دور الابتكار في التحكم في استهلاك الطاقة

دراسة تحليلية لحالة قطاع السيارات على الحدود التكنولوجية

إعداد

د. جمعة محمد عامر

أستاذ الاقتصاد

كلية التجارة ـ جامعة الزقازيق

eyadatya@hotmail.com

د. إياد محمد عطية

أستاذ الاقتصاد

كلية التجارة ـ جامعة الزقازيق

profgoma@yahoo.com

أ. نسمة محمد روحي

مدرس مساعد بقسم الاقتصاد

كلية التجارة ـ جامعة الزقازيق

nesmarawhy@gmail.com

مجلة البحوث التجارية ـ كلية التجارة جامعة الزقازيق

المجلد السادس والأربعون ـ العدد الثاني أبريل 2024

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

ملخص

نظراً لاستحواذ قطاع السيارات على نسبة كبيرة من استهلاك الطاقة، فقد زاد استخدام التكنولوجيا في قطاع السيارات لابتكار تقنيات تتحكم في الطاقة المستهلكة. لذلك فقد اهتمت الدراسة بالدور الذي يلعبه الابتكار في التحكم في استدامة استهلاك الطاقة في ذلك القطاع من خلال زيادة كفاءة استهلاك الطاقة، وقد طبقت ذلك على الولايات المتحدة باعتبارها طليعة الحدود التكنولوجية، خلال الفترة من 1995 حتى 2019. وكان هدف الدراسة عرض المشكلة بشكل تحليلي، ثم قياس هذا الدور باستخدام منهج اختبار الحدود The Bounds Testing Approach والمبنى على استخدام الانحدار الذاتي لفترات الإبطاء الموزعة. (ARDL) وجاءت نتائج الدراسة تؤكد دور الابتكار في التحكم في استهلاك الطاقة في قطاع السيارات في الولايات المتحدة في الأجلين القصير والطويل.

الكلمات الدالة: الابتكار، الابتكار الرأسي، الابتكار الأفق، الموارد غير المتجددة، كفاءة الطاقة.

1.مقدمة:

يُعد قطاع المواصلات من أكثر القطاعات استهلاكا للطاقة؛ حيث استحوذ على 56.80% من استهلاك النفط العالمي في عام 2019، منها 46.48% موجه إلى السيارات فقط. وقد سجل قطاع المواصلات أعلى معدلات لاستهلاك الطاقة خلال الفترة (2010-2019)؛ حيث ازداد هذا الاستهلاك بمعدل 1.2% سنويا ليرتفع من48.8 مليون برميل مكافئ للنفط/ يوم في عام 2010 إلى 58.6 مليون برميل مكافئ للنفط / يوم في عام 2019، وذلك وفقاً لـ(الأوبك، 2021).

ونتيجة لاستحواذ قطاع السيارات على نسبة كبيرة من استهلاك الطاقة كما سبق وأشرنا، فقد زاد استخدام التكنولوجيا في قطاع السيارات لابتكار تقنيات تتحكم في الطاقة المستهلكة وتزيد من كفاءتها. حيث يلعب الابتكار التكنولوجي دوراً فعالاً ومؤثراً في معالجة المعضلة بين ندرة مورد الطاقة غير المتجددة والحاجة إلى استدامة استهلاكه من أجل النمو الاقتصادي؛ فالابتكار التكنولوجي يعمل على تحسين ما يُطلق عليه" كفاءة الطاقة"، ويُقصد بكفاءة الطاقة هنا عملية تقليل المدخلات أو زيادة المخرجات المتوقعة. ويختلف هذا الدور وفقاً لنوع الابتكار المُطبق؛ فالابتكار الرأسي (Vertical Innovation) يتجه إلى جودة السلع، ويُستخدم التقنية الموجودة أو المُبتكرة لتحسين استخدام مورد الطاقة الموجودة بالفعل، أي أنه يُدخل تحسينات في كفاءة الطاقة. وبالتالي فهو يتعامل في نفس السوق ويُعزز من كفاءة الطاقة. أما الابتكار الأفقي (Horizontal Innovation) فهو يشير إلى ابتكار منتجات جديدة أي إدخال عناصر جديدة في الاقتصاد، وعاده يكون متقطع وغير منتظم (fits and starts) ويسمى بالابتكار العشوائي؛ حيث تُستخدم التقنية الموجودة أو المُبتكرة لإدخال مورد جديد متجدد بديل للمورد غير المتجدد الموجود، أي أنه يسعى للتحول إلى أنواع الوقود الأخرى. وبالتالي الانتقال لسوق جديد يقلل/ يلغى الطلب على مورد الطاقة غير المتجدد، وبالتالي لسنا بحاجة لزيادة المعروض منه، لأن الاقتصاد بمرور الوقت سوف يتحول بشكل تدريجي لمورد الطاقة المتجدد ويزعزع المورد غير المتجدد.

هذا البحث يركز على الدور الذي يلعبه الابتكار في التحكم في استهلاك الطاقة في قطاع السيارات في الولايات المتحدة الأمريكية باعتبارها تمثل الحدود التكنولوجية. حيث يتناول الجزء الأول عرض للأدبيات والدراسات السابقة، وفى الجزء الثاني يتضمن عرض تحليلي باستخدام البيانات والإحصاءات، وفى الجزء الثالث يركز على تحليل قياسي للعلاقة، مختتمه بالنتائج والتوصيات.

2.مراجعة الأدبيات:

جذبت العلاقة بين الابتكار التكنولوجي وكفاءة استهلاك الطاقة عددًا متزايدًا من العلماء لإجراء الكثير من الأبحاث المتعمقة والمفصلة في السنوات الأخيرة. وتم إجراء العديد من الدراسات والتي تناولت العلاقة بين الابتكار وكفاءة الطاقة. ولكن النتائج التجريبية أظهرت وجهتي نظر مختلفتين؛ أحدهما هو أن هناك تأثيراً إيجابياً للابتكار التكنولوجي على كفاءة الطاقة. الرأي الآخر هو أن هناك علاقة سلبية بين الابتكار التكنولوجي وكفاءة الطاقة.

2.1. دراسات أظهرت علاقة إيجابية بين الابتكار وكفاءة الطاقة.

تنوعت الدراسات التي تناولت تلك العلاقة وفقاً للابتكار المُطبق في الدراسة؛ كما أن أي شكل من أشكال الابتكار السابق الإشارة إليها تؤثر على كفاءة الطاقة من خلال ثلاثة اتجاهات: هما جانب المدخلات (تقليل كثافة الطاقة)، وجانب المخرجات المتوقعة (تحسين جودة الطاقة)، وجانب المخرجات غير المرغوب فيها (تقليل انبعاثاتCO_2.. إلخ). ونظراً لأن الأخيرة تبعد عن مجال البحث فسيتم استثنائها.

فمن منظور المدخلات، أظهرت الدراسات أن التقدم التكنولوجي المتحيز للطاقة يحسن الإنتاجية الحدية لعوامل الطاقة، وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة بشكل فعال، ومن ثم تحسين كفاءة الطاقة بشكل كبير. كما يمكن للتقدم التكنولوجي تطوير تقنيات طاقة بديلة جديدة وتحسين تقنيات الطاقة الحالية ، والذى يؤدى في النهاية إلى تحسين كفاءة الطاقة (W. Liu et al., 2018)؛ (Y. Liu et al., 2018)؛ (Jin et al., 2019). وعلى المستوى الجزئي، يرى (Zhu et al., 2019) أن الشركات ذات النشاط الابتكاري العالي أكثر استعدادًا لاعتماد التقنيات الحالية الموفرة للطاقة وتحسين كفاءة الطاقة من خلال عملية الابتكار. ويؤيده في ذلك (S. Zheng et al., 2021)، الذى طبق ذلك على شركات الحديد والصلب بالهند، ووجد أن الاستثمار في نفقات البحث والتطوير، ونشاط تسجيل براءات الاختراع، وتدفق التكنولوجيا غير المجسد مكن تلك الشركات من تحقيق كفاءة طاقة أعلى. كما درس (Ramirez-Portilla et al., 2014) العلاقة بين الابتكار وكفاءة الطاقة بالتطبيق على عشر شركات في شمال إيطاليا تعمل في الصناعات كثيفة استهلاك الطاقة والتابعة لقطاع المسبك، ورأى أن استخدام الابتكار مثل التقنيات الجديدة أو البحث والتطوير يؤدى إلى دعم كفاءة الطاقة، كما وجد أن تعزيز كفاءة الطاقة في الشركات الصغيرة والمتوسطة يتضمن تحسين درجة الابتكار من خلال اعتماد ممارسات الابتكار المفتوح.

وعلى المستوى الإقليمي، رأى (K. Li & Lin، 2018) أن الحكومات المحلية ستعمل على تحسين كفاءة الطاقة الإقليمية من خلال زيادة الاستثمار في البحث والتطوير، وإدخال الاستثمار الأجنبي، وتعديل الهيكل الصناعي، والقضاء على الطاقة الإنتاجية المتخلفة. كما توصل Huang et al من خلال سلسلة من الأبحاث ((Huang et al., 2018)،(Huang et al., 2020)، He & Huang, 2021)،(Huang et al., 2022)) إلى أن التقدم التكنولوجي يُعد أأكثر الحلول للتحكم في استهلاك الطاقة، وأن أنشطة البحث والتطوير أقوى العوامل التكنولوجية لتحقيق الاستدامة وحل التناقض بين استهلاك الموارد والنمو الاقتصادي. وأيده في ذلك (Haider & Mishra, 2021) و (S. Zheng et al., 2021)، حيث وجد الأخير أن زيادة الابتكار التكنولوجي للطاقة في مقاطعة معينة بالصين بنسبة 1% مثلاً، يؤدى لزيادة في توليد الطاقة بنسبة 0.411% في تلك المقاطعة، وزيادة بنسبة 3.264% في المقاطعات المجاورة لها من خلال نشر التكنولوجيا. وعلى المستوى القطاعي، قام (Fisher-Vanden et al. 2006) باستخدام بيانات عن القطاع الصناعي في الصين، ووجد أن زيادة الإنفاق على العلوم والتكنولوجيا تساهم في تحسين كفاءة الطاقة في الصناعات ذات الاستهلاك العالي للطاقة. وأيده في ذلك (Liu Chang et al. 2008) و(Teng، 2012). كما قام (Adom & Kwakwa, 2014) بتحليل تأثير التغيرات في الخصائص التقنية لقطاع التصنيع على كثافة الطاقة في غانا، وقام (Y. Li & Solaymani, 2021) بدراسة هذا الدور على قطاعي الزراعة والصناعة بماليزيا، وكلاهما وجدوا أن التأثير إيجابي، وأن الابتكار يعزز كفاءة الطاقة ويعمل على تقليل استهلاك الطاقة في القطاع الصناعي؛ حيث يساعد التقدم التكنولوجي على تقليل كثافة الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون لعملية الإنتاج في هذا القطاع من خلال استبدال التقنيات القديمة وغير المنتجة بأخرى جديدة ذات كفاءة في استخدام الطاقة، وبالتالي تحسين كفاءة الطاقة و النمو الاقتصادي في القطاع الصناعي. كما وجد (Luan et al., 2020) أن الاستحواذ على التكنولوجيا على الصعيدين المحلى والدولي له تأثير كبير على كثافة الطاقة الصناعية، وأن هذه التأثيرات غير خطية تعتمد على مجموعة من متغيرات العتبى كنسبة الاستثمار الأجنبي المباشر. وأيده (L. Zheng et al., 2022) الذى يرى أن الارتفاع المفاجئ في الابتكار التكنولوجي في القطاع الصناعي في باكستان بنسبة 1% يؤدى إلى انخفاض استهلاك الطاقة بنسبة 0.043% و 0.097% على المدى القصير والطويل على التوالي. وعلى مستوى الدولة، أظهرت الدراسات أن التقدم التكنولوجي يمكن أن يحسن من كفاءة الطاقة

(Lin &Mubarak, 2014; Popp, 2012; Wurlod & Noailly, 2018; Sun et al.)، (2019. كما وجدت دراسات (Sohag et al., 2015) و(Murad et al., 2019) أن الابتكارات التكنولوجية وانتشارها عن طريق الانفتاح التجاري والتصدير تعمل على تقليل كثافة الطاقة في عمليات الإنتاج. كما رأى (Sun et al. ، 2021) أن الابتكار المحلى والابتكار الأجنبي متكاملان وأنهما يؤثران على كفاءة الطاقة، وأن ألمانيا وفرنسا والمملكة المتحدة وهولندا وسويسرا تُعد من أكثر الدول كفاءة في استخدام الطاقة نتيجة التقدم التكنولوجي داخل تلك الدول والتقدم التكنولوجي المستورد من الدول الأخرى. وأيده في ذلك كل من (Fisher-Vanden et al. ، 2006) و (Herrerias et al. ،2016)؛ حيث وجدوا أن الابتكار المحلى والأجنبي ساهم بشكل كبير في تعزيز كفاءة الطاقة في الصين، ومع ذلك كانت تأثيرات التفاعل بين الابتكار المحلى والأجنبي متواضعة، مما يشير إلى أن الشركات المحلية تكافح من أجل استيعاب الابتكار الأجنبي في الإنتاج.

ومن منظور المخرجات المتوقعة، فإن الابتكار يعمل على زيادة الناتج المتوقع نتيجة لتحسين جودة الطاقة المستخدمة، أي يعمل الابتكار التكنولوجي على تحقيق النمو الاقتصادي على أساس الحفاظ على نفس المدخلات. وتشير نظرية النمو الاقتصادي الداخلي إلى أن التقدم التكنولوجي هو العامل الرئيسي في تحقيق التنمية الاقتصادية المستدامة من خلال تراكم رأس المال البشري والتقليد التكنولوجي والتعلم بالممارسة. ويمكن لتكنولوجيا الإنتاج تحسين مستوى الإنتاجية تحت نفس المستوى من عوامل المدخلات؛ حيث يؤدى الابتكار إلى تقليل مدخلات الطاقة وفى نفس الوقت زيادة إنتاج المنتجات أو الخدمات، مما يؤدي إلى تحسين كفاءة الطاقة. وقد أيدت الدراسات التجريبية ذلك؛ فترى العديد من الدراسات ((Sohag et al., 2015)؛ Akinwale)، (2018؛(Y. Li & Solaymani,2021)) أن الابتكار قادر على التخصص الأمثل للطاقة وبالتالي النمو الاقتصادي.

2.2. دراسات أظهرت علاقة سلبية بين الابتكار وكفاءة الطاقة.

على الجانب الآخر، أظهرت دراسات أخرى أن هناك علاقة سلبية بين التقدم التكنولوجي وكفاءة الطاقة. وأرجعوا ذلك إلى التأثير الارتدادي للتقدم التكنولوجي (W. Liu et al.، 2018)،(2018،Y. Liu et al.)،(2020،Yi et al.)،(2021،Su et al.). ويقصد بالتأثير الارتدادي هذا أن الابتكار التكنولوجي يُحدث تأثيرات ارتداد مباشرة عندما يؤدى تحسين كفاءة الطاقة إلى خفض أسعار خدمات الطاقة وبالتالي يؤدى إلى زيادة استهلاك هذه الخدمات، هذه

الزيادة تعوض الحد من استهلاك الطاقة الناتج عن الكفاءة المتقدمة. كما يُحدث الابتكار التكنولوجي تأثيرات غير مباشرة عندما تؤدى التكاليف الفعالة المنخفضة لخدمات الطاقة إلى زيادة الطلب على الطاقة لإنتاج سلع وخدمات أخرى (J. Liu et al. ، 2016) ويؤيده في ذلك (Barker ، 2015) (Lin & Duet al., 2007)، الذين استنتجوا أن الابتكار الذى يعمل على تحسين كفاءة الطاقة لا يؤدى إلى تقليل كثافة الطاقة وكذلك تقليل انبعاثاتCO_2. بل يؤدى لزيادة الكثافة في الطاقة وزيادة الانبعاثات. كما طبق (Zhang & Fu ، 2022) على القطاع الصناعي الصيني، ووجد أن تحسين كفاءة الطاقة الناتج عن الابتكار التقني لا يؤدى إلى تقليل إجمالي استهلاك الطاقة بسبب تأثير الارتداد الكبير في القطاع الصناعي الصيني.

وفقًا للتحليل أعلاه، سيكون للابتكار التكنولوجي تأثير إيجابي على كفاءة استخدام الطاقة. ومع ذلك، نظرًا لتأثير الارتداد والاختلافات في قدرات الابتكار التكنولوجي الإقليمية، قد يختلف اتجاه ودرجة الابتكار التكنولوجي الذي يؤثر على كفاءة الطاقة في الدول المختلفة. وبالتالي يمكننا من ذلك استنتاج المشكلة البحثية للدراسة وما يرتبط بها من أهداف وفرضيات، **وذلك كما يلي؛**

- **المشكلة البحثية:**

تتمثل مشكلة الدراسة في التعارض بين آراء العديد من الأدبيات والدراسات حول كون مورد الطاقة يشكل قيداً سلبياً على نمو قطاع السيارات، وأنه لابد أن ينفذ في نهاية المطاف، وبين ما أظهره التاريخ الحديث من تفوق مزايا التقدم التكنولوجي على مساوئ ندرة الموارد. وعليه، يمكن صياغة مشكلة الدراسة في الإجابة على السؤال التالي:

"هل حتمية نفاد الطاقة وفقاً للنظرية الاقتصادية لم يعد يشكل قيداً على استدامه استهلاك المورد نتيجة قدرة الابتكار على تعويض الفقد في مورد الطاقة غير المتجدد؟"

- **هدف البحث:**

يتمثل هدف الدراسة في تحليل الدور الذي يقوم به الابتكار للحد من قابلية مورد الطاقة للاستنفاد. وذلك بالتطبيق على قطاع السيارات الذي يمثل واحد من أكثر القطاعات استهلاكا للطاقة، وباختيار دولة كالولايات المتحدة الامريكية والتي تمثل صدارة الحدود التكنولوجية.

- **فرضية البحث:**

يمكن استنتاج فرضية الدراسة على النحو التالي:

"يوجد تأثير إيجابي للابتكار في الحد من ندرة الطاقة اللازمة لقطاع السيارات في الولايات المتحدة الامريكية، وذلك من خلال قدرة الابتكار في التحكم في كفاءة استهلاك الطاقة في هذا القطاع"

3. نظرة تحليلية:

يختلف الدور الذي يلعبه الابتكار التكنولوجي في التحكم في استدامة استهلاك الطاقة وبالتالي كفاءة الطاقة وفقاً لنوع الابتكار المُطبق، وهو ما يتضح من التحليلات البيانية التالية:

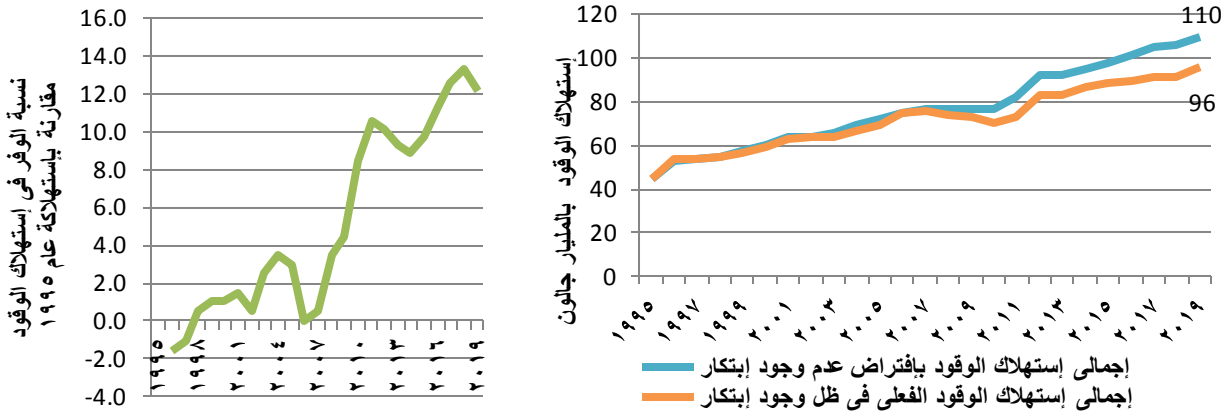
3.1. الابتكار الرأسي في قطاع السيارات وكفاءة استهلاك الطاقة الموجودة (غير المتجددة):

يُعد الابتكار الرأسي أحد أنواع الابتكار التي تلعب دوراً ملحوظاً في الحد من ندرة مورد الطاقة، وذلك من خلال إدخال تحسينات عليه، بحيث يُستخدم بشكل أكفء من ذي قبل. فالابتكار الرأسي قادر على التحكم في جانب الطلب على الطاقة، والحفاظ على استدامة استهلاكن ا منه بالرغم من تطور عدد السكان ودخولهم.

ونتيجة لاستحواذ قطاع السيارات على نسبة كبيرة من استهلاك الطاقة كما سبق وأن أشرنا، فقد تزايد استخدام التكنولوجيا في قطاع السيارات لابتكار تقنيات تتحكم في الطاقة المستهلكة وتزيد من كفاءتها. وبالنظر إلى السيارات الخفيفة كجزء من قطاع النقل في الولايات المتحدة الأمريكية، نجد تطور هائل وملحوظ في عدد الأميال المقطوعة للجالون الواحد خلال الفترة من 1966حتى 2019؛ فبدل من استهلاك جالون واحد لقطع 13.5 كم للميل عام 1966، أصبحت نفس الكمية تقطع 22.5 كم للميل عام 2019 وفقاً لما أشارت إليه بيانات وزارة النقل الأمريكية USDOTعام 2022.

وبإجراء تقدير تقريبي لمقدار الوفر في استهلاك الطاقة في قطاع النقل (السيارات الخفيفة) في الولايات المتحدة خلال الفترة من 1995حتى عام 2019، اتضح أن إجمالي استهلاك الوقود بافتراض عدم حدوث ابتكار خلال تلك الفترة قد زاد من 45 مليار جالون عام 1995إلى 110مليار جالون عام 2019، في حين أن تطبيق تقنيات تعزز من كفاءة الطاقة المستهلكة للسيارات ساعد على تقليل مقدار الاستهلاك إلى 96 مليار جالون عام 2019، أي أن الابتكار أحدث وفر في استهلاك الطاقة مقداره 12.2% تقريباً، وظهر ذلك في الرسم البياني (1).

شكل (1): تطور استهلاك الوقود للسيارات الخفيفة في الولايات المتحدة الأمريكية خلال الفترة 1995:2019



المصدر: من إعداد الباحثة بالاستعانة بيانات قامت بحسابها فيجدول (A) بالملحق.

3.2. الابتكار الأفقي في قطاع السيارات والانتقال إلى مورد الطاقة المتجددة:

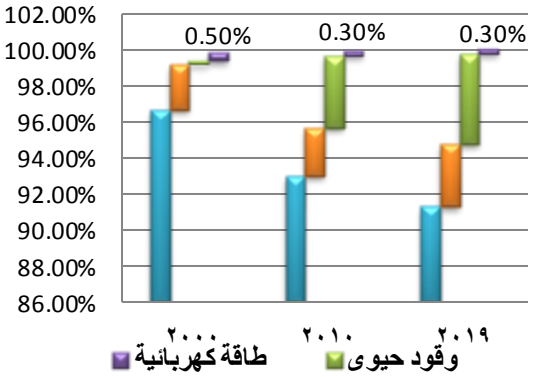
يُعد الابتكار الأفقي أو العشوائي أحد أنواع الابتكار التي كان لها دوراً فعالاً في علاج النقص في مورد الطاقة النادر والذي كان ولا يزال يُعتمد عليه بشكل أساسي في الاقتصاد، وذلك من خلال التحول إلى مورد متجدد مبتكر يكون بديل جزئي أو كلى للمورد غير المتجدد. فالابتكار التحويلي استطاع أن يحول مصدر الإنتاج في عدد من القطاعات والصناعات - التي كان مورد الطاقة غير المتجدد يشكل نسبة كبيرة في إنتاجها، والذي كان ندرته يهدد استمراريتها- إلى مورد متجدد مبتكر يسهل التحكم في استدامته.

ويختلف دور الابتكار الأفقي في علاج ندرة مورد الطاقة غير المتجدد عن الابتكار الرأسي الذى سبق تناوله في الجزء الأول؛ فالابتكار الأفقي يؤثر على النُظم الاقتصادية والاجتماعية بصورة شاملة؛ حيث يخلق شبكة سوق وقيمة جديدة ويتسبب في نهاية المطاف في تعطيل شبكة السوق والقيمة الحالية، وبالتالي إزاحة الشركات والمنتجات والتحالفات الراسخة الرائدة في السوق. في حين أن الابتكار التدريجي يتعامل في نفس النظم الاقتصادية القائمة ويكتفى بإجراء تحسينات على الموجود دون الانتقال لنظم جديدة. وبالتالي يُزعزع الابتكار الأفقي سوق الموارد غير المتجددة، وتعمل آليه السوق على تحقيق التوازن بين عرض وطلب المورد المتجدد، والتي في الغالب تكون غير مُقيدة بندرة المورد، بل بالتكلفة الباهظة اللازمة لإنتاجه، والتي تسعى الابتكارات

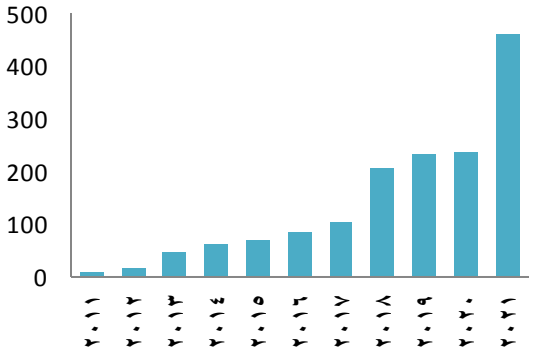
الرأسية التي تتبناها معظم الدول المتقدمة الساعية إلى التحول للمورد المتجدد إلى تدنيتها الآن ومستقبلاً.

وقد اتجه قطاع السيارات إلى التحول إلى أنواع الوقود الأخرى؛ فعلى الرغم من أن البترول يوفر أكثر من تسعة أعشار طاقة النقل، إلا أن الوقود الحيوي والغاز الطبيعي والكهرباء قد وفروا حصة متزايدة في السنوات الأخيرة (الشكل2). وبالرغم من أن الكهرباء توفر جزء صغير 0.3% من إجمالي استخدام الطاقة في وسائل النقل. إلا أن مبيعات السيارات الكهربائية قد نمت بسرعة في كل من الولايات المتحدة وفي جميع أنحاء العالم.

شكل (2): نوع الوقود المستخدم في قطاع النقل عام 2000 وعام 2010 وعام 2019



شكل (3): تطور عدد السيارات الكهربائية في العالم خلال الفترة من 2011 حتى 2021



المصدر: من إعداد الباحثة بالاستعانة بـ (Bureau of Transportation Statistics، 2020) وببيانات وزارة النقل الأمريكية.

ليس هذا فحسب، بل ظهرت سيارات تعمل بالطاقة الشمسية، وهذه السيارات وفقاً للشركات التي قامت بتصنيعها تستطيع السير لمسافة 45ميل/ يومياً (72.5 كم/ يومياً). كما ظهرت محطات شحن للسيارات الكهربائية تعمل بالطاقة الشمسية في العديد من الدول، حيث تعزز تلك المحطات السيارات الكهربائية.

وتشير تقديرات وكالة الطاقة الدولية إلى أن الطلب على النفط في قطاع المواصلات سوف ينمو بمقدار 5.3مليون برميل/يوم حتى عام 2030. وفي حالة غياب التحسينات في الكفاءة وفي التحول نحو أنواع الوقود الأخرى فإن النمو سيصل إلى 18مليون برميل/يوم في عام 2030؛ حيث ستقلص التحسينات في الكفاءة الطلب على النفط بحوالي 10مليون برميل/يوم، بينما سيقلص التحول نحو أنواع الوقود الأخرى هذا الطلب بحوال 5.4مليون برميل/يوم. كما سيتقلص الطلب على النفط

بحوالي 1مليون برميل/يوم بسبب عقد المؤتمرات عن طريق الفيديو وانخفاض عدد الرحلات الجوية بغرض الأعمال وتأخير شراء السيارات الجديدة.

4. النموذج:

تحلل هذه الدراسة تأثير الابتكار التكنولوجي على كفاءة الطاقة في قطاع السيارات الخفيفة. وتعتمد منهجية الدراسة القياسية على النموذج المُستخدم في عدد من الدراسات(Zhang & Fu، 2020)،(Luan et al.، 2020)،(Wang & Wang،2022). وعليه يمكن توضيح نموذج الدراسة في الشكل الرياضي التالي:

$$EE_t = \alpha + \alpha_1 TI_t + \sum_{h=1}^{4} \lambda_h W_{ht} + \varepsilon_t \qquad (1)$$

حيث EE_tهو مقياس لكفاءة الطاقة في قطاع السيارات في الزمن t، أي يعبر عن توفير نفس المخرجات باستخدام كمية أقل من المدخلات.TI_tوهي مستوي الابتكار التكنولوجي،أما W_tهي متجه من المتغيرات الضابطة،وε_{it}هو مصطلح الخطأ بصفاته المعتادة.

وفي سبيل قياس مستوي الابتكار التكنولوجي سنسير علي نهج دراسة (Luan et al. 2020) والتي تري أن مستوي الابتكار التكنولوجي ينشأ من خلال البحث والتطوير المحلى، بالإضافة إلى الحصول على التكنولوجيا على الصعيدين المحلى والأجنبي. من خلال النموذج التالي؛

$$TI = \sum (SRD_t، ARD_t، FRD_t) \qquad (2)$$

حيث تحدد SRDو ARDو FRDمخزون رأس المال للبحث والتطوير المحلي، واكتساب التكنولوجيا من المصادر المحلية، والحصول على التكنولوجيا من المصادر الدولية على التوالي.

أما بالنسبة للمتغيرات الضابطة؛ فقد تم اختيارها بما يتفق مع الدراسات السابقة والتي أثبتت ان اهم العوامل المؤثرة في كفاءة الطاقة هي مستوي التنمية الاقتصادية $RGDP$، ودرجة التدخل الحكوميGOV، والبنية التحتية INF، والانفتاح الاقتصاديTO. فبالنسبة لمستويالتنمية الاقتصادية (RGDP). فلها دور إيجابي في تعزيز كفاءة الطاقة؛ حيث يؤدي التحسن في مستوى التنمية الاقتصادية إلى ظهور سلسلة من الموارد والمشكلات البيئية التي تتعارض بشكل عام مع هدف

التنمية المستدامة. تخلق هذه المشكلات البيئية متطلبات أعلى لكفاءة الطاقة (Kang & Lee، 2016). كما أن التحسن في كفاءة الإنتاج يشجع الشركات على استخدام المزيد من عناصر الطاقة، مما قد يقلل من التأثير الإيجابي لتحسين كفاءة الطاقة.

كذلك ترتبط كفاءة الطاقة في كل دولة ارتباطًا وثيقًا بإجراءات التدخل الحكومية، مثل جذب الاستثمار وصياغة السياسات التفضيلية. كما يؤدي التحسن في البنية التحتية للنقل إلى تقليل تكاليف النقل لمصادر إعادة الطاقة المتدفقة عبر الدول، وبالتالي تحسين كفاءة تخصيص الموارد واستخدام الطاقة. وأخيراً يؤدي التداول العالمي لعوامل الإنتاج إلى تشجيع الشركات التي تسعى إلى الحصول على موارد على مستوى العالم وتساعد على التخصيص الأمثل للأموال والتكنولوجيا والقوى العاملة.

وهنا قبل اعتماد النموذج ينبغي أولاً التأكد من حسن توصيفه (أي ما إذا كانت المتغيرات المستقلة في علاقتها مع المتغير التابع تتبع الشكل الخطي أم غير خطي)؛ وعليه تم استخدام اختبار (Auxiliary regression for non-linearity test - squared terms) والخاص باختبار عدم الخطية وتوصيف النموذج. والذي أظهر أن كافة المتغيرات المستقلة تتبع الشكل الخطي في علاقته بكفاءة استهلاك الطاقة باستثناء متغيري مستوي التدخل الحكومي، ومستوي الانفتاح التجاري والذي يأخذا الشكل غير الخطي في علاقتهما بكفاءة الطاقة. وبالتالي سيتم التعبير عن هذين المتغيرين بالشكل التربيعي في نموذج الدراسة. وعليه يُصبح نموذج الدراسة النهائي على الشكل التالي:

$$EE_t = \beta_0 + \beta_1 TI_t + \beta_2 RGDP_t + \beta_3 INF_t + \beta_4 GOV_t + \beta_5 GOV_t^2 + \beta_6 TO_t + \beta_7 TO_t^2 + \epsilon_t \quad (3)$$

ولتقدير نقطة الانقلاب لمستوي التدخل الحكومي، والانفتاح التجاري فسوف يتم أخذ المشتقة التفاضلية الأولي للمعادلة (3) فيما يتعلق بالتدخل الحكومي (GOV)، والانفتاح التجاري (TO). ثم مساواته بالصفر كما يلي:

$$\frac{\partial EE}{\partial GOV} = \beta_4 + 2\beta_5 GOV_{t-1}^3;\ GOV^* = -\frac{\beta_4}{2\beta_5} \quad (4)$$

$$\frac{\partial EE}{\partial TO} = \beta_6 + 2\beta_7 TO_{t-1}^3;\ \ TO^* = -\frac{\beta_6}{2\beta_7} \quad (5)$$

5. البيانات:

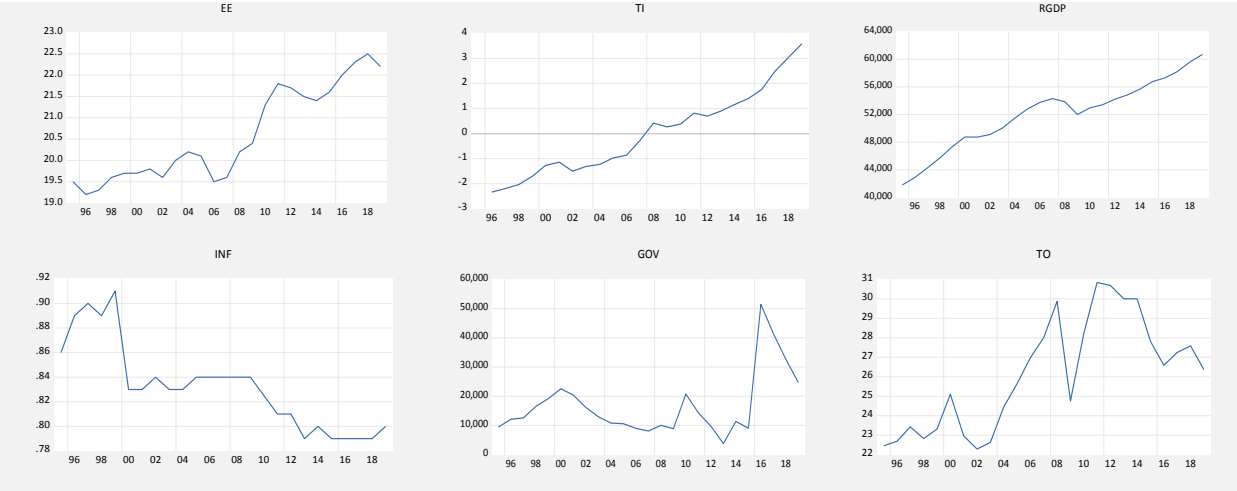
اعتمدت الدراسة على قاعدة بيانات التنمية العالمية للبنك الدولي(WBI)ومكتب إحصاءات وزارة النقل الأمريكية (U.S. Department of State - USDOS) للحصول على البيانات اللازمة للتعبير عن متغيرات نموذج الدراسة. حيث تم استخدام مؤشر متوسط كفاءة الوقود للسيارة الواحدة (ميل/جالون) لقياس كفاءة الطاقة في قطاع السيارات في الولايات المتحدة. وفي سبيل قياس مستوي الابتكار التكنولوجي تم الاعتماد على مؤشر نسبة الانفاق على البحث والتطوير من إجمالي الناتج المحلي للتعبير عن مخزون المعرفة المحلي، ومؤشر مدفوعات رسوم استخدام حقوق الملكية الفكرية بالأسعار الجارية للدولار الأمريكي لتعبر عن اكتساب التكنولوجيا من المصادر المحلية، وصادرات التكنولوجيا المتقدمة بالأسعار الجارية للدولار الأمريكي لتعبر عن الحصول على التكنولوجيا من المصادر الدولية. وقد تم حساب مؤشر واحد مركب يعبر عن الابتكار التكنولوجي باستخدام طريقة المكونات الرئيسية (PCA).

وبالنسبة للمتغيرات الضابطة؛ استخدمت الدراسة مؤشر نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي لقياس مستوى التنمية الاقتصادية، ومؤشر الرصيد النقدي لصندوق الاستئمان للطريق السريع في الولايات المتحدة الأمريكية كبروكسي لمستوي التدخل الحكومي؛ فصندوق الاستئمان للطرق السريعة (HTF) هو مصدر الإيرادات لنظام الطرق السريعة، ولديه حسابان؛ حساب الطريق السريع الذي يوفر الأموال لبناء الطرق ومشاريع النقل البري ذات الصلة، وحساب النقل الجماعي الذي يدعم النقل الجماعي. بالإضافة إلى مؤشر النسبة المئوية المقبولة لعدد الأميال المقطوعة على الطريق لقياس البنية التحتية، ومؤشر نسبة التجارة من إجمالي الناتج المحلي للتعبير عن مستوي الانفتاح التجاري. ويعرض الجدول (1) وصف موجز للمتغيرات المستخدمة ورموزها ومصادر البيانات. بينما يعرض الجدول (2)، والشكل البياني (4) توصيف احصائي موجز لجميع متغيرات نموذج الدراسة. في حين يعرض الجدول (3) مصفوفة الارتباط.

جدول (1): وصف متغيرات الدراسة ومصادر البيانات

المتغير	التوصيف	المصدر
EE	**مستوي كفاءة الطاقة؛** ممثلاً في متوسط كفاءة الوقود للسيارة الواحدة (ميل/جالون).	USDOS
TI	**مستوي الابتكار التكنولوجي؛** وهو مؤشر مركب من ثلاثة مؤشرات فرعية تعكس مستوي مخزون رأس المال للبحث والتطوير المحلي، واكتساب التكنولوجيا من المصادر المحلية والأجنبية. وهذه المؤشرات هي؛ الإنفاق على البحث والتطوير (% من إجمالي الناتج المحلي)، ورسوم استخدام حقوق الملكية الفكرية، مدفوعات (ميزان المدفوعات، بالأسعار الجارية للدولار الأمريكي)، وصادرات التكنولوجيا المتقدّمة (% من صادرات السلع المصنوعة).	WBI
RGDP	**مستوي التنمية الاقتصادية؛** ممثلاً بنصيب الفرد من إجمالي الناتج المحلي الحقيقي للدولار لعام 2010.	WBI
INF	**مستوي البنية التحتية؛** ممثلاً بمؤشر النسبة المقبولة لعدد الأميال المقطوعة على الطريق.	USDOS
GOV	**مستوي التدخل الحكومي؛** ممثلاً بمؤشر الرصيد النقدي لصندوق الاستئمان للطريق السريع في USA.	USDOS
TO	**مستوي الانفتاح التجاري؛** معبراً عنه بالتجارة (% من إجمالي الناتج المحلي).	WBI

شكل (4): التطور الزمنى لمتغيرات الدراسة خلال الفترة (1995-2019)



جدول (2): التوصيف الإحصائي لمتغيرات الدراسة

	Unit	Obs.	Mean	Median	Std. Dev.	Min	Max	Normality test
Dependent Variable:								
EE	(miles/gallon)	25	0.588	20.200	1.097	19.20	22.50	[2.7498]
Independent Variable:								
TI	N/A	24	-6.7e-16	-0.0039	1.675	-2.339	3.587	[1.4153]
Control Variables:								
RGDP	(Constant LCU)	25	52019	52963	5022	41821	60687	[0.8494]
INF	(% Total)	25	0.8322	0.8300	0.036	0.790	0.910	[2.0631]
GOV	(Current US$)	25	16739	12577	11048	3771	51435	[20.238] ***
TO	(% of GDP)	25	26.109	26.369	2.861	22.29	30.84	[1.8281]

***Note*:** - *** indicate significance at 1%.

جدول (3): مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة

	EE	*TI*	*RGDP*	*INF*	*GOV*	*TO*
EE	1					
TI	0.9314[a]	1				
RGDP	0.8419[a]	0.9368[a]	1			
INF	-0.8244[a]	-0.8232[a]	-0.8654[a]	1		
GOV	0.4719[b]	0.4469[b]	0.3431[c]	-0.3096	1	
TO	0.6532[a]	0.6479[a]	0.6771[a]	-0.6344[a]	-0.0780	1

***Note*:** - a، b، c indicate significance at 1%، 5% and 10% respectively.

ويتضح من التلخيص الإحصائي الموجز أن معظم المتغيرات أخذت اتجاهاً خطياً يتفق مع الواقع والمنطق، مثل متغير كفاءة الطاقة (EE)، ومتغير الابتكار التكنولوجي (TI)،ومتغير التنمية الاقتصادية (RGDP)، ومتغير البنية التحتية (INF)، إلا أن بعض المتغيرات أحدثت تغير مفاجئ في اتجاه السلسلة الخاصة بها؛ حيث نلاحظ أن متغير التدخل الحكومي(RGDP) المتمثل في الرصيد النقدي لصندوق الاستئمان للطرق السريعة أخذ في الزيادة طول مدة التحليل؛ إلا أنه في عام 2016حدث انكسار للسلسلة بشكل واضح، وانخفض المؤشر من عام 2016حتى نهاية فترة التحليل. ويمكن إرجاع ذلك إلى أن في 4ديسمبر 2015، صدق الرئيس أوباما على قانون إصلاح

النقل البري لأمريكا (FAST)، والذي يقتضي بتخصيص بمبلغ 305مليار دولار على مدار السنوات المالية 2016حتى 2020للطرق السريعة وسلامة المركبات، والنقل العام، وسلامة حاملات السيارات، والسكك الحديدية، وبرامج البحث والتكنولوجيا والإحصاءات، وذلك بحسب ما ورد في وزارة النقل الأمريكية USDOS. كما نجد أن متغير الانفتاح التجاري (TO) كان يتجه للصعود هو الآخر حتى حدث انكسار للسلسلة عام 2009وربما يرجع ذلك للأزمة المالية العالمية التي شهدتها الولايات المتحدة الأمريكية خلال تلك الفترة وأثرت على حركة التجارة، وعلى الناتج المحلى الإجمالي الذي انخفض هو الأخر خلال تلك الفترة كما موضح في الرسم الخاص بمتغير التنمية الاقتصادية (RGDP)، ولكن بشكل غير ملموس، حيث عاود الصعود مرة أخرى.

كذلك بناءً على معايير الارتباط يمكن ملاحظة وجود ارتباط طردي قوي جداً بين مستوي الابتكار التكنولوجي وكفاءة الطاقة يعادل (93.1%) وهو دال احصائياً عند مستوي1%. هذا الارتباط يعطي إشارة مبدئية لأن مستوي الابتكار التكنولوجي يرتبط مع بشدة زيادة في مستوي كفاءة الطاقة. كما ان ارتباط باقي المتغيرات الضابطة بكفاءة الطاقة جاءت قوية وإشاراتها متفقة مع النظرية الاقتصادية والاشارات المتوقعة.

5. التحليل القياسي وتفسير النتائج:

اعتمدت الدراسة الحالية في تحليل السلاسل الزمنية واستقصاء الأثر الديناميكي طويل الأجل لمستوي الابتكار التكنولوجي على مستوي كفاءة استهلاك الطاقة بقطاع السيارات في الولايات المتحدة على التكامل المشترك باستخدام منهج اختبار الحدود The Bounds Testing Approach والمبنى على استخدام الانحدار الذاتي لفترات الإبطاء الموزعة The Autoregressive Distributed Lag (ARDL).

جدول (4): اختبار جذر الوحدة باستخدام اختبار ديكي- فوللر الموسع(ADF)

Variables	*Level*			*First difference*			Results
	Intercept	*Intercept & trend*	*None*	*Intercept*	*Intercept & trend*	*None*	
EE	-0.2901 (0.913)	-2.8292 (0.202)	-1.6638 (0.973)	-3.5389 (0.016) **			I (1)
TI	1.6563 (0.999)	-0.5691 (0.971)	0.2218 (0.741)	-3.5393 (0.017) **			I (1)
RGDP	-1.2650 (0.628)	-2.6632 (0.259)	4.8636 (1.000)	-3.0213 (0.048) **			I (1)
INF	-1.33217 (0.602)	-3.2996 (0.090) *	-0.6674 (0.417)	-6.1166 (0.000) ***			I (1)
GOV	-2.4140 (0.149)	-2.5915 (0.287)	-0.9818 (0.282)	-3.2019 (0.030) **			I (1)
TO	-1.8321 (0.357)	-2.014 (0.565)	0.2530 (0.751)	-5.3600 (0.000) ***			I (1)
Critical Values	*Level*			*First difference*			
%1	-3.7696	-4.4407	-2.6743	-3.7529	-4.4163	-2.6694	
%5	-3.0049	-3.6329	-1.9572	-2.9981	-3.6220	-1.9564	
%10	-2.6422	-3.2547	-1.6082	-2.6388	-3.2486	-1.6085	

***Note*: -** ***، **، * indicate significance at 1%، 5% and 10% respectively.

وقبل تطبيق التكامل المشترك للمتغيرات ينبغي التحقق أولاً من سكون هذه السلاسل وتحديد درجة تكامل كل سلسلة في النموذج للتأكد من أنها ليست ساكنة في الفروق الثانية وهو شرط عدم تطبيق تقنية ARDL.وسيتم الاعتماد على اختبار ديكي- فوللر الموسع (ADF) الأكثر استخداما في البحوث التطبيقية للكشف عن السكون. وهو يعد أحد اختبار جذر الوحدة. ويلخص الجدول (4)، نتائج سكون المتغيرات والتي يتضح منها أن جميع متغيرات الدراسة كانت غير ساكنة عند المستوى (Level)، ولكنها أصبحت ساكنة عند استخدام الفرق الأول (First difference)، عند الجزء الثابت، أي أنها أصبحت متكاملة من الدرجة I (1).

ولإجراء التكامل المشترك بين المتغيرات طبقاً لتقنيةARDLنقوم أولاً باختبار ما إذا كانت توجد علاقة طويلة الأجل بين متغيرات الدراسة أي التكامل المشترك وذلك في إطار نموذج تصحيح الخطأ غير المقيد Unrestricted Error Correction Model (UECM)،وذلك عن طريق مقارنة قيمة $F-stat$المحسوبة بالقيم الجدولية ضمن الحدود الحرجة critical bounds.فإذا كانت قيمة $F-stat$المحسوبة أكبر من قيمة الحد الأعلى الجدولية ففي هذه الحالة يتم رفض الفرض العدمي وقبول الفرض البديل؛ أي أن هناك علاقة تكامل مشترك بين المتغيرات. وعلى النقيض من ذلك، إذا كانت قيمة $F-stat$المحسوبة أقل من قيمة الحد الأدنى الجدولية، ففي هذه الحالة يتم قبول الفرض العدمي الذي يشير إلى عدم وجود تكامل مشترك بين المتغيرات، أما إذا وقعت قيمة $F-stat$المحسوبة بين قيمة الحد الأعلى والأدنى، ففي هذه الحالة تكون النتيجة غير محسومة بمعنى عدم القدرة على اتخاذ قرار لتحديد عما إذا كان هناك تكامل مشترك بين المتغيرات من عدمه. ويوضح الجدول (5) نتائج اختبار التكامل المشترك باستخدام منهج ARDL. والذي يُظهر أن قيمة إحصاء ($F-stat$) المحسوبة للنموذج تفوق قيمة الحد الأعلى الجدولية (UCB)المناظرة، ومن ثم يتم رفض فرض العدم وقبول الفرض البديل بما يفيد وجود علاقة توازنيه طويلة الأجل بين مستوي الابتكار التكنولوجي، والمتغيرات التفسيرية الأخرى وبين كفاءة استهلاك الطاقة بقطاع السيارات. أي هناك علاقة تكامل مشترك عند مستوى معنوية 1%. ونتيجة لذلك يمكننا إكمال التحليل للحصول على مقدرات المعلمات طويلة وقصيرة الأجل.

جدول (5): نتائج اختبار التكامل المشترك باستخدام منهج(ARDL)

Regressors: (K = 6)		$F-statistic$
$EE_t = (TI_t، RGDP_t، INF_t، GOV_t، TO_t)$، ARDL (3،1، 1،1،1،1،1، 1)		452.2898***
	Critical values bound	
Significant level	Lower Critical Bounds(LCB)	Upper Critical Bounds (UCB)
%1	2.73	3.9
%5	2.17	3.21
%10	1.92	2.89

***Note*:** - *** indicate significance at 1%. – K indicate to No. of independent variables.

ونظراً لوجود علاقة تكامل مشترك بين متغيرات نموذج الدراسة، فإن ذلك يستلزم تقدير العلاقة طويلة الأجل للنموذج بالإضافة إلى تقدير نموذج تصحيح الخطأ ويتم ذلك من خلال استخدام البواقي المقدرة بفترة إبطاء واحدة ε_{t-1} التى يتم الحصول عليها من العلاقة طويلة الأجل. حيث نموذج تصحيح الخطأ (ECM) له أهميتين؛ الأول أنه يقدر معاملات الأجل القصير، بينما الثاني هو حد تصحيح الخطأ (ECT) الذي يتمثل في معاملγ، وهو يقيس سرعة تعديل الاختلال في التوازن من الأجل القصير باتجاه التوازن في الأجل الطويل وهو ما يستلزم أن يكون معنوياً وسالباً حتى يُقدم دليلاً على استقرار العلاقة في الأجل الطويل (أي وجود ألية تصحيح الخطأ).

ولكن قبل استخدام نموذج ARDLفي تقدير المعاملات ينبغي التأكد من جودة النموذج المستخدم وخلوه من مشاكل القياس المختلفة، ويتم ذلك باستخدام الاختبارات التشخيصية، كما هو ملخص في جدول (6)؛ حيث يتضح من الجدول أن نتائج إحصائيات مشاكل القياس غير دالة احصائياً، وبالتالي قبول فرض العدم لكل اختبار بما يفيد خلو النموذج القياسي المُقدر من مشكلة الارتباط التسلسلي بين البواقي، ومشكلة عدم ثبات التباين، كما تدل على أن البواقي تتوزع توزيع طبيعي، وأن النموذج موصف بشكل ملائم. كما يتضح من اختبار المجموع التراكمي للبواقي المعاودة (CUSUM)، واختبار المجموع التراكمي لمربعات البواقي المعاودة (CUSUM of Squares)، أن هناك استقرارا وانسجاماً بين نتائج الأجل الطويل ونتائج الأجل القصير. حيث وقع الشكل البياني لاختبارين داخل الحدود الحرجة عند مستوى 5%. كما يتضح من الشكل (5).

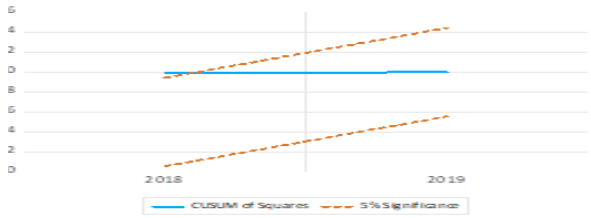
جدول (6): نتائج الاختبارات التشخيصية (Diagnostic Tests)

Problems	**Tests used**		***Stat.***
Heteroskedasticity	Breusch-Pagan-Godfrey	F (19، 2)	0.65106 (0.779)
Serial Correlation	Breusch-Godfrey Serial Correlation LM	F (1، 1)	6.79850 (0.077) *
Normality	Jarque-Bera		0.68021 (0.712)
Function Form	Ramsey RESET test for specification	F (1، 1)	7.09959 (0.056) *
Stability test	a. CUSUM		Stability
	b. CUSUM of Squared		Stability
	R-squared		99.9%
	Adjusted R-squared		99.9%
	Durbin-Watson stat.		3.4487
	Fisher test		2674.1 (0.000) ***

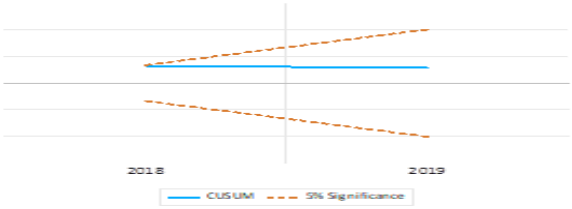
***Note*: -** ***، * indicate significance at 1%، and 10% respectively.

شكل (5):اختبار(CUSUM) و (CUSUM of Squares)

CUSUM of Squares Test



CUSUM Test



كما توضح الإحصاءات العامة ارتفاع قيمة معامل التحديد المعدل ($\overline{R}^2$) والتي تتجاوز حاجز 99%، مما يُشير لاقتراب النموذج من التوصيف التام لمستوي كفاءة الطاقة. كذلك جاءت قيمة اختبار دربن-واطسون (DW-stat) المحسوبة للثلاثة أكبر من قيمة (DW) الجدولية وهي 1.977وهو ما يؤكد عدم وجود ارتباط تسلسلي بين البواقي. كما يشير اختبار فيشر (Fisher) إلى رفض الفرض العدمي وقبول الفرض البديل بوجود دلالة إحصائية للنموذج المستخدم ككل عند مستوى معنوية 1%.

وترتيباً على نتائج هذه الاختبارات يمكن استخدام هذه النموذج في تقدير العلاقة طويلة الأجل وقصيرة الأجل كما يتضح من الجدول (7) التالي:

جدول (7): علاقة الابتكار التكنولوجي بكفاءة الطاقة بقطاع السيارات: العلاقة طويلة الأجل ونموذج تصحيح الخطأ

Variable	*Coefficient*	*Std. Error*	*t-Statistic*	*Prob.*
Long-run coefficients:				
TI	**0.3741**	**0.0264**	**14.193**	**0.005*** **
RGDP	7.71e-05	1.97e-05	3.9116	0.060*
INF	-11.979	0.3047	-39.322	0.001***
GOV	-7.97e-05	3.11e-06	-25.601	0.002***
GOV squared	2.86e-09	1.62e-10	17.585	0.003***
TO	-2.2119	0.1543	-14.331	0.005***
TO squared	0.0413	0.0030	14.582	0.005***
Constant	55.578	0.9184	60.514	0.000***
Error correction coefficient:				
ECM (-1)	-1.6741	0.0117	-142.66	0.000***
Short-run coefficients				
EE	-1.6741	0.0370	-45.630	0.001***

TI	0.6264	0.0551	11.365	0.008***
RGDP	0.0001	0.034e-05	3.8711	0.060*
INF	-20.055	0.5466	-36.689	0.001***
GOV	-0.0001	6.03e-10	-22.142	0.002***
GOV squared	4.78e-9	2.4700	19.346	0.002**
TO	-3.7030	0.2678	-13.829	0.005***
TO squared	0.0692	0.0050	13.999	0.005***
dummy 2009	2.1128	0.1258	16.801	0.004***
dummy 2016	-15.869	1.1970	-13.257	0.006***
Constant	93.043	2.1881	42.521	0.001***

جدول (8): اختبار Sasabuchi–Lind–Mehlum للتأكد من العلاقات غير الخطية

		GOV	***TO***
X_i	$\hat{\beta} =$	-7.97e-05 [-25.60] ***	-2.2119 [-14.33] ***
X_i^2	$\hat{\gamma} =$	2.86e-09 [17.59] ***	0.0413 [14.58] ***
Interval	$X_{l\ (min)} =$	3771	22.286
	$X_{h\ (\max)} =$	51435	30.842
Slope at X_l	$\hat{\beta} + 2\hat{\gamma}X_l =$	-5.82e-05 [4.393] ***	-0.37065 [-1.963] *
Slope at X_h	$\hat{\beta} + 2\hat{\gamma}X_h =$	2.14e-04 [-5.199] ***	0.33623 [-2.345] **
Sasabuchi test (t-value)		[6.023] ***	[4.234] ***
Extremum Point	$-\hat{\beta}/(2\hat{\gamma}) =$	13956.3	26.772
		Extremum inside interval	Extremum inside interval

***Note*:** - ***، **، * indicate significance at 1%، 5% and 10% respectively.

ويتضح من نتائج الجدول (7) أن جميع متغيرات الدراسة ذات دلالة إحصائية في الآجلين الطويل والقصير، وبالتالي كافة متغيرات نموذج الدراسة تمثل محددات رئيسية لكفاءة استهلاك الطاقة في قطاع السيارات في الولايات المتحدة الأمريكية؛ ففي الآجل الطويل نجد تأثير إيجابي لزيادة الابتكار على كفاءة استهلاك الطاقة؛ فيؤدي الارتفاع بدرجة واحدة في مستوى الابتكار إلى زيادة كفاءة الطاقة في قطاع السيارات بمقدار 0.37 دولار في المتوسط. وبالتالي تُدعم هذه النتيجة تحقيق فرضية الدراسة، كما تتفق بالطبع مع النظرية الاقتصادية ومصفوفة الارتباط. حيث يؤدى زيادة الابتكار إلى التحكم في كفاءة الطاقة في قطاع السيارات، من خلال الحفاظ على نفس الاستهلاك وربما زيادته باستخدام نفس الكمية من الطاقة.

وبالانتقال إلى المتغيرات الضابطة؛ فنجد تأثير إيجابي لزيادة متوسط نصيب الفرد من الناتج المحلى على كفاءة الطاقة. وفي المقابل نجد تأثير سلبي لنسبة الطرق الممثلة للبنية التحتية على كفاءة استهلاك الطاقة. كما أظهرت النتائج أن تأثير التدخل الحكومي والانفتاح التجاري غير خطى، حيث يأخذا شكل حرف U؛ فالتدخل الحكومي يبدأ بتأثير سالب ثم يتحول لتأثير موجب، وربما يمكن تفسير ذلك لكون التدخل الحكومي أثره لم يظهر بشكل لحظي، ولكن يحتاج لبعض الوقت ليظهر مفعوله وجدواه، مثل خطة دولة لتطوير بنية تحتية معينة أو مشروع لإنشاء محطات طاقة كهربائية على مساحة كبيرة ...إلخ. وبالمثل توضح النتائج أن تأثير الانفتاح التجاري سالب في البداية وربما يرجع ذلك لفكرة الارتداد التي سبق وأن أشرنا إليها في الأدبيات؛ فالانفتاح التجاري يعمل على زيادة الابتكار بشكل ينعكس على زيادة الطلب وبالتالي زيادة الاستهلاك للطاقة، ولكن بعد وقت معين يأخذ الطلب في الانخفاض طبقاً لقانون تناقص المنفعة الحدية، ويتجه التأثير السالب للانفتاح لتأثير موجب نتيجة لما يُعرف بـ "ظاهرة التقادم التكنولوجي".

وللتأكد من مصداقية العلاقة غير الخطية بين كل من مستوي التدخل الحكومي والانفتاح التجاري وبين كفاءة الطاقة، فقد تم إجراء اختبار (Sasabuchi–Lind–Mehlum) كما يتضح من الجدول (8) السابق. ويتضح من النتائج أن إحصائية الاختبار لكلا المتغيرين جاءت دالة احصائياً، مما يُشير إلى رفض الفرض العدمي بوجود علاقة (Inverse U shape)، وبالتالي قبول الفرض البديل بوجود علاقة (U shape). كما أن نقطتي الانقلاب جاءت في حدود البيانات، مما يعكس بأنه علاقة U حقيقية وليست زائفة. وهنا نجد ان نقطتي الانقلاب (القيم الصغرى) كانت 13956.3مليون دولار، 26.772%لمتغيري التدخل الحكومي والانفتاح التجاري على الترتيب. وهذا يتضمن أن التدخل الحكومي يتحول تأثيره إلى إيجابي على كفاءة الطاقة عندما يتجاوز الرصيد النقدي لصندوق الاستئمان للطرق في الولايات المتحدة الأمريكية حاجز 13956مليون دولار. كما أن الانفتاح التجاري يتحول تأثيره إلى إيجابي على كفاءة الطاقة عندما تتجاوز التجارة نسبة 26.8% من إجمالي الناتج المحلي.

وبالنسبة لنتائج الأجل القصير؛ فلم تختلف عن نتائج الأجل الطويل، وإن كان تأثير الأجل القصير أكبر. حيث استمر التأثير الايجابي للابتكار على كفاءة الطاقة بقطاع السيارات بالولايات المتحدة الأمريكية، ولكن هنا يؤدي زيادة الابتكار بدرجة واحدة إلى زيادة كفاءة الطاقة بمقدار 0.6264دولار في المتوسط. وأخيراً يتضح أن معامل تصحيح الخطأ (-1) ECM جاء معنوياً

وسالباً، مما يدل على أن ألية تصحيح الخطأ موجودة في النموذج، أي هناك استقرار في العلاقة بين الآجل الطويل والقصير.

6. النتائج:

يستحوذ قطاع السيارات على نسبة كبيرة تعادل (56.8%)من استهلاك الطاقة في جميع أنحاء العالم، ومع تنامي ظاهرة ندرة موارد الطاقة غير المتجددة، وزيادة تعداد السكان ومستوي رفاهيتهم على مستوي العالم، مما فرض المزيد من الضغوط على الاقتصاد العالمي ممثلاً؛ في توفير موارد طاقة لقطاع السيارات بأسعار معقولة للمحافظة على نمو هذا القطاع والذي يعد العصب الرئيسي لعمليات النمو الاقتصادي العالمي، بالإضافة إلى الحد من تلوث البيئي وما تسببه من أضرار محتملة على الاقتصاد العالمي بسبب ظاهرة الاحتباس الحراري. فقد اتجه التقدم التكنولوجي لزيادة كفاءة قطاع السيارات في استهلاكه لطاقة الوقود الأحفوري، من خلال انتاج محركات تعمل على استهلاك كميات وقود أقل لكل ميل مقطوع. وقد أكدت الدراسات الاقتصادية على دور الابتكار وقدرته في التحكم في استهلاك الطاقة، والحفاظ على استدامه الاستهلاك برغم الزيادة المستمرة في عدد السكان ودخولهم.

وفى سبيل ذلك اتجهت تلك الورقة إلى تحليل دور الابتكار التكنولوجي على كفاءة الطاقة بقطاع السيارات في الولايات المتحدة الأمريكية خلال الفترة من 1995حتى عام 2019 بإجمالي 25 مشاهدة سنوية؛ وقد تم اختيار الولايات المتحدة بالذات لأنها تمثل الحدود التكنولوجية العالمية، وبالتالي ستعكس أقصي مستوي للابتكار بقطاع السيارات لديها. وفي سبيل تحليل السلاسل الزمنية واستقصاء الأثر الديناميكي طويل الأجل اعتمدت الدراسة على التكامل المشترك باستخدام منهج اختبار الحدود The Bounds Testing Approachوالمبنى على استخدام الانحدار الذاتي لفترات الإبطاء الموزعة The Autoregressive Distributed Lag (ARDL).

وتوصلت الدراسة أن الابتكار التكنولوجي يلعب دور كبير في التحكم في استهلاك الطاقة في قطاع السيارات في الولايات المتحدة الأمريكية؛ فتطبيق تقنيات تعزز من كفاءة الطاقة المستهلكة للسيارات ساعد على زيادة كفاءة استهلاك الطاقة، حيث نجد تطور هائل وملحوظ في عدد الأميال المقطوعة للجالون الواحد خلال الفترة من 1966حتى 2019؛ فبدل من استهلاك جالون واحد لقطع 13.5 كم للميل عام 1966، أصبحت نفس الكمية تقطع 22.5 كم للميل عام 2019وفقاً لما أشارت إليه بيانات وزارة النقل الأمريكية USDOTعام 2022.

وقد ساعد على حدوث الابتكار التكنولوجي هذا مجموعة من العوامل والتي كانت السبب والدافع لمزيد من الابتكار؛ حيث إن الحاجة إلى استدامة الطاقة لمزيد من النمو الاقتصادي كون ارتباط قوى وإيجابي بين كفاءة الطاقة والنمو، والذي كان للابتكار دور إيجابي قوى لتحقيقه، كما أن انخفاض النسبة المقبولة من الطرق والتي تشكل البنية التحتية، يدفع إلى مزيد من الابتكار في قطاع السيارات، وخاصة أن مؤشر البنية التحتية ظهره والأخر عكسياً بشكل قوى، ولكن مع الابتكار. بالإضافة إلى الدور الذي يلعبه الانفتاح التجاري فيما يُعرف بـ " نقل التكنولوجيا"؛ حيث أظهرت النتائج ارتباطه الإيجابي مع كل من الابتكار وكفاءة الطاقة، فهو يساعد على توفير الابتكار الأجنبي والذي يشكل جزء من الابتكار التكنولوجي كما سبق التوضيح في توصيف البيانات. وكذلك دور الدولة في العمل على تشجيع وزيادة الابتكار وكذلك دورها في زيادة كفاءة الطاقة وربما بشكل غير مقصود؛ كأن تتبنى خطط داعمة للطاقة النظيفة والطاقة المبتكرة، وإصدار خطط هدفها تقليل استخدام طاقة معينة وربما توقف استخدمها بالوصول لعام معين، مثل الخطة التي وضعتها الولايات المتحدة الامريكية باستخدام 80% من الطاقة المتجددة بحلول عام 2030.

- **التوصيات:**

نظراً للدور الرائد للابتكار في زيادة كفاءة استهلاك الوقود بقطاع السيارات، والذي أسهم بشكل كبير في انخفاض الضغط على موارد الطاقة اللازمة لتشغيل هذا القطاع، ومنع دخول العالم في أزمات طاقة كما اتضح من الدراسة الحالية. وبالتالي فتري الباحثة ضرورة حفاظ شركات صناعة السيارات والدول المتقدمة الرائدة لتلك الصناعة على معدل إنفاق مرتفع على البحث والتطوير في قطاع السيارات لزيادة تحسين كفاءة استهلاك الوقود، لحين أن تصل الابتكارات الجذرية في هذا القطاع المرتبطة بالسيارات الكهربائية والسيارات التي تعمل بالطاقة المتجددة إلى مرحلة النضوج بحيث تصبح تكنولوجياتها أكثر بساطة وأقل تكلفة وأكثر استدامة وبالتالي يحدث تحول جذري في هذا القطاع على مستوي العالم. كما يجب على الدول النامية غير المصنعة للسيارات رفع المعايير البيئية المشترطة لاستيراد السيارات من الخارج لمنع دخول السيارات ذات الكفاءة المنخفضة في استهلاك الطاقة، وبالتالي تعمل على ترشيد مواردها من الطاقة غير المتجددة.

المراجع

Adom، P. K.، & Kwakwa، P. A. (2014). Effects of changing trade structure and technical characteristics of the manufacturing sector on energy intensity in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*، *35*، 475–483. =

Akinwale، Y. O. (2018). An empirical analysis of short run and long run relationships between energy consumption، technology innovation and economic growth in Saudi Arabia. *International Journal of Energy Economics and Policy*، *8*(4)، 139–146.

Barker، T.، Ekins، P.، & Foxon، T. (2007). The macro-economic rebound effect and the UK economy. *Energy Policy*، *35*(10)، 4935–4946.

Bureau of Transportation Statistics. (2020). BTS Statistical Standards Manual. *Bureau of Transportation Statistics*، *1–222*، 226.

Fisher-Vanden، K.، Jefferson، G. H.، Jingkui، M.، & Jianyi، X. (2006). Technology development and energy productivity in China. *Energy Economics*، *28*(5–6)، 690–705.

Haider، S.، & Mishra، P. P. (2021). Does innovative capability enhance the energy efficiency of Indian Iron and Steel firms? A Bayesian stochastic frontier analysis. *Energy Economics*، *95*، 105128.

He، L. Y.، & Huang، G. (2021). How can export improve firms' energy efficiency? The role of innovation investment. *Structural Change and Economic Dynamics*، *59*(20)، 90–97.

Herrerias، M. J.، Cuadros، A.، & Luo، D. (2016). Foreign versus indigenous innovation and energy intensity: Further research across Chinese regions. *Applied Energy*، *162*، 1374–1384.

Huang، J.، Hao، Y.، & Lei، H. (2018). Indigenous versus foreign innovation and energy intensity in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*، *81*(March 2017)، 1721–1729.

Huang، J.، Lai، Y.، & Hu، H. (2020). The effect of technological factors and

structural change on China's energy intensity: Evidence from dynamic panel models. *China Economic Review*، *64*، 101518.

Huang، J.، Xiang، S.، Wu، P.، & Chen، X. (2022). How to control China's energy consumption through technological progress: A spatial heterogeneous investigation. *Energy*، *238*، 121965.

Jin، W.، Zhang، H. quan، Liu، S. shuang، & Zhang، H. bo. (2019). Technological innovation، environmental regulation، and green total factor efficiency of industrial water resources. *Journal of Cleaner Production*، *211*، 61–69.

Li، K.، & Lin، B. (2018). How to promote energy efficiency through technological progress in China? *Energy*، *143*، 812–821.

Li، Y.، & Solaymani، S. (2021). Energy consumption، technology innovation and economic growth nexuses in Malaysian. *Energy*، *232*، 121040.

Lin، B.، & Du، K. (2015). Measuring energy rebound effect in the Chinese economy: An economic accounting approach. *Energy Economics*، *50*، 96–104.

Liu، J.، Sun، X.، Lu، B.، Zhang، Y.، & Sun، R. (2016). The life cycle rebound effect of air-conditioner consumption in China. *Applied Energy*، *184*، 1026–1032.

Liu، W.، Liu، Y.، & Lin، B. (2018). Empirical analysis on energy rebound effect from the perspective of technological progress—a case study of China's transport sector. *Journal of Cleaner Production*، *205*، 1082–1093.

Liu، Y.، Li، Z.، & Yin، X. (2018). Environmental regulation، technological innovation and energy consumption–-a cross-region analysis in China. *Journal of Cleaner Production*، *203*(2018)، 885–897.

Luan، B.، Huang، J.، Zou، H.، & Huang، C. (2020). Determining the factors driving China's industrial energy intensity: Evidence from technological innovation sources and structural change. *Science of the Total*

Environment، *737*، 139767.

Murad، M. W.، Alam، M. M.، Noman، A. H. M.، & Ozturk، I. (2019). Dynamics of technological innovation، energy consumption، energy price and economic growth in Denmark. *Environmental Progress and Sustainable Energy*، *38*(1)، 22–29.

Ramirez-Portilla، A.، Cagno، E.، & Trianni، A. (2014). Is Innovation an enabler of Energy Efficiency? An exploratory study of the foundry sector. *Energy Procedia*، *61*، 1191–1195.

Sohag، K.، Begum، R. A.، Syed Abdullah، S. M.، & Jaafar، M. (2015). Dynamics of energy use، technological innovation، economic growth and trade openness in Malaysia. *Energy*، *90*، 1497–1507.

Su، T.، Ahmad، I.، Qayyum، A.، Yin، W.، Rahman، S. ur، & Adeel-Farooq، R. M. (2021). Role of economic growth and innovative technologies in the outlook of energy and environmental efficiency: a way forward for developing Asian economies. *Environmental Science and Pollution Research*، *28*(47)، 66930–66940.

Sun، H.، Edziah، B. K.، Kporsu، A. K.، Sarkodie، S. A.، & Taghizadeh-Hesary، F. (2021). Energy efficiency: The role of technological innovation and knowledge spillover. *Technological Forecasting and Social Change*، *167*(February).

Teng، Y. (2012). Indigenous R&D، technology imports and energy consumption intensity: Evidence from industrial sectors in China. *Energy Procedia*، *16*(PART C)، 2019–2026.

Wang، H.، & Wang، M. (2020). Effects of technological innovation on energy efficiency in China: Evidence from dynamic panel of 284 cities. *Science of the Total Environment*، *709*(360)، 136172.

Yi، M.، Wang، Y.، Sheng، M.، Sharp، B.، & Zhang، Y. (2020). Effects of heterogeneous technological progress on haze pollution: Evidence from China. *Ecological Economics*، *169*(July 2019)، 106533.

Zhang، R.، & Fu، Y. (2022). Technological progress effects on energy efficiency from the perspective of technological innovation and technology introduction: An empirical study of Guangdong، China. *Energy Reports*، *8*، 425–437.

Zheng، L.، Raza، K.، Salem، S.، Irfan، M.، & Alvarado، R. (2022). Technological Forecasting & Social Change How technological innovation and institutional quality affect sectoral energy consumption in Pakistan ? Fresh policy insights from novel econometric approach. *Technological Forecasting & Social Change*، *183*(99)، 121900.

Zheng، S.، Yang، J.، & Yu، S. (2021). How renewable energy technological innovation promotes renewable power generation: Evidence from China's provincial panel data. *Renewable Energy*، *177*، 1394–1407.

Zhu، W.، Zhang، Z.، Li، X.، Feng، W.، & Li، J. (2019). Assessing the effects of technological progress on energy efficiency in the construction industry: A case of China. *Journal of Cleaner Production*، *238*، 117908.

الأوابك. (2021). واقع وأفاق إستهلاك النفط فى قطاع المواصلات العالمى وإنعكاساته على الدول الاعضاء بأوابك. *مجلة النفط والتعاون العربى*، *47*(176)، 367–379

ملحق (1): تقدير الوفر فى إستهلاك الطاقة فى قطاع النقل (السيارات الخفيفة) فى الولايات المتحدة خلال الفترة من 1995 حتى عام 2019

السنة	إجمالى عدد السيارات المسجلة	متوسط المسافة السنوية للسيارة الواحدة (ميل)	متوسط كفاءة الوقود للسيارة الواحدة (ميل /جالون)	متوسط كفاءة الوقود للسيارة الواحدة بافتراض وجود إبتكار (جالون / ميل)	متوسط كفاءة الوقود للسيارة الواحدة بافتراض عدم وجود إبتكار (جالون / ميل)	إجمالى إستهلاك الوقود بافتراض عدم وجود إبتكار	إجمالى إستهلاك الوقود الفعلى فى ظل وجود إبتكار	الوفر فى الطاقة بسبب الإبتكار (بافتراض عام 1995 كأساس)	نسبة الوفر فى إستهلاك الوقود مقارنة بإستهلاك عام 1995
	1	2	3	4	5=(1/4)	6=(1*2*5)	7=(1*2*4)	8=(6-7)	9=((8)/6)*100
1995	64778472	13500	19.5	0.051282051	0.051282051	44846634462	44846634462	0	
1996	75940206	13500	19.2	0.052083333	0.051282051	52573988769	53395457344	-821468574.5	-1.6
1997	77307408	13500	19.3	0.051813472	0.051282051	53520513231	54075129948	-554616717.4	-1.0
1998	79062475	13500	19.6	0.051020408	0.051282051	54735559615	54456296556	279263059.3	0.5
1999	83147802	13500	19.7	0.050761421	0.051282051	57563862923	56979458223	584404699.7	1.0
2000	87107628	13500	19.7	0.050761421	0.051282051	60305280923	59693044569	612236354.5	1.0
2001	92045311	13500	19.8	0.050505051	0.051282051	63723676846	62758166591	965510255.2	1.5
2002	92938585	13500	19.6	0.051020408	0.051282051	64342097308	64013821301	328276006.7	0.5
2003	94943551	13500	20	0.05	0.051282051	65730150692	64086896925	1643253767	2.5
2004	100016691	13500	20.2	0.04950495	0.051282051	69242324538	66842838045	2399486494	3.5
2005	103818838	13500	20.1	0.049751244	0.051282051	71874580154	69729070299	2145509855	3.0
2006	107943782	13500	19.5	0.051282051	0.051282051	74730310615	74730310615	0	0.0
2007	110497239	13500	19.6	0.051020408	0.051282051	76498088538	76107792168	390296370.1	0.5
2008	110241587	13500	20.2	0.04950495	0.051282051	76321098692	73676308144	2644790549	3.5
2009	110561293	13500	20.4	0.049019608	0.051282051	76542433615	73165561544	3376872071	4.4
2010	110322256	13500	21.3	0.046948357	0.051282051	76376946427	69922556589	6454389839	8.5
2011	118455587	13500	21.8	0.04587156	0.051282051	82007714077	73355524060	8652190017	10.6
2012	133130031.8	13500	21.7	0.046082949	0.051282051	92166945073	82822830826	9344114247	10.1
2013	132931240	13500	21.5	0.046511628	0.051282051	92029320000	83468453023	8560866977	9.3
2014	137531011	13500	21.4	0.046728972	0.051282051	95213776846	86760217220	8453559627	8.9
2015	141256148	13500	21.6	0.046296296	0.051282051	97792717846	88285092500	9507625346	9.7
2016	146182276	13500	22	0.045454545	0.051282051	1.01203E+11	89702760273	11500353881	11.4
2017	151605434.8	13500	22.3	0.044843049	0.051282051	1.04958E+11	91779074877	13178533829	12.6
2018	152701630.9	13500	22.5	0.044444444	0.051282051	1.05717E+11	91620978516	14095535156	13.3
2019	158352117.2	13500	22.2	0.045045045	0.051282051	1.09628E+11	96295206378	13333182422	12.2

المصدر : من إعداد الباحثة ؛ حيث تمت الحسابات فى الجدول إستناداً إلى بيانات من المصادر التالية:

متوسط المسافة السنوية: The U.S. Department of Transportation's Federal Highway Administration

عدد السيارات المسجلة: U.S.Vehicle registration statistics from registration databases

متوسط كفاءة الوقود للسيارة: The U.S. Department of Transportation databases.

Abstract:

Due to the auto sector's acquisition of a large proportion of energy consumption، the use of technology has increased in the automotive sector to create technologies that control the energy consumed. Therefore، the study focused on the role played by innovation in controlling the sustainability of energy consumption in that sector by increasing the efficiency of energy consumption، and this was applied to the United States as a vanguard Technological limits، during the period from 1995 to 2019. The aim of the study was to present the problem analytically، and then measure this role using the Bounds Testing Approach، which is based on the use of (ARDL). The results of the study confirm the role of innovation in controlling energy consumption in the automotive sector in the United States in the short and long term**.**

Keywords: innovation, vertical innovation, horizontal innovation, non-renewable resources, energy efficiency.