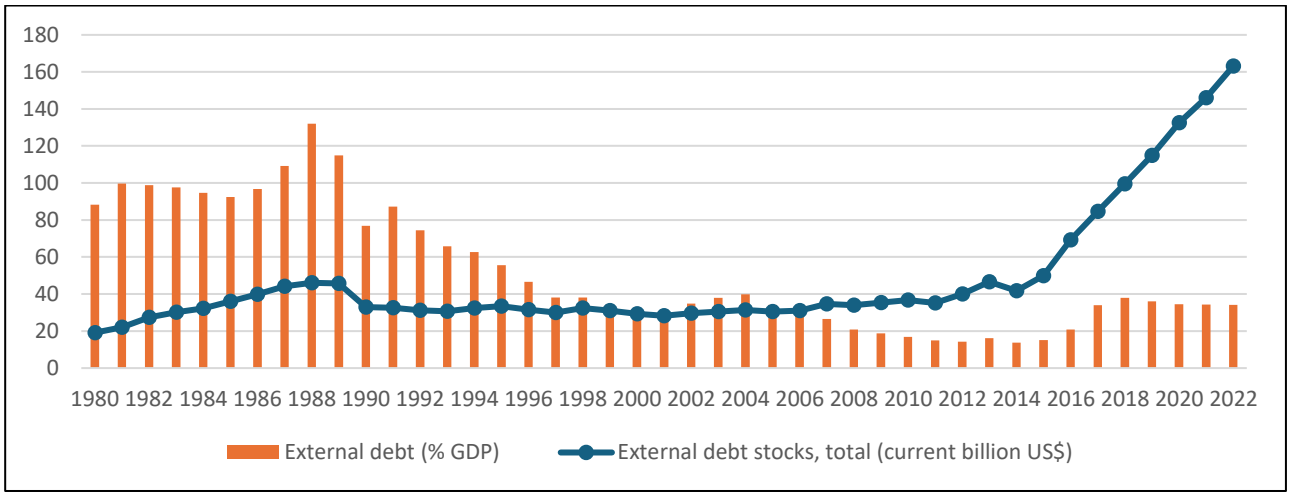
During the period (2002 -2007), the current account balance witnessed surpluses. It peaked at USD 3.9 billion in 2004. This improvement coincided with the successive devaluations of the Egyptian pound in 2001and 2002, and the adoption of a floating exchange rate regime in 2003 (Dissou and Nafie, 2021). Since 2008, the current account deficit has witnessed an increasing trend. This was mainly due to the decline in Egyptian exports after the global financial crisis in 2008, in addition to the decline in tourism revenues and loss of foreign investors' confidence after the 2011 revolution. In 2017, the depreciation of the Egyptian pound to around 17.8 (LE/USD) was accompanied by a significant decline in the current account deficit by approximately 60%. During the period (2016 - 2022), there was an apparent co-movement between the exchange rate and the current account balance, where the current account deficit reached USD 10.5 billion in 2022 (World Bank, 2023).

Development of External Debt in Egypt During the Period (1980-2022)

According to the World Bank, external debt comprises five broad categories: public, publicly guaranteed, private non-guaranteed long-term debt, short-term debt, and IMF credit utilization. During the first half of the 1970s, Egypt's external debt was relatively moderate. However, it began to gradually increase in the mid-1970s. In 1974, it reached USD 2.21 billion due to the economic consequences of the October 1973 war. It further jumped to USD 6.36 billion in 1976 following the implementation of the open-door policy in 1975, which resulted in a significant increase in imports and hence a chronic current account deficit (Sharaf, 2022; Youssef, 2024). Figure (2) illustrates the development of external debt in Egypt during the period (1980-2022).

Figure 2

External debt stocks and external debt to GDP ratio in Egypt over the period (1980-2022)



Source: Prepared by the author based on data from World Development Indicators (WDI).

During the 1980s, external debt in Egypt increased. It reached USD 27.3 billion, almost equal to the country`s GDP in 1982. This is mainly due to the unprecedented increase in the fiscal deficit that peaked at 25.3% of GDP and the current account deficit that reached 6.7% of GDP. In 1988, the external debt increased to USD 46.15 billion, and simultaneously, the external debt-to-GDP ratio reached its peak of approximately 132% of the country's GDP. This significant increase can be attributed mainly to macroeconomic imbalances that arose during that period. Additionally, foreign exchange revenues experienced a sharp decline due to several internal and external factors, including a slowdown in international economic growth rates and a decline in international oil prices, which was accompanied by a reduction in Egyptian workers' remittances and a sudden drop in Suez Canal revenues (Helmy, 2022). Furthermore, tourism revenue was adversely affected by successive terrorist attacks during this period. As a result, foreign exchange reserves declined from 13% of total external debt in 1980 to 5.5% in 1989, and consequently, the Egyptian pound depreciated by 85% against the USD from 0.7 LE/USD in 1980 to 1.55 LE/USD in 1990.

By the beginning of the 1990s, external debt indicators showed significant improvements. Total external debt stocks decreased by around 12% from USD 33.3 billion in 1990 to USD 29.2 billion in 2000. The external debt-to-GDP ratio declined to 29.28% in 2000 compared to 87.20% in 1991. Moreover, the external debt service-to-export ratio decreased from 47.2% in 1990 to 4.9% in 2000. This improvement can be attributed to the implementation of the Economic Reform and Structural Adjustment Program (ERSAP) in 1991 to reduce structural imbalances, in addition to external debt rescheduling and relief by the IMF, World Bank, and other creditor countries such as the United States

and Gulf Council Countries (GCC) (Mohieldin & Kouchouk, 2004). This also increased foreign exchange reserves to external debt ratios from 10.9% to 48.8% during the period (1990-2000).

The global economy witnessed an international financial crisis in 2008, whereas Egypt's external debt steadily increased to USD 36.8 billion in 2010. The Arab Spring uprisings in 2011 and their adverse economic and political consequences contributed to a severe fall in foreign exchange reserves by around 60% from USD 37 billion in 2010 to USD 14.9 billion in 2013. This foreign exchange shortage was reflected in the total external debt, reaching USD 46.3 billion in 2013. In 2014, the external debt, however, dropped to USD 41.7 billion due to the development grants and donations received from the GCC countries (Central Bank of Egypt, 2015).

Since 2015, Egypt's external debt has sharply increased. It climbed from USD 49.8 billion in 2015 to USD 163 billion in 2022. This could be attributed to several factors. First, the IMF provided the extended fund facility to Egypt in accordance with the economic reform program launched by the Egyptian government in 2016 (IMF, 2019). Subsequently, the use of IMF credit increased from USD 1.25 billion in 2015 to USD 21.75 billion in 2022. Second, there were successive devaluations of the foreign exchange rate, whereas the Egyptian pound lost around 90% of its value during the period (2016-2022). Finally, the slowdown of the global economy during the COVID-19 pandemic has reduced foreign capital inflows to Egypt.

External debt accumulation is further complicated by rising external debt payments. Meanwhile, escalating external debt during the period (2015-2022) was associated with an increase in external debt service by approximately fivefold, from USD 3.7 billion in 2015 to USD 17.9 billion in 2022, representing more than 3% of the country's GDP and 23% of its export revenues.

Model Specification and Data

Using the three-gap model as a theoretical framework and based on Beyene and Kustoz (2020), the baseline model specified to investigate the impact of the exchange rate and current account deficit on external debt in Egypt takes the following functional form.

$$ED_t = \gamma_0+\gamma_1 REX_t + \gamma_2\, CAD_t + \gamma_3 SG_t + \gamma_4\, FD_t + \gamma_5 GDPPC_t + \gamma_6 RES_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

where ED_t is external debt as a percentage of GDP, REX_t is the real exchange rate (LE/$), CAD_t is the current account deficit as a percentage of GDP, SG_t is the saving-investment gap as a percentage of GDP, FD_t is the fiscal deficit as a percentage of GDP, $GDPPC_t$ is the gross domestic product per capita, and RES_t is the total reserves as a percentage of external debt.

To examine the combined effect of the exchange rate and current account deficit, both variables interact, and the interaction term is added to Equation (4). Therefore, the empirical model is expressed as:

$$ED_t = \gamma_0+\gamma_1 REX_t + \gamma_2\, CAD_t + \gamma_3 REX_t * CAD_{t_t} + \gamma_4\, SG_t + \gamma_5 FD_t + \gamma_6 GDPPC_t + \gamma_7 RES_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

where γ_0 is the constant term and γ_1 to γ_7 are the coefficients of the model variables. ε_t is the white noise error term.

The conditional marginal effect of current account deficit on external debt is obtained by the first derivative of equation (5) with respect to real exchange rate as follows:

$$\frac{\partial LnED_t}{\partial CAD_t} = \gamma_2 + \gamma_3 LnREX_t$$

The real exchange rate (LE/ USD) is expected to positively affect external debt because domestic currency depreciation increases the cost of external debt and its service burden, resulting in debt accumulation. Current account deficit is expected to positively affect external debt because it reflects the need for a country to borrow from abroad. The interaction term captures how the effect of the current account deficit on external debt changes as the real exchange rate varies. The sign of the interactive term between the real exchange rate and current account deficit is ambiguous. A negative coefficient implies that real exchange rate depreciation may weaken the effect of the current account deficit on external debt. Exchange rate depreciation may improve the trade balance and, hence, narrow the current account deficit by increasing the competitiveness of exports in global markets and simultaneously increasing the domestic price of imports. In addition, domestic currency depreciation can make domestic assets, such as stocks and bonds, more attractive to foreign investors. This can increase foreign capital inflows, which can help finance current account deficits and reduce the need for external borrowing. In contrast, a positive coefficient of the interaction term implies that real exchange rate depreciation may reinforce the impact of the current account deficit on external debt. This occurs when exchange rate depreciation induces capital flights and signifies the deterioration of the trade balance by increasing the cost of imports, thus amplifying the current account deficit.

Domestic macroeconomic imbalances, such as the saving-investment gap and fiscal deficit, are expected to positively impact external debt because they reflect the insufficiency of domestic resources that create an urgent need for external borrowing. Economic growth (proxied by per capita GDP) is expected to negatively affect external debt. A higher income level increases a country's dependency on domestic resources, instead of resorting to external borrowing. Foreign exchange reserves are expected to negatively affect external debt. High external reserves, including foreign currency assets, deposits, securities, gold reserves, and IMF Special Drawing Rights (SDRs), substitute for external debt to finance international payment imbalances.

Annual data on the official exchange rate (LE/USD), current account balance (percentage of GDP), domestic savings (current LCU), gross fixed capital investments (current LCU), consumer price index (2010=100) for Egypt and United States, Gross domestic product (current LCU), foreign reserves (as a percentage of external debt), and per capita gross domestic product (constant LCU) were drawn from the World Development Indicators (WDI) of the World Bank. In contrast, annual data for fiscal deficit (percentage of GDP) were extracted from the Ministry of Finance (MOF) and the Egyptian Central Agency for Public Mobilization and Statistics (CAPMAS). The real exchange rate is calculated using the consumer price index (CPI) of both Egypt and the United States as follows: official exchange rate of Egypt × CPI of the USA/ CPI of Egypt. The saving investment gap (percentage of GDP) is calculated as the difference between gross domestic savings (current LCU) and gross fixed capital investments (current LCU) as a ratio to the gross domestic product (LCU). All variables are expressed in their natural logarithms, except the saving–investment gap and current account deficit, as they may take either positive or negative values throughout their time series.

Econometric Methodology

To obtain robust results, this study employed an autoregressive distributed lag (ARDL) model. The ARDL model is advantageous compared with other time-series regression models. While the cointegration methodology of Engle and Granger (1987) and Johansen and Juselius (1990) requires all variables to be integrated in the same order, the ARDL model can be used to test for cointegration among the variables of interest, regardless of their order of integration. This study adopts the bounds

testing approach developed by Pesaran et al. (2001) to examine the long-run equilibrium relationship between model variables.

The initial step in the ARDL approach is to assess the stationarity properties of variables to determine their order of integration. It is important to ascertain whether none of the included series are integrated of order (2) or beyond to avoid spurious estimations. In this regard, this study applies the Augmented Dickey-Fuller (ADF) unit root test to the level and first difference of each series. After determining the order of integration of each variable, the Akaike information criterion (AIC) is adopted to identify the optimal order of lags. Once the optimal lag length is selected, cointegration between variables is established via a bounds test, which involves estimating the unconditional error correction model (UECM) specified by the following equation:

$$\Delta LnED_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_{1i}\, \Delta LnED_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_1} \alpha_{2i}\, \Delta lnREX_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_2} \alpha_{3i}\, \Delta CAD_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_3} \alpha_{4i}\, \Delta lnREX_{t-i} * CAD_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_4} \alpha_{5i}\, \Delta SG_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_5} \alpha_{6i}\, \Delta LnFD_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_6} \alpha_{7i}\, \Delta LnGDPPC_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_7} \alpha_{8i}\, \Delta LnRES_{t-i} + \beta_1 LnED_{t-1} + \beta_2 lnREX_{t-1} + \beta_3 CAD_{t-1} + \beta_4 lnREX_{t-1} * CAD_{t-1} + \beta_5 SG_{t-1} + \beta_6 LnFD_{t-1} + \beta_7 LnGDPPC_{t-1} + \beta_8 LnRES_{t-1} + \epsilon_t \quad (6)$$

Where, α_0 is the drift term, Δ is the first difference operator, $\alpha_{1i}, \alpha_{2i}, \alpha_{3i}, \alpha_{4i}, \alpha_{5i}, \alpha_{61i}, \alpha_{7i}\ and\ \alpha_{8i}$ are the coefficients of short-run dynamics of the corresponding variables, with lag length $p, q_1, q_2,\ q_3, q_4, q_5, q_6\ and\ q_7$ respectively, $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7\ and\ \beta_8$ are the coefficients of the long-run multipliers and ϵ_t is a white-noise error term.

The Wald test was used to determine whether there was a long-run relationship between the model variables. The null hypothesis of no cointegration, that is, $H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = 0$, is tested against the alternative that at least one of the $\beta_i, i = \{1,2,3,4,5,6,7,8\}$ is not equal to zero. The computed F-statistics were compared with the critical values provided by Pesaran et al. (2001) and Narayan (2005). If the computed F-statistic is below the lower critical value, the null hypothesis of no cointegration cannot be rejected. However, if the F-statistic is above the upper critical value, the null hypothesis of no cointegration is rejected, and there is evidence of a long-run relationship among the underlying variables. Nevertheless, if the F-statistic falls between the lower and upper critical values, the test is inconclusive.

Once cointegration between variables is established, the long-run equilibrium relationship can be estimated as follows:

$$LnED_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p} \beta_1\, LnED_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_1} \beta_2\, LnREX_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_2} \beta_3\, CAD_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_3} \beta_4\, LnREX_{t-i} * CAD_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_4} \beta_5\, SG_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_5} \beta_6\, LnFD_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_6} \beta_7\, LnGDPPC_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_7} \beta_8\, LnRES_{t-i} + \mu_t \quad (7)$$

where μ_t denotes the error term. The Short-run dynamics can be captured using the restricted error correction model (ECM):

$$\Delta LnED_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_{1i}\, \Delta LnED_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_1} \alpha_{2i}\, \Delta LnREX_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_2} \alpha_{3i}\, \Delta CAD_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_3} \alpha_{4i}\, \Delta LnREX_{t-i} * CAD_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_4} \alpha_{5i}\, \Delta SG_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_5} \alpha_{6i}\, \Delta LnFD_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_6} \alpha_{7i}\, \Delta LnGDPPC_{t-i} + \sum_{i=1}^{q_7} \alpha_{8i}\, \Delta LnRES_{t-i} + \phi ECT_{t-i} + \mu_t \quad (8)$$

Where, ϕ captures the speed of adjustment to restore long-run equilibrium following a shock to the system.

For the estimated model to be reliable, the error term should be serially independent (Pesaran et al., 2001). Hence, the error term was tested for serial correlation and heteroskedasticity by adopting

the Breusch-Godfrey test and Breusch–Pagan Godfrey tests. Serial correlations in the error term invalidate the bounds test, whereas heteroscedastic errors can lead to inefficient estimates. Finally, diagnostic tests, such as the Jarque-Bera normality test and stability tests using the Cumulative Sum (CUSUM) and CUSUM of squares, were applied to assess the validity and reliability of the model.

Results and Discussion

This section presents and discusses the econometric model's empirical findings.

Stationarity Tests

Before testing the long-run relationship between the model variables, the order of integration of each variable in the model was checked using the augmented Dickey-Fuller (ADF) unit root test. Table (1) presents the results of the ADF unit root tests. The results revealed that the included series is a mix of I(0) and I(1). However, none of them were integrated into Order 2.

Table 1

Augmented Dickey-Fuller (ADF) unit root test

Variable	*ADF-statistic*				
	Level		First difference		I(D)
	Constant	Constant and trend	Constant	Constant and trend	
LnED	-1.5959	-1.5149	-4.215***	-4.297***	I(1)
LnREX	-0.8555	-2.6653	-3.6876***	-3.652**	I(1)
CAD	-3.3815**	-2.9180	-6.1300***	-6.136***	I(0)
SG	-3.6747***	-3.4577	-4.6202	-4.548***	I(0)
LnFD	-2.5882	-2.4943	-2.9750**	-2.984	I(1)
LnGDPPC	-0.5846	-3.8275**	-4.0828***	-3.975**	I(0)
LnRES	-2.0648	-1.1917	-3.6371***	-3.924**	I(1)

Note(s): *** and ** indicate that the estimated coefficients are statistically significant at the 1% and 5% levels, respectively.

Source: Computed using E-views packages.

The Bounds Test for Cointegration

The order of lags to be included in the regression model was determined using the Akaike Information Criterion (AIC). Three lags are chosen as a maximum for the specified model, and the optimal order of lags (1,1,3,2,1,1,2,2) is selected based on the AIC criterion. The results of the bound cointegration tests are presented in Table 2. The F-statistic value of the bounds test is 9.948, which is greater than the upper bound of the critical value of 5.031 at the 1% significance level. This reveals the existence of a long-run relationship between external debt and the included explanatory variables: real exchange rate, current account deficit, interactive variable between the real exchange rate and current account deficit, savings–investment gap, fiscal deficit, real per capita GDP, and total reserves.

Table 2

Results of the cointegration bounds test

F-Bounds Test			*Null Hypothesis: No level relationship*	
			n = 40	
Test Statistic	Value	Significance	I(0)	I(1)
F-statistic	9.948***	10%	2.152	3.296
		5%	2.523	3.829
		1%	3.402	5.031

Note(s): Lower and upper bound critical values were obtained from (Pesaran et al., 2001).

Source: Computed using E-views packages.

Estimation of Long-Run Relationship and Short-Run Dynamics

Table (3) reports the estimated long- and short-run coefficients of the ARDL model. The estimated long-run coefficients show a statistically significant positive relationship between the real exchange rate and external debt in the long run at the 1% level of significance. The estimated long-run coefficient reveals that a one-percentage-point increase in the real exchange rate leads to a 0.703% increase in external debt. This is attributed to the valuation effect of the exchange rate depreciation. When the exchange rate increases, the domestic currency depreciates and loses its value. This implies that much more funding will be required to repay accrued foreign currency-denominated debt and pay for its services. Previous studies, such as those by Nazamuddin et al. (2024) and Adamu (2019), have reported similar findings. However, in the short term, this effect was unexpectedly negative.

Regarding the current account deficit, the results reveal that a percentage point increase in the current account deficit results in a 6.578%[1] increase in external debt. This reflects the Egyptian economy's dependence on external borrowing to address trade deficits and net income payments. This result is consistent with the findings of Awan et al. (2015), Dawood et al. (2021), and Youssef (2024). A similar result was found for the short run, where a 1% increase in the current account deficit caused a 0.008% increase in external debt in the same period.

Furthermore, the interactive term between the real exchange rate and the current account deficit has a statistically significant negative coefficient. This result indicates that the impact of the current account deficit on external debt is weaker when the real exchange rate depreciates. When the domestic currency depreciates, domestic assets, such as stocks, bonds, and real estate, become cheaper and attractive to foreign investors. This increases foreign capital inflows into the domestic economy and substitutes for external debt to finance the current account deficit. Fadl and Ghoneim (2020) provide evidence of a significant positive relationship between exchange rate depreciation and foreign capital inflows to Egypt.

The results also show that the savings–investment gap and fiscal deficit have significantly positive effects on external debt at the 1% significance level. That is, an increase in the savings–investment gap by 1% results in an increase in external debt of 3.738%[2], ceteris paribus. This indicates that insufficient domestic savings to finance investments urge external borrowing, resulting in external debt accumulation. This result is consistent with that of Tiruneh (2004) and Tiruneh Kotosz (2020). Additionally, a one percentage point increase in fiscal deficit causes a 0.772% increase in external debt. This implies that as government expenditures exceed their revenues, the government is forced to borrow from foreign entities to finance this deficit. It is worth mentioning that the fiscal balance in Egypt has experienced a persistent deficit since the mid-1970s. This result is supported by Adamu and Rasiah (2016) and Adane et al. (2018). Similar to the results for the long run, the savings–investment gap and fiscal deficit have a significantly positive impact on external debt in the short run. A 1% increase in the savings–investment gap and fiscal deficit caused an increase in external debt by 0.6% and 0.206%, respectively, in the same period.

[1] Since the current account deficit is not log transformed while the external debt is log transformed, we will exponentiate the coefficient for the current account deficit and then subtract 1 from the result and multiply by 100 to get the percent change in the external debt for every unit change in the current account deficit.

[2] Since the saving investment gap is not log transformed while the external debt is log transformed, we will exponentiate the coefficient for the saving- investment gap and then subtract 1 from the result and multiply by 100 to get the percent change in the external debt for every unit change the saving investment gap.

Furthermore, a 1% increase in per capita GDP reduces external debt by 6.570% in the long run and 2.446% in the same period at the 1% significance level. This is justified by the fact that, as the economy grows, income levels increase, domestic savings rise, government revenues increase, and resource gaps decrease. This reflects that an increase in the relative abundance of domestic financial resources reduces Egypt's dependence on external debt. This result is consistent with the findings of Swamy (2015), Al-Fawwaz (2016), Dawood et al. (2021), and Waheed (2017).

External reserves have a statistically significant negative effect on Egypt's external debt. Holding the other factors constant, a 1% increase in external reserves decreases external debt by 0.299% at the 5% significance level. Foreign exchange reserves are alternative sources of external financing. A high foreign exchange reserve reduces the need for external borrowing and external debt.

The error correction term is negative and statistically significant at the 1% significance level. This indicates a relatively moderate speed of convergence in the long-run dynamics of the variables. This indicates that approximately 55% of the last period's disequilibrium was corrected in the current period. The adjusted R^2= 0.85 which reflects the goodness of fit of the estimated model.

Table 3

Estimated long-run and short-run parameters of the ARDL model

Long run estimates

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
$LnREX$	0.7034***	0.1309	5.3722	0.0000
CAD	0.0637***	0.0208	3.0557	0.0068
$LnREX * CAD$	-0.0913***	0.0217	-4.1902	0.0006
SG	0.0367***	0.0096	3.7979	0.0013
$LnFD$	0.7724***	0.1590	4.8570	0.0001
$LnGDPPC$	-6.5701***	1.0103	-6.5026	0.0000
$LnRES$	-0.2990**	0.1175	-2.5444	0.0203
C	29.6880***	4.4041	6.7408	0.0000

Short-run estimates

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob
$\Delta LnREX$	-0.264**	0.0952	-2.7763	0.0125
ΔCAD	0.008**	0.0034	2.4742	0.0235
$\Delta CAD(-1)$	-0.016***	0.0025	-6.4734	0.0000
$\Delta CAD(-2)$	-0.013***	0.0027	-5.1366	0.0001
$\Delta LnREX * CAD$	0.001	0.0033	-0.4060	0.6895
$\Delta LnREX * CAD(-1)$	0.010***	0.0035	3.0393	0.0071
ΔSG	0.006***	0.0021	3.2031	0.0049
$\Delta LnFD$	0.206***	0.0323	6.3871	0.0000
$\Delta LnGDPPC$	-2.446***	0.7496	-3.2639	0.0043
$\Delta LnGDPPC(-1)$	5.202***	0.9545	5.4501	0.0000

$\Delta LnRES$	-0.330***	0.0804	-4.1051	0.0007
$\Delta LnRES(-1)$	-0.171**	0.0615	-27845	0.0122
$ETC(-1)$	-0.553***	0.0486	-11.3721	0.0000

Notes: *** and ** indicate that the estimated coefficients are statistically significant at the 1% and 5% levels, respectively.
Source: Computed using E-views packages

Diagnostic Checks

Table (4) presents the results of the diagnostic checks. The Lagrange multiplier (LM) test of the residual serial correlation statistic and the F-statistic of the Breusch-Pagan-Godfrey test applied to test homoscedasticity provided no evidence of either serial correlation or heteroskedasticity in the error term. In addition, the Jarque–Bera normality test provides no evidence to reject the assumption of normality.

Table 4

Diagnostic tests

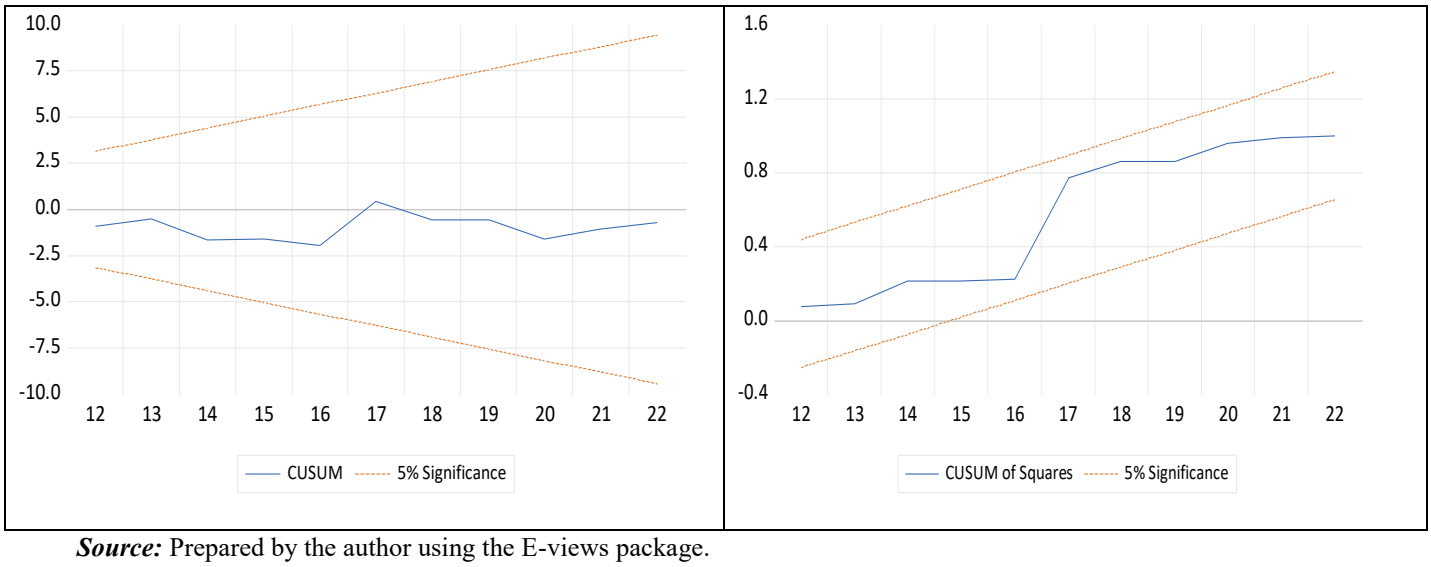
Test	***Test statistic***	***P-Value***
Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test	F – statistic 1.8415	0.1906
Breusch-Pagan-Godfrey Heteroscedasticity Test	F – statistic 1.0327	0.4768
Normality Test	Jarque-Bera 0.1710	0.9180

Source: Computed using E-views packages.

Furthermore, the stability of long-run estimates is examined using the cumulative sum of recursive residuals (CUSUM) and CUSUM of squares (CUSUMSQ) tests. Figure (3) plots the CUSUM and CUSUM-of-squares statistics to examine the stability of the estimated long-term relationship. The results reveal the stability of all estimated long-run parameters, because the plots of the two statistics lie consistently within the 5% significance critical bounds.

Figure 3

Plots of CUSUM and CUSUMSQ statistics for coefficient stability



Source: Prepared by the author using the E-views package.

Conclusion and Policy Recommendation

This study investigates the impact of the real exchange rate, current account deficit, and their combined effect on external debt in Egypt by employing the ARDL bounds testing procedure for time-series data spanning 1980–2022. The findings reveal that exchange rate depreciation and current account deficits stimulate external debts. The combined effect of the real exchange rate and current account deficit is significantly negative, indicating that real exchange rate depreciation can act as a buffer, reducing the impact of the current account deficit on external debt. In addition, the savings–investment gap and fiscal deficit increase external debt, whereas economic growth and foreign exchange reserves reduce external debt in Egypt.

These results have significant implications for policymakers. First, the study encourages borrowing in the domestic currency and reduces foreign currency-denominated debt whenever possible to reduce exposure to exchange rate risks. Second, we develop domestic capital markets to provide alternative financing sources and reduce reliance on external debt. Third, hedging instruments such as currency swaps are utilized to mitigate the impact of exchange rate fluctuations on external debt. Fourth, we address the causes of the current account deficit by improving export competitiveness and adopting import substitution strategies to enhance the effectiveness of real exchange rate adjustments. Fifth, the study ensures the sustainability of external debt by allocating external debt funds to high-yield sectors that generate returns exceeding interest payments.

Limitations of the Study and Future Research

This study investigates the impact of real exchange rates, current account deficits, and their combined effect on external debt. The limitation of the current study is that it examines the linear impact of the real exchange rate and current account deficit on external debt. Additional insights can be obtained from future research that investigates the asymmetric impact of the real exchange rate and current account deficit on external debt.

References

Abdu, M. (2020). Egypt public debt dynamic and its' trajectory projection. *Global Journal of Management and Business Research*, *20*(7), 14-29.

Adamu, I. & Rasiah, R. (2016). On the determinants of external debt in Nigeria. *African Development Review*, 28(3), 291–303.

Adamu, I. (2019). Re-visiting the drivers for increasing external debt. *Journal of Contemporary Issues and Thought*, *9*, 40-53.

Adane, O., Mulugeta, W., Melaku, T. (2018). Determinants of external debt in Ethiopia. *Journal of Business and Economics*, 2(1),128–131.

Aghion, P., Bacchetta, P., & Banerjee, A. (2004). A corporate balance-sheet approach to currency crises. Journal of Economic theory, 119(1), 6-30.

Al-Fawwaz, T. (2016). Determinants of external debt in Jordan: An empirical study (1990–2014). *International Business Research*, *9*(7), 116-123.

Alnashar, S. (2019). *What drives Egypt's government debt?* Economic Research Forum (ERF) Working Paper Series (No. 1376).

Awan, R., Anjum, A., & Rahim, S. (2015). An econometric analysis of determinants of external debt in Pakistan. *British Journal of Economics, Management & Trade*, *5*(4), 382-391.

Bacha, E. (1990). A three-gap model of foreign transfers and the GDP growth rate in developing countries. *Journal of Development economics*, *32*(2), 279-296.

Berganza, J., Chang, R., & Herrero, A. (2004). Balance sheet effects and the country risk premium: an empirical investigation. Review of World Economics, 140, 592-612.

Beyene, S., & Kotosz, B. (2020). Macroeconomic determinants of external indebtedness of Ethiopia: ARDL Approach to Cointegration. *Society and Economy*, *42*(3), 313-332.

Blanchard, O. (2017). *Macroeconomics.* Pearson, Cambridge.

Central Bank of Egypt (2015), *Annual report 2014/2015*, Central Bank of Egypt, Cairo, available at: https://cbe.org.eg/en/EconomicResearch/Publications/AnnualReportDL/Annual%20Report 2014-2015.pdf.

Cespedes, L. (2001). Essays on balance sheets, exchange rate policy, and macroeconomic performance. New York University.

Chenery, H., & Strout, A. (1966). Foreign assistance and economic development. *American Economic Review*, *56*(4).

Dawood, M., Baidoo, S., & Shah, S. (2021). An empirical investigation into the determinants of external debt in Asian developing and transitioning economies. *Development Studies Research*, *8*(1), 253-263.

Dissou, Y., & Nafie, Y. (2021). On the link between current account and fiscal imbalances in the presence of structural breaks: Empirical evidence from Egypt. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, *79*, 15-27.

Domar, E. (1946). Capital expansion, rate of growth, and employment. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 137-147.

Engle, R., & Granger, C. (1987). Cointegration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica*, *55*(2): 251.

Ghaly, S. (2023). External debt in time of inflation in Egypt: a vector error correction model. *Scientific Journal for Financial and Commercial Studies and Research*, 4(1)1, 661-701.

Harrod, R. (1939). An essay in dynamic theory. *The economic journal*, *49*(193), 14-33.

Hashem, H., & Fahmy, H. (2019). Sensitivity of public debt to macroeconomic shocks: An application to the Egyptian economy. *Business and Economic Horizons*, *15*(2), 219-241.

Helmy, H. (2022). The external debt-inflation nexus in Egypt. *Journal of Public Affairs*, *22*, e2802.

IMF. (2016). *A chance for change: IMF agreement to help bring Egypt's economy to its full potential*, IMF country focus, retrieved from URL: https://www.imf.org/en/News/Articles/2016/11/11/NA111116-A-Chance-For-Change-Egypt

IMF. (2019). *Arab Republic of Egypt: Fifth Review Under the Extended Arrangement Under the Extended Fund Facility-Press Release*, staff report, and statement by the executive director of the Arab Republic of Egypt. *IMF. Country Report No. 19/311.* [Online] Available at: https://www.imf.org/en/Publications/CR/Issues/2019/10/10/Arab-Republic-of-Egypt-Fifth-ReviewUnder-the-Extended- Arrangement-Under-the-Extended-Fund-48731

IMF. (2021). *Review of the debt sustainability framework for market access countries*, International Monetary Fund (IMF) Policy Paper.

Johansen, S., & Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration—with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, *52*(2), 169–210.

Kose M., Ohnsorge F., & Sugawara N., (2020). *Benefits and costs of debt, the dose makes the poison.* The World Bank Policy Research Working Paper no. 9166. World Bank Publications.

Kose, A., Nagle, P., Ohnsorge, F., & Sugawara, N. (2021). *What has been the impact of COVID-19 on debt? Turning a Wave into a Tsunami.* World Bank policy research Working Paper no. 9871. World Bank Publications.

Mohieldin, M., & Kouchouk, A. (2004). *On exchange rate policy: The case of Egypt 1970-2001*. Industrial Bank of Kuwait KSC.

Fadl, N., & Ghoneim, H. (2020). Impact of foreign exchange rate on foreign direct investment: Egypt case. *Revue d'études sur les institutions et le développement*, *6*(1), 138-157.

Nath, S. (2023). Sri Lankan debt crisis: The role of fiscal deficit and current account deficit. Asian Journal of Managerial Science, 12(1), 6-18.

Narayan, P. (2005). The saving and investment nexus for China: Evidence from cointegration tests. *Applied economics*, *37*(17), 1979-1990.

Nazamuddin, B., Wahyuni, S., Fakhruddin, F., & Fitriyani, F. (2024). The nexus between foreign exchange and external debt in Indonesia: evidence from linear and nonlinear ARDL approaches. *Journal of the Asia Pacific Economy*, *29*(2), 810-836.

Neaime, S. (2009). Sustainbility of exchange rate policies and external public debt in the Mena region. *Journal of Economics and International Finance, 1*(2), 59-71.

Okwoche, P., & Nikolaidou, E. (2024). Determinants of external, domestic, and total public debt in Nigeria: the role of conflict, arms imports, and military expenditure. *Defence and Peace Economics*, *35*(2), 227-242.

Pesaran, M., Shin, Y., & Smith, R. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289–326.

Polackova, H. (1998). *Contingent government liabilities: A hidden risk for fiscal stability.* The World Bank Policy Research Working Paper no. 1989. World Bank Publications.

Rodseth, A. (2000). *Open economics Macroeconomics*. Cambridge University Press.

Swamy, V., (2015). *Government Debt and its macroeconomic determinants – an empirical investigation*. Munich Personal RePEc Archive, 64106.

Tarek, B., & Ahmed, Z. (2017). Institutional quality and public debt accumulation: An empirical analysis. *International Economic Journal*, 31(3), 415-435.

Tiruneh, M. (2004). An empirical investigation into the determinants of external indebtedness. *Prague economic papers*, *13*(3), 261-277.

Waheed, A. (2017). Determinants of external debt: A panel data analysis for oil & gas exporting and importing countries. *International Journal of Economics and Financial Issues*, *7*(1), 234-240.

World Bank. (2023). *World Development Indicators*. https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators.

Youssef, W. (2024). An econometric analysis of the macroeconomic determinants of external debt in Egypt. *Journal of Commercial and Environmental Studies, 15*(1), 90-125.

المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر - مجلد 4 - العدد (3) - يوليو 2025
ISSN: Print: 2812 - 4758 , Online: 2812 - 4766
تصدر عن مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

أثر سعر الصرف الحقيقي وعجز الحساب الجاري على الدين الخارجي في مصر خلال الفترة (1980-2022)

المستخلص

تتناول هذه الدراسة تحليل أثر كل من سعر الصرف الحقيقي وعجز الحساب الجاري، فضلاً عن تأثيرهما التفاعلي، على الدين الخارجي في مصر. وقد استخدمت الدراسة منهجية اختبار الحدود (ARDL) لسلاسل زمنية سنوية تغطي الفترة من 1980 إلى 2022. وتوصلت النتائج إلى وجود علاقة توازنية طويلة الأجل بين متغيرات النموذج التجريبي. كما أظهرت النتائج أن انخفاض سعر الصرف الحقيقي وعجز الحساب الجاري يؤديان إلى زيادة الدين الخارجي. ومع ذلك، فإن التأثير التفاعلي لهذين المتغيرين يتمثل في أن انخفاض سعر الصرف الحقيقي يُخفف من تأثير عجز الحساب الجاري على الدين الخارجي في مصر. ويشير ذلك إلى أن انخفاض سعر الصرف الحقيقي يمكن أن يعمل كآلية لتخفيف أثر عجز الحساب الجاري على الدين الخارجي. وبناءً على ما سبق، توصي الدراسة بضرورة تبني سياسات حكومية تهدف إلى تقليل الديون المقومة بالعملات الأجنبية للحد من مخاطر تقلبات أسعار الصرف، وتطوير أسواق رأس المال المحلية لتوفير مصادر تمويل بديلة وتقليل الاعتماد على الدين الخارجي، واستخدام أدوات التحوط مثل عقود المبادلة العملة (Currency Swaps) للحد من آثار تقلبات أسعار الصرف على الدين الخارجي، ومعالجة الأسباب الجذرية لعجز الحساب الجاري من خلال تحسين القدرة التنافسية للصادرات، وتبني استراتيجيات إحلال الواردات لتعزيز فاعلية تعديلات سعر الصرف الحقيقي.

الكلمات الدالة: سعر الصرف، عجز الميزان الجاري، الدين الخارجي، الأثر التفاعلي، مصر

The International Journal of Public Policies In Egypt- Volume 4, Issue 3 (July 2025)
ISSN: Print: 2812-4758, Online: 2812- 4766
Published by IDSC

Global Pathways to Low-Carbon Economy: Trends, Challenges, and Opportunities

Hatem Mohamed Abdelazim

Head of Economic Research at Asharqia Chamber, Saudi Arabia
hatem.abdelazim@hotmail.com

المسارات العالمية نحو اقتصاد منخفض الكوبون: الاتجاهات والتحديات والفرص

حاتم محمد عبدالعظيم

رئيس البحوث الاقتصادية بغرفة الشرقية، المملكة العربية السعودية
hatem.abdelazim@hotmail.com

- **DOI: 10.21608/ijppe.2025.443493** **URL: http://doi.org/ 10.21608/ijppe.2025.443493**
- Received: 24/2/2025, Accepted: 17/5/2025
- Citation: Abdelazim, H. (2025). Global pathways to a low-carbon economy: Trends, challenges, and opportunities. The International Journal of Public Policies in Egypt, 4(3), 123-145.

The International Journal of Public Policies In Egypt, Volume 4, Issue 3 (July 2025) Hatem Mohamed Abdelazim
ISSN: Print: 2812-4758, Online: 2812- 4766
Published by IDSC

Global Pathways to Low-Carbon Economy: Trends, Challenges, and Opportunities

Abstract

This study investigates the global transition toward a low-carbon economy, with a particular focus on the financing gap required to support the decarbonization of vital economic sectors. Using a qualitative methodology, the study used thematic and document analyses of scholarly literature, international case studies, and policy reports to evaluate strategies and challenges globally. The scope of this study covers developed and developing countries, while the temporal boundary starts from the beginning of the 2000s to projections of 2050. This study examines how nations are moving toward net-zero emissions and the financial obstacles they encounter. The study shows that despite the increasing importance of the global climate, financial flows are still inefficient and not distributed equally. According to the study's findings, implementing strategies to reduce the financing gap, increasing international cooperation, supporting blended finance models, and implementing adaptive policies are the only ways to effectively reach a low-carbon economy. Future studies should design dynamic models, which should also focus on region-specific investment frameworks and impact evaluation tools to align capital flows with the rising demand for climate action more efficiently.

Keywords: Low-carbon economy, climate finance gap, decarbonization, green investments, energy transition

Introduction

The threat that the world is facing today has united global efforts to reduce greenhouse gas (GHG) emissions, making the shift to a low-carbon economy transition reachable. Although clean technologies and policy pledges have achieved significant progress, the lack of financing for clean technologies remains a significant obstacle. This gap is highlighted in sectors such as energy, transportation, industry, buildings, and agriculture, each of which contributes to an increase in global emissions (IPCC, 2022; IEA, 2021a). Without sufficient probate investment, achieving net-zero targets and fulfilling the objectives of the Paris Agreement become increasingly difficult (UNFCCC, 2015).

Despite a significant increase in awareness and huge global promises, the financial flows for implementing low-carbon initiatives remain insufficient (CPI, 2023). These defects are driven by high investment risks in emerging markets, institutional capacity weaknesses in many developing economies, and limitations in international financing of large-scale decarbonization projects (UNCTAD, 2023; UNEP, 2023b). Even in developed countries, funding often goes to mature technologies, which leaves high impact but less proven solutions in a lack of funding (OECD, 2023). This highlights the importance of identifying targeted strategies to close the finance gap and enable an effective transition to low-carbon development.

The main objective of this study is to assess the scale and nature of the financing gap in the decarbonization of key economic sectors such as energy, transportation, industry, building, and agriculture within the broader global transition to a low-carbon economy. This involves examining both the quantity and quality of climate finance flows, identifying the structural, institutional, policy-related obstacles to effective investment, and evaluating the role of innovative financial instruments and international cooperation in bridging these gaps. Therefore, the study tries to generate actionable insights that support the formulation of equitable, scalable, and sector-specific financing strategies aligned with long-term net-zero goals.

To address this objective, the study focuses on:

1. Distinguishing the key barriers affecting decarbonization in the main economic sectors, such as energy, transportation, and industry.
2. Evaluating the involvement of policy frameworks, innovation, and international finance in incentivizing low-carbon investments.
3. Exploring sustainable financing techniques for emerging and developing economies.

These aims lead to the following research questions:

1. How significant is the financing gap for decarbonizing the main sectors globally?
2. What are the main factors contributing to this gap across different regions and sectors?
3. How can international finance, policy innovation, and private sector engagement be used to close this gap and push a low-carbon transition?

It is important to examine the existing literature on climate finance and low-carbon investment to review the financing challenges associated with global decarbonization. The following section reviews the main studies that evaluate the scale of the financing gap, investment needs in the main sectors, and the effectiveness of the current funding mechanisms. It also points to the current obstacles to financing the knowledge gaps this study attempts to fill.

Literature Review

Overview of the Financing Gap

The finance gap preventing the decarbonization of the main sectors, such as energy, transportation industry, building, and agriculture, has been brought to light by the global movement toward a low-carbon economy (International Energy Agency [IEA] 2021a; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023). Projections from the IEA (2021b) showed that achieving net-zero emissions by 2050 requires annual clean energy investments to triple from current levels, reaching an estimated USD 4 trillion by 2030. However, recent assessments by the Climate Policy Initiative (CPI, 2022) and Allen and Overy and CPI (2023) showed a continuous deficit between actual and required capital flows, especially in emerging and developing economies. This deficit highlights the pressing need for innovative policy frameworks and blended financing to lower investment risk in low-carbon countries (World Economic Forum [WEF], 2020).

Sector-Specific Insights and Barriers

Energy Sector

The energy sector is the primary focus of decarbonization because it represents the largest portion of global greenhouse gas (GHG) emissions (IPCC, 2022). McCollum et al. (2018) noted that renewable energy technologies, especially wind and solar, have seen huge cost declines, supporting their competitiveness. However, upgrading the grid infrastructure, scaling energy storage, and integrating renewable energy sources require additional capital. Developing nations face heightened risks due to policy uncertainties, inadequate grid capacity, and limited access to long-term financing (OECD 2020). These obstacles create an investment bottleneck, restricting how renewables can replace fossil fuels (IEA 2021a).

Transportation Sector

Electrifying transport systems and developing supportive infrastructure are critical for reducing emissions. While advanced economies have started to scale electric vehicle (EV) adoption, high initial costs and insufficient charging networks remain huge barriers, especially in lower-income regions (World Bank, 2021). According to the IPCC (2022), shifting to low-carbon mobility requires both government and private investment for new infrastructure, subsidies for EV fleets, and research into alternative fuels. Without strong financing instruments, such as green bonds or concessional loans, emerging markets struggle to develop large-scale EV programs (Bataille et al., 2018).

Industrial and Heavy Sectors

Industries that are hard to decarbonize, such as steel, cement, and chemicals, face steep decarbonization costs owing to technological immaturity and high capital expenditure requirements (Bataille et al., 2018). Carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technologies present potential solutions, but remain expensive and often lack secure revenue models (United Nations Framework Convention on Climate Change [UNFCCC], 2021). Therefore, private investors hesitate to commit funds without policy guarantees, carbon pricing mechanisms, or public co-investments that lower the investment risk (OECD, 2020).

Role of Policy, Governance, and Innovation

Multiple studies highlight the positive effect of policy support, public-private partnerships, and technological innovation in mobilizing low-carbon finance (IPCC, 2022; World Bank, 2021). Policy instruments such as carbon pricing, emissions trading schemes, and renewable energy mandates can

prompt private sector involvement (CPI, 2022). In addition, international climate finance commitments, such as those embedded in the Paris Agreement, provide grants, concessional loans, and capacity-building programs to developing nations (UNFCCC, 2021). However, the World Economic Forum (2020) mentions that political uncertainty and disjointed global coordination still stand in the way of efficient fund distribution. Meanwhile, innovative technologies such as green hydrogen and advanced battery storage have the potential to reduce emissions, but they need consistent funding and market development to reach a commercial scale (McKinsey & Company, 2021).

Addressing the Climate Finance Gap

The literature always points to a need for blended finance and the strategic use of concessional funding from public sources to promote additional private investment (Allen, Overy, & CPI, 2023; CPI, 2022). This approach helps reduce the risk of large-scale infrastructure projects in developing regions, where credit ratings and political stability may discourage investors from investing (OECD 2020). According to the WEF (2020), risk mitigation tools, such as loan guarantees, insurance products, and first loss capital, can significantly lower the obstacles for private lenders. Similarly, green bonds and sustainability-linked loans have shown success in focusing resources on climate projects, despite the fact that consistent standards and transparent reporting remain critical to building investor confidence (United Nations Environment Programme Finance Initiative [UNEP FI], 2021).

To ensure advantages such as job creation and technology transfer, new frameworks such as Just Energy Transition Partnerships are emerging to integrate financing with social justice (UNFCCC, 2021). According to IPCC (2022), stakeholder involvement and transparent government are necessary to make successful use of strong institutional capability. The United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD, 2023) highlights that increasing the proportion of foreign direct investment (FDI) allocated to green infrastructure in low-income nations is crucial for achieving sustainable development goals and global emissions reduction.

Critical Gaps in Existing Research

While all agree on the deficit of the climate finance gap, the current literature reveals unreliable measurements, unequal methodologies, and incomplete data regarding the allocation of funds across regions and sectors (CPI, 2022; IEA, 2021a). This fragmentation makes it difficult to compare financing flows globally or to mention the most effective policy interventions (OECD, 2020). Moreover, research frequently focuses on either developed or developing countries, which limits our understanding of the most effective cross-regional approach (World Bank, 2021). Climate finance reporting is further complicated by a lack of defined standards for evaluating green investments, which raises questions for investors and politicians (UNEP FI, 2021).

Literature review provides a key element for this study by providing critical insights into the scale of the climate finance gap, the investment needed for major economic sectors, and the current funding techniques. By blending findings from academic research, international institutions, and policy reports, the review helps highlight challenges and knowledge gaps. These insights inform the analytical framework of the current study by guiding it through selecting documents and comparative assessment across regions and sectors. However, the literature review highlighted areas that need to be reviewed. As a result, justifying the need for this study contributes updated policy-relevant knowledge that supports more effective and inclusive low-carbon financing strategies.

In light of this limitation, this study aims at assessing the scale and nature of the financing gap that stands in the way of decarbonizing key economic sectors such as energy, transportation, industry, building, and agriculture within the broader global transition to a low-carbon economy. This involves examining both the quantity and quality of climate finance flows, identifying the structural, institutional, and policy-related obstacles to effective investment, and evaluating the role of innovative financial instruments and international cooperation in bridging these gaps. Therefore, the study tries to generate actionable insights that support the formulation of equitable, scalable, and sector-specific financing strategies aligned with long-term net-zero goals.

Research Methodology

This study adopts a qualitative methodology to explore the financing gap associated with the decarbonization of the main economic sectors within the context of the global transition to a low-carbon economy. A qualitative approach was chosen because of the exploratory and interpretive nature of the research questions, which focus on understanding the structural financial challenges, policy dynamics, and investment patterns across different regions and sectors.

Research Design and Approach

This study is based on document analysis and integrates primary and secondary sources. These include international policy reports, institutional databases, academic journal articles, and case studies from relevant organizations, such as the International Energy Agency (IEA), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Policy Initiative (CPI), and World Economic Forum (WEF). These documents were selected for their relevance and contribution to global climate finance discourse.

Data Collection: Data were collected through a systematic review of publications issued between 2000 and 2025, focusing on achieving investment trends, decarbonization strategies, and financial flows in the main sectors, such as energy, transportation, industry, buildings, and agriculture.

Data Analysis

Thematic analysis was conducted to identify recurring patterns, gaps, and critical issues related to climate finance and sectoral decarbonization. Themes such as financing barriers, investment distribution, policy support, and equity considerations were used to organize and interpret the findings. A comparative analysis across countries (developed vs. developing countries) and sectors was used to highlight inequalities and contextual differences.

Scope and Limitations

The spatial boundary of this study is global, covering high-income, low-income, and middle-income countries. The temporal scope extends from the early 2000s to projections through 2050, reflecting the long-term climate goals.

Global Carbon Dioxide Emissions

Table (1) highlights a huge increase in the total CO_2 emissions from fuel combustion, rising by 7.7% between 2011 and 2022. This surge in emissions significantly amplifies global environmental risks. Consequently, the world strives to transition towards a low-carbon economy and mitigate the overall carbon footprint.

Table 1

Total CO2 emissions - fuel combustion (2011- 2022)

YEAR	MTCO2EQ
2011	**31485**
2012	**31817.5**
2013	**32416.2**
2014	**32493**
2015	**32373.9**
2016	**32405.3**
2017	**32935**
2018	**33688.7**
2019	**33625.7**
2020	**31812.6**
2021	**33674**
2022	**34116.8**

Source: (International Energy Agency, 2025).

Side Effects of Carbon Dioxide Emissions

Human activities have caused an increase in carbon dioxide emissions, the most important of which are (United States Environmental Protection Agency, 2025):

- Burning coal, oil, natural gas, and methane.
- Cutting down trees and not planting trees in their place.
- Using fertilizers.
- Continuous use of air conditioners.
- Dumping plastic and industrial waste into rivers and oceans.

An increase in the temperature of the atmosphere, oceans, and land has caused widespread and rapid changes in the atmosphere, oceans, glaciers, and biosphere, leading to the following:

- Natural disasters (fires, floods, hurricanes, droughts).
- Melting of ice.
- Rising sea and ocean levels.
- Widening of the ozone hole.
- Acid rain.
- Negative impacts on livestock and fish wealth, and the threat of extinction of some animals and fish.

Low-Carbon Economy and Its Importance

A low-carbon economy is characterized by strategically reducing carbon dioxide (CO_2) and other greenhouse gas (GHG) emissions by adopting clean, low-carbon energy sources, such as wind, solar, and hydropower, instead of carbon-intensive fossil fuels. This shift minimizes reliance on coal, oil, and natural gas and aims to mitigate climate change and foster sustainable development (Macquarie University, 2019; United Nations Environment Programme [UNEP], 2025).

Key Benefits of the Low-Carbon Economy

The Key benefits of the low-carbon economy can be summarized as follows:

Climate Change Mitigation

A low-carbon economy plays an important role in slowing global warming and stabilizing the climate by reducing CO_2 emissions. This is particularly critical in safeguarding vulnerable ecosystems, preventing extreme weather events, and meeting the objectives outlined in international climate agreements (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022; Stern, N., 2006).

Energy Security and Diversity

Changing the energy mix through renewable sources decreases the dependence on the volatile fossil fuel market and enhances energy security. A steady supply of locally sourced renewables can help countries reduce import bills, stabilize energy prices, and protect themselves against geopolitical risks (International Energy Agency [IEA], 2021b).

Economic Growth and Job Creation

Shifting to low-carbon technologies can accelerate new economic opportunities and create a surge in green jobs, particularly in the renewable energy, energy efficiency, and clean transportation sectors. According to the International Renewable Energy Agency (IRENA), by 2024, the global renewable energy industry already employs millions of people worldwide, which is projected to grow substantially as the demand for clean technologies increases.

Technological Innovation

Investing in research and development for low-carbon solutions, such as advanced batteries, green hydrogen, and carbon capture technologies, often leads to technical innovations that benefit other industries. These innovations help lower production costs, enhance efficiency, and facilitate the broader adoption of clean energy systems (World Economic Forum [WEF], 2020).

Public Health Improvements

Reducing fossil fuel consumption also decreases air pollution, which leads to substantial public health benefits, including lower rates of respiratory diseases, decreased healthcare costs, and improved overall quality of life. Many studies have highlighted the link between transitioning to clean energy and significant gains in population health (World Health Organization [WHO], 2018).

Sustainable Resource Management

A low-carbon economy promotes the efficient use of resources by emphasizing circular economy principles and green infrastructure. This approach not only reduces emissions but also protects water, waste, and biodiversity, ultimately contributing to long-term environmental sustainability (UNEP, 2023b).

Alignment with Global Sustainable Development Goals (SDGs)

Implementing low-carbon strategies increases countries' progress in multiple SDGs, including those related to clean energy (SDG 7), sustainable cities (SDG 11), responsible consumption and production (SDG 12), and climate action (SDG 13). By doing so, nations can foster inclusive growth, reduce inequalities, and strengthen their climate resilience (United Nations, 2015).

Through these benefits, a low-carbon economy goes beyond carbon emissions and forms a holistic framework that integrates economic growth, social welfare, and environmental preservation. As global consensus grows around the urgency of climate action, many countries recognize that

transitioning to a low-carbon model not only mitigates climate risks but also unlocks significant opportunities for sustainable development, innovation, and prosperity.

Global Investments in the Low-Carbon Economy

In 2024, global energy transition technologies investment recorded nearly USD 2.1 trillion, a significant milestone in the ongoing shift toward sustainable energy systems. Although investment in this sector has more than doubled since 2020, reflecting accelerated growth over the past decade, the pace of expansion slowed in 2024, with a reduction in growth of 11% compared to the 24-29 % annual growth rates observed in the preceding three years.

The investment landscape is dominated by three main sectors, collectively accounting for 90% of total spending in 2024: electrified transport (USD 757 billion), renewable energy (USD 728 billion), and power grids (USD 390 billion). Each of these sectors has achieved record investment levels. Electrified transport experienced 20% growth despite concerns about potential slowdowns in electric vehicle adoption. Power grids increased by 15%, and renewable energy increased by 8%.

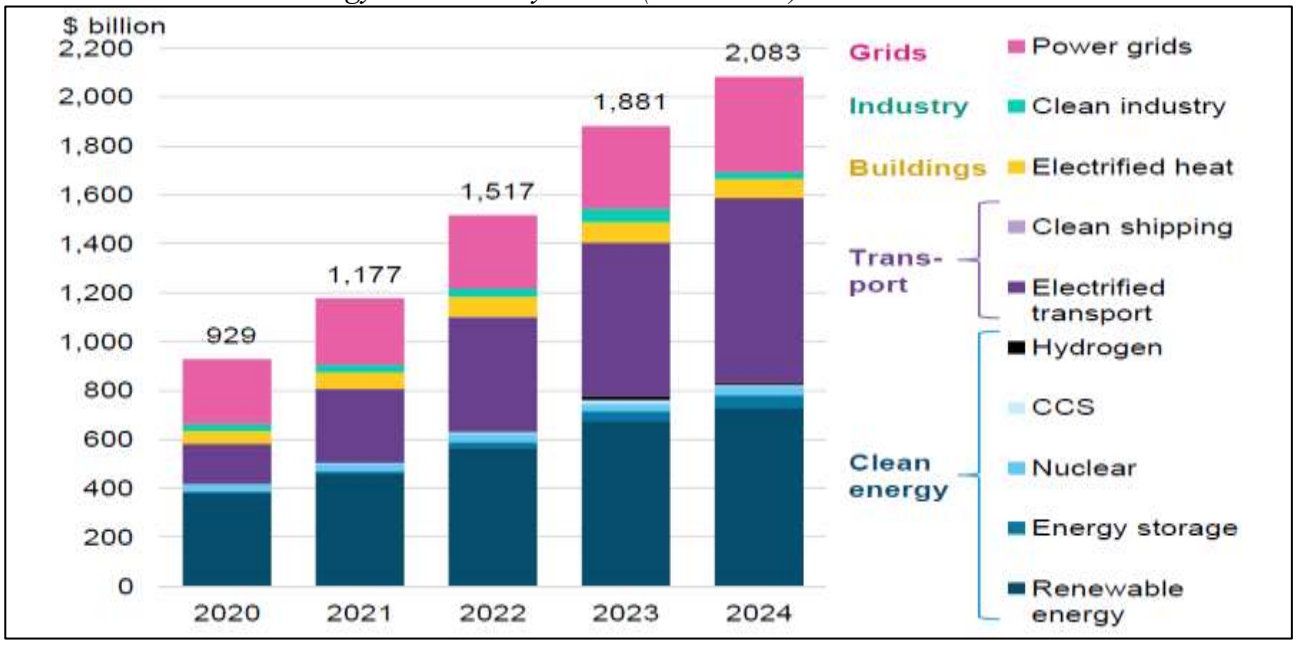
Energy storage also showed remarkable growth, with a 36% increase in investment, bringing the total to USD 53.9 billion. Clean shipping, which tracks expenditure on zero-emission-capable vessels, saw a fourfold increase to USD 452 million, although this growth came from a relatively small base.

In contrast, other sectors will face mixed outcomes in 2024. Nuclear energy investment remained steady at USD 34.2 billion, while electrified heat declined by 5.2% to USD 77 billion. Carbon capture and storage (CCS) and clean industry investments halved, falling to USD 6.1 billion and USD 27.8 billion, respectively. Hydrogen investment also experienced a significant decline, dropping by 42% to USD 8.4 billion.

These trends underscore the uneven progress across different energy transition sectors. Electrified transport, renewable energy, and power grids continue to drive most of the global investment, whereas other areas face challenges in maintaining momentum. (Bloomberg NEF, 2025) (see Figure 1)

Figure 1

Global investments in energy transition by sector (2020-2024)



Source: (Bloomberg NEF, 2025).

In 2024, Mainland China, frequently identified as a developing economy, significantly increased its lead in energy transition investments, committing USD 818 billion to the sector. This amount is more than double the investments in other economies, solidifying China's dominant position in global energy transition efforts. When standardized for gross domestic product (GDP), China's investment totaled 4.5% of its economic output, far exceeding the EU-27 with a record of 2.0%, the United States with a record of 1.2%, and other major developed countries. This underscores China's outsized commitment to advancing its energy transition agenda, relative to its economic scale.

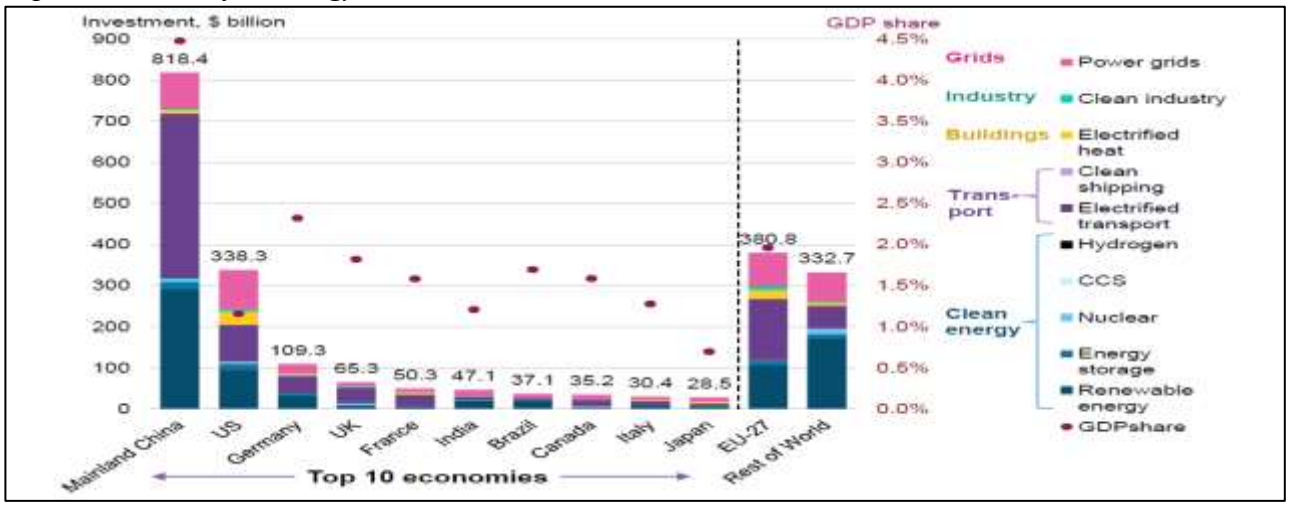
The United States remains the second-largest country in energy transition investment among developed economies, allocating USD 338 billion in 2024. Germany was recorded as the third-largest country in the world, with a record of USD 109 billion, equivalent to 2.3% of its GDP. Despite these high standards, both the United Kingdom and France, which are developed countries, experienced a decline in renewable energy investments.

The top 10 countries are developed and developing economies. India, which is classified as a developing country, is recorded as the sixth largest investor, driven by strong advancements in renewable energy, electric vehicles, and energy storage. Another developing economy, Brazil, was the seventh largest investor, while Canada, a developed country, entered the top 10 list for the first time, replacing Spain. Italy and Japan, both developed nations, rounded out the top 10 countries with slight decreases in their 2024 investments.

The EU-27, which consists of several developed nations, ranks second globally, having invested USD 381 billion in 2024. However, figure (2) shows a 6.5% decline compared to the previous year, signaling challenges in sustaining momentum across the region. These trends underscore the varying commitment levels among developed and developing economies to advance the global energy transition. Notably, China continues to outstrip its peers in absolute and relative terms (Bloomberg, 2025).

Figure 2

*Top 10 countries for energy transition investments in 2022**



*Last data available in 2022

Source: (Bloomberg NEF, 2025).

The Reality of Renewable Energy Worldwide

The renewable energy sector is the most important in a low-carbon economy. Its primary advantage is its ability to produce lower emissions than traditional fossil fuels. Moreover, remarkable advancements in renewable energy production technology have led to a substantial decrease in the cost of electrical energy generated from renewable energy sources. This cost reduction has supported

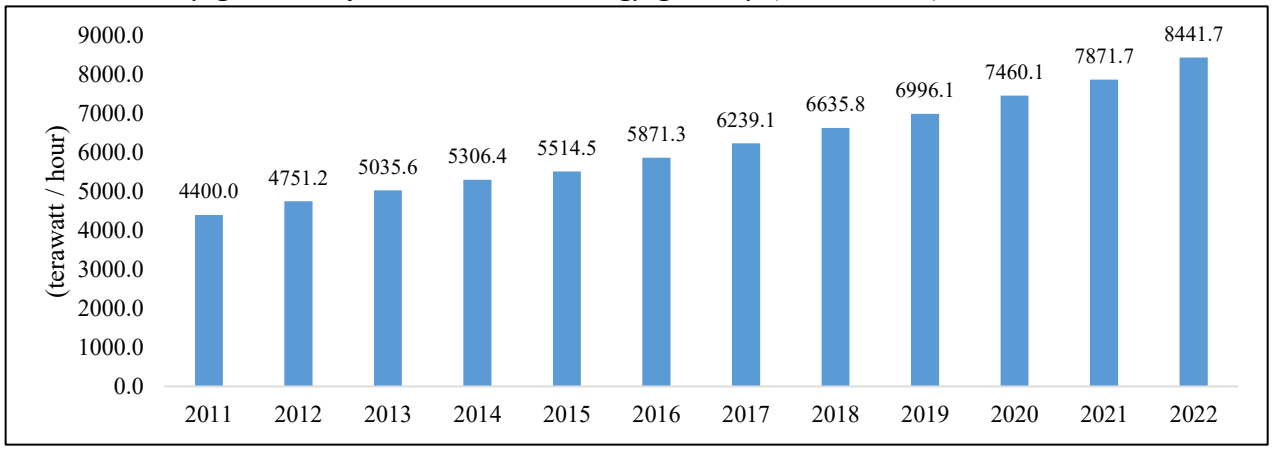
the competitiveness of renewable energy against fossil fuels, positioning it as a viable and environmentally friendly option, as shown in figure (3).

Global Renewable Electricity Generation

Figure (3) shows a consistent upward trend in generating electrical energy from renewable sources. In 2022, it recorded an impressive 8441.7 terawatt-hours, a significant increase from the 4400 terawatt-hours recorded in 2011.

Figure 3

*Total electricity generated from renewable energy globally (2011 - 2022)**



*Last data available in 2022

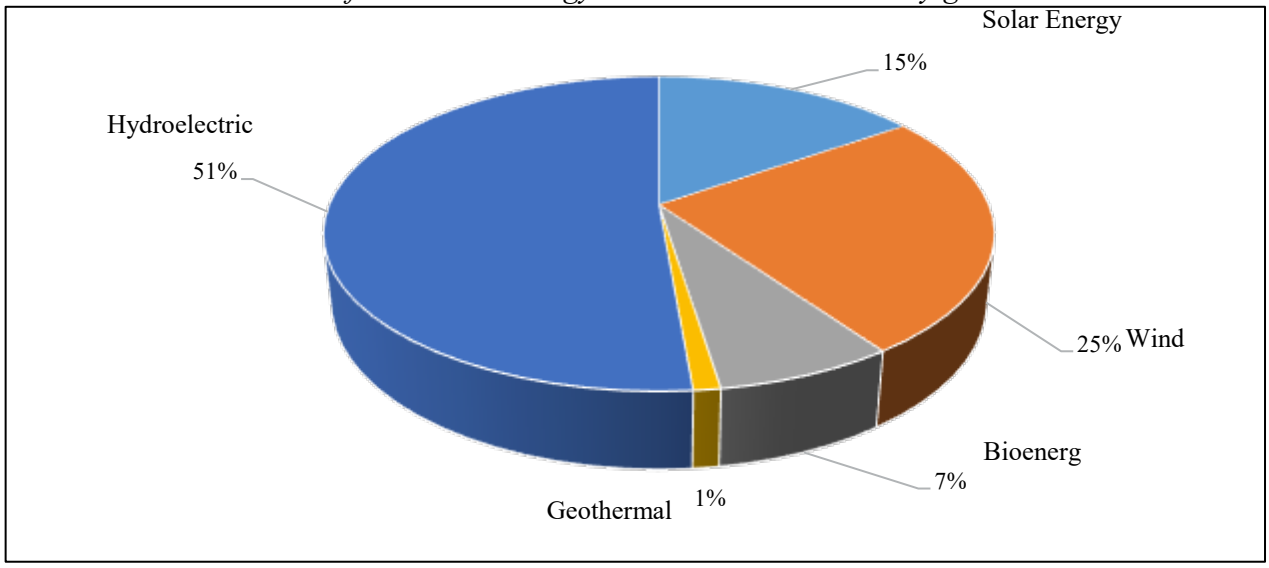
Source: (International Renewable Energy Agency, 2025a).

Relative Distribution of Renewable Energy Sources (In Terms of Total Electrical Energy Generated in 2022)

Figure (4) reveals that hydroelectric power holds the top position in the total electrical energy generated from renewable energy sources, followed by wind and solar energy.

Figure 4

*The relative contribution of renewable energy sources to total electricity generation in 2022**



*Last data available in 2022

Source: (International Renewable Energy Agency, 2025a).

Global Production Costs of Electrical Power Generated from Renewable Energy Sources Between 2011 and 2023

Table (2) reveals that solar photovoltaic energy generation leads the way in terms of reducing production costs in 2023 compared to 2011, followed by concentrated solar power and onshore wind.

Table 2

*Production cost of electrical power from renewable energy sources globally in 2011 and 2023**

RENEWABLE SOURCE	2011 (USD/KWH)	2023 (USD/KWH)	CHANGE PERCENTAGE (%)
SOLAR PHOTOVOLTAIC	0.343	0.044	-87.2
CONCENTRATED SOLAR POWER	0.381	0.117	-69.3
ONSHORE WIND	0.106	0.033	-68.9
OFFSHORE WIND	0.212	0.075	-64.6
GEOTHERMAL	0.093	0.071	-23.7
BIOENERGY	0.081	0.072	-11.1
HYDROPOWER	0.041	0.057	39

* Last data available in 2022

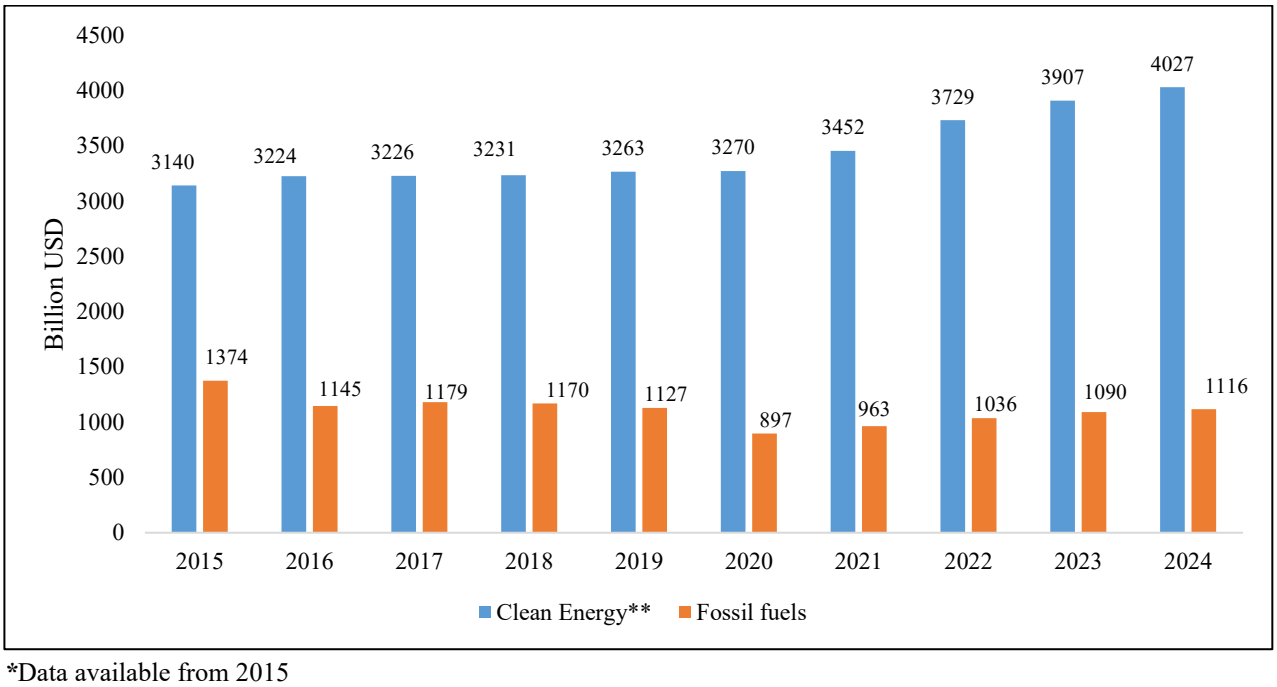
Source: (International Renewable Energy Agency, 2025b).

The Volume of Global Investments in Fossil Fuels and Clean Energy

Figure (5) shows an increase in global investments in clean energy, with a recorded percentage of 28.2% between 2015 and 2024. However, global investment in fossil fuels decreased by 18.8% during the same period.

Figure 5

Global investment in clean energy and fossil fuels (2015 – 2024)*



*Data available from 2015

**Clean energy includes (low emissions fuels, nuclear and other clean power, energy efficiency, grids and storage, renewable power).

Source: (International Energy Agency, 2024).

The Climate Finance Gap

The Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), released in 2023, provides a comprehensive overview of current climate science and its impacts. It showed that human activities, such as burning fossil fuels, changes in land-use, and processes of producing goods are the primary drivers of climate change. The report mentioned that global surface temperatures will exceed 1.5°C above pre-industrial levels in nearly all scenarios between 2030 and 2035. Global temperatures temporarily breached this edge by 2024 (IPCC, 2024), underscoring the urgent need for immediate and sustained action to curtail greenhouse gas (GHG) emissions across all sectors of the global economy.

The global ambition toward reducing this gap came up with the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) at the Conference of the Parties (COP). During COP21 in Paris, the parties supported the global goal of maintaining a temperature below 2°C with efforts to pursue a more ambitious target of 1.5°C, recognizing the importance of climate finance in reaching these targets (UNFCCC, 2015). Additionally, COPs, including COP26 in Glasgow and COP27 in Sharm El-Sheikh, confirmed the importance of increasing financing for mitigation and adaptation efforts. However, the annual investments required for the stability of global temperatures still reach trillions, far from the current levels of finance.

COP negotiations have highlighted that the current level of global investment in climate-related initiatives is very low, which causes a substantial financing gap that stands in the way of progress toward meeting climate targets. Reducing this gap requires mobilizing public and private finance through effective policy frameworks and innovative financial instruments. International cooperation, particularly in developing countries, is one of the most important ways to face financial challenges in areas such as mitigation, adaptation, and resilience. Securing sustainable funding not only advances climate action but also contributes to the UN Sustainable Development Goals (SDGs) and supports social equity (World Economic Forum [WEF] 2025).

The Climate Finance Gap in Numbers

The climate finance gap remains a major obstacle in achieving global climate objectives. According to the Climate Policy Initiative (CPI), annual climate finance requirements are raised to reach USD 9 trillion by 2030 and more than USD 10 trillion per year from 2031 to 2050 (Climate Policy Initiative [CPI], 2023). This highlights the rising demand for investment driven by the need to decarbonize major economic sectors and support climate resilience.

Mitigation Finance: Required vs. Actual

Required: Mitigation finance alone must exceed USD 8.4 trillion annually by 2030 (Allen & Overy & CPI, 2023).

Actual: The world invested only USD 1.2 trillion in mitigation during 2021/2022, a more than 85% shortfall from the required annual level.

This gap is mostly in emerging economies and low-income nations, where high capital costs and limited policy support reduce private-sector funding. Despite their more efficient and stronger financial markets, many developed nations face obstacles to the investment needed for emission reductions in sectors such as industry, transportation, and energy.

Adaptation Finance: Growing, But Insufficient

Global financing reached a record USD 63 billion in 2021–2022, with a nearly 29% increase from USD 49 billion in 2019–2020 (CPI, 2023). A large majority (98%) of this funding is issued from public sources, with Development Finance Institutions (DFIs) accounting for 86%. While these figures reflect a positive impact, they are still far from reducing the annual adaptation finance gap of

USD 215–387 billion, primarily affecting developing countries (United Nations Environment Programme [UNEP], 2023a). In addition, UNEP (2023a) estimates that developing nations collectively need 10–18 times the current global public finance dedicated to adaptation.

Developed vs. Developing Countries

Developing countries face annual funding requirements exceeding USD 2.4 trillion by 2030 (United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD], 2023), with USD 1 trillion urgently needed from external sources (UNCTAD, 2023), depending heavily on DFIs, loans, and grants, because of high-risk profiles and limited fiscal space. They also face challenges in terms of the infrastructure and capacity constraints.

Developed countries have efficient financial markets and policy frameworks, but are still far away from the investment needed to meet net-zero goals. They struggle to secure sufficient funding for high-impact areas, such as industrial deep decarbonization, due to cost uncertainties and market barriers. They must mobilize USD 100 billion annually to support the climate efforts of developing countries, which is still insufficient compared to global needs.

The climate finance gap is further compounded by declines in foreign direct investment (FDI). For instance, total FDI contracted by 12% to USD 1.3 trillion in 2022, limiting the capital available for both climate and non-climate projects (UNCTAD, 2023).

The gap between required and actual investments is very large, while developed countries are not yet fully meeting their climate finance commitments, and developing nations are grappling with constrained resources. Despite the increase in adaptation financing, it remains insufficient to protect the region’s most vulnerable to climate change. On the mitigation side, the gap between the USD 8.4 trillion needed and USD 1.2 trillion invested shows the real size of the challenge. Addressing these deficits demands coordinated global efforts, including public funding, blended finance arrangements, and policy reforms, to reduce the risk of low-carbon investments in the Global North and South.

The Main Sector Requires Decarbonization to Achieve Low-Carbon Economy Goals

Decarbonizing the main sectors, such as transport, energy, buildings, industry, and agriculture, is important for achieving global climate objectives. However, achieving these goals requires substantial financial investment and strategic innovation, as highlighted in table (3).

While all the main sectors of the global economy require attention regarding decarbonization efforts, the challenges they face are complex. For example, the high cost of the transport sector's electric vehicle (EV) infrastructure is a significant challenge. Similarly, the energy sector requires substantial capital to transition into renewable energy sources. While substantial capital investments are important, strong policies, innovative technologies, and equitable approaches that ensure that the benefits of decarbonization are broadly shared are equally important.

Blended finance plays an important role in mitigating investment risks, particularly in emerging markets and developing economies (EMDEs) and least developed countries (LDCs). Moreover, policy instruments, such as quantity- and price-incentive-based market instruments, can stimulate low-carbon innovation investment in developed and large emerging economies.

Table 3

Total investment required in every sector to achieve low-carbon economy goals (2030 – 2050)

Sector	Actual Investment	Annual Investment By 2030	Annual Investment By 2050	Financing Gap Until 2050
Transport	USD 95.9 billion (2019 – 2020)	USD 2.5 trillion	USD 3.2 trillion	USD 3.1 trillion
Energy	USD 1.74 trillion (2023)	USD 4.5 – 5.7 trillion	USD 125 trillion	USD 123.3 trillion
Building & Infrastructure	USD 14.2 billion (2019 - 2020)	USD 731 billion		USD 716.8 billion
Industrial	USD 10.2 billion (2019 – 2020)	USD 320 – 540 billion		USD 309.8 – 529.8 billion
Agriculture, Forestry, And Other Land Use	USD 6.5 billion (2021 – 2022)	USD 130 billion	-	USD 123.5 billion

Source: (World Economic Forum, 2025).

Transport Sector

The transition to low-carbon transportation demands a large investment, estimated at USD 2.5 trillion annually by 2030 and rising to USD 3.2 trillion by 2050. One of the key areas of low-carbon transportation is electric vehicles (EVs), EV infrastructure, and alternative fuels. However, high upfront costs pose significant challenges, especially in emerging markets with limited disposable income. Blended finance, which combines public and private capital, can help mitigate investment risks and fund essential technologies, such as high-frequency chargers and hydrogen refueling infrastructure.

Ensuring that low-income countries have access to affordable low-emission transport options is crucial. Policies such as subsidies for EVs and green public transport systems are essential for achieving an inclusive transition. Additionally, creating supportive regulatory environments, offering financial incentives, and investing in infrastructure can drive private sector investments and make low-carbon transport compete with high-carbon alternatives.

Public policies should promote green innovation through emission standards, tax incentives, and infrastructure development. Consumer behavior, efficient urban planning, and digitization can also play important roles in reducing emissions and achieving sustainable transport systems. (World Economic Forum, 2025)

Energy Sector

To achieve the Paris Agreement goals for the energy sector, the world requires an estimated USD 125 trillion by 2050, with annual investments of USD 4.5 - 5.7 trillion by 2030. Despite global clean energy investments in 2023 recorded USD 1.74 trillion, this is still very far from the USD 2.7 trillion required to meet climate targets. Also, USD 1.05 trillion was invested in new fossil fuel projects, highlighting the importance of shifting towards renewable energy sources.

To expedite this transformative transition, policymakers should prioritize energy conservation, eliminate fossil fuel subsidies, implement carbon pricing mechanisms, and mandate the use of renewable energy. These measures can promote consumer adoption of clean technologies, such as electric vehicles (EVs) and solar panels, contributing to the decarbonization of the energy sector and reduction of greenhouse gas emissions.

The benefits of decarbonization extend beyond environmental gains, improved air quality, enhanced energy security, and long-term environmental sustainability. A comprehensive approach that includes technological advancements, international collaboration, and public engagement is essential to achieve these objectives. Policymakers must ensure that their strategies are inclusive and consider the needs of vulnerable populations (World Economic Forum, 2025).

Buildings and Infrastructure

Decarbonizing the building sector is important for achieving global climate goals, which require an estimated USD 731 billion in annual investments by 2050. These investments should prioritize enhancing energy efficiency, retrofitting existing structures, and integrating renewable energy sources. The sector's substantial energy consumption, especially for heating and cooling, significantly contributes to greenhouse gas emissions.

However, the financial viability of decarbonizing buildings poses a challenge that requires innovative financing mechanisms to mitigate project risks. Policy changes such as updated building codes and energy performance standards can boost the demand for energy-efficient buildings and attract investment. Carbon pricing and incentives for renewable energy technologies, such as tax credits for solar panels and heat pumps, can further promote their adoption.

Emerging markets and developing economies (EMDEs) and least developed countries (LDCs) face many challenges, including financial and technological barriers and weak enforcement of building codes. Public awareness campaigns can play a crucial role in promoting the adoption of energy-efficient appliances and renewable technologies. Additionally, multilateral development banks (MDBs) support is essential to overcome cost barriers, provide technical assistance in developing building codes, and attract private investment. Fair solutions should prioritize addressing the socio-economic realities in these regions, as outlined by the World Economic Forum (2025).

Industrial Sector

Decarbonizing the industrial sector requires an estimated annual investment of USD 320 to 540 billion by 2050. This huge investment is essential for deploying advanced technologies and optimizing processes in high-emission industries, such as aluminum, cement, steel, chemicals, and shipping. Key strategies for decarbonization include carbon capture, utilization, and storage (CCUS); green hydrogen production; energy efficiency measures; and reducing the demand for high-emission materials.

Blended finance is important in mobilizing capital for industrial decarbonization, especially in countries with underdeveloped financial systems. By collaborating with the public sector, blended financing can reduce the risk of investments, making them more attractive to the private sector. Policy frameworks, such as carbon pricing, energy efficiency standards, and renewable energy mandates, can serve as incentives for adopting low-carbon technologies and encourage long-term investment.

Although technologies such as CCUS and green hydrogen hold promise, they face significant challenges, including high costs and technological immaturity. Governments, such as the UK that invest in CCUS, can be crucial in attracting private sector investments. However, challenges are likely to occur more in emerging markets and developing economies (EMDEs) and least developed countries (LDCs), where limited infrastructure and capacity face obstacles. A comprehensive approach involving substantial investment, strong policy support, and international cooperation is essential to overcome these barriers (World Economic Forum, 2025).

Agriculture, Forestry, and Other Land Use

The agriculture, forestry, and other land use (AFOLU) sector, which accounts for approximately 22% of global greenhouse gas (GHG) emissions, has significant potential for mitigating climate change through practices such as reforestation, afforestation, and improved land management that enhance carbon sequestration. However, achieving decarbonization in this sector demands an estimated USD 130 billion annually by 2030, much higher than current investment levels.

Financial constraints and regulatory uncertainties increase funding challenges in emerging markets and developing economies (EMDEs). Hybrid finance mechanisms such as concessional loans and guarantees can effectively reduce the risk of investments and attract private capital. Additionally, policy tools such as carbon pricing, emission trading schemes, and certification schemes can serve as incentives for adopting sustainable practices and low-carbon technologies.

Technological advancements, including precision agriculture, genetically modified crops, and remote sensing for forestry, have the potential to reduce emissions and optimize carbon sequestration. Additionally, aligning agricultural and land-use policies with climate objectives is important to achieve long-term sustainability and ensure food security. Community engagement and integration of traditional knowledge into modern land management practices can enhance the effectiveness of these strategies (World Economic Forum, 2025).

Factors Driving the Climate Finance Gap

Despite the importance of facing climate change, significant gaps exist between global climate finance needs and actual investment. While developed countries have pledged substantial funds and some progress has been made in mobilizing resources, many developing economies continue to struggle with funding gaps, limited institutional capacity, and high-risk investment environments. This highlights the climate finance challenge, driven by many financial barriers and technological, institutional, and policy-related obstacles on the way of large-scale mitigation and adaptation efforts. The following sections detail these barriers and illustrate how they shape the climate finance landscape for both developed and developing countries.

Public vs. Private Sector Financing

Developed countries have fulfilled their pledge to mobilize USD 100 billion in 2022 (Allen & Overy & Climate Policy Initiative [CPI], 2023). However, this amount remains far below what is required to address the extensive mitigation and adaptation needs of middle- and low-income countries. In many instances, limited government budgets and competing socio-economic priorities stand in the way of public funding for climate-related projects, highlighting the necessity of private sector involvement (OECD, 2023). However, private investors frequently hesitate to commit capital because of the high risk, policy uncertainty, and limited institutional support (Climate Policy Initiative [CPI], 2023; International Energy Agency [IEA], 2021a).

Developed vs. Developing Countries

Developed Countries. Although industrialized nations generally have stronger financial markets and policy frameworks, they still struggle to secure sufficient resources for high-impact areas such as industrial deep decarbonization and energy infrastructure. The climate pledge to provide USD 100 billion annually was only recently approached, reflecting a gap between stated commitments and actual capital flows (Allen, Overy, & CPI, 2023). Moreover, some developed countries experience political and regulatory fluctuations that reduce policy certainty and lead to large-scale private investments (OECD, 2023).

Developing Countries. Developing and emerging economies face several additional challenges, such as weaker institutional capacity, higher imagined risk, and more fiscal limitations (UNCTAD, 2023). Although many have broad Nationally Determined Contributions (NDCs), they often lack detailed energy transition strategies or supportive regulatory frameworks to attract stable, long-term private-sector engagement. Funding deficits, combined with unsatisfactory developmental needs, significantly limit their ability to finance strong mitigation and adaptation measures (United Nations Environment Programme [UNEP], 2023b).

Financial and Investment Barriers

key financial barriers include short-term investor focus, high capital costs, and the absence of predictable returns, making climate projects less attractive under the umbrella of conventional risk–return analyses (CPI, 2023; OECD, 2023). Private investors demand higher rates of return on climate projects, especially in emerging markets (IEA, 2021a). Additionally, donor organizations and multilateral development banks often face difficulties funding climate projects that lack strong feasibility studies or business plans (UNCTAD, 2023; UNEP, 2023a).

Technological and Innovation Gaps

Developing countries frequently need advanced technologies, such as renewable energy systems and climate-resilient agriculture, to meet their NDC goals. However, the high cost and intellectual property constraints of novel or unproven solutions stand in the way these technologies are adopted (CPI, 2023).

Institutional and Policy Constraints

Stable and predictable policies are essential for reducing the risk of climate change. Unfortunately, institutional weaknesses, such as a lack of regulatory clarity, governance challenges, and frequent policy reversals, reduce investor confidence (IEA, 2021a). Even where NDCs are in place, uncertainty in national plans stops large-scale private engagement (OECD 2023). In some emerging and frontier markets, political volatility and corruption concerns increase these institutional barriers, further restricting the flow of climate finance to otherwise high-impact sectors (Allen & Overy & CPI, 2023).

Project Pipeline and Technical Capacity

The shortage of “bankable” climate projects is a major obstacle to investment. Many proposed initiatives lack essential feasibility studies, technical assessments, or clearly defined revenue models (UNCTAD, 2023; UNEP, 2023a). Without such groundwork, even donor agencies committed to financing climate actions find it challenging to allocate funds. Limited technical expertise to design and implement complex climate projects also stands in the way of effective deployment, especially in low-income and small-island developing states.

Fragmentation and Lack of Standardization

Fragmentation within the global financial system, driven by geopolitical constraints and low coordination among funding sources, creates inefficiencies, resulting in underinvestment, especially in the developing world (CPI 2023). The absence of standardized metrics and methodologies for measuring and reporting climate finance adds further unpredictability (UNEP 2023a). As a result, investors face difficulties in assessing project risks and returns, thereby limiting private capital’s involvement in large-scale, high-risk mitigation or adaptation projects.

Conclusion

The transition to a low-carbon economy is no longer a distant dream but an urgent requirement in the face of escalating climate change and its far-reaching consequences for the environment, society, and economy. This study examined the global trends, challenges, and opportunities associated with this transformative shift, emphasizing the important role of renewable energy, electrified

transportation, and power grids in driving away from traditional carbon systems. Despite substantial investments in low-carbon technologies, recorded at nearly USD 2.1 trillion in 2024, the gap is still huge, especially in financing, policy frameworks, and technological advancements. Developing countries face significant obstacles in mobilizing the resources necessary to meet global climate targets.

This study shows the difference in progress across sectors and regions, with electrified transportation, renewable energy, and power grids leading the charge. Conversely, other areas, such as hydrogen, carbon capture and storage (CCS), and electrified heating, have made little progress. The climate finance gap remains a critical challenge, with current investments far from the USD 9 trillion annually required by 2030 to achieve global climate goals. To bridge this gap, unprecedented levels of international cooperation, innovative financing mechanisms, and strong policy frameworks are required.

The transition to a low-carbon economy presents huge opportunities for economic growth, job creation, and technological innovations. However, achieving these benefits requires a comprehensive and equitable approach that ensures no country or community remains behind. This study's findings highlight the need for coordinated action across governments, businesses, and civil society to accelerate the global energy transition and pave the way toward a sustainable and low-carbon future.

Recommendations

To address the challenges highlighted in this study and expedite the transition to a low-carbon economy, the following recommendations are proposed:

- Increasing the climate finance commitments globally, especially from developed to developing countries.
- More specifically, innovative financing models such as blended finance, green bonds, and PPPs can be used to de-risk and attract private capital in low-carbon projects.
- Promoting stable long-term policy frameworks, such as carbon pricing and energy efficiency policies, to support investor confidence.
- International collaboration should be promoted, especially in technology transfer, building capacities, and knowledge sharing.
- More research and product innovation should be invested in new clean technologies, such as green hydrogen and energy storage.
- Strengthening the MDB’s contribution to climate finance coordination and closing the gap between emerging markets and project pipelines.
- Building public awareness and promoting community engagement to accelerate the adoption of low-carbon behavior and technology.

By implementing these recommendations, the global community can reduce the climate finance gap, promote a transition to a low-carbon economy, and achieve the Paris Agreement goals. A sustainable, equitable, and resilient future is achievable, but it demands collective action, bold leadership, and commitment from all stakeholders.

Limitations and Constraints of the Study

While the study highlights the description of the climate finance gap and the policy instruments needed to support low-carbon transition, there are some limitations to be noted.

First, the study primarily relied on secondary sources, which could have a difference in data reporting and methodological variation between the institutions.

Second, the study is more focused on global and new marketplace trends, which do not necessarily depend on region-based information or national studies.

These limitations highlight the need for real-time data and context studies to guide policy actions.

Future Research Directions

Future research must further the results of the current study by exploring the following areas:

- Establishing strong methodologies for tracking private sector climate finance flows, particularly in emerging and developing economies.
- Conducting comparative studies on blended finance to reduce risk in different national and sectoral sectors
- Studying the socio-economic implications of climate finance implementation to achieve equitable transitions, especially in vulnerable societies.

Implications for Implementation

Efficient use of the present study's findings also requires efforts across different levels of government and stakeholders.

- National governments must adapt climate finance to long-term policy discussions and establish enabling regulatory frameworks.
- International organizations and development banks must take the lead in designing blended finance models that can be developed and deliver technical assistance to underserved nations.
- Private-sector entities should be encouraged to align their portfolios with low-carbon transitions by sharing risk mechanisms and reporting formats.

Success will depend not only on policy design but also on political will, institutional capacities, and trust among various actors worldwide.

References

Allen & Overy, & Climate Policy Initiative. (2023). How big is the net zero financing gap? https://www.climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2023/09/How-big-is-the-Net-Zero-financing-gap-2023.pdf .

Bataille, C., Åhman, M., Neuhoff, K., Nilsson, L., Fischedick, M., Lechtenböhmer, S., ... & Rahbar, S. (2018). A review of technology and policy deep decarbonization pathway options for making energy-intensive industry production consistent with the Paris Agreement. Journal of Cleaner Production, 187, 960–973. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.107.

BloombergNEF. (2025). *Energy transition investment trends 2025.* Energy Transition Investment Trends | BloombergNEF.

Climate Policy Initiative. (2023). *Global landscape of climate finance 2023.* https://www.climatepolicyinitiative.org/publication/global-landscape-of-climate-finance-2023/.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2024). *IPCC Chair's remarks at the High-Level Ministerial Roundtable on Pre-2030 Ambition, COP29, Baku, Azerbaijan.* https://www.ipcc.ch/2024/11/18/ipcc-chairs-cop29-high-level-ministerial-roundtable-pre-2030-ambition.

International Energy Agency (IEA). (2021a). *Financing clean energy transitions in emerging and developing economies.* https://www.iea.org/reports/financing-clean-energy-transitions-in-emerging-and-developing-economies.

International Energy Agency (IEA). (2021b). *Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector.* https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050.

International Energy Agency (IEA). (2024). *World energy investment 2024.* https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2024.

International Energy Agency (IEA). (2025). *Total CO_2 emissions 2025.* https://www.iea.org/data-and-statistics.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2025a). *Electricity generation statistics 2025.* https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Technologies.

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2025b). *Global trends: Statistics 2025.* https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Costs/Global-Trends.

Macquarie University. (2019). *What is a low-carbon economy?* https://lighthouse.mq.edu.au/article/please-explain/march-2019/what-is-a-low-carbon-ecomony.

McCollum, D., Zhou, W., Bertram, C., De Boer, H.-S., Bosetti, V., Busch, S., ... & Tavoni, M. (2018). Energy investment needs for fulfilling the Paris Agreement and achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Energy, 3*(7), 589–599. https://doi.org/10.1038/s41560-018-0179-z.

McKinsey & Company. (2021). *The net-zero transition: What it would cost, what it could bring.* https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/the-net-zero-transition-what-it-would-cost-what-it-could-bring.

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). (2020). *Developing sustainable finance definitions and taxonomies.* Developing Sustainable Finance Definitions and Taxonomies | OECD.

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). (2023). *Scaling up the mobilisation of private finance for climate action in developing countries: Challenges and opportunities for international providers.* OECD Economic Outlook, Volume 2023 Issue 1 | OECD.

Stern, N. (2006). *The economics of climate change: The Stern review.* Cambridge University Press.

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). (2023). *World investment report: Investing in sustainable energy for all.* https://unctad.org/publication/world-investment-report-2023.

United Nations Environment Programme Finance Initiative (UNEP FI). (2021). *Rethinking impact to finance the SDGs.* https://www.unepfi.org/publications/rethinking-impact-to-finance-the-sdgs/.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2021). *Biennial assessment and overview of climate finance flows.* https://unfccc.int/topics/climate-finance/resources/biennial-assessment-of-climate-finance.
United Nations Environment Programme. (2025). *The sectoral solution to climate change.* The Sectoral Solution to Climate Change.
United Nations Environment Programme. (2023a). *Adaptation gap report 2023: Underfinanced. Underprepared.* https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2023.
United Nations Environment Programme. (2023b). *Emissions gap report 2023: Broken record – Temperatures hit new highs, yet the world fails to cut emissions (again).* https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2023.
United Nations Environment Programme. (2025). *Green Economy*. Green Economy | UNEP - UN Environment Programme.
United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). *Adoption of the Paris Agreement (COP21) [FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1].* https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf.
United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.* https://sdgs.un.org/2030agenda.
United States Environmental Protection Agency (EPA). (2025). *Carbon monoxide's impact on indoor air quality.* https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/carbon-monoxides-impact-indoor-air-quality.
World Bank. (2021). *Decarbonizing cities by improving public transport and managing land use and traffic.* TDI-paper-Decarbonizing-Cities-by-Improving-Public-Transport-and-Managing-Land-Use-and-Traffic-October-2021.pdf.
World Economic Forum (WEF). (2020). *The green investment report: The ways and means to unlock private finance for green growth* *WEF_GreenInvestment_Report_2013.pdf*
World Economic Forum. (2025). *Bridging the gap: How to finance the net-zero transition.* https://www.weforum.org/reports/bridging-the-gap-how-to-finance-the-net-zero-transition.

World Health Organization (WHO). (2018). *Air pollution and child health: Prescribing clean air.* https://www.who.int/publications/i/item/air-pollution-and-child-health.

List of Abbreviations

AFOLU	Agriculture, Forestry, and Other Land Uses
CCS	Carbon capture and storage
CCUS	Carbon Capture, Utilization, and Storage
CO_2 emissions	Carbon Dioxide Emissions
COP	Conference of the Parties
EMDs	Emerging Market and Developing Economies
EV	Electric Vehicle
FDI	Foreign Direct Investment
GDP	Gross Domestic Product
GHG	Green House Gas
LDCs	Least developed countries
MDBs	Multilateral Development Banks
SDGs	Sustainable Development Goals

المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر - مجلد 4 - العدد (3) - يوليو 2025
ISSN: Print: 2812 - 4758 , Online: 2812 - 4766
تصدر عن مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

المسارات العالمية نحو اقتصاد منخفض الكربون: الاتجاهات والتحديات والفرص

المستخلص

في هذه الدراسة، يجري استقصاء التحول العالمي نحو اقتصاد منخفض الكربون، مع تركيز خاص على الفجوة التمويلية اللازمة لدعم إزالة الكربون في القطاعات الاقتصادية الحيوية. وتعتمد الدراسة منهجية نوعية من خلال تحليل الوثائق والتحليل الموضوعي للأبحاث والتقارير والدراسات الدولية، لتقييم الاستراتيجيات والتحديات على المستوى العالمي. ويغطي النطاق المكاني كلا من الدول المتقدمة والنامية، فيما يمتد النطاق الزمني من أوائل العقد الأول من الألفية الثالثة وصولًا إلى التوقعات المستقبلية لعام 2050. كما يناقش مدى تقدم الدول نحو تحقيق انبعاثات كربونية صفرية والعوائق المالية التي تعترض سبيلها. وتُظهر الدراسة أنه على الرغم من تزايد أهمية المناخ العالمي، فإن التدفقات المالية لا تزال غير فعالة وغير موزعة بالتساوي. وتخلص الدراسة إلى أن السبيل الوحيد للوصول بفاعلية إلى اقتصاد منخفض الكربون هو تطبيق استراتيجيات لتقليص فجوة التمويل، وزيادة التعاون الدولي، ودعم نماذج التمويل المختلط، وتطبيق سياسات تكيفية. وينبغي للدراسات المستقبلية أن تركز على تصميم نماذج ديناميكية، كما ينبغي لها أن تركز على أطر الاستثمار الخاصة بكل منطقة وأدوات تقييم الأثر لمواءمة تدفقات رأس المال مع الطلب المتزايد على العمل المناخي بطريقة أكثر كفاءة.

الكلمات الدالة: الاقتصاد منخفض الكربون، فجوة تمويل المناخ، إزالة الكربون، الاستثمارات الخضراء، التحول في مجال الطاقة

The International Journal of Public Policies In Egypt- Volume 4, Issue 3 (July 2025)
ISSN: Print: 2812-4758, Online: 2812- 4766
Published by IDSC

The Impact of Green Supply Chain Management on Enhancing Mental Image: Empirical Case Study of Ain Shams Specialized Hospital

Marwa Sayed Mohamed Hussein

Lecturer at Business Administration Department, Modern Academy for Computer Science and Management Technology, Maadi, Egypt
marwas14@yahoo.com

أثر سلسلة الامداد الخضراء على تحسين الصورة الذهنية: دراسة حالة تطبيقية على مستشفى عين شمس التخصصي

مروى سيد محمد حسين

مدرس بقسم إدارة الاعمال، الأكاديمية الحديثة لعلوم الكمبيوتر وتكنولوجيا الإدارة، المعادي، مصر
marwas14@yahoo.com

- **DOI: 10.21608/ijppe.2025.443495** **URL: http://doi.org/ 10.21608/ijppe.2025.443495**
- Received: 15/11/2024, Accepted: 19/03/2025
- Citation: Hussein, M. (2025). The of green supply chain management on enhancing mental image: Empirical case study of Ain Shams University Specialized Hospital. The International Journal of Public Policies in Egypt, 4(3), 146-172.

The International Journal of Public Policies In Egypt, Volume 4, Issue 3 (July 2025) Marwa Sayed Mohamed Hussein
ISSN: Print: 2812-4758, Online: 2812- 4766
Published by IDSC

The Impact of Green Supply Chain Management on Enhancing Mental Image: Empirical Case Study of Ain Shams Specialized Hospital

Abstract

Green management has emerged as a modern approach integrating environmental considerations with conventional management practices. In the healthcare sector, adopting environmentally conscious strategies is increasingly essential to promote sustainability and enhance the institutional image. This study aimed at identifying key green supply chain management (GSCM) practices and examining their role in shaping the mental image of public healthcare institutions. The focus is on the Ain Shams University Hospital, one of the largest medical institutions in Egypt and the Middle East. This study employs both descriptive and analytical methodologies and combines theoretical exploration with empirical analyses. A sample of 200 hospital employees was surveyed to assess the practical application and perceived impact of the GSCM practices. The findings indicate that GSCM exerts a statistically significant and positive influence on a hospital's mental image. In particular, green purchasing, marketing, and reverse logistics were found to have the strongest effects. In light of these results, this study recommends the systematic implementation of GSCM practices across the healthcare sector to enhance institutional perception and environmental responsibility. Future research should investigate the broader array of factors necessary to facilitate the transition toward fully green hospitals.

Keywords: Green supply chain management, mental image, green environmental, green management practices, public healthcare sector

Introduction

Recently, most organizations have become more interested in environmental issues, energy savings, and pollution reduction. These organizations are willing to be environmentally friendly to meet government requirements (Panpatil & Kant, 2022). This issue has prompted organizations to develop strategies by implementing green supply chain management, which covers all functions and stages of manufacturing using environmentally friendly materials, manufacturers, packaging, distributors, logistics, warehousing, and customers. Green supply chain management is considered one of the main priorities in organizational strategies that wish to reduce their environmental impacts, as it is considered the key to their success and compatibility with environmental requirements in an era in which success has been measured. On the other hand, organizations concentrate on building a positive mental image in the stakeholders' minds, as it plays an essential role in their success (Alwan & Rajab, 2021). In addition, hospitals provide a high level of healthcare for patients and their families, generating a positive mental image of the hospital.

The importance of this research stems from the increasing interest in protecting and preserving the environment, the increasing interest in the mental image of the public health sector in Egypt, and the need to find new methods and practices to improve mental image.

Following the introduction, this study outlines the research problem and highlights its significance. A comprehensive literature review is then presented to elucidate the concept of GSCM, its core practices, and the notion of mental image within the context of healthcare institutions. Subsequently, the study details the adopted methodology, and a descriptive analysis is conducted to assess the current status of the Ain Shams Specialized Hospital. The paper concludes with key findings and practical recommendations intended to support decision makers in advancing environmentally sustainable practices within the healthcare sector.

Research Significance

In recent years, governments have increasingly prioritized enhancing healthcare services, recognizing the vital role the public healthcare sector plays in national development. The significance of this research stems from its focus on environmental responsibility within organizations and its application to one of the most critical sectors in any country, the public healthcare system.

This study seeks to advance scholarly understanding by offering new insights into the concepts and practices of GSCM. It also contributes to the academic discourse by clarifying the notion of mental image and its underlying components within the context of healthcare institutions.

On a practical level, this research investigates the impact of GSCM on enhancing the mental image of the Ain Shams Specialized Hospital. It identifies potential opportunities to improve an institution's environmental and organizational reputation. Furthermore, this study offers actionable recommendations to hospital administrators to support evidence-based decision-making and promote sustainable management practices.

Problem Statement

Public sector organizations face numerous challenges, such as the need to adopt environmental protection practices to protect the environment from harmful effects, such as pollution, and apply appropriate management practices to transform public hospitals into green public hospitals. This research sheds light on implementing green supply chain management, which is considered one of the essential management practices that protects the environment and enhances the mental image in the Egyptian public healthcare sector in general and in Ain Shams Specialized Hospital in particular.

Therefore, the core question of this study is, to what extent does green supply chain management enhance mental image when applied to the Ain Shams Specialized Hospital? The sub-questions of this study are as follows:

- What green supply chain management practices should be implemented?
- What specific green supply chain practices are currently being implemented at the Ain Shams Specialized Hospital?
- How can these practices enhance hospitals' mental image?

Research Objectives

The primary objective of this study is to identify key GSCM practices and develop a comprehensive understanding of their associated mental image. In addition, this study explores the impact of GSCM on enhancing the mental image of institutions within Egypt's public healthcare sector, with a particular focus on Ain Shams Specialized Hospital as a representative case study.

Literature Review

The literature review is divided into three main pillars. The first pillar illustrates the concept of green supply chain management and its practices, whereas the second pillar explains the concept of mental image and its components. The third pillar reviews previous research that examined the relationship between green supply chain management and mental image, and then the study introduces the research gap.

Green Supply Chain Management (GSCM)

GSCM is a contemporary technique concerned with environmental innovation that integrates environmental thinking with supply chain management. Green supply chain management can be defined in several ways. According to Srivastava (2007), green supply chain management merges environmental issues with supply chain management practices. Sundarakani et al. (2010) emphasize that green supply chain management is an integration process that includes both environmental and supply chain management practices. Younis (2016) clarified that greening must include all stages of supply chain management, while considering minimal pollution and waste. Hervani et al. (2005) defined it as the integration between the environment and green procurement, green manufacturing, marketing, and reverse logistics. In a related context, AlMufti (2023) outlines the importance of green supply chain management as:

- Achieving sustainable competitive advantage by preserving the environment, reducing pollution rates, and preserving natural resources.
- Providing green products that are safe for human health.
- Reducing costs by minimizing waste, harmful gases, and toxic fumes.
- Reducing handling and maintenance costs owing to the use of clean technologies.
- Improving the quality and efficiency of production processes using clean production techniques.
- Improving the organization's reputation.

Green Supply Chain Management Practices

Many researchers agree that there are multiple green supply chain management practices with little difference between their opinions. Yassine (2022) categorized these practices as follows: green design, green purchasing, green manufacturing, green distribution, green reverse logistics, and environmental collaboration. Ying and Li-jun (2012) concluded that green supply chain management is associated with green strategy, design, procurement, production, logistics, marketing, and recycling. Younis (2016) found that most organizations adopted four practices: green purchasing, eco-design, environmental cooperation, and reverse logistics. Zuhd (2018) and Amemba et al. (2013) presented a framework of GSCM based on eco-design, green purchasing, green manufacturing, waste management, reverse logistics, and organizational culture.

In line with the literature review, this study selected the most critical GSCM practices. These practices were quoted in several studies and can also decrease harmful effects on the organizational environment. These practices include green organizational culture, eco-design, green purchasing, green production, green marketing, and reverse logistics.

Green Organizational Culture: Green organizational culture refers to directing employees and shaping their behavior, activities, and actions to stay committed to protecting and preserving the environment. Studies conducted by Subramanian and Suresh (2023) and Murwaningsari (2023) support this concept.

Eco- Design: It focuses on environmental impacts by reducing energy consumption, raw material consumption, and environmental pollution (Younis, 2022). It encompasses all product development actions that contribute to reducing the harmful environmental impacts of a product throughout its life cycle.

Green Purchasing: It is important for organizations to choose green materials that have a less dangerous impact on the environment. The characteristics of green materials include good performance, low energy use, easy handling, easy recycling, and waste reduction (Ying & Li-jun, 2012; Panpatil & Kant, 2021).

Green Production: It is a process that uses inputs with low environmental impacts and is highly efficient in generating less pollution, leading to an improved corporate image (Saul et al., 2013).

Green Marketing. Green marketing is an organization's commitment to preserving the environment by using all marketing activities to deal with eco-friendly products to satisfy consumer and societal needs (Almufti, 2023).

Reverse Logistics. It is an important process that begins with product return for reuse, remanufacturing, and recycling. It plays a significant role in improving an organization's operational efficiency and reducing costs (Onyango et al., 2014).

Mental Image

Mental image plays a vital role in the organization's success. A positive mental image reflects stakeholders' minds, especially staff behavior and customer loyalty, which leads to improved competitive advantages for the organization (Alwan & Rajab, 2021).

The components of mental image:

1. The cognitive component consists of the knowledge and information received from the surrounding environment.
2. The affective component involves feelings and attitudes that appear through joy and anger (Ali, 2020).
3. The behavioral component is related to an individual's behavior that appears when their needs and desires are satisfied.

The importance of mental image (AL-Rhaimi, 2015):

1. The components of mental imagery and their types interact to form a positive image of an organization.
2. A positive mental image is considered the most important element that creates customer acceptance and attracts customers to deal with the organization.
3. A positive mental image can draw attention to an organization and its products or services.
4. It creates efficient dealing with the environment through a sense of emotion and ethical and social responsibility.
5. The positive mental image can improve a competitive advantage and develop sales.

The Impact of Green Supply Chain Management on Enhancing Mental Image

Many studies have examined the effects of green supply chain management in different fields. El-Sayed and Kadry (2023) aim at identifying the dimensions of GSCM and how green purchase management positively affects the quality of healthcare services. Haroun (2024) finds that green supply chain management has a significant effect on improving the quality of Egyptian pharmaceutical services. The research of Mohammad et al. (2021) had another point of view. It assesses the impact of green purchasing, eco-design, and investment recovery on the environmental performance of the manufacturing sector.

Al-Rhaimi (2015) and Awad (2017) clarify the effect of market applications on mental images in the tourism sector. Routal (2023) and Salim et al. (2021) examine the influence of banking services on the banking sector's mental image. Hashemand and Al-Rifai (2011) explain the influence of the green marketing mix on consumers' mental image by applying it to industrial

companies. Alwan and Rajab (2021) examine how the quality of hospital services can improve the mental image.

Commentary on Literature Review

By analyzing the differences and agreements found in previous research, this study focuses on clarifying the concepts of green supply chain management and mental image. Furthermore, it offers helpful information regarding the implementation of green supply chain management in various fields. Previous research has emphasized the importance of mental images, which aligns with the current research. However, previous research differs in the identification of green supply chain practices.

The Research Gap

Despite the global expansion of GSCM practices, a notable research gap remains in examining their impact on enhancing the mental image of public healthcare institutions, particularly in developing countries such as Egypt. Existing studies on GSCM predominantly focus on the industrial and manufacturing sectors (Srivastava, 2007; Zhu et al., 2008), whereas the healthcare sector, especially in the public domain, remains underexplored (Moktadir et al., 2019). Moreover, limited research has addressed how environmentally sustainable practices, such as green procurement, waste reduction, and eco-friendly logistics, affect stakeholders' perceptions and the mental image of hospitals (Tseng et al., 2019). In the Egyptian context, where public hospitals often struggle with public trust and service quality perception, integrating GSCM could play a vital role in reshaping their image; however, empirical studies in this area are scarce. This gap necessitates further investigation to determine how GSCM implementation can contribute to improving public perception and the overall reputation of Egypt’s public healthcare sector.

Therefore, this study sheds light on the most appropriate GSCM practices that can be implemented and the practices that have the greatest impact on enhancing mental image in the public healthcare sector in Egypt and Ain Shams Specialized Hospital in particular.

Research Methodology

The methodology outlines the structured framework adopted to explore the relationship between green supply chain management practices and enhancing the mental image within Egypt's public health sector.

Research Design

The research design consisted of two parts: a descriptive part in the theoretical section and a quantitative part in the applied study. Theoretically, this study used an analytical approach to define the concepts of green supply chain management and mental image. Furthermore, this research conducted an applied study on the Egyptian public health sector to investigate the correlations between green supply chain management and improving mental image.

The research set out the following hypotheses to achieve the research objectives. The main hypothesis of this research is:

H1: There is a significantly positive relationship between green supply chain management and mental image improvement.
The sub-hypotheses are:
H2: There is a significant positive relationship between green organizational culture and mental image.

H3: There is a significant positive relationship between eco-design and mental image.

H4: A significant positive relationship exists between green purchasing and mental image.

H5: Mental image and green production are substantially positively correlated.

H6: Green marketing and mental image have a positive association.

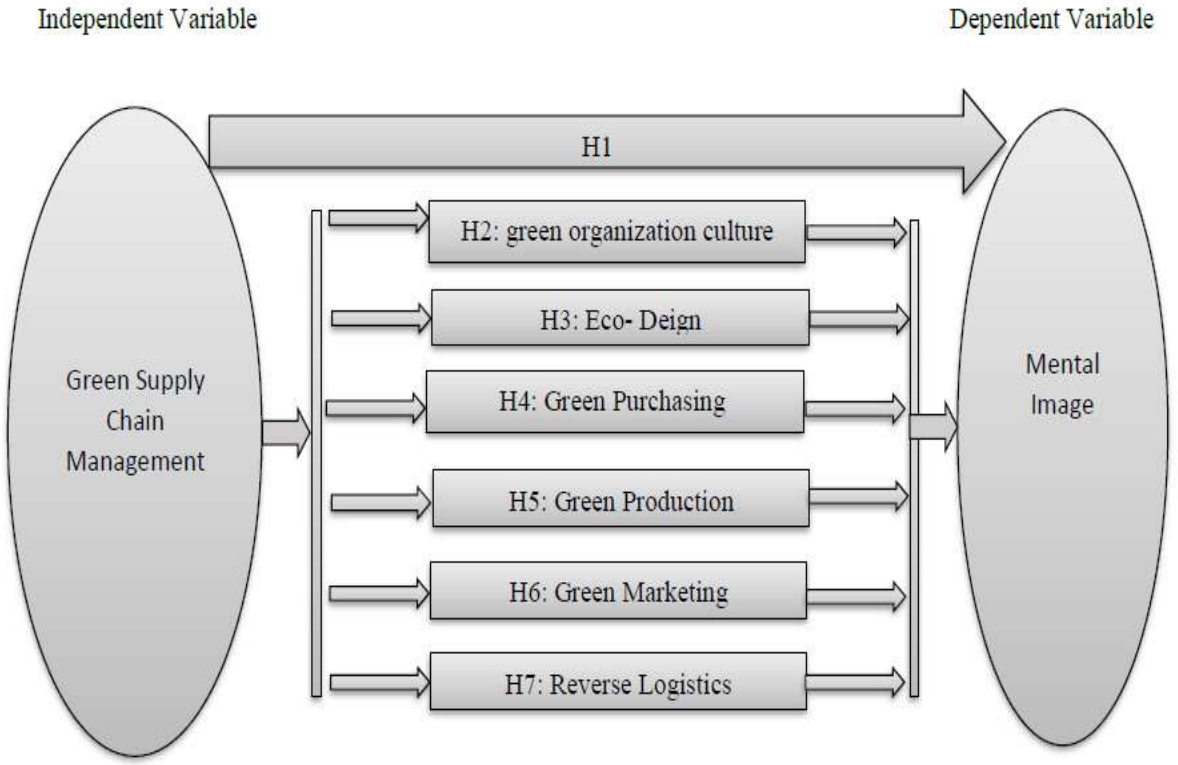
H7: A significantly positive relationship exists between reverse logistics and mental image.

Research Variables

Figure (1) illustrates the research variables, where the independent variable is Green Supply Chain Management, encompassing environmentally friendly supply chain practices and strategies, and the dependent variable is Mental Image, which reflects individuals' perceptions and mental visualization of the organization influenced by these green practices.

Figure 1

Dependent and independent variables



Source: Prepared by the author.

Population and Sample

The research population consisted of employees of the Ain Shams Specialized Hospital. This hospital provides the highest quality of healthcare in Egypt and the Middle East. The hospital started its success in 1984, and has still exerted significant efforts to achieve continuous improvement. In addition, the Ministry of Environment and the Ministry of Health and Population seek to encourage healthcare organizations to transform into green and sustainable ones, which is highly relevant and aligns well with Egypt's Vision 2030. Ain Shams Specialized Hospital was selected for this study. Therefore, the hospital is now conducting a gap analysis to determine the necessary technical requirements and needs to be transformed into a green hospital.

The survey was distributed to 200 Ain Shams Specialized Hospital employees between June and July 2024. The sample was accessed via an online survey using Google Forms.

The Sample Size

As it was difficult to reach all employees, the paper determined the size of the sample according to the following formula:

$$n_0 = \frac{z^2_{\alpha/2} * p * (1-p)}{e^2}.$$

Where Zα is the critical value of the normal distribution at α (e.g., for a confidence level of 95%, α is 0.05, and the critical value is 1.96), p is the percentage of specific phenomena and is set to 0.5, as it gives the highest value for the sample size, and e is the margin error set to 0.065 (this is an acceptable margin of error for the paper). The sample size was 200 µm.

Data Analysis Techniques

The measurement tool used in this study was a 5-point Likert scale designed to capture respondents' attitudes and opinions. The scale ranges from 1 to 5, where 1 represents "Strongly Disagree", 2 represents "Disagree ", 3 represents "Neutral ", 4 represents "Agree ", and 5 represents "Strongly Agree".

The data analysis techniques used in this study included several statistical methods to ensure the results' reliability, validity, and accuracy. Indicators were built by combining related statements into a single measure using the equal-weight method. Cronbach's alpha was used to evaluate the reliability of the scales, with values closer to one indicating better internal consistency. A score above 0.5 was considered acceptable for the questionnaire stability. Composite reliability, which is a measure of internal consistency similar to Cronbach's alpha, was used. It assesses the shared variance among observed variables, with a reasonable threshold generally being 0.6 or higher, depending on the number of scale items (Tavakol & Dennick, 2011).

Confirmatory factor analysis (CFA) was used to investigate the relationships among the variables and assess the questionnaire's internal validity. The Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test determines the sampling adequacy for factor analysis, with values between 0.8 and 1

indicating suitability (Kaiser, 1970). Discriminant validity was confirmed using the Fornell-Larcker criterion, which checks whether the square root of the average variance extracted by a construct is greater than its correlation with other constructs.

Correlation analysis was conducted to determine the strength and direction of the relationships between variables using Spearman's rank correlation coefficient. Spearman's rank correlation was preferred when the data did not follow a normal distribution or when variables were ordinal in nature. Relationships were categorized as weak, moderate, or strong based on the coefficient value, and significance was determined by comparing the p-value to a 5% significance level (Spearman, 1904). Normality tests, including the Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests, were performed to assess whether the data followed a normal distribution. For large sample sizes, nonparametric tests, such as Spearman's correlation, are robust and provide reliable results, even when normality assumptions are not met (Fornell & Larcker, 1981).

Multiple regression analysis examines the effect of independent variables on a dependent variable by using a mathematical model based on the nature of the dependent variable. The analysis was performed using ordinary least squares (OLS), and it examined important conditions such as normality, no multicollinearity (checked with variance inflation factor), and linearity (evaluated with scatterplots of residuals and predicted values). These techniques ensured the robustness and accuracy of the findings.

All the statistical techniques mentioned above, including reliability analysis, confirmatory factor analysis (CFA), correlation analysis, and multiple regression analysis, were applied using SPSS 26 and Stata 16. These software tools were selected because they were compatible with the methods used in this study.

Descriptive Analysis

This section describes the demographic characteristics of the survey respondents, including age, gender, educational background, work experience, and designation status. This is followed by a discussion of the validity and reliability tests of the model's variables, and an analysis of each statement headed by a variable in the model is provided in terms of the mean, minimum, maximum, and standard deviation. The primary data for this study were collected via a self-completed survey, with a total of 200 participants who completed the survey.

Demographic Analysis

This section addresses the sociodemographic characteristics of the selected sample. Table (1) provides an overview of participants' characteristics in terms of frequency and percentage. The table indicates that the majority of the sample (60.5 %) were male, 37.5% were aged 30 to 40 years, and 69% of the respondents had a university degree. In addition, the work experience shows that 33% of the respondents had 5 to less than 10 years of experience, and 70% of the respondents were at middle or low managerial levels.

Table 1

Description of demographic characteristics among survey participants (n=200)

Variable	Frequency	Percentage
Gender		
Female	79	39.5%
Male	121	60.5%
Age		
Less than 30 years	23	11.5%
From 30 to 40 years	75	37.5%
From 41 to 50 years	53	26.5%
More than 50 years	49	24.5%
Educational Level		
High school graduate	16	8.0%
University graduate	138	69.0%
Postgraduate qualification	46	23.0%
Work Experience		
Less than 5 years	17	8.5%
From 5 to less than 10 years	66	33.0%
From 10 years to less than 15 years	59	29.5%
15 years or more	58	29.0%
Designation Status		
Middle or low managerial level	140	70.0%
Top managerial level	60	30.0%

Source: Prepared by the author based on results of study sample analysis.

Building Indicators of the Research Variables: Reliability and Validity Analysis

Table (2) presents the indicators created using equal-weight methods in row form. These indicators were used to answer the hypotheses.

Cronbach's alpha reflected the reliability of the research statements, with values ranging from 0.770 to 0.950 for variables that exceeded the threshold of 0.70. In addition, the composite reliability varies from 0.528 to 0.809, which is above the preferred value of 0.50, thereby proving that the model is internally consistent. Furthermore, CFA investigates the interrelationships between variables to determine whether they can be gathered into a smaller set of baseline factors. A CFA was used to test the internal validity of the questionnaire.

The KMO test measures the data's suitability for factor analysis. It also measures the sampling adequacy of each variable in the complete model. The statistic measures the proportion of variance among variables that might be common variance. The lower the proportion, the more suited the data are to factor analysis.

Table 2

Reliability and validity of the questionnaire in each category by using the Cronbach's Alpha coefficient

Constructs	Number of Statements	Cronbach's Alpha	Composite Reliability	KMO	Bartlett's Test	AVE	Item	Loading
Green Supply Chain Management	20	0.944	0.556	0.913	3863.633 (0.000)	0.831	GSCM1	0.518
							GSCM2	0.584
							GSCM3	0.611
							GSCM4	0.556
							GSCM5	0.714
							GSCM6	0.707
							GSCM7	0.822
							GSCM8	0.813
							GSCM9	0.788
							GSCM10	0.630
							GSCM11	0.867
							GSCM12	0.799
							GSCM13	0.888
							GSCM14	0.866
							GSCM15	0.829
							GSCM16	0.853
							GSCM17	0.735
							GSCM18	0.777
							GSCM19	0.764
							GSCM20	0.701
Green Organizational Culture	4	0.831	0.551	0.683	436.140 (0.000)	0.673	GOC1	0.654
							GOC2	0.893
							GOC3	0.896
							GOC4	0.814
Eco-Design	3	0.804	0.578	0.631	253.844 (0.000)	0.790	ED1	0.911
							ED2	0.905
							ED3	0.715
Green Purchasing	3	0.770	0.528	0.662	207.322 (0.000)	0.717	GPUR1	0.845
							GPUR2	0.901
							GPUR3	0.791
Green Production	3	0.921	0.795	0.759	479.741 (0.000)	0.876	GPRO1	0.940
							GPRO2	0.922
							GPRO3	0.946
Green Marketing	4	0.885	0.657	0.818	522.285 (0.000)	0.871	GM1	0.900
							GM2	0.927
							GM3	0.868
							GM4	0.813
Reverse Logistics	3	0.854	0.661	0.716	278.769 (0.000)	0.778	RL1	0.901
							RL2	0.901
							RL3	0.842
Mental Image	12	0.946	0.591	0.899	2812.522 (0.000)	0.783	MI1	0.822
							MI2	0.806
							MI3	0.851
							MI4	0.879

							MI5	0.921
							MI6	0.613
							MI7	0.701
							MI8	0.819
							MI9	0.847
							MI10	0.868
							MI11	0.902
							MI12	0.839
Cognitive Component	5	0.950	0.793	0.866	1085.084 (0.000)	0.837	CC1	0.908
							CC2	0.917
							CC3	0.952
							CC4	0.887
							CC5	0.909
Affective Component	3	0.826	0.612	0.634	273.835 (0.000)	0.745	AC1	0.881
							AC2	0.929
							AC3	0.773
Behavioral Component	4	0.944	0.809	0.851	771.584 (0.000)	0.859	BC1	0.912
							BC2	0.951
							BC3	0.929
							BC4	0.913

Source: Prepared by the author based on results of study sample analysis.

From the previous table, the results of the CFA showed that all items were loaded into their constructs, as suggested in the proposed model, as the loadings of all items were greater than 0.50. On the other hand, the Average Variance Extracted (AVE) values are above the recommended threshold of 0.50, which indicates that the constructs could explain more than 50% of the statements, and these values reflect high internal validity. Moreover, the KMO values for all variables were greater than 0.5, and Bartlett's test of sphericity was significant, indicating sample adequacy.

Table (3) shows the Fornell-Larcker criterion, which is considered one of the most popular techniques used to check the discriminant validity of the measurement models. From table (3), the results of the Fornell-Larcker criterion show that the correlations of a construct with other constructs are less than the square root of its AVE. Thus, the discriminant validity was successfully established.

Table 3

Fronell-Larcker criterion

	Green Supply Chain Management	Green Organizational Culture	Eco-Design	Green Purchasing	Green Production	Green Marketing	Reverse Logistics	Mental Image	Cognitive Component	Affective Component	Behavioral Component
Green Supply Chain Management	0.912										
Green Organizational Culture	0.697**	0.820									
Eco-Design	0.881**	0.566**	0.889								
Green Purchasing	0.845**	0.400**	0.757**	0.847							
Green Production	0.850**	0.331**	0.716**	0.811**	0.936						
Green Marketing	0.902**	0.482**	0.736**	0.737**	0.818**	0.933					
Reverse Logistics	0.815**	0.402**	0.638**	0.620**	0.731**	0.792**	0.882				
Mental Image	0.746**	0.401**	0.614**	0.608**	0.690**	0.757**	0.717**	0.885			
Cognitive Component	0.689**	0.303**	0.554**	0.585**	0.688**	0.745**	0.661**	0.914**	0.915		
Affective Component	0.606**	0.373**	0.501**	0.462**	0.539**	0.593**	0.589**	0.863**	0.647**	0.863	
Behavioral Component	0.710**	0.417**	0.600**	0.585**	0.618**	0.689**	0.678**	0.911**	0.779**	0.691**	0.927

** Significant at 1% level, * Significant at 5% level.

Source: Prepared by the author based on results of study sample analysis.

Descriptive Statistics of Variables and Statement Items

In this section, we provide detailed descriptive statistics and analyses of each item in the model variables. Table (4) presents the minimum, maximum, mean, and standard deviation values.

Table 4

Descriptive statistics for research constructs (n=200)

	Sample Size	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
Green Supply Chain Management	200	1.55	5	3.622	0.522
Green Organizational Culture	200	1.25	5	2.908	0.747
The hospital's vision includes the green practice.	200	1	5	2.330	0.802
The hospital management clarifies all green practice information to all the departments.	200	1	5	3.340	0.887
There is a penalty system for violating green practices.	200	1	5	3.360	0.880
There is a budget allocated for supporting green practices.	200	1	5	2.610	1.079
Eco-Design	200	1	5	3.623	0.664
All the materials used in the hospital are environmentally friendly.	200	1	5	3.390	0.873
All products can be recycled into environmentally friendly materials.	200	1	5	3.500	0.845
The hospital is concerned with improving the products to lessen environmental harm.	200	1	5	3.980	0.605
Green Purchasing	200	1	5	3.777	0.650
The hospital is concerned with purchasing material that has less environmental harm.	200	1	5	4.040	0.644
The hospital is applying environmental criteria to suppliers.	200	1	5	3.910	0.674
The hospital deals with suppliers who have quality certificates.	200	1	5	3.380	0.990
Green Production	200	1.67	5	3.895	0.578
The hospital uses environmentally friendly raw materials.	200	2	5	3.910	0.547
The hospital is concerned with producing products that can be recycled.	200	1	5	3.830	0.714
The hospital replaces dangerous materials with environmentally friendly materials.	200	2	5	3.940	0.594
Green Marketing	200	1.75	5	3.861	0.561
The hospital promotes the concept of resource and energy conservation.	200	2	5	3.920	0.605
The hospital prices the services fairly.	200	2	5	3.880	0.586
The hospital seeks to increase its marketing share without harming the environment.	200	1	5	3.960	0.553
The hospital uses energy-saving transportation techniques.	200	2	5	3.680	0.826
Reverse Logistics	200	1.67	5	3.827	0.595
The hospital is keen on reusing the products as much as possible.	200	2	5	3.870	0.623
The hospital uses clean energy.	200	1	5	3.770	0.707
The hospital safely gets rid of non-manufacturable waste.	200	1	5	3.850	0.695
Mental Image	200	1.92	5	3.904	0.530

Cognitive Component	200	1.8	5	4.003	0.534
The hospital is characterized by credibility in dealing with patients and their families.	200	1	5	4.020	0.605
All employees are committed to giving a positive image of the hospital.	200	2	5	4.010	0.630
The hospital provides awareness of patients' medical rights.	200	2	5	4.010	0.567
Patients can easily learn about the services provided by the hospital.	200	2	5	3.980	0.580
The hospital contributes to increasing the therapeutic culture among patients.	200	2	5	3.990	0.540
Affective Component	200	1.67	5	3.672	0.762
Patients are interested in visiting the hospital periodically.	200	1	5	3.540	0.976
Patients constantly follow the hospital's website to learn about everything new.	200	1	5	3.570	0.959
Patients can easily communicate with the hospital administration to submit complaints or suggestions.	200	1	5	3.900	0.692
Behavioral Component	200	2	5	3.955	0.533
The hospital is interested in building good relationships with patients.	200	2	5	3.920	0.596
The hospital is a source of appreciation from patients and their families.	200	2	5	3.940	0.573
The hospital administration has a conscious and advanced management.	200	2	5	4.000	0.540
The hospital seeks to gain the trust of patients and their families.	200	1	5	3.960	0.592

Source: Prepared by the author based on results of study sample analysis.

From the above table, the paper can conclude that:

Green Supply Chain Management. Respondents agreed with statements on green supply chain management, with mean values ranging from 3.5 to 4.5 and a standard deviation of 0.522. Green production received the highest agreement, whereas green organizational culture had the lowest agreement. Green marketing was the most homogeneous variable, showing the least variance, whereas green organizational culture was the most non-homogeneous, exhibiting the highest variance.

Green Organizational Culture. Respondents demonstrated a neutral stance toward green organizational culture, as indicated by mean values ranging between 2.5 and 3.5 and a standard deviation of 0.747. Among the items assessed, the highest level of agreement was observed for the presence of a penalty system addressing violations of green practices. In contrast, the lowest level of agreement pertained to integrating green practices within the hospital's vision. In terms of response consistency, perceptions were most uniform regarding the hospital's vision, whereas the greatest variability was noted in responses concerning the allocation of budgets to support green practices.

Eco-Design. Respondents agreed with eco-design statements, with mean values between 3.5 and 4.5 and a standard deviation of 0.664. The highest agreement was for improving products to reduce environmental harm, whereas the lowest agreement was for using environmentally

friendly materials. The most homogeneous statement concerned product improvement, whereas the least homogeneous concerned environmentally friendly materials.

Green Purchasing. Respondents agreed with green purchasing statements, with mean values between 3.5 and 4.5 and a standard deviation of 0.650. The highest agreement was for purchasing materials with less environmental harm, whereas the lowest agreement was for dealing with suppliers with quality certificates. The most homogeneous statement concerned environmentally conscious purchasing, whereas the least homogeneous statement concerned supplier quality certificates.

Green Production. Respondents agreed with green production statements, with mean values between 3.5 and 4.5 and a standard deviation of 0.578. The highest agreement was for replacing dangerous materials with environmentally friendly ones, whereas the lowest was for producing recyclable products. The most homogeneous statement was about using environment-friendly raw materials, whereas the least homogeneous was about producing recyclable products.

Green Marketing. Respondents agreed with green marketing statements, with mean values between 3.5 and 4.5 and a standard deviation of 0.561. The highest agreement was for increasing the market share without harming the environment, whereas the lowest was for using energy-saving transportation. The most homogeneous statement was about increasing market share, whereas the least homogeneous statement was about transportation techniques.

Reverse Logistics. Respondents agreed with reverse logistics statements, with mean values between 3.5 and 4.5 and a standard deviation of 0.595. The highest agreement was for reusing the products as much as possible, whereas the lowest was for using clean energy. The most homogeneous statement concerned reusing products, whereas the least homogeneous was about clean energy.

Mental Image. Respondents agreed with mental image statements, with mean values between 3.5 and 4.5 and a standard deviation of 0.530. While the affective component had the lowest level of agreement, the cognitive component had the highest. The behavioral component was the most homogeneous, whereas the affective component was the least homogeneous.

Cognitive Component. Respondents agreed with cognitive component statements, with mean values between 3.5 and 4.5 and a standard deviation of 0.530. The highest agreement was for the hospital's credibility in dealing with patients, whereas the lowest agreement was for patients who easily learned about hospital services. The most homogeneous statement was about increasing therapeutic culture, whereas the least homogeneous was about employees maintaining a positive image.

Affective Component. Respondents agreed with affective component statements, with mean values between 3.5 and 4.5 and a standard deviation of 0.762. The highest agreement was for straightforward

communication with the hospital administration for complaints or suggestions, whereas the lowest was for patients' interest in periodic visits. The most homogeneous statement was about straightforward communication, whereas the least homogeneous statement was about periodic visits.

Behavioral Component. Respondents agreed with the behavioral component statements, with mean values between 3.5 and 4.5 and a standard deviation of 0.533. The highest agreement was for hospital administration's advanced management, whereas the lowest was for building good patient relationships. The most homogeneous statement was about advanced management, whereas the least homogeneous statement was about patient relationships.

Inferential Statistics

This section presents the statistical tests performed to check the research ideas. It starts with a normality test to see how the data are spread out and then a correlation test to see how strongly and in what direction the study variables are related.

Normality Test

Table (5) shows the normality test used to examine the variable's distribution scale. The test results, shown in table (5), revealed that not all study variables were normally distributed because their significance values were below 0.05. However, since the valid collected sample had 200 responses, according to Sekaran (2016), a study with a sample size of more than 30 to 50 participants is capable of running parametric tests, especially in multivariate research. Moreover, running a parametric test when the data variables are normally distributed can be violated if the study's sample size is large or moderate, and the results can still reflect precision and accuracy (Green & Salkind, 2005).

Table 5

Normality tests

	Kolmogorov Smirnov			**Shapiro-Wilk**		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Independent Variable						
Green Supply Chain Management	0.160	200	0.000	0.858	200	0.000
Green Organizational Culture	0.118	200	0.000	0.958	200	0.000
Eco-Design	0.240	200	0.000	0.848	200	0.000
Green Purchasing	0.251	200	0.000	0.847	200	0.000
Green Production	0.397	200	0.000	0.631	200	0.000
Green Marketing	0.378	200	0.000	0.708	200	0.000
Reverse Logistics	0.450	200	0.000	0.571	200	0.000
Dependent Variable						
Mental Image	0.248	200	0.000	0.758	200	0.000
Cognitive Component	0.343	200	0.000	0.659	200	0.000
Affective Component	0.327	200	0.000	0.816	200	0.000
Behavioral Component	0.379	200	0.000	0.652	200	0.000

Source: Prepared by the author based on results of study sample analysis.

Correlation Test

Table (6) presents the values of the Spearman's correlation coefficients for the study variables. The results indicate a strong positive relationship between green supply chain management and mental image, as Spearman's coefficient exceeded 0.7. Furthermore, this relationship was statistically significant, with a p-value less than the significance level of 0.05.

Table 6

Spearman's correlation coefficients

	Green Supply Chain Management	Green Organizational Culture	Eco-Design	Green Purchasing	Green Production	Green Marketing	Reverse Logistics	Mental Image	Cognitive Component	Affective Component	Behavioral Component
Green Organizational Culture	0.697**										
Eco-Design	0.881**	0.566**									
Green Purchasing	0.845**	0.400**	0.757**								
Green Production	0.850**	0.331**	0.716**	0.811**							
Green Marketing	0.902**	0.482**	0.736**	0.737**	0.818**						
Reverse Logistics	0.815**	0.402**	0.638**	0.620**	0.731**	0.792**					
Mental Image	0.746**	0.401**	0.614**	0.608**	0.690**	0.757**	0.717**				
Cognitive Component	0.689**	0.303**	0.554**	0.585**	0.688**	0.745**	0.661**	0.914**			
Affective Component	0.606**	0.373**	0.501**	0.462**	0.539**	0.593**	0.589**	0.863**	0.647**		
Behavioral Component	0.710**	0.417**	0.600**	0.585**	0.618**	0.689**	0.678**	0.911**	0.779**	0.691**	

** and * Correlation is significant at the 1% and 5% level (2-tailed).

Source: Prepared by the author based on results of study sample analysis.

Testing the Research Hypothesis

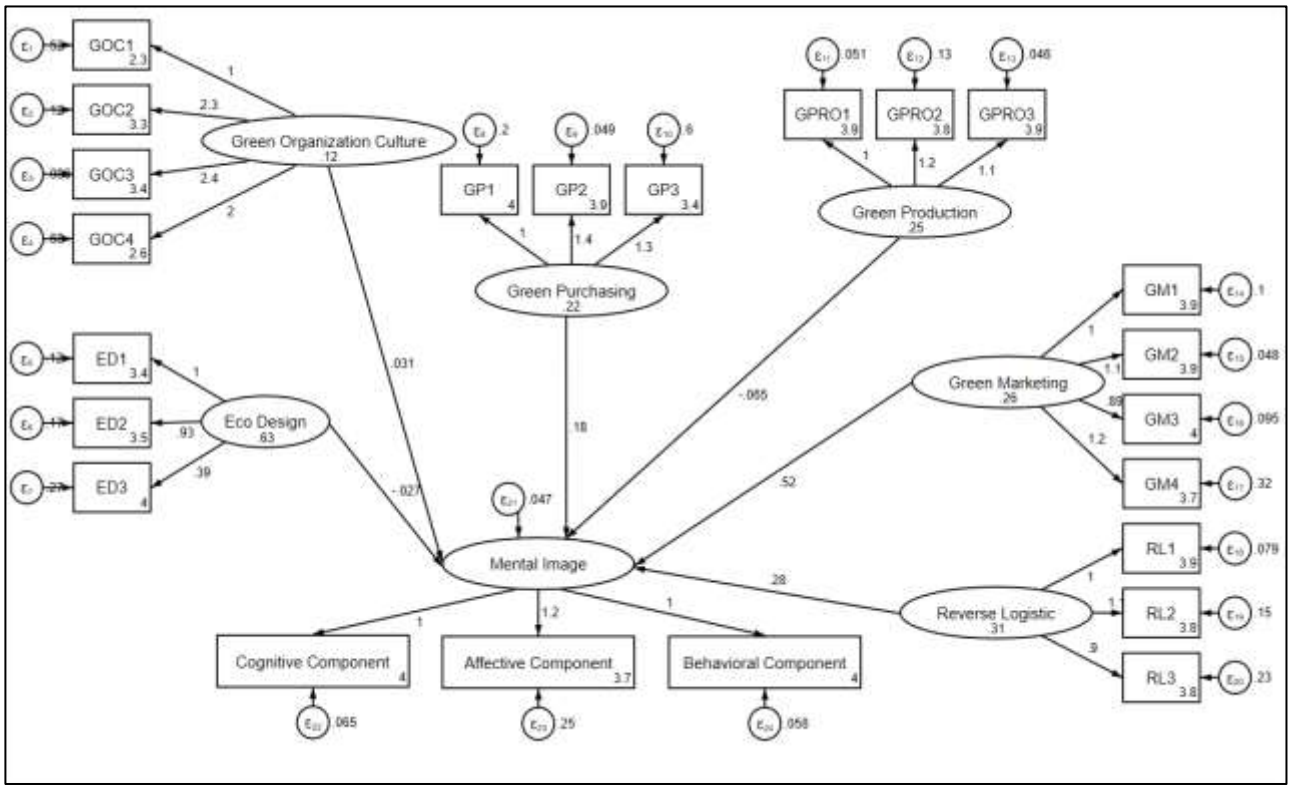
Path analysis estimates the coefficients and significance of each path to test the theoretical model in the presence of a mediator.

First Structural Equation (SE) Model

The first structural equation (SE) model, as shown in figure (2) and table (7), included green organizational culture, eco-design, green purchasing, green production, green marketing, and reverse logistics as independent variables, whereas mental image was the dependent variable.

Figure 2

First path diagram



Source: Prepared by the author.

Table (7) shows the estimates of the proposed model, highlighting different levels of importance among the parts of green supply chain management and how they directly affect the mental image. The results indicate that green organizational culture and eco-design do not have a statistically significant direct effect on mental image at the 95% confidence level. Similarly, green production had no significant direct influence within the same confidence interval. By contrast, green purchasing demonstrates a statistically significant and positive direct impact on mental image, with an estimated effect of 0.177. Green marketing exhibited the strongest positive influence, with a significant direct impact of 0.523. Additionally, reverse logistics shows a significant positive direct effect, with an estimated coefficient of 0.275. These findings highlight the differential impact of green supply chain components on mental image, emphasizing the importance of green purchasing, marketing, and reverse logistics in shaping public perceptions. The overall model fit was assessed using multiple goodness-of-fit measures to ensure the robustness and validity of structural relationships.

Table 7

Path coefficients and significances

Structural Path	Path Coefficient	Composite reliability (C.R) (t-value)	Std. Error	Sig.
Mental Image ← Green Organizational Culture	0.031	0.35	0.0878	0.725
Mental Image ← Eco-Design	-0.027	-0.60	0.0450	0.550
Mental Image ← Green Purchasing	0.177	2.00	0.0884	0.045
Mental Image ← Green Production	-0.065	-0.63	0.1024	0.527
Mental Image ← Green Marketing	0.523	5.58	0.0928	0.000
Mental Image ← Reverse Logistics	0.275	4.13	0.0666	0.000

Source: Prepared by the author.

Table (8) shows that the chi-square value of 1023.193 with 224 degrees of freedom is statistically significant at 0.05, indicating that the model is not a good fit. However, the chi-square test was very sensitive to the sample size. The results showed that all the fit indices obtained were satisfactory and within the suggested boundaries. Accordingly, the results confirm the acceptable fit of the proposed model.

Table 8

Goodness of fit indices

Indices	Abbreviation	Recommended Criteria	Results	conclusion
Chi-Square	χ^2	P-value > 0.05	1023.193	Not a Good Fit
Degree of Freedom			224	
Level of Significance			0.000	
Normed Chi-Square	$\frac{\chi^2}{DF}$	$1<\frac{\chi^2}{DF}<5$	4.568	Good Fit
RMESA	Root Mean Square Error of Approximation	< 0.05 Good Fit < 0.08 Acceptable Fit	0.036	Good Fit
NFI	Normed Fit Index	> 0.90	0.990	Good Fit
RFI		> 0.90	0.940	Good Fit
IFI		> 0.90	0.946	Good Fit
TLI	Tucker-Lewis Index	> 0.90	0.960	Good Fit
CFI	Comparative Fit Index	> 0.90	0.983	Good Fit

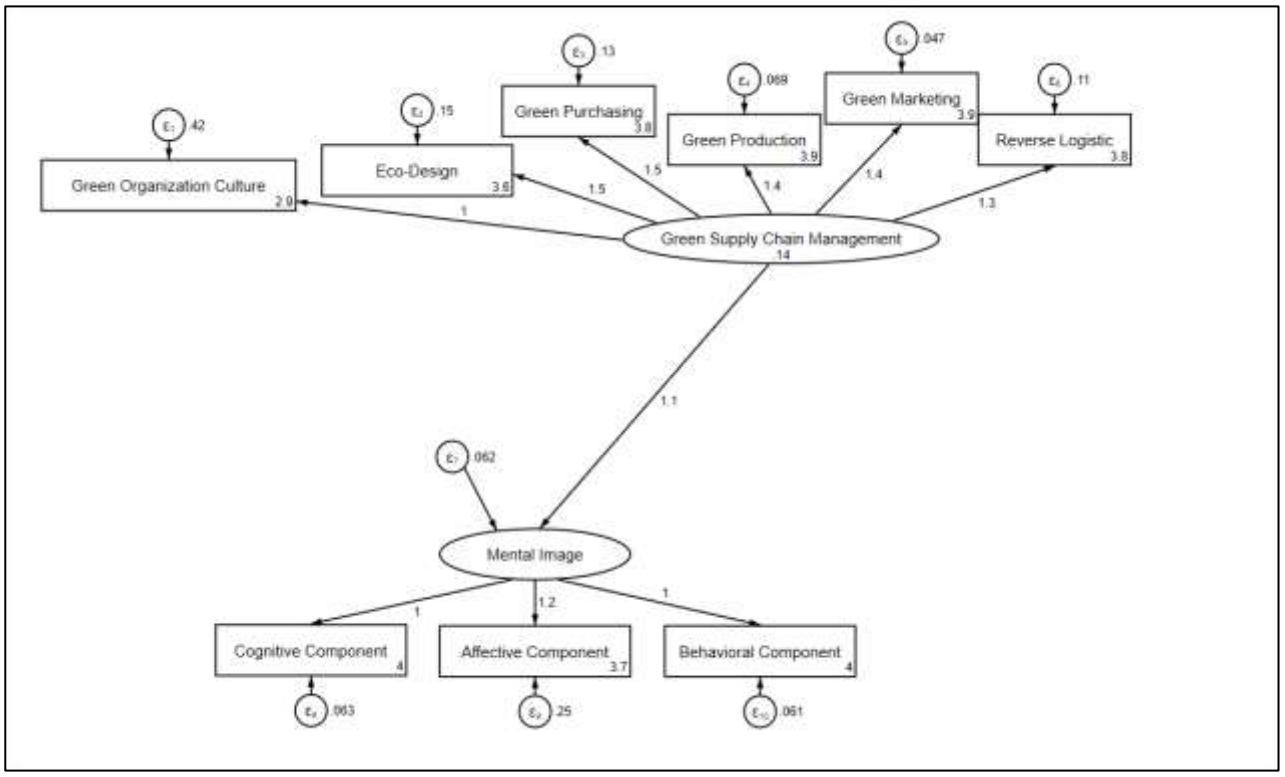
Source: Prepared by the author.

Second Structural Equation (SE) Model

Figure (3) shows another SE model used to study the overall impact of green supply chain management on mental image.

Figure 3

Second path diagram



Source: Prepared by the author.

Table (9) presents the estimates of the proposed model, indicating that green supply chain management has a statistically significant and positive direct effect on mental image. As shown in the table, the estimated effect size is 1.076, and this relationship is significant at the 95% confidence level. These findings underscore the positive influence of green supply chain practices on how organizations are perceived. The overall model fit was evaluated using several goodness-of-fit measures to ensure the validity and reliability of the structural model.

Table 9

Path coefficients and significances

Structural Path	**Path Coefficient**	**C.R (t-value)**	**Std. Error**	**Sig.**
Mental Image ← Green Supply Chain Management	1.076	6.97	0.1542	0.000

Source: Prepared by the author based on results of study sample analysis.

Table (10) shows that the chi-square value of 121.004 with 128 degrees of freedom is statistically significant at the level of 0.05, which traditionally suggests that the model may not be a satisfactory fit. However, it is well established that the chi-square test is highly sensitive to sample size and may indicate a poor fit, even when the model is acceptable. As shown in the same table, all other fit indices, such as CFI, Tucker-Lewis Index (TLI), and Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA), were within the suggested limits, which confirms that the model is good enough. Therefore, despite the significance of the chi-square statistic, the results supported an acceptable overall fit of the proposed model.

Table 10

Goodness of fit indices

Indices	Abbreviation	Recommended Criteria	Results	conclusion
Chi-Square	χ^2	P-value > 0.05	121.004	Not a Good Fit
Degree of Freedom			26	
Level of Significance			0.000	
Normed Chi-Square	$\frac{\chi^2}{DF}$	$1<\frac{\chi^2}{DF}<5$	4.654	Good Fit
RMESA	Root Mean Square Error of Approximation	< 0.05 Good Fit < 0.08 Acceptable Fit	0.041	Good Fit
NFI	Normed Fit Index	> 0.90	0.984	Good Fit
RFI		> 0.90	0.956	Good Fit
IFI		> 0.90	0.940	Good Fit
TLI	Tucker-Lewis Index	> 0.90	0.970	Good Fit
CFI	Comparative Fit Index	> 0.90	0.992	Good Fit

Source: Prepared by the author based on results of study sample analysis.

Conclusion

In conclusion, the main objective of this research is to investigate the influence of green supply chain management on enhancing the mental image in the public healthcare sector in Egypt and evaluate the Ain Shams Specialized Hospital in particular.

This empirical study discovers the green supply chain practices currently implemented at Ain Shams Specialized Hospital, which are represented in green purchasing, green marketing, green production, eco-design, and reverse logistics. In addition, this study clarifies the most important practices that positively influence improving mental image.

The empirical study's results indicate that the main hypothesis of the research, that green supply chain management has a significant direct positive impact on mental image, is being accepted.

In addition, the results of the research analyzed the sub-hypotheses and found the following:

1. The practices of green supply chain management that have a significant positive impact on the mental image are:
   - Green purchasing: This is because the hospital is concerned with purchasing materials that cause less environmental harm.
   - Green marketing: Because the price of services is fair, hospitals seek to increase their marketing share without harming the environment and using energy-saving transportation techniques.
   - Reverse logistics: This is because clean energy is used to safely remove waste.

2. The practices of green supply chain management that have a moderate impact on the mental image are:
   - Eco-design: This is because hospitals are concerned with enhancing products to reduce environmental harm; however, not all the materials used in the hospital are environmentally friendly.
   - Green production: The hospital is trying to replace dangerous materials with environmentally friendly ones, but not all products can be recycled because they do not have this facility.

3. Green organizational culture has an insignificant influence on the mental image of green supply chain management practices. Additionally, no budget is allocated to support green practices, and all hospital departments lack information regarding these practices.

Recommendations and Further Research

The research provides recommendations to leaders and officials in the public healthcare sector in Egypt in general and in Ain Shams Specialized Hospital in particular to enhance the hospital's mental image and help it become a green hospital in Egypt. There is a crucial need to implement green supply chain management in the healthcare sector, which increases its positive impact on mental images.

The hospital must adopt and implement the following tools to protect and preserve the environment:

- Changing the hospital's vision and mission to concentrate on green practices.
- Training employees to implement green practices.
- Allocating a budget to support green practices.
- Developing a hospital culture as a green hospital using integrated plans.

It is also necessary to:

- Pay more attention to enhancing the mental image of hospitals.
- Use green practices to keep patients and their families healthy.
- Focus on increasing patients' awareness of the green services provided by the hospital.
- Improve the quality of services and information provided to patients.
- Develop simple and clear promotional methods capable of establishing good impressions among patients.
- Pay more attention to patients' complaints, verify them, and immediately handle them appropriately and professionally.

Future studies should investigate a set of factors—organizational, technological, financial, and regulatory—that are critical for enabling a successful transition to green hospitals.

References

Ali, E. (2020). The role of relationship marketing in improving an organization's mental image, *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies -Economic and Legal Sciences Series*, 42(3), 11-25.

Almufti, D. (2023). *Effect of green supply chain management practices on the competitive advantage (Case study of food company in Damascus and its countryside)* (Doctoral dissertation). Selinus University of Sciences and Literature.

AL-Rhaimi, S. (2015). *The impact of internal marketing on the mental image of the tourism program*. *International Journal of Marketing Studies*, *7*(3), 76–83. https://pdfs.semanticscholar.org/cddd/7d82025d7e085df82e6f9cf90b5834477b95.pdf

Alwan, Q., & Rajab, R. (2021). Effect of functional on patient satisfaction through the mental *image of hospital*. *International Journal of Business Management and Economic Review*, *4*(3), 220–237.

Amemba, C., Nyaboke, P., Osoro, A., & Nganga, M. (2013). *Elements of green supply chain management*. *European Journal of Business and Management*, *5*(12), 51–61.

Awad, M. (2017). *Digital marketing and its role in enhancing the mental image of the organization* [Master's thesis, University of Karbala, Faculty of Management and Economics, Department of Business Administration].

El-Sayed, E., & Kadry, K. (2023). Studying the relation between green supply chain management dimensions and improving health quality service. Arab Journal of Administration, 43(3), 43–53.

Field, A. (2013). Discovering statistics using IBM SPSS Statistics (4th ed.), Sage Publications, California.

Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). *Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error*. *Journal of Marketing Research*, *18*(1), 39–50. https://doi.org/10.2307/3151312

Green, S. B., & Salkind, N. J. (2005). *Using SPSS for Windows and Macintosh: Analyzing and understanding data* (4th ed.). Pearson.

Haroun, S. (2024). *Green supply chain management (GSCM) and its impact on improving quality services for Egyptian pharmaceutical companies*. *Arab Journal of Administration*, *44*(4), 3–36. https://aja.journals.ekb.eg/article_203611_d2cf017cc0e9c0f0dab23875fad089ca.pdf

Hashem, T., & Al-Rifai, N. (2011). *The influence of applying green marketing mix by chemical industries companies in three Arab states in West Asia on consumer's mental image*. *International Journal of Business and Social Science*, *2*(3), 92–101.

Hervani, A., Helms, M., & Sarkis, J. (2005). *Performance measurement for green supply chain management*. *Benchmarking: An International Journal*, *12*(4), 330–353.

Kaiser, H. F. (1970). A second-generation little jiffy. Psychometrika, 35(4), 401–415.

Lahcen, F. (2022). The impact of green supply chain management practices on business performance of extractive industries in Jordan. Academy of Entrepreneurship Journal, 28(4), 1–12.

Mohammad, A., Chowdhury, K., Ahmad, M., & Mohammad, S. (2021). *Assessing the impact of green supply chain management on environmental performance of Bangladeshi manufacturing firms. Saudi Journal of Business and Management Studies*, 6(6), 87–198.

Moktadir, M. A., Rahman, T., Rahman, M. H., Ali, S. M., & Paul, S. K. (2019). Drivers to sustainable manufacturing practices and circular economy: A perspective of leather industries in Bangladesh. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1366–1380. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.063

Murwaningsari, I., & Etty. (2023). *Effect of green organizational culture and green supply* chain *on company performance with profitability as moderation. Quantitative Economics and Management Studies (QEMS),* 4(1), 21–31.

Onyango, M., Nyaoga, R., Matwere, R., & Owuor, O. (2014). *Green supply chain management and economic performance: A review of tea processing firms in Kericho and Bomet Counties, Kenya. International Journal of Science and Research* (IJSR), 3(11), 2462–2466.

Panpatil, S., & Kant, R. (2021). *Green supply chain management implementation: Modeling the green supply chain practices (GSCPs). Journal of Advances in Management Research*, 19(3), 389–413.

Routal, A. (2023). *The effect of elements of the banking marketing mix on the mental image of the* commercial *banks: Case study of Assalem Bank. Journal of Contemporary Business and Economic Studies*, 6(1), 206–219.

Salim, M., Abu Husain, A., & Awwad, S. (2021). *The impact of quality banking services in* improving *the perceived mental image of Jordanian Islamic Bank. Multicultural Education*, 7(4), 305–312.

Saul, C., Getuno, P., Osoro, A., & Mburu, N. (2013). *Elements of green supply chain management. European Journal of Business and Management,* 5(12), 51–61.

Sekaran, U. (2016). Research methods for business: A skill building approach (4th ed.). United State of America: John Willey and Sons, Inc.

Spearman, C. (1961). 'General intelligence,' objectively determined and measured. The American Journal of Psychology, 15(2), 201–293.

Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53–80. https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2007.00202.x

Subramanian, N., & Suresh, M. (2023). Green organizational culture in manufacturing SMEs: An analysis of causal relationships. International Journal of Manpower, 44(5), 789–809.

Sundarakani, B., Souza, R., Goh, M., Wagner, S., & Manikandan, S. (2010). Modeling carbon footprints across the supply chain. International Journal of Production Economics, 128(1), 43–50.

Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making Sense of Cronbach's Alpha. *International journal of Medical Education*, 2, 53-55.

Tseng, M. L., Tan, K., Chiu, A. S., Chien, C. F., & Kuo, T. C. (2019). Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis? *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 146–147. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.028

Yassine, F.L.Y.A. (2022). The impact of green supply chain management practices on business performance of extractive industries in Jordan. *Academy of Entrepreneurship Journal*, 28 (4), 1-12.

Ying, Y., & Zhou, L.-j. (2012). Study on green supply chain management based on circular economy. In *International Conference on Solid State Devices and Materials Science* (pp. 1682–1688). Elsevier.

Younis, D. (2022). Green supply chain and impact on electronically devices at Samsung Company. *Academy of Strategic Management Journal*, 21(6), 1-12.

Younis, H. (2016), The impact of the dimensions of green supply chain management practices on corporate performance, *Doctor of Business Administration thesis*, Faculty of Business, University of Wollongong in Dubai, University of Wollongong, 2016. https://ro.uow.edu.au/theses/4845

Zhu, Q., Sarkis, J., & Lai, K. H. (2008). Green supply chain management implications for "closing the loop". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(1), 1–18. https://doi.org/10.1016/j.tre.2006.06.003

Zuhd, M. (2018). *Assessing green practices in the closed-loop supply chain in the West Bank* (Master's thesis, Faculty of Graduate Studies, An-Najah National University, Nablus, Palestine).

المجلة الدولية للسياسات العامة في مصر - مجلد 4 - العدد (3) - يوليو 2025
ISSN: Print: 2812 - 4758 , Online: 2812 - 4766
تصدر عن مركز المعلومات ودعم اتخاذ القرار

أثر سلسلة الإمداد الخضراء على تحسين الصورة الذهنية
دراسة حالة تطبيقية على مستشفى عين شمس التخصصي

المستخلص

أصبحت الإدارة الخضراء في الآونة الأخيرة تقنية معاصرة تهتم بالابتكار البيئي الذي يدمج التفكير البيئي مع الإدارة. ومن ناحية أخرى، تسعى إدارة المستشفيات إلى البحث عن نهج جديد للإدارة يهتم بالبيئة من أجل أن تصبح المستشفيات صديقة للبيئة. لهذا، فإن الهدف الرئيسي من هذا البحث هو التعرف على إدارة سلسلة الإمداد الخضراء وكذلك تقديم فهم شامل للصورة الذهنية. بالإضافة إلى ذلك، تبحث هذه الدراسة مدى تأثير إدارة سلسلة الإمداد الخضراء على تحسين الصورة الذهنية في قطاع الرعاية الصحية في مصر بشكل عام، وتقيّم الوضع الحالي لمستشفى عين شمس التخصصي بشكل خاص، حيث يعتبر المستشفى واحدًا من كبرى المؤسسات الطبية في مصر والشرق الأوسط. وتعتمد منهجية البحث على كل من الأساليب الوصفية والتحليلية، والتي توجد في الإطار النظري وفي تحليل الاستبيانات، حيث تتكون عينة هذه الدراسة من 200 موظف من العاملين في مستشفى عين شمس التخصصي. ومن أهم نتائج هذا البحث أن إدارة سلسلة الإمداد الخضراء لها تأثير إيجابي مباشر وقوي على تحسين الصورة الذهنية. كما أوضحت النتائج أيضا أن الشراء الأخضر، والتسويق الأخضر، واللوجستيات العكسية الخضراء هي بعض من ممارسات إدارة سلسلة الإمداد الخضراء، والتي لها تأثير إيجابي قوي على تحسين الصورة الذهنية. وأخيرًا، في ضوء هذه النتائج، يوصي البحث بضرورة التطبيق المنهجي لممارسات إدارة سلسلة التوريد الخضراء في قطاع الرعاية الصحية لتعزيز الوعي المؤسسي والمسؤولية البيئية. وينبغي أن تدرس الأبحاث المستقبلية مجموعة أوسع من العوامل اللازمة لتسهيل التحول نحو مستشفيات خضراء بالكامل.

الكلمات الدالة: إدارة سلسلة التوريد الخضراء، الصورة الذهنية، البيئة الخضراء، ممارسات الإدارة الخضراء، قطاع الرعاية الصحية العامة