مجلة اتحاد الجامعات العربية للسياحة والضيافة
(JAAUTH)
الموقع الإلكتروني: http://jaauth.journals.ekb.eg/

استكشاف المخاطر المتصورة والفرص الاستثمارية تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية في صناعة السياحة

شيماء عبد القوى عبد التواب[١] كريم محمد سليم[٢] نرمين وصفي جرجس[٣]
[٣،١]قسم الدراسات السياحية – كلية السياحة والفنادق – جامعة الفيوم
[٢]قسم إدارة الفنادق – كلية السياحة والفنادق – جامعة قناة السويس

معلومات المقالة

الكلمات المفتاحية

الفرص الاستثمارية؛ الهيدروجين النظيف؛ صناعة السياحة؛ السفر الجوي؛ تقنية التحليل الكهرومائي.

(JAAUTH)

المجلد ٢٦، العدد ١، (يونيه ٢٠٢٤)، ص٢٢ -٤١.

الملخص

لقد ظهرت تقنية التحليل الكهربائي لجزئيات الماء "توليد الطاقة الكهربائية من الماء" كوقود مُتجدد في الوقت الذي يبحث فيه العالم بأثره عن طرق جديدة لمُعالجة ظاهرة الاحتباس الحراري ومحاولة إنقاذ القطاعات المتضررة بيئيًا كقطاعي السياحة والسفر. في الوقت الحاضر، يسعى هذان القطاعان إلى تحقيق مفهوم السفر المُستدام. في صدد المحاولات المكثفة تجاه مكافحة ظاهرة التغير المناخي، هناك اهتمامًا متزايدًا بأن يكون السفر الجوي خالٍ من الكربون الملوث للبيئة المحيطة. على هذا النحو، فقد ثبت أن الهيدروجين هو وقودًا بديلًا في صناعة السفر، إذ يولد من فصل جزئيات الأكسجين الموجودة في الماء بعد الاستخدام. يُعد هذا الوقود قادرًا على إحداث تبريد للبيئة المحيطة، ولكنه نظيف وخالٍ من الملوثات العضوية، ويطلق عليه "الهيدروجين الأخضر." بناءً على ذلك، تستكشف هذه الورقة المخاطر المتصورة والفرص الاستثمارية تجاه اعتماد الطائرات المزودة بالهيدروجين الأخضر في صناعة السياحة. اعتمادًا على المنهج الكمي، تم التحري عن سوابق قابلية اعتماد هذه الطائرات في صناعة السفر الجوي بقطاع السياحة المصري من منظور ٩٣ خبيرًا سياحيًا وبيئيًا. أظهرت نتائج WarpPLS 8 بأن الفرص الاستثمارية لاعتماد هذه الطائرات أثرت إيجابيًا ومعنويًا في قابلية اعتمادها، في حين أثرت المخاطر المتصورة لاعتماد هذه الطائرات سلبًا في قابلية اعتمادها بصناعة السياحة. علاوة على ذلك، خفضت الفرص الاستثمارية لاعتماد هذه الطائرات من العلاقة السلبية بين المخاطر المتصورة وقابلية اعتماد هذه الطائرات. بناءً على هذه النتائج، يمكن العثور على خطة طويلة المدى لنمو الطاقة البديلة في خرائط الطريق السياحية لاعتماد الهيدروجين النظيف المُطور عالميًا. في هذا الصدد، ستكون صناعة السياحة قادرة على تعديل رؤيتها المستقبلية في ضوء هذه المعلومات المقدمة لدعم صناع القرار بوزارتي البيئة والسياحة.

المقدمة

تُعد صناعة السياحة، التي بدأت في خمسينيات القرن الماضي، واحدة من أكثر القطاعات نموًا ديناميكيًا في الاقتصاد العالمي، وكان لها تأثيرًا بالغًا على التغيرات المناخية في العقود الماضية (Lozano, 2022). وفقًا لمعلومات الأمين العام لمنظمة السياحة العالمية، فإن ٥% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية تأتي من صناعة السياحة، والتي قسمت ٤٠% من النقل الجوي، و٢٠% من خدمات الإقامة، والـ ٣٥% المتبقية من وسائل النقل الأخرى كالنقل البري، السكك الحديدية والرحلات البحرية (Longoria et al., 2021). على الجانب الآخر، نظرًا للقلق المزمع بشأن مستقبل صناعة السياحة؛ يجب على المنظمات السياحية تركيز اهتمامها على تطوير الصناعة من خلال توظيف الاقتصاد الأخضر (Rodríguez et al., 2020).

من ناحية أخرى، ترتبط صناعة السياحة ارتباطًا وثيقًا بالبيئة، وعلى الرغم من تركيزها على نقاء الطبيعة وجودتها (Kakoulaki et al., 2021)، فإنها تهدف إلى الاستخدام المكثف للموارد الطبيعية من أجل تنميتها والحفاظ على الكيان البيئي بشكل مستدام (Hoelzen et al., 2022). بناءً على ذلك، تتناول الدراسة الحالية تحليل SWOT للبيئة الخارجية وأثره في إمكانية اعتماد الهيدروجين الأخضر كوسيلة آمنة للطائرات المُجهزة للرحلات السياحية في القطاع السياحي المصري. مؤخرًا، اهتمت صناعة السفر الجوي إهتمامًا بالغًا بالهيدروجين النظيف (Jovan & Dolanc, 2020)؛ لأنه يُنظر إليه على أنه وسيلة واعدة لمواجهة التحدي المتمثل في إزالة الكربون (Åkerman et al., 2021) وتقليل التأثير المناخي الناجم عن الرحلات السياحية جوًا (Dincer et al., 2022). تُعد إزالة الكربون أحد أكبر التحديات التي يواجهها المجتمع، ولاسيما بقطاعي السياحة والسفر الذي يُصعب تخفيف أضراره البيئية بسهولة (Kakoulaki et al., 2021).

علاوة على ذلك، دفعت الأزمة الصحية الناجمة عن فيروس كورونا (COVID-19) صناعة السياحة والسفر إلى الاعتماد على المساعدات المالية من الحكومات التي جعلت دعمها مشروطًا بأهداف الاستدامة البيئية (Dincer et al., 2022). على سبيل المثال، تدعم الحكومة الفرنسية صناعة السفر بها ماليًا، منها ١.٥ مليار يورو بشرط تطوير طائرة خالية من الكربون بحلول عام ٢٠٣٥ (Hoelzen et al., 2022). على الرغم من أن ٢-٣% من انبعاثات الكربون العالمية تتبع من قطاع السفر الجوي، فإن الضغط لتطوير طائرات أكثر صداقة للبيئة قد يزداد بشكل أكبر مع النمو المتوقع للحركة الجوية للقطاع حتى ٢٠٥٠ (Samir, 2022). فيما يتعلق بقطاعي السياحة والسفر، فإن المساهمين الرئيسيين في الانبعاثات الكربونية هما الطائرات قصيرة ومتوسطة المدى بحوالي ثلثي إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الصادرة عن قطاع الطيران (Jovan & Dolanc, 2020; Longoria et al., 2021)؛ وبالتالي فإن محور هذا البحث يُركز على هذان القطاعان.

مشكلة البحث

بالرغم من التحول المتسارع نحو التقنيات البيئية وتعزيز الاستدامة، يُعتبر اعتماد الطائرات المزودة بالهيدروجين الأخضر تطورًا بارزًا في صناعتى السفر والسياحة. مع ذلك، تظل هناك مجموعة من التحديات والمخاطر التي تواجه هذا التحول التكنولوجي، والتي تحتاج إلى تقييم شامل. على هذا النحو، تبرز المشكلة

الحالية في فهم تأثير الفرص الاستثمارية والمخاطر المتصورة على قابلية اعتماد الطائرات المزودة بالهيدروجين في صناعة السياحة. تأسيسًا على ما تقدم، يمكن صياغه التساؤل الرئيسٍ الآتي:

"**إلى أي مدى تتأثر قابلية الاعتماد الفعلي للطائرات الهيدروجينية بالفرص والتحديات المُحتملة لتوظيفها بصناعة السياحة؟**"، ويتفرع منه التساؤلات التالية:

- ما دور الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية في قابلية الاعتماد الفعلي بصناعة السياحة.
- ما دور المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية في قابلية الاعتماد الفعلي بصناعة السياحة.
- ما تأثير الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية في العلاقة الناشئة بين المخاطر المتصورة وقابلية الاعتماد الفعلي بصناعة السياحة.

أهمية البحث

يوفر البحث فهمًا نظريًا لكيفية تأثير الفرص الاستثمارية والمخاطر المتصورة تجاه اعتماد تكنولوجيا الهيدروجين النظيف في سياق السفر الجوي، مما يساعد في بناء نظريات حول التحولات التكنولوجية في صناعة السياحة. كذلك إيضاح كيفية تحسين القرارات الاستثمارية والتخطيط الاستراتيجي لتبني هذه التقنية في تلك الصناعة .كذلك يُمكن أن يساعد البحث في توجيه صنع القرارات الحكومية والاستراتيجيات الصناعية لتعزيز استخدام الهيدروجين في قطاع الطيران. كما يُمكن أن يوجه البحث الاهتمام نحو فهم كيف يمكن تعزيز فرص الاستثمار وتحفيز الابتكارات الناشئة في مجال تصنيع طائرات الهيدروجين، مما يسهم في التقدم التكنولوجي والاقتصادي. علاوة على ذلك، يُسهم البحث في توضيح العوامل المؤثرة في اعتماد التكنولوجيا الخضراء في تحقيق التنمية المستدامة بقطاعي السياحة والطيران.

أهداف البحث

1. التعرف على التأثير المُحتمل للفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية.
2. تحديد أثر المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية.
3. استكشاف الدور المُعدل للفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية في التأثير المُحتمل للمخاطر المتصورة.

فروض البحث

H1: تأثير هناك إيجابي ومعنوي للفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية في قابلية الاعتماد بشركات الطيران المصرية.

H2: تأثير هناك سلبي ومعنوي للمخاطر المتصورة لاعتماد الطائرات الهيدروجينية في قابلية الاعتماد بشركات الطيران المصرية.

H3: سيتم تقليل التأثير المحتمل للمخاطر المتصورة لاعتماد الطائرات الهيدروجينية في قابلية الاعتماد بشركات الطيران المصرية من خلال الفرص الاستثمارية المتاحة لاعتماد تلك الطائرات.

حدود البحث

- **الحدود المكانية:** تم إجراء الدراسة الميدانية على شركات السفر الجوي في مصر.
- **الحدود الزمنية:** تم تنفيذ عملية جمع البيانات بين شهري ديسمبر ٢٠٢٣ ويناير ٢٠٢٤.

الإطار النظري

الهيدروجين الأخضر

يُعد الهيدروجين ناقل الطاقة الوحيد الخالي من الانبعاثات الكربونية، بخلاف الطاقة الكهربائية، والذي يخضع لدراسة جدية لنقل منخفض الكربون (Lozano, 2022)، إزالة الكربون الصناعي وتوفير الحرارة المطلوبة في العديد من البلدان (Jovan & Dolanc, 2020). في هذا الصدد، يُمكن إنتاج الهيدروجين من مواد أولية سواء كانت بيولوجية أو غير بيولوجية ومسارات الطاقة سواء المتجددة أو غير المتجددة حيث تستفيد الطاقة المتجددة من الإعانات أو الحد الأدنى من التزامات الشراء في العديد من البلدان (Oliveira et al., 2021)، إذ كانت في الماضي أكثر تكلفة من توليد الوقود الأحفوري (Longoria et al., 2021). على هذا النحو، تتطلب هذه الحوافز وجود معيارًا ثابتًا لتحديد كميات الطاقة المُتجددة؛ بغية الحصول على هذا الهيدروجين بأقل تكلفة مُمكنة (Imasiku et al., 2021). في سياق مُتصل، يُعد الهيدروجين منخفض الكربون أعلى تكلفة من الهيدروجين التقليدي (Kakoulaki et al., 2021)، فإذا حظى الهيدروجين المُستدام على الدعم المادي والمعنوي مستقبلًا من خلال السياسات المناخية الحكومية (Kopteva et al., 2021)؛ فستكون هناك حاجة ماسة إلى معايير مُماثلة لإنتاج الهيدروجين المُستدام.

بناءُ على ذلك، يُسمى إنتاج الهيدروجين بعملية التحليل الكهربائي القائم على استخدام الطاقة المُتجددة بالهيدروجين الأخضر، إذ يتم تمرير تيار كهربائي عبر جزيئات الماء (Atilhan et al., 2021)، مما يؤدي إلى إطلاق ذرات الهيدروجين والأكسجين. في المُجمل، تُعد هذه العملية الطريقة الأكثر فعالية لإنتاج الهيدروجين لإزالة الكربون الملوث لطبقات الغلاف الجوي بسبب بصمته الكربونية الصفرية (Kakoulaki et al., 2021). في هذا الصدد، يتم استخدام مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الكهرومائية، الطاقة الشمسية وطاقة الرياح لإتمام هذه العملية. يتميز الهيدروجين الأخضر بانبعاث أقل من ٣٦.٤ جرام من ثاني أكسيد الكربون/ميجاجول من البصمة الكربونية (Lozano, 2022). وصف Abad and Dodds (2020) الهيدروجين الأخضر بأنه الهيدروجين النظيف الناتج عن استخدام مصدر متجدد لتوليد الطاقة اللازمة إما بالاعتماد على الطاقة الشمسية أو الطاقة الناجمة عن سرعة الرياح.

من ناحية أخرى، تم ذكر الهيدروجين الأخضر لأول مرة ضمن وثائق سياسة الاتحاد الأوروبي كإعلان لإنشاء اقتصاد الهيدروجين الأخضر في القارة الأوروبية (Widera, 2020). في المقابل، يُصنف الهيدروجين المتولد من الغازات الأحفورية، النووية والصناعية المتبقية على أنه أخضر أو نظيف، عندما تكون انبعاثات هذه الغازات منخفضة للغاية (Oliveira et al., 2021). أثناء عملية إنتاج الهيدروجين الأخضر، يُمكن الحصول على الطاقة المطلوبة من ثاني أكسيد الكربون، كأحد مصادر الطاقة البديلة منخفضة التأثير البيئي الضار (Jovan & Dolanc, 2020; Longoria et al., 2021). مع ذلك، هناك بعض العقبات التكنولوجية التي يجب معالجتها لجعل هذا النهج مُمكنًا من النواحي الهندسية والاقتصادية للتوظيف ببعض القطاعات الخدمية (Kopteva et al., 2021).

توظيف الهيدروجين الأخضر بقطاعي السياحة والسفر

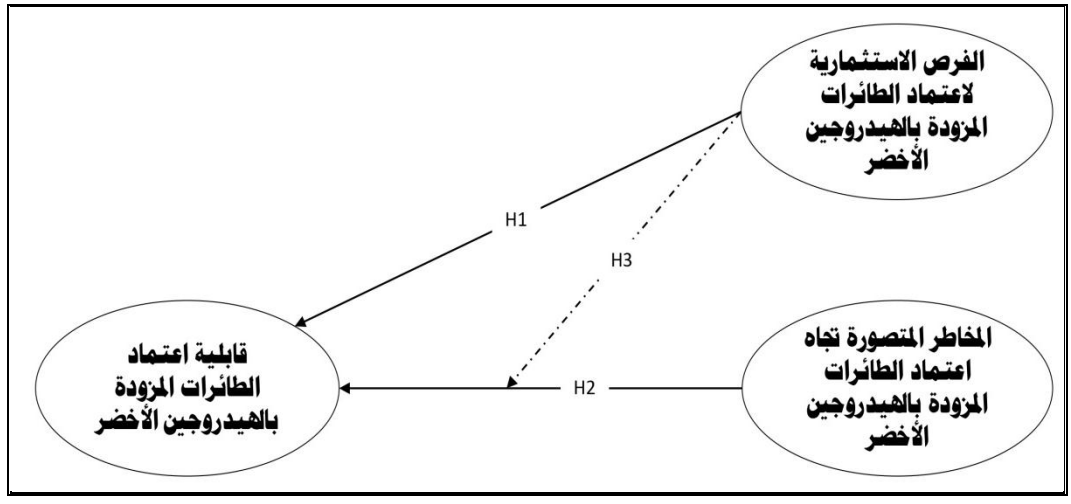
تتعرض السياحة الشتوية بشكل خاص لتأثيرات التغير المناخي، إذ تُعتبر درجات الحرارة تحت الصفر وتساقط الثلوج بكثرة من المتطلبات الأساسية (European Union, 2022). في سياق مُتصل، تُعتبر النمسا إحدى الوجهات الأكثر شعبية للرياضات الشتوية في القارة الأوروبية، حيث قدمت شركة BRP-Rotax المملوكة لشركة كندية مشروعًا مُربحًا لتوظيف الهيدروجين الأخضر بالمركبات الثلجية المستخدمة لممارسة هذا النمط السياحي (Willuhn, 2020). على هذا النحو، سيشهد مشروع HySnow قيام صناع المحركات النمساويين باستكشاف إمكانيات إزالة الكربون من السياحة الشتوية؛ بتعديل محركات العربات BRP Lynx 69 Ranger لتستهلك الهيدروجين، بدلاً من الغاز الطبيعي، وذلك بفضل مزج خلايا وقود المحركات الكهربائية. بناءً على ذلك، يتميز الهيدروجين الأخضر الذي تنتجه شركة Fronius بمصفوفة شمسية بقدرة ٣٤.٥ كيلووات، مُحلل كهربائي، صهاريج تخزين ونظام مُحكم لتزويد الوقود بالمحركات (Rivarolo et al., 2020).

من ناحية أخرى، أشار رئيس قسم الطاقة الشمسية بشركة Fronius، *"نحن على يقين من أن الهيدروجين الأخضر سيمثل بديلاً مستدامًا للوقود الأحفوري لممارسة الأنماط السياحية المختلفة"* (World Economic Forum, 2021). على هذا النحو، يُمكن للشركات والمنظمات الأخرى التي لديها أسطول من المركبات التي تحتاج لمحركات الطاقة إنتاج الهيدروجين الأخضر، ولاسيما إذا كان لديها مساحة كافية على الأسطح لاستضافة ألواح الطاقة الشمسية (Willuhn, 2020). من منظور صناعة السفر، تتوقع شركة إيرباص أن الهيدروجين الأخضر سيعمل على تشغيل طائراتها المستقبلية الخالية من الانبعاثات عندما تصل إلى السوق بحلول عام ٢٠٣٥ (AirBus, 2021). يتمثل التحدي في هذه الآونة في دعم التوسع على المدى الطويل؛ لضمان توافر ما يكفي من الهيدروجين النظيف لتلبية احتياجات صناعة السفر (European Union, 2022).

يُعد الهيدروجين الأخضر أحد مسارات الطاقة المُتجددة التي تشكل جزءًا مهمًا من استراتيجية إيرباص لقيادة عملية إزالة الانبعاثات الكربونية في السفر الجوي (Lozano, 2022)، مما يُعني أن تصميم النظام البيئي المستقبلي للهيدروجين الأخضر بالطائرات السياحية يتحتم أن يكون على استعداد تام لدخول الطائرات الهيدروجينية في سياق التجربة الفعلية بحلول عام ٢٠٣٥ (AirBus, 2021). تأسيسًا على ذلك، إذا استمر

التقدم في تعزيز اقتصاد الهيدروجين كما هو متوقع (Rivarolo et al., 2020)، فلن يكون الهيدروجين الأخضر متاحًا بسهولة فحسب (Jiménez-Crisóstomo et al., 2021)، بل سيكون أيضًا فعالاً من حيث التكلفة بحلول عام ٢٠٣٠، وهو جدول زمني يتماشى مع طموحات إيرباص (AirBus, 2021).

في رحلة تجريبية حديثة، حققت شركة ZeroAvia المتخصصة في تصنيع المحركات إنجازًا فريدًا من خلال تحليق طائرة ذات ٢٠ مقعدًا تعمل كليًا بالهيدروجين الأخضر (World Economic Forum, 2021). تُعد هذه التجربة المتقدمة خطوة واعدة نحو مستقبل خالٍ من الانبعاثات في صناعة السفر الجوي (Willuhn, 2020). بناءً على ما سبق، تم تطوير الإطار النظري للبحث الحالي (انظر شكل ١) لسد الفجوة البحثية القائمة في الأدبيات السابقة بشأن التحقق من مدى استغلال الفرص الاستثمارية والتغلب على المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات المزودة بالهيدروجين الأخضر، إلى جانب مدى قابلية اعتمادها في الرحلات السياحية المُنظمة من قبل شركات الطيران المصرية.



شكل 1. نموذج البحث

المصدر: إعداد الباحثين

قابلية اعتماد الطائرات المزودة بالهيدروجين الأخضر

تم إجراء دراسة تجريبية جديدة، بتكليف من Clean Sky 2 وFuel Cells & Hydrogen 2 Joint بموجب التعهدات المُبرمة حول إمكانية استخدام الهيدروجين النظيف في صناعتي السفر والسياحة (Lozano, 2022). أسفرت النتائج المستخلصة أن تشغيل الأكسجين الأساسي لعملية الدفع إما لخلايا الوقود أو خزانات الحرق المباشر بالمحركات الحرارية "توربينات الغاز" أو ككتلة بناء للوقود الاصطناعي (Samir, 2022)؛ يمكن أن يعمل بشكل جزئي داخل الطائرات المُجهزة بالتصميمات الهيدروجينية حين دخولها سياق التجربة الفعلية بحلول عام ٢٠٣٥ (Peake, 2022). سيتطلب هذا الابتكار إجراء أبحاثًا وتطويرًا كبيرًا لتصميم محركات الطائرات التي تسعى لتوظيف الوقود المستدام في اقلاعها ومواصلة تطوير خزانات الهيدروجين السائل

(Imasiku et al., 2021)، وكذلك الاستثمارات في البنية التحتية لمعايير الاعتماد الفعلي؛ بغية ضمان قدرة الطائرات التي تعمل بالطاقة الهيدروجينية بشكل آمن واقتصادي نحو تحقيق النجاح والاستمرارية (Atilhan et al., 2021). تأسيسًا على ذلك، يتوقع الخبراء السياحيين أن الأمر سيستغرق من ١٠–١٥ عامًا لتحقيق هذه التطورات فعليًا في الدول النامية (Samir, 2022).

وفقًا لما ذكره Lozano (2022) بأنه يُمكن تطوير أول خزان وقود قصير المدى يعمل بالهيدروجين الأخضر بحلول عام ٢٠٢٨، إذا تم توفير استثمارات واسعة المدى تجاه تطوير محركات الطائرات السياحية. على غرار ذلك، انخفضت تكلفة إنتاج الهيدروجين النظيف في السنوات الخمس الأخيرة بفضل الطاقة الكهربائية المتجددة رخيصة التكلفة (Peake, 2022). في ذات الوقت، حققت خلايا وقود محركات الطائرات المزودة بالطاقة المُتجددة أداء فعلي ملحوظ من حيث المتانة، القدرة على الحرق البسيط والتكلفة المنخفضة (Lozano, 2022). في هذه الآونة، قد أتاح عدم استخدام الوقود المستدام بمحركات طائرات الرحلات السياحية هذه الحلول لإزالة الكربون الناشئ عن طول الرحلة المستغرقة بين دولة وأخرى (Samir, 2022). بشكل عام، يؤكد المدير التنفيذي لخلايا الوقود والهيدروجين المستدام، إن قطاع الهيدروجين وخلايا الوقود جاهز لإبرام التعاقد مع صناعة السفر الجوي في الدول النامية (Willuhn, 2020)؛ بغية تصميم وإعادة هيكلة خزانات الوقود المستدام وجعل السفر الجوي خالٍ تمامًا من الانبعاثات الكربونية (Talwar et al., 2022).

الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات المزودة بالهيدروجين الأخضر

يُوفر الهيدروجين الأخضر في صناعة السياحة العديد من الفرص الاستثمارية الواعدة لتحويل هذا القطاع من مرحلة الإنتاج إلى مرحلة التوزيع والتجربة الفعلية لتصميمات الطائرات الحديثة (Lozano, 2022)، إذ يُعد البحث والابتكار أمرًا حيويًا لتحقيق الإمكانات الكاملة لتقنيات الهيدروجين الأخضر لإزالة الكربون الصفري من الرحلات الجوية (Imasiku et al., 2021). في هذا الصدد، يُعد برنامج إطار البحث والابتكار المستقبلي Horizon Europe التابع للاتحاد الأوروبي فرصة رائعة لتعزيز هذه الأجندة الناشئة، والعمل بالشراكة مع الصناعة ومجتمع البحث العلمي (European Union, 2022). فإن التعاون المُثمر بين التعهدات المشتركة المخصصة لخلايا وقود الهيدروجين والسفر المستدام يوضح الحاجة الماسة إلى تآزر وثيق بين القطاعين.

من ناحية أخرى، أصدرت حكومة المملكة المتحدة ما يسمى باستراتيجية "Jet Zero"، والتي حددت فيها خططًا استراتيجيةً لإدخال مزيج إلزامي بنسبة ١٠% من الهيدروجين الأخضر في وقود الطائرات بحلول عام ٢٠٣٠ (European Union, 2022). في حين تواجه شركة إمبراير تحدي الطيران الأخضر بشكل مباشر؛ لأسباب ليس أقلها أنه يمثل فرصة عمل استثمارية. نتيجة لذلك، أشار Peake (2022) إلى أن قطاع السياحة سيستفيد من التحول نحو الطيران المُستدام. فإن طرح الوقود المستدام، تطوير طائرات جديدة مبتكرة وإجراء تغييرات جذرية في البنية التحتية للمطارات؛ سيستغرق وقتًا ليس طويًا (Samir, 2022)، ولكنه سيؤدي إلى خلق آلاف من فرص العمل الجديدة في هذا القطاع الاستثماري (Peake, 2022).

على الصعيد المحلي، وقعت وزارتا الكهرباء والثروة المعدنية مذكرة تفاهم مع البنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية بشأن تقييم آفاق اقتصاد منخفض الكربون الهيدروجيني في القطاعات الخدمية المختلفة. تهدف هذه المذكرة إلى فهم الجدوى الفنية، الاقتصادية والتنظيمية لتطوير سلاسل توريد الهيدروجين في سياق الاقتصاد الأخضر (Samir, 2022). كما وقعت وزارة السياحة المصرية والبنك الأوروبي لإعادة الإعمار والتنمية مذكرة تفاهم لتوظيف الهيدروجين الأخضر في صناعة السياحة (Samir, 2022)، وذلك في إطار عزم الدولة المصرية على التحول إلى الاقتصاد الأخضر من خلال تبني استراتيجيات مبتكرة، زيادة الاستثمار في رأس المال البشري والتحول إلى قطاع النقل المُستدام كجزء من استراتيجية الدولة ٢٠٥٠ للبقاء ضمن مناخ آمن.

المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات المزودة بالهيدروجين الأخضر

إن التحديات التقنية والخصائص الفريدة للهيدروجين الأخضر كمصدر للطاقة على متن الطائرة تجعله مناسبًا بشكل أفضل لطائرات المسافرين والطائرات الإقليمية (Emodi et al., 2021). في العقود المقبلة، من المرجح أن يعتمد السفر الجوي لمسافات طويلة على الوقود الهيدروكربوني السائل (Kar et al., 2022)؛ ولكن على نحو متزايد، ستحتاج هذه الأنواع إلى أن تكون مستدامة، وستعتمد أنواع الوقود المتسربة على الهيدروجين النظيف لإنتاجها (Xu et al., 2022). علاوة على ذلك، لا تزال هناك تحديات اقتصادية بالغة ينبغي التغلب عليها لجعل هذا النوع من إنتاج الهيدروجين قابلاً للتطبيق (Yusaf et al., 2022). قد تشمل هذه التحديات خفض تكاليف الإنتاج، تطوير طرق آمنة وفعالة للتخزين والنقل المستدام وتحسين المعدات المستخدمة في تحويل الطاقة الكيميائية للهيدروجين إلى طاقة كهربائية (Lozano, 2022).

على الرغم من التحديات المذكورة أعلاه، سيكون للهيدروجين الأخضر عدد من الاستخدامات الفعلية في المستقبل القريب، بما في ذلك التي تعمل شركة Amusement Logic على تطويرها في صورة مشاريع ترفيهية وسياحية، سواء كانت حدائق مائية أو فنادق أو منتجعات أو معسكرات أو مراكز تسوق. على سبيل المثال، كوقود لتكييف الهواء في الأماكن المفتوحة أو لتأقلم المياه المستخدمة في أغراض أخرى غير الاستهلاك الآدمي (Lozano, 2022). من المرجح أن يؤدي ذلك إلى إيقاف أسعار تذاكر الطيران الرخيصة لفترة من الوقت، وبالتالي ستكون تكلفة الرحلة السياحية باهظة الثمن (Peake, 2022). تأسيسًا على ذلك، فالتحول إلى اللون الأخضر ليس رخيصًا! بل سيتطلب الأمر الاستثمارات الضخمة وتوفير مليارات الدولارات من الشركات المصنعة للطائرات (Talwar *et al*., 2022)، بالإضافة إلى إعادة هيكلة المطارات مع الطراز الجديد من هذه الطائرات المُعاد تصنيعها (Åkerman *et al*., 2021).

منهجية البحث

تم تضمين المنهج الوصفي التحليلي لوصف ظاهرة الدراسة الحالية "*استكشاف الفرص الاستثمارية والتخلص من المخاطر المُحتملة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية في السفر الجوي*" ثم تبرير النتائج المتحصل عليها من العينة المرصودة.

مجتمع وعينة البحث

اشتمل مجتمع الدراسة على الخبراء المصريين في التغيرات المناخية، الاحتباس الحراري والانبعاثات الكربونية ذات الصلة بمجالي السياحة والبيئة. تم استخدام نهج العينات القصدية لتحديد عينة الدراسة اعتمادًا على: أ) أن يكونوا مصريين الجنسية وب) أن يكونوا حاصلين على بكالوريوس/ليسانس في إحدى التخصصات التالية: السياحة البيئية أو التنمية السياحية المستدامة أو التغيرات المناخية. بناءً على ذلك، تم الوصول لهؤلاء الخبراء من خلال استبيان تجريبي تم إجراؤه عبر Google Form، وارساله بصفة شخصية للخبراء عبر الواتساب أو التليجرام. تم تحديد الخبراء من قبل بيان موجز بالخبراء السياحيين أو ذوي الصلة بالتغيرات المناخية التابعيين لوزارة البيئة من خلال الاتصال المباشر بأرقام الهواتف الخاصة باستعلامات وزارة السياحة والآثار، ووزارة الدولة لشئون البيئة.

أداة جمع البيانات

تم إعداد استبيان إلكتروني عبر Google Form مع توظيف خيارات الاستجابة ذات الصلة بمقياس ليكرت الخماسي. بناءً على ذلك، تم استخلاص جميع العبارات من الأدبيات السابقة ذات الصلة بصناعة السياحة (Åkerman et al., 2021; Hoelzen et al., 2022; Jiménez-Crisóstomo et al., 2021; Oliveira et al., 2021; Talwar et al., 2022; Xu et al., 2022; Yusaf et al., 2022). بشكل أكثر تفصيلًا، اشتملت الاستبانة المُصممة على أربعة محاور رئيسية: تضمن المحور الأول المعلومات الديموغرافية للمستجيبين من حيث النوع، الفئة العمرية، المستوى التعليمي والخبرة المهنية. كما تضمن المحور الثاني الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية، والتي تم قياسها باستخدام ست عبارات، في حين اشتمل المحور الثالث على المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية، والذي تم قياسه بخمس عبارات، بينما تضمن المحور الأخير قابلية اعتماد الطائرات الهيدروجينية، حيث تم اعتماد خمس عبارات.

الصدق الظاهري والبنائي للاستبيان

نظرًا لأن اللغة الرسمية لعبارات المقاييس كانت اللغة الإنجليزية، لذا كان يتطلب ترجمة العبارات للغة العربية؛ بعد إجراء الترجمة إلى النص العربي، تم عرض النصين المترجم والأصلي على ثلاثة مدققين لغويين لفحص مدى مطابقة النصوص وتوضيحهما لنفس المضمون الأصلي. نتيجة لذلك، أثبت هؤلاء المدققين أن الاستبيان المترجم يوضح مضمون العبارات، مما يؤكد الصدق الظاهري للاستبيان. بناءً على ذلك، تم توزيع الاستبيان المُترجم على عينة من الخبراء بلغت ١٤ خبير سياحيًا لفحص مدى فهم الاستبيان وبساطة عباراته. على هذا النحو، أعربوا على وضوح العبارات وسهولة فهمها، ولكن أكدوا على تحسين طفيف في سياق بعض العبارات المُستخدمة، وبالتالي تم اتباع ملاحظاتهم القيمة، ومن ثم تم استخراج معاملات الارتباط للتحقق من الصدق البنائي للاستبيان (انظر جدول ١).

جدول ١. مُعاملات الارتباط بين العبارات ودرجاتها الكلية

المتغيرات	العبارات							
الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية	1	.725**	2	.793**	3	.698**	4	.788**
	5	.753**	6	.791**				
المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية	1	.649**	2	.716**	3	.644**	4	.756**
	5	.733**						
قابلية اعتماد الطائرات الهيدروجينية	1	.764**	2	.783**	3	.728**	4	.710**
	5	.698**						

يتضح من جدول (١) أن مُعاملات الارتباط بين العبارات ودرجاتها الكلية باستخدام SPSS28، أكدت أن الاستبيان يتمتع بصدق بنائي كافٍ لتخطي قيم الارتباط بين كل عبارة ودرجتها الكلية قيمة 0.50 (Hair et al., 2021).

جمع البيانات

تم الحصول على البيانات من ٩٨ خبير سياحي وبيئي توافرت بهم معايير اختيار العينة القصدية خلال الفترة من ٢٠ ديسمبر 2023 حتى ١٦ يناير 2024. بعد فحص البيانات المُجمعة، تبين أن هناك خمسة استجابات غير صالحة لوجود بها قيم متطرفة تتجاوز الحدود المسموح بها لعبارات الاستبيان (١٠%) من إجمالي العبارات، ومن ثم تم استبعاد هذه العبارات من مجموعة البيانات النهائية (Hair et al., 2021). علاوة على ذلك، تم التحقق من مدى كفاية حجم العينة النهائي (n = 93) للتحليل الإحصائي باستخدام G*power. أثبتت نتائج مؤشرة الصلاحية الإحصائية بأن حجم العينة تجاوز قيمة ٨٠% (Power = .95688)، مما يُشير إلى صلاحية العينة للتحليلات الإحصائية.

استراتيجية تحليل البيانات

وفقًا لطبيعة الدراسة الاستكشافية وتضمين متغيرات متقدمة في النموذج كالدور المُعدل للفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية (Hair et al., 2021)، يُعد نمذجة المعادلات الهيكلية المبنية على المربعات الجزئية مناسبة لتحليل البيانات (Kock, 2021b). كما تسمح هذه النمذجة بتحليل البيانات غير الموزعة بشكل طبيعي مع أحجام عينة صغيرة لا تتجاوز ١٠٠ حالة كما يظهر في حالتنا (Kock, 2022a). علاوة على ذلك، تتعامل هذه النمذجة مع النماذج المعقدة القائمة على تطوير النظرية (Kock, 2021a). بناءً على ذلك، تم توظيف WarpPLS v.8 لتحليل البيانات في مرحلتين مختلفتين (Kock, 2022b): تقييم النموذج الخارجي (أي فحص الصدق التقاربي والتمييزي وكذلك مُعاملات الارتباط بين المتغيرات الرئيسية) والنموذج الداخلي (أي تقييم مدى ملائمة النموذج واستخدام مُنحدرات التفاعل الثنائية).

النتائج والمناقشة

البيانات الديموغرافية لعينة الدراسة

تم استخراج الخصائص الديموغرافية للمشاركين من حيث عدد التكرارات والنسب المئوية لهذه التكرارات كما موضح بجدول (٢).

جدول 2. الخصائص الديموغرافية للمشاركين (N = 93)

الخصائص	الفئة	التكرارات	النسبة	الخصائص	الفئة	التكرارات	النسبة
النوع	ذكر	٥٩	٦٣	الخبرة المهنية	أقل من ٥ سنوات	١٩	٢٠
	أنثى	٣٤	٣٧		٥-٧ سنوات	٣١	٣٣
الفئة العمرية	أقل من ٤٠ عام	١٦	١٧		٨-١٠ سنوات	١٥	١٦
	٤٠-٥٠ عام	٣٧	٤٠		أكثر من ١٠ سنوات	٢٨	٣٠
	أكثر من ٥٠ عام	٤٠	٤٣	المستوى التعليمي	دراسات عليا	٤٢	٤٥
					بكالوريوس	٥١	٥٥

يتضح من جدول (٢) أن معظم المشاركين كانوا من الذكور (٦٣%)، بينما (٣٧%) منهم كانوا من الإناث. كانت غالبية المشاركين (٤٣%) من الخبراء الذين تزيد أعمارهم عن ٥٠ عام. فيما يتعلق بالخبرة المهنية، كان (٣٣%) من المشاركين الذين لديهم ٥–٧ سنوات، يليهم (٣٠%) ممن لديهم أكثر من ١٠ سنوات. علاوة على ذلك، حصل (٥٥%) من المشاركين على درجة البكالوريوس، بينما (٤٥%) المتبقين كانوا من الحاصلين على درجات علمية أعلى سواء الماجستير أو دكتوراه الفلسفة.

تقييم النموذج الخارجي

تم توظيف متوسط التباين المستخرج (AVE ≥ 50%)، الموثوقية المركبة (CR ≥ 0.70)، مُعامل الارتباط (r ≥ 0.50) وتشبع العبارات (SFL ≥ 0.708) لتقييم النموذج الخارجي تقاربيًا كما أوصى Kock (2022a). كما تم استخدام قيم HTMT للتحقق من مدى صدق النموذج تمييزيًا، عندما لا تتجاوز قيم الارتباطات (٠.٨٥) (Kock, 2021b).

جدول 3. نتائج الصدق التقارُبي والتمييزي

الصدق التقاربي					
المتغيرات	كود العبارة	العبارات	تشبُع العبارات	الموثوقية المركبة	متوسط التباين المُستخرج
الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات المزودة بالهيدروجين الأخضر	فرص1	إن التحول نحو اعتماد الهيدروجين الأخضر داخل محركات وقود الطائرات سيساعد في تحسين التجارب السياحية.	.802	.927	.679
	فرص2	تُعتبر الطائرات المزودة بالهيدروجين مُجدية اقتصاديًا لصناعة السياحة.	.811		
	فرص3	تُعد الاستدامة البيئية الناجمة عن توظيف الطائرات الهيدروجينية عاملاً استثماريًا واسع النطاق.	.832		
	فرص4	قد تكتسب الشركات التي تستثمر في الطائرات المزودة بالهيدروجين الأخضر ميزة تنافسية في صناعة السياحة.	.808		
	فرص5	تجعل الحوافز والمبادرات الحكومية الاستثمار في الطيران الهيدروجيني أكثر جاذبية بصناعة السياحة.	.843		
	فرص6	يُعد الطيران الهيدروجيني فرصة استثمارية عالية النمو في صناعة السياحة.	.845		
المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات المزودة بالهيدروجين الأخضر	مخاطر1	تواجه عملية توظيف الهيدروجين النظيف بمحركات وقود الطائرات في هذه الآونة تحديات تكنولوجية بالغة.	.789	.898	.637
	مخاطر2	تُعد البنية التحتية وسلسلة التوريد لتطوير الطائرات الهيدروجينية مصدر قلق مُحتمل على مصير صناعة السياحة.	.800		
	مخاطر3	تُشكل المشكلات الأمنية والتنظيمية عقبات بالغة تجاه اعتماد الطائرات المزود بالهيدروجين النظيف في صناعة السياحة.	.795		
	مخاطر4	يمكن التحكم في معظم التحديات الاقتصادية المرتبطة باعتماد الطائرات الهيدروجينية مع مرور الوقت (معكوسة).	.797		
	مخاطر5	من المرجح أن يكون قبول سوق الرحلات السياحية القائم على الوقود النظيف "الهيدروجين الأخضر" أمرًا صعبًا في الآونة المقبلة.	.809		
قابلية اعتماد الطائرات المزودة بالهيدروجين الأخضر	قابلية١	لدى معرفة مُسبقة بتقنية طائرات الهيدروجين، والتي يمكن توظيفها بقطاع السياحة في الآونة المقبلة.	.837	.922	.701
	قابلية٢	أعلم بأن هناك العديد من الفوائد البيئية للطائرات الهيدروجينية (كخفض الانبعاثات الكربونية) في صناعة السياحة.	.821		
	قابلية٣	ستصبح الطائرات الهيدروجينية جزءًا فعالًا من خيارات السفر الجوي في صناعة السياحة خلال السنوات الخمس المقبلة.	.849		
	قابلية٤	أرى إن الطائرات الهيدروجينية أكثر أمانًا، مقارنة بالطائرات التقليدية المستخدمة في صناعة السياحة.	.854		
	قابلية٥	ستضيف إمكانات الطائرات المزودة بالهيدروجين النظيف قيمة بالغة في الحد من تأثيرات التغيرات المناخية.	.826		

الصدق التمييزي والارتباط البسيط			
المتغيرات	1. الفرص الاستثمارية	2. المخاطر المتصورة	3. قابلية الاعتماد
1. الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية			
2. المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية	.412 (-.501**)		
3. قابلية اعتماد الطائرات الهيدروجينية	.533 (.664**)	.429 (-.517**)	
ملحوظة: توضع قيم الارتباط البسيط بين القوسين عند دلالة إحصائية ٠.٠١**			

أسفرت النتائج المُعلنة بجدول (٣) أن جميع قيم تشبع العبارات والموثوقية المركبة إلى جانب متوسطات التباين المستخرجة قد تجاوزت القيم المسموح بها، مما يُثبت الصدق التقاربي للنموذج الخارجي. كما أكدت النتائج على وجود ارتباطات معنوية بين المتغيرات، كونها تخطت الحد الأدنى للارتباطات (50%). علاوة على ذلك، بينت النتائج أن قيم نسبة HTMT لم تتجاوز 0.85، مما يؤكد الصدق التمييزي للنموذج الخارجي.

تقييم النموذج الداخلي

تم فحص جودة ملائمة النموذج الداخلي قبل التحقق من صحة الفروض باستخدام معياريين رئيسين: أ) مُعامل التحديد (R^2) بقيمة تتجاوز 10% وب) حجم التأثير (f^2) بقيم تتجاوز 0.35 (تأثير قوي)، بينما التي تنحصر بين 35. وأكبر من 15. (تأثير متوسط)، في حين التي تنخفض عن 15. (تأثير ضعيف) (Memon et al., 2021). كما تم استخراج التأثيرات المباشرة باستخدام PLSboostrapping مع قيم ت الجدولية التي تتجاوز 1.96 بدلالة إحصائية ($^{*}p < 0.05$, $^{**}p < 0.01$, $^{***}p < .001$) (Hair et al., 2021).

جدول 4. نتائج اختبار المسارات المباشرة

	المسارات	قيمة β	قيمة T	P-value	حجم التأثير f^2	مُعامل التحديد R^2	النتيجة
H1	الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية ← قابلية الاعتماد الفعلي لهذه الطائرات	.536***	17.335	.000	.489	.488	قبول الفرض
H2	المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية ← قابلية الاعتماد الفعلي لهذه الطائرات	-.454***	12.548	.000	.371		قبول الفرض

يتبين من جدول (٤) أن مُعامل التحديد لتأثير الفرص الاستثمارية والمخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية مُجتمعين فسروا ٤٨.٨% من التباين في قابلية الاعتماد الفعلي لهذه الطائرات. هذا يؤكد أن النموذج الداخلي يتمتع بصلاحية تفسيرية مقبولة. كما أكدت قيم التأثير (f^2) التي تجاوزت 0.35 على وجود أحجام تأثير قوية للمتغيرات المستقلة في المتغير التابع. علاوة على ذلك، أظهرت نتائج جدول (٤) أن الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية أثرت إيجابيًا ومعنويًا في قابلية الاعتماد الفعلي لهذه الطائرات ($\beta = .536$; $t = 17.335$; $p < .001$)، مما يؤكد صحة الفرض الأول H1. على نقيض ذلك، أكدت نتائج جدول (٤) أن المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية أثرت سلبًا في قابلية اعتماد هذه الطائرات ($\beta =$

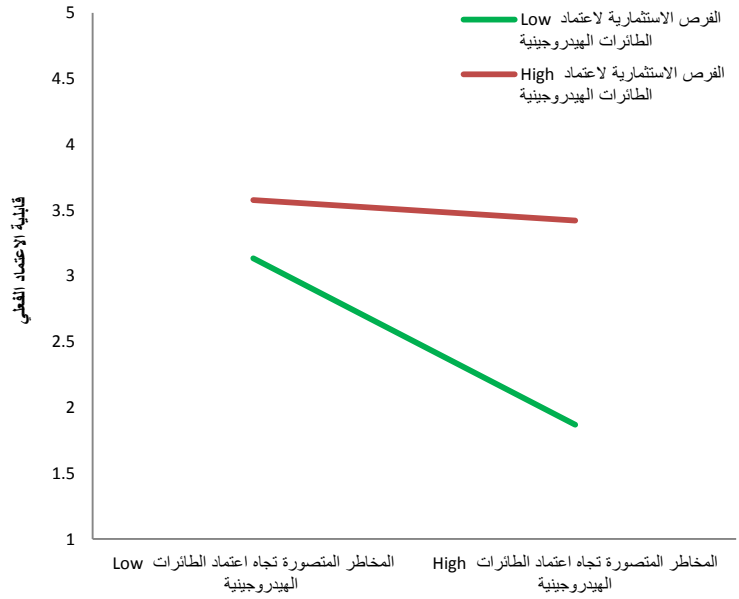
.001 > p ;12.548 = t ;454.-)، مما يؤكد صحة الفرض الأول H2. من ناحية أخرى، تم استخدام نهج المرحلتين لتقييم الدور المُعدل للفرص الاستثمارية تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية (Kock, 2021b).

جدول 5. نتائج تحليل المسارات غير المباشرة

المسار		قيمة β	T-value	P-value	النتيجة
المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية ← قابلية الاعتماد الفعلي لهذه الطائرات	المرحلة 1	-.355**	7.183	.002	
الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية ← قابلية الاعتماد الفعلي لهذه الطائرات	المرحلة 2	.499***	8.937	.000	
الفرص الاستثمارية × المخاطر المتصورة ← قابلية الاعتماد الفعلي لهذه الطائرات	H3	.277**	5.321	.009	قبول الفرض

أكدت نتائج جدول (٥) أن التأثير السلبي للمخاطر المتصورة تجاه اعتماد الطائرات الهيدروجينية في قابلية الاعتماد الفعلي انخفض نسبيًا بالمرحلة ١ عن التأثير المباشر (β = -.355; t = 7.183; p < .01). كما أظهرت نتائج المرحلة ٢ أن التأثير الإيجابي للفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية انخفض قليلًا عن التأثير المباشر (β = .499; t = 8.937; p < .001). بناءً على ذلك، بينت نتائج جدول (٥) أن تأثير مصطلح التفاعل "الفرص الاستثمارية × المخاطر المتصورة" في قابلية الاعتماد الفعلي كان إيجابيًا ومعنويًا (β = .277; t = 5.321; p < .001). تُشير النتائج المستخلصة إلى أن الفرص الاستثمارية قد خفضت من التأثير السلبي للمخاطر المتصورة في قابلية الاعتماد الفعلي، بما يؤكد صحة الفرض الثالث H3. بشكل أكثر تفصيلًا، تم توظيف منحدرات التفاعل الثنائية للتحقق من المستويات المرتفعة والمنخفضة للمتغير المُعدل "الفرص الاستثمارية" في العلاقة السلبية بين المخاطر المتصورة وقابلية الاعتماد الفعلي.

أظهرت نتائج شكل (٢) أنه كلما زادت الفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية في صناعة السياحة، انخفضت مستويات المخاطر المتصورة سواء كانت تكنولوجية أو اقتصادية أو بيئية أو اجتماعية، مما يزيد من قابلية الاعتماد الفعلي للشركات والمنظمات ذات الصلة بالهيدروجين الأخضر. هذا يؤكد إمكانية الدول النامية للاعتماد الفعلي (جمهورية مصر العربية كدراسة حالة)، ومحاولة اقلاع أول طائرة هيدروجينية تحمل مسافرين بأغراض ترفيهية أو غيرها في المستقبل القريب.



شكل 2. نتائج التأثير المُعدل للفرص الاستثمارية لاعتماد الطائرات الهيدروجينية في علاقة المخاطر المتصورة بقابلية الاعتماد الفعلي

المصدر: إعداد الباحثين

مناقشة النتائج

يُظهر البحث أن الفرص الاستثمارية في اعتماد الطائرات الهيدروجينية تلعب دورًا إيجابيًا ومعنويًا في قابلية الاعتماد الفعلي، وهذا يتفق مع الأدبيات السابقة (Imasiku et al., 2021; Lozano, 2022; European Union, 2022; Peake, 2022) حيث أشارت إلى أن الاستثمارات في التقنيات البيئية الحديثة تعزز تفضيلات العملاء كما تُعد محفزًا ناشئًا للابتكار في صناعة السياحة. كما تؤكد نتائج الدراسة على أن المخاطر المتصورة تجاه اعتماد الهيدروجين الأخضر في الطيران السياحي تؤثر سلبًا على قابلية الاعتماد. هذا يتسق مع الأبحاث التجريبية الحديثة (Åkerman *et al.*, 2021; Talwar *et al.*, 2022)، والتي أظهرت أن عدم اليقين التكنولوجي والقلق المتزايد ذات الصلة بالمشكلات الأمنية يُعدان تحديات رئيسية تجاه قبول التقنيات الجديدة في صناعة السياحة. علاوة على ذلك، تبرز نتائج البحث حول تعزيز الفرص الاستثمارية من دورها المحوري في التخفيف من التأثير المحتمل للمخاطر المتصورة، وهو نتيجة تداخل متزايد بين الفرص والتحديات. هذا يتفق مع الإطار النظري الذي يفترض أن الفرص الاستثمارية قد تلعب دورًا تعزيزيًا في تخفيف تأثير المخاطر في قابلية الاعتماد للتقنيات الناشئة ذات الصلة بتخفيف مستويات الاحتباس الحراري.

التوصيات

يقدم البحث بعض التوصيات التي يمكن لأجهزة الدولة ممثلة في وزارة البيئة ووزارة السياحة والآثار والتكامل مع كافة أجهزة الدولة الأخرى لتنفيذ خارطة طريق تزامناً مع خطة الدولة لتحقيق التنمية المستدامة وتطبيق معايير الاقتصاد الأخضر، هذا بالتعاون مع القطاع الخاص وشركات الطيران المعنية على النحو التالي:

١. وضع خارطة طريق للسفر الجوي المُستدام لتوجيه عملية التحول الأحفوري في طول مدة الرحلة السياحية، إذ يحتاج إلى وضع طموحات مكثفة، مواءمة المعايير العالمية والتغلب على إخفاقات السوق المستهدف.

٢. ضرورة زيادة أنشطة البحث والابتكار مع تقديم التمويل على المدى الطويل لتطوير التقنيات البيئية الحديثة ذات الصلة بصناعتى السياحة والسفر، الذي من شأنه زيادة اليقين القانوني والمالي. كذلك دعم الابتكار في مجال تطوير تكنولوجيا الهيدروجين وتقديم حوافز للشركات الاستثمارية في هذا المجال.

٣. ينبغي للإطار المقترح للسياسات طويلة الآجل أن يحدد حواجز التنفيذ المُحتمل في قطاع السياحة المصري، بما في ذلك كيفية قياس تأثير المناخ وتنفيذ خارطة طريق مُحكمة.

٤. يُفضل تعزيز الوعي بفوائد استخدام الهيدروجين في صناعة الطيران وكيف يمكن للشركات السياحية استغلال هذه التكنولوجيا لتحسين سمعتها وجذب المزيد من العملاء المرتقبين.

٥. يُنصح بالاستثمار في تطوير البنية التحتية لتوفير تكنولوجيا الهيدروجين داخل المطارات المصرية، وتعزيز القدرة على تشغيل رحلات طيران هيدروجينية.

الأفاق المستقبلية والقيود البحثية

يفتح البحث آفاقًا لتوسيع الدراسات المستقبلية لفهم تأثير عوامل إضافية مثل التشريعات الحكومية وتطور التكنولوجيا في استخدام الهيدروجين في الطيران. على نقيض ذلك، تم تحليل البيانات ضمن إطار زمني مُحدد، مما قد يؤثر على قابلية تعميم النتائج المستخلصة لفترات زمنية مختلفة. كما يُشير البحث إلى أنه قد تم التركيز على مجموعة محددة من المتغيرات المستقلة، وهو يوضح أن البحوث المستقبلية يمكن أن تتناول المتغيرات الإضافية كالعائد على الاستثمار، التدفقات النقدية والصورة الذهنية لشركة الطيران.

قائمة المراجع

Abad, A. V., & Dodds, P. E. (2020). Green hydrogen characterisation initiatives: Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges. *Energy Policy, 138*, 111300.

AirBus (2021). *The green hydrogen ecosystem for aviation, explained*. https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2021-06-the-green-hydrogen-ecosystem-for-aviation-explained (Accessed on 19 Jan 2022)

Åkerman, J., Kamb, A., Larsson, J., & Nässén, J. (2021). Low-carbon scenarios for long-distance travel 2060. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *99*, 103010.

Atilhan, S., Park, S., El-Halwagi, M. M., Atilhan, M., Moore, M., & Nielsen, R. B. (2021). Green hydrogen as an alternative fuel for the shipping industry. *Current Opinion in Chemical Engineering*, *31*, 100668.

Dincer, I., Javani, N., & Karayel, G. K. (2022). Sustainable city concept based on green hydrogen energy. *Sustainable Cities and Society*, *87*, 104154.

Emodi, N. V., Lovell, H., Levitt, C., & Franklin, E. (2021). A systematic literature review of societal acceptance and stakeholders' perception of hydrogen technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, *46*(60), 30669-30697.

European Union (2022). *Hydrogen-powered aviation*. https://www.clean-aviation.eu/hydrogen-powered-aviation (Accessed on 19 Jan 2022)

Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P., Ray, S., ... & Ray, S. (2021). *An introduction to structural equation modeling*. In Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: a workbook, 1-29.

Hoelzen, J., Silberhorn, D., Zill, T., Bensmann, B., & Hanke-Rauschenbach, R. (2022). Hydrogen-powered aviation and its reliance on green hydrogen infrastructure–review and research gaps. *International Journal of Hydrogen Energy*, *47*(5), 3108-3130.

Imasiku, K., Farirai, F., Olwoch, J., & Agbo, S. N. (2021). A policy review of green hydrogen economy in Southern Africa. *Sustainability*, *13*(23), 13240.

Jiménez-Crisóstomo, A., Rubio-Andrada, L., Celemín-Pedroche, M. S., & Escat-Cortés, M. (2021). The constrained air transport energy paradigm in 2021. *Sustainability*, *13*(5), 2830.

Jovan, D. J., & Dolanc, G. (2020). Can green hydrogen production be economically viable under current market conditions? *Energies*, *13*(24), 6599.

Kakoulaki, G., Kougias, I., Taylor, N., Dolci, F., Moya, J., & Jäger-Waldau, A. (2021). Green hydrogen in Europe–A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables. *Energy Conversion and Management*, *228*, 113649.

Kar, S. K., Bansal, R., & Harichandan, S. (2022). An empirical study on intention to use hydrogen fuel cell vehicles in India. *International Journal of Hydrogen Energy*, *47*(46), 19999-20015.

Kock, N. (2021a). Common structural variation reduction in PLS-SEM: Replacement analytic composites and the one fourth rule. *Data Analysis Perspectives Journal*, *2*(5), 1-6.

Kock, N. (2021b). Moderated mediation and J-curve emergence in path models: an information systems research perspective. *Journal of Systems and Information Technology*, *23*(3/4), 303-321.

Kock, N. (2022a). Testing and controlling for endogeneity in PLS-SEM with stochastic instrumental variables. *Data Analysis Perspectives Journal, 3*(3), 1-6.

Kock, N. (2022b). Using causality assessment indices in PLS-SEM. *Data Analysis Perspectives Journal, 3*(5), 1-6.

Kopteva, A., Kalimullin, L., Tcvetkov, P., & Soares, A. (2021). Prospects and obstacles for green hydrogen production in Russia. *Energies, 14*(3), 718.

Longoria, G., Lynch, M., & Curtis, J. (2021). Green hydrogen for heating and its impact on the power system. *International Journal of Hydrogen Energy*, *46*(53), 26725-26740.

Lozano, F. (2022). *Green hydrogen in leisure and tourism.* https://amusementlogic.com/general-news/green-hydrogen-in-leisure-and-tourism/ (Accessed on 19 Jan 2022)

Memon, M. A., Ramayah, T., Cheah, J. H., Ting, H., Chuah, F., & Cham, T. H. (2021). PLS-SEM statistical programs: A review. *Journal of Applied Structural Equation Modeling, 5*(1), 1-14.

Oliveira, A. M., Beswick, R. R., & Yan, Y. (2021). A green hydrogen economy for a renewable energy society. *Current Opinion in Chemical Engineering*, *33*, 100701.

Peake, M. (2022). *Blue-sky thinking: The future of air travel*. https://www.finnair.com/en/bluewings/sustainability/blue-sky-thinking--the-future-of-air-travel-3034842 (Accessed on 19 Jan 2022)

Rivarolo, M., Rattazzi, D., Lamberti, T., & Magistri, L. (2020). Clean energy production by PEM fuel cells on tourist ships: A time-dependent analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, *45*(47), 25747-25757.

Rodríguez, C., Florido, C., & Jacob, M. (2020). Circular economy contributions to the tourism sector: A critical literature review. *Sustainability, 12*(11), 4338.

Samir, N. (2022). *Cairo cooperates with EBRD to develop green hydrogen, tourism projects*. https://www.dailynewsegypt.com/2022/03/07/775455/ (Accessed on 19 Jan 2022)

Talwar, C., Joormann, I., & Spengler, T. S. (2022). *Comparison of adoption rates of hydrogen, hydrogen-electric and SAF in the future air transport system with a system dynamics model*. In International Conference on Operations Research (pp. 597-602). Cham: Springer International Publishing.

Widera, B. (2020). Renewable hydrogen implementations for combined energy storage, transportation and stationary applications. *Thermal Science and Engineering Progress, 16*, 100460.

Willuhn, M. (2020). *Green hydrogen can power green Alpine tourism.* https://www.pv-magazine.com/2020/03/26/green-hydrogen-can-power-green-alpine-tourism/ (Accessed on ١٩ Jan 2022)

World Economic Forum (2021). *Flying without emissions: how hydrogen is greening aviation*. https://www.weforum.org/podcasts/radio-davos/episodes/zero-emissions-aviation/ (Accessed on 19 Jan 2022)

Xu, B., Ahmad, S., Charles, V., & Xuan, J. (2022). Sustainable commercial aviation: What determines air travellers' willingness to pay more for sustainable aviation fuel? *Journal of Cleaner Production, 374*, 133990.

Yusaf, T., Fernandes, L., Abu Talib, A. R., Altarazi, Y. S., Alrefae, W., Kadirgama, K., ... & Laimon, M. (2022). Sustainable aviation—Hydrogen is the future. *Sustainability, 14*(1), 548.

Journal of Association of Arab Universities for Tourism and Hospitality (JAAUTH)

journal homepage: http://jaauth.journals.ekb.eg/

Exploring Perceived Risks and Investment Opportunities towards Hydrogen Airplane Adoption in the Tourism Industry

Shimaa Abd El-Kawy Abd El- Tawab[1] Karim Mohamed Selim[2] Nirmen Wasfy Gerges[3]

[1,3]Tourist Studies Department – Faculty of Tourism and Hotels –Fayoum University

[2]Hotel Management Department- Faculty of Tourism and Hotels –Suez Canal University

ARTICLE INFO

Keywords:

Investment Opportunities; Clean Hydrogen; tourism industry; Air Travel; Electro Hydrolysis Technology.

(JAAUTH)

Vol. 26, No. 1,

(Jun 2024),

PP.22 -41.

ABSTRACT

The electrolysis technology of water molecules (i.e., generating electrical energy from water) has emerged as a renewable fuel at the same time as the world searches for new ways to address global warming and tries to save environmentally damaged sectors such as tourism and travel. Nowadays, these two sectors are striving to realize the sustainable travel concept. In the context of intensified attempts to combat climate change, there is a growing interest in air travel being carbon-neutral to surrounding environments. As such, hydrogen has been proven to be an alternative fuel in the travel industry, as it is generated from oxygen molecule separation in water post-usage. This fuel is capable of cooling the marine environment but is clean and free of organic pollutants and is called “green hydrogen." Accordingly, this paper explores perceived risks and investment opportunities towards green hydrogen-powered airlines adoption in the tourism industry. Based on a quantitative approach, adoption portability antecedents of these airplanes in the Egyptian travel and aviation industry were investigated from a tourism and environmental expert perspective. WarpPLS 8 findings showed that investment opportunities for adopting these airplanes positively affected their adoption portability, while perceived risks of adopting these airplanes negatively affected their adoption portability in the tourism industry. Moreover, investment opportunities to adopt these airplanes reduced the negative nexus between perceived risks and these airplanes adoption portability. Based on these findings, a long-term plan for alternative energy growth can be found in tourism roadmaps for clean hydrogen adoption developed globally. In this regard, the tourism industry will be able to adjust its future vision in light of the information provided to support decision-makers within Environment and Tourism Ministries.