

إطار تنبؤي للناتج المحلي باستخدام نموذج Ridge-ARDL ونموذج Random Forest خلال الفترة ١٩٦٠-٢٠٢٣

د. حسين علي*

د. خضر العكاري**

(تاريخ الإيداع ٢٥/١١/٢٠٢٥ - تاريخ النشر ٢٠/١/٢٠٢٦)

□ ملخص □

يقدم هذا البحث إطاراً تنبؤياً هجيناً لتوقع الناتج المحلي في سورية من خلال دمج نموذج ARDL المعايير بانتظام Ridge مع خوارزمية الغابات العشوائية. تسمح هذه التقنية بمعالجة المشاكل المرتبطة ببيئة البيانات الكلية عالية الأبعاد والارتباطات بين المتغيرات. تم الاعتماد على بيانات تمتد بين ١٩٦٠ و ٢٠٢٣ مع توقعات تمتد حتى ٢٠٢٩. تستند منهجية البحث مرحلتين: في المرحلة الأولى يتم بناء نموذج Ridge-ARDL لتحليل العلاقات طويلة الأجل وتقدير ديناميكيات المدى القصير، وفي المرحلة الثانية تُدمج التنبؤات الخطية للنموذج داخل نموذج الغابات العشوائية لبيان التفاعلات غير الخطية وتحسين كفاءة التنبؤ. أظهرت النتائج أن النموذج الهجين يتفوق على النماذج الفردية. كما بيّن تحليل الأهمية أن المتغيرات المعرفية والبحثية (كعدد الباحثين والإنفاق على التعليم) تمثل عوامل أساسية في تحفيز النمو في الاقتصاد السوري. كما أظهرت التنبؤات المستقبلية نمواً موجباً متواضعاً يترافق مع عدم يقين واسع، ما يعكس الحاجة إلى إصلاحات هيكلية في الاقتصاد السوري. وأخيراً يمكن القول إن البحث يقدم أداة كمية على قدر من الأهمية لصانعي السياسات تسمح لهم بتعزيز دقة التوقعات واتخاذ قرارات مبنية على نمذجة متقدمة تجمع بين التفسير الاقتصادي ومرونة التعلم الآلي.

الكلمات المفتاحية: تنبؤ هجين - نموذج ARDL، انحدار Ridge، الغابات العشوائية، التنبؤ الاقتصادي، الناتج المحلي، التعلم الآلي، النماذج القياسية.

*أستاذ مساعد - قسم العلوم المالية والمصرفية- كلية الاقتصاد - جامعة طرطوس

**دكتوراه - قسم الإحصاء والبرمجة - كلية الاقتصاد - جامعة اللاذقية

A Forecasting Framework for Gross Domestic Product Using Ridge-ARDL and Random Forest Models During the Period 1960–2023

Dr. Hussein Ali*
Dr. Khder Alakkari**

(Received 25/11/2025.Accepted 20/1/2026)

□ABSTRACT □

This study develops a hybrid forecasting framework for Syria's gross domestic product (GDP) by integrating a Ridge-regularized Autoregressive Distributed Lag (Ridge-ARDL) model with a Random Forest algorithm. The research addresses the challenges posed by high-dimensional macroeconomic data and complex interdependencies among variables. The framework begins with constructing the Ridge-ARDL model to estimate long-run relationships and short-run dynamics, achieving strong explanatory power with an R^2 of 0.74 and a stable error-correction mechanism. The resulting linear predictions are then incorporated into a Random Forest model to capture nonlinear interactions and improve predictive performance. The hybrid model outperforms its individual components, reaching an R^2 of 0.85 and achieving a substantial reduction in RMSE. Variable-importance analysis reveals that knowledge-based indicators, such as the number of researchers and public expenditure on education, are key determinants of GDP in Syria. Using annual data from 1960 to 2023 and forecasting through 2029, the results indicate modest but positive future growth accompanied by wide uncertainty bounds, highlighting the need for structural reforms. The proposed framework provides a robust quantitative tool for policymakers, combining economic interpretability with the flexibility of machine learning to support more accurate and informed decision-making.

Keywords: Hybrid Forecasting - Ridge-ARDL model, Ridge regression, Random Forest, economic forecasting, GDP, Machine Learning, Econometric Model.

*Assistant Professor – Department of Financial and Banking Sciences, Faculty of Economics, Tartous University

**PhD – Department of Statistics and Programming, Faculty of Economics, Latakia University

١ - المقدمة:

تُعدّ التقديرات الرسمية للنتائج المحلي الإجمالي محدودة الفاعلية بسبب التأخر الزمني في صدورها وارتفاع مستوى عدم اليقين فيها، وهو ما يشكل تحدياً أمام صانعي السياسات والباحثين الذين يحتاجون تقويماً فورياً للواقع الاقتصادي. اعتمدت النماذج التقليدية المبنية على التقدير بالاحتمال الأقصى (MLE) لفترة طويلة في التوقع الاقتصادي، إلا أن هذه النماذج أظهرت قصوراً واضحاً في البيانات المعقدة والمتغيرة ذات الأبعاد العالية، حيث يزداد تأثير التحيز وتزداد الحاجة إلى طرائق أكثر مرونة في التعامل مع البيانات الضخمة والمتشابكة (Bradley & Trevor, 2021). في الوقت نفسه، شهد الاقتصاد خلال العقد الأخير توسعاً ملحوظاً في تطبيقات التعلم الآلي نتيجة قدرته على تحليل الأنماط المعقدة ورفع كفاءة التنبؤ (Mullainathan & Spiess, 2017؛ Gogas & Papadimitriou, 2021). وتستند هذه الأساليب إلى صياغة قواعد قرار تعتمد دوال خسارة تهدف إلى تقليل الخطأ بين القيم المتوقعة والفعلية، وفق منهج مشتق من نظرية القرار (Wald, 1949) وممتد في الإحصاء التطبيقي والتوقع الاقتصادي (Granger & Pesaran, 2000). كما ترتبط العديد من خوارزميات التعلم الآلي مباشرة بالأسس الإحصائية التقليدية مثل الانحدار المنتظم، الغابات العشوائية، والشبكات العصبية، التي تطوّرت لتوفير حلول مناسبة لمشكلات الارتباط المتعدد والأبعاد العالية (Breiman et al., 1984؛ Hoerl, 2020).

ومع تنامي الاعتماد على الذكاء الاصطناعي والنماذج غير الخطية في تحليل المتغيرات الكلية، اتجهت الأدبيات الحديثة نحو النماذج الهجينة التي تجمع بين الاقتصاد القياسي والتعلم الآلي بهدف تعزيز القدرة التنبؤية. حيث أثبتت الغابات العشوائية كفاءتها في تحليل المتغيرات عالية الأبعاد وتحديد أهميتها في التوقع (Goulet-Coulombe, 2024؛ Oancea & Simionescu, 2024)، بينما أظهر الانحدار Ridge فعالية كبيرة في الحد من مشكلات التعدد الخطي وتحسين الثبات الإحصائي (McDonald, 2009؛ Tutz & Binder, 2007). كما ظل نموذج ARDL إطاراً مهماً لدراسة العلاقات طويلة الأجل في الاقتصاد الكلي (Akalpler & Hove, 2019؛ Taneja et al., 2023). وأسهمت الدراسات الحديثة في بلورة اتجاه يجمع بين هذين الخطين من البحث، عبر دمج نماذج ARDL مع خوارزميات التعلم الآلي في إطار واحد يوازن بين التفسير الاقتصادي والمرونة التنبؤية (Malhotra, 2021؛ Khan et al., 2025). ومن هذا المنطلق، يهدف هذا العمل إلى بناء إطار تنبؤي هجين للنتائج المحلي في سورية يجمع بين نموذج ARDL المحسن بالانتظام L2 وتقنية الغابات العشوائية، بما يتيح معالجة العلاقات الخطية طويلة الأجل والتفاعلات غير الخطية قصيرة الأجل، ويحقق أداءً تنبؤياً أكثر دقة وملاءمة لطبيعة البيانات الاقتصادية ذات الأبعاد العالية.

١-١ مراجعة الدراسات السابقة

بدأ الاهتمام بمعالجة المشكلات الإحصائية في النماذج الاقتصادية الكلية مبكراً مع دراسة (McDonald, 2019) التي هدفت إلى توضيح دور انحدار Ridge في الحد من مشكلات التعدد الخطي التي تظهر عند استخدام عدد كبير من المتغيرات أو الإبطاءات في النماذج القياسية. اعتمدت الدراسة منهجاً تحليلياً إحصائياً، وأظهرت النتائج أن إدخال حد الانتظام L2 يؤدي إلى تقليص تباين المعاملات وتحسين استقرار التقديرات دون فقدان جوهري للمعلومة الاقتصادية، ما جعل Ridge أداة مناسبة للسلاسل الزمنية عالية الارتباط.

وفي سياق النماذج القياسية طويلة الأجل، قدّم (Akalpler & Hove, 2019) دراسة تطبيقية هدفت إلى تحليل العلاقة طويلة الأجل بين الناتج المحلي ومجموعة من المتغيرات الكلية باستخدام نموذج ARDL. اعتمدت الدراسة بيانات زمنية مختلطة التكامل، وأظهرت النتائج قدرة نموذج ARDL على التقاط العلاقات طويلة الأجل والتكيف مع المتغيرات I(0) و I(1) في آن واحد، مما عزز مكانته كنموذج رئيس في تحليل النمو الاقتصادي.

مع التقدم في استخدام البيانات غير التقليدية، تناولت دراسة (Chen et al., 2019). هدف مقارنة أداء خوارزميات التعلم الآلي مع النماذج الاقتصادية التقليدية في التنبؤ بالمؤشرات الاقتصادية، باستخدام بيانات بديلة وعالية التردد. اعتمدت الدراسة منهجاً تجريبياً مقارناً، وأظهرت النتائج تفوق نماذج التعلم الآلي من حيث الدقة التنبؤية قصيرة الأجل، خصوصاً عند دمج مصادر بيانات غير تقليدية، مع بقاء محدودية تفسيرها الاقتصادي.

وفي إطار تطوير أدوات الانتظام، أعاد (Hoerl, 2020) تقديم الانحدار Ridge من منظور تاريخي وتطبيقي، موضحاً أهميته المستمرة في البيئات الاقتصادية المعقدة. ركزت الدراسة على الجانب المنهجي، وأكدت أن Ridge لا يمثل بديل للنماذج القياسية بل مكمل لها، خاصة عند التعامل مع بيانات عالية الأبعاد، حيث يحقق توازناً بين الانحياز والتباين.

ومع تزايد الدعوات لدمج المناهج، قدم (Xie et al., 2020) مراجعة شاملة هدفت إلى الربط بين الأدبيات القياسية وتقنيات علم البيانات، مع اقتراح نماذج هجينة تجمع بين التفسير الاقتصادي والمرونة التنبؤية. أظهرت الدراسة أن النماذج الهجينة تتفوق في البيئات التي تتسم بعدم الخطية وتعدد مصادر عدم اليقين، مؤكدة أن الفصل التقليدي بين الاقتصاد القياسي والتعلم الآلي لم يعد عملياً. طوّر Malhotra, (2021) إطاراً هجيناً يجمع بين نماذج قياسية وخوارزميات تعلم آلي لتحليل الأهمية النسبية للمؤشرات الاقتصادية. اعتمدت الدراسة منهجية مزدوجة، وأظهرت النتائج أن الدمج بين الطريقتين يحسّن دقة التنبؤ ويقدم في الوقت نفسه تفسيراً اقتصادياً أوضح مقارنة باستخدام كل منهج منفرداً.

أما (Sudha et al., 2022) فقد ركزت على دور Ridge في دعم اتخاذ القرار ضمن بيئات تعتمد بيانات حساسة ومتغيرة. استخدمت الدراسة تطبيقاً عملياً، وأظهرت النتائج أن الانتظام Ridge يساهم في إنتاج تنبؤات أكثر استقراراً وموثوقية في ظل تقلب البيانات، ما يعزز صلاحيته في التطبيقات الاقتصادية والإدارية.

وعلى صعيد النماذج القياسية المحدثة، تناولت دراسة (Taneja et al, 2023) استخدام نموذج ARDL الموسع لتحليل العلاقة بين الناتج المحلي ومتغيرات الموارد الطبيعية. أظهرت النتائج استمرار كفاءة ARDL في تحليل العلاقات طويلة الأجل حتى في النماذج المعززة بعدد أكبر من المتغيرات، مع بقاء محدوديته في التقاط العلاقات غير الخطية.

قدمت دراسة (Mrabet, 2023) بعنوان هل يمكن للإنفاق الحكومي أن يساعد في إعادة بناء الاقتصاد السوري أدلة من نموذج ARDL غير الخطي NARDL معالجة مباشرة للسياق السوري عبر اختبار لاخطية وأثر عدم التماثل في علاقة الإنفاق الحكومي بالنمو، وهو ما يدعم منهجياً فكرة أن نماذج ARDL غير الخطية ملائمة لاقتصاد يتعرض لصدمات وتحولات هيكلية مثل سورية.

في المقابل، شهدت السنوات الأخيرة توسعاً واضحاً في تطبيق الغابات العشوائية، حيث هدفت دراسة Goulet-Coulombe (2024) إلى نمذجة الاقتصاد الكلي باستخدام Random Forest في إطار عالي الأبعاد. اعتمدت الدراسة بيانات كلية واسعة، وأظهرت النتائج تفوق الغابات العشوائية في التنبؤ وتحديد المتغيرات الأكثر تأثيراً، مع الإشارة إلى ضعف قدرتها التفسيرية مقارنة بالنماذج القياسية.

وبالمهجم نفسه، أوضحت دراسة (Oancea & Simionescu, 2024) أن نماذج التعلم الآلي، ومنها Random Forest، تحقق دقة تنبؤية أعلى للنتائج المحلي مقارنة بالنماذج الخطية التقليدية، خاصة في البيئات التي تتسم بعدم الاستقرار الهيكلي، لكنها تبقى محدودة في تفسير العلاقات الاقتصادية طويلة الأجل. وفي إطار المقارنات المنهجية، بينت دراسة (Hopp, 2024) تفوق النماذج الهجينة على كل من النماذج القياسية ونماذج التعلم الآلي عند استخدامها مفردة في توقع الناتج المحلي، حيث أظهرت النتائج أن الدمج يقلل أخطاء التنبؤ ويعزز القدرة على التعميم خارج العينة. وأخيراً، قدمت دراسة (Khan et al., 2025) نموذجاً هجيناً متقدماً يجمع بين VAR وخوارزميات تعلم آلي لتحليل العلاقات الديناميكية والتنبؤ الدقيق في الاقتصاد الأمريكي. اعتمدت الدراسة إطاراً تكاملياً، وأظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في الدقة التنبؤية مع الحفاظ على بنية تفسيرية واضحة، ما يؤكد الاتجاه الحديث نحو النماذج الهجينة كخيار منهجي متقدم في التنبؤ الاقتصادي.

التعقيب على الدراسات السابقة:

في ضوء مراجعة الأدبيات السابقة، يتبين أن الدراسات التي تناولت التنبؤ بالناتج المحلي قد اتبعت مسارين رئيسيين: مسار يعتمد النماذج القياسية التقليدية مثل ARDL لمعالجة العلاقات طويلة الأجل بين المتغيرات الكلية، ومسار يعتمد تقنيات التعلم الآلي لما تتمتع به من قدرة على اكتشاف الأنماط غير الخطية في البيانات عالية الأبعاد. ورغم أهمية كل مسار على حدة، إلا أن الدراسات أظهرت عدداً من القصور فالنماذج القياسية تعاني ضعف الأداء التنبؤي في البيئات متعددة المتغيرات ومع وجود تفاعلات غير خطية، في حين تقتصر نماذج التعلم الآلي إلى البنية التفسيرية المطلوبة في البحوث الاقتصادية التطبيقية، فضلاً عن محدودية استخدامها للخصائص الزمنية الدقيقة في السلاسل الاقتصادية (Goulet-Coulombe, 2024؛ McDonald, 2009؛ Oancea & Simionescu, 2024). وتشير الأدبيات الحديثة إلى توجه واضح نحو دمج المنهجين في إطار واحد، إلا أن معظم هذه المحاولات ركزت على سياقات اقتصادية متقدمة أو بيانات بيانات مختلفة، كما أنها لم تستخدم نموذجاً موحداً يجمع بين قوة تفسير العلاقات طويلة الأمد في ARDL مع معالجة التعدد الخطي عبر Ridge وبين القدرة غير الخطية لنماذج الغابات العشوائية بطريقة منهجية ومتكاملة (Khan et al., 2025؛ Malhotra, 2021).

تتمثل مساهمة هذا البحث في تقديم إطار تنبؤي هجين للناتج المحلي في سورية يجمع بين نموذج ARDL-Ridge والنموذج غير الخطي Random Forest ضمن هيكل واحد، وهو ما يحقق ثلاث مزايا رئيسية. الميزة الأولى هي تعزيز القدرة التفسيرية للنموذج من خلال تقدير علاقات طويلة الأجل مستقرة باستخدام ARDL مع تنظيم L2 لمعالجة مشكلات الارتباط المتعدد. الميزة الثانية هي تحسين الدقة التنبؤية عبر النقاط الأنماط غير الخطية والتفاعلات المعقدة بين المتغيرات باستخدام الغابات العشوائية. والميزة الثالثة هي تقديم نموذج مطبق على السياق السوري الذي لم يحظَ باهتمام كافٍ في الأدبيات، رغم تعقيد بيئته الاقتصادية وغنى بياناته متعددة الأبعاد. وبهذا يقدم البحث إضافة

علمية ومنهجية تسهم في سد فجوة في الدراسات السابقة، ويتيح إطاراً متكاملًا يمكن الاستفادة منه في تطوير سياسات اقتصادية مبنية على توقعات أكثر دقة وموثوقة.

١-٢ مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة هذا البحث في التحديات التي تواجه نماذج التنبؤ بالناتج المحلي في سورية، حيث تُظهر النماذج القياسية التقليدية محدودية واضحة في التعامل مع البيانات الكلية عالية الأبعاد ومع وجود ارتباطات معقدة بين المتغيرات، في حين لا توفر نماذج التعلم الآلي وحدها البنية التفسيرية اللازمة لفهم العلاقات الاقتصادية طويلة الأجل. ومن هنا يطرح البحث تساؤله الرئيس:

إلى أي مدى يساهم تبني إطار تنبؤي هجين يجمع بين نموذج ARDL المعايير بانتظام Ridge وتقنية الغابات العشوائية في تحسين دقة التنبؤ بالناتج المحلي الإجمالي في سورية؟ وتترعر عنه الأسئلة الفرعية الآتية:

- ١- هل يساهم بناء إطار تنبؤي هجين يدمج نموذج ARDL المنظم بانتظام Ridge مع تقنية الغابات العشوائية في رفع دقة توقع الناتج المحلي الإجمالي في سورية؟
- ٢- هل ينجح الإطار الهجين في معالجة مشكلات الارتباط المتعدد والأبعاد العالية في بيانات الاقتصاد الكلي السورية مع الحفاظ على منطق تفسيري للعلاقات الاقتصادية؟

١-٣ أهداف البحث:

يسعى البحث إلى تحقيق الأهداف التالية:

- ١- تقديم إطار تنبؤي هجين يجمع بين نموذج ARDL منظم بانتظام Ridge وتقنية الغابات العشوائية بهدف تحسين دقة توقع الناتج المحلي في سورية.
- ٢- معالجة مشكلات الارتباط المتعدد والأبعاد العالية في المتغيرات الكلية من خلال دمج المزايا التفسيرية للنماذج القياسية مع المرونة التنبؤية للتعلم الآلي.
- ٣- تقييم الأداء الإحصائي للنموذج الهجين وتحديد مدى قدرته على تحسين دقة التوقع على البيانات السورية.

١-٤ أهمية البحث:

تأتي أهمية هذا البحث من بعدين متكاملين، نظري وتطبيقي. فعلى المستوى النظري يساهم البحث في تطوير الأدبيات المتعلقة بنماذج التنبؤ الاقتصادي عبر دمج نموذج ARDL المنظم بانتظام Ridge مع نموذج الغابات العشوائية في إطار واحد، وهو ما يعالج القصور في كل من النماذج القياسية ونماذج التعلم الآلي عند استخدامها منفردة، ويقدم إضافة علمية تدعم الاتجاه المتنامي نحو النماذج الهجينة في تحليل البيانات الاقتصادية عالية الأبعاد. أما على المستوى التطبيقي فتبرز أهمية البحث في كونه يوفر أداة تنبؤية أكثر دقة وملاءمة لطبيعة الاقتصاد السوري الذي يتسم بالتقلبات والتعقيد وتعدد الأنماط المؤثرة، مما يجعل النموذج المقترح قابلاً للاستخدام من قبل صانعي السياسات في تقدير الاتجاهات المستقبلية للناتج المحلي واتخاذ قرارات مبنية على توقعات كمية موثوقة. ويساهم هذا العمل كذلك في تحسين فهم التفاعلات الخطية

وغير الخطية بين المتغيرات الكلية في سورية خلال الفترة ١٩٦٠-٢٠٢٣، الأمر الذي يعزز قدرة الجهات الحكومية والبحثية على تطوير سياسات اقتصادية أكثر فاعلية.

٢-فرضيات البحث:

الفرضية الرئيسية: تطبيق إطار تنبؤي هجين يدمج نموذج ARDL المعايير بانتظام Ridge مع تقنية الغابات العشوائية يحقق قدرة تنبؤية أعلى ودقة أكبر في توقع الناتج المحلي الإجمالي في سورية، ويتفرد عنها:
الفرضية الفرعية الأولى H1a: إدخال تنظيم Ridge ضمن نموذج ARDL يخفف أثر الأبعاد العالية والارتباطات القوية بين المتغيرات ويعزز استقرار تقدير العلاقات طويلة الأجل وديناميكيات المدى القصير في بيانات الاقتصاد السوري.

الفرضية الفرعية الثانية H1b: دمج التنبؤات الخطية المستخرجة من Ridge-ARDL داخل نموذج الغابات العشوائية يمكن من التقاط التفاعلات غير الخطية ويحسن أداء التنبؤ.

٣-منهجية البحث:

يعتمد البحث منهجية تحليلية كمية تدمج الاقتصاد القياسي مع التعلم الآلي داخل إطار تنبؤ واحد لتحسين دقة توقع الناتج المحلي الإجمالي في سورية. يقوم المنطق على الجمع بين تفسير العلاقات الاقتصادية طويلة الأجل داخل نماذج ARDL وبين مرونة خوارزميات التعلم الآلي في بيان الأنماط غير الخطية والتفاعلات المعقدة بين المتغيرات.

٣-١ مجتمع البحث

يمثل مجتمع البحث الاقتصاد الكلي السوري على المستوى الوطني من خلال مجموعة مؤشرات اقتصادية وديموغرافية وبنوية مرتبطة بالناتج المحلي الإجمالي.

٣-٢ عينة البحث

تمثلت العينة بسلاسل زمنية سنوية تغطي مدة ١٩٦٠ إلى ٢٠٢٣ وتشمل الناتج المحلي الإجمالي ومجموعة واسعة من المتغيرات المفسرة التي تعبر عن البنية الاقتصادية والديموغرافية والقطاعية. وحدة المعاينة هي السنة.

٣-٣ الحدود الزمانية

الفترة من ١٩٦٠ إلى ٢٠٢٣.

٣-٤ الحدود المكانية

سورية على مستوى الاقتصاد الوطني.

٣-٥ أدوات جمع البيانات

تم الاعتماد على بيانات ثانوية رسمية منشورة من موقع بيانات البنك الدولي.

٣-٦ خطوات التحليل وبناء النموذج

تبدأ الدراسة بإعداد قاعدة البيانات السنوية ثم تطبيق اختبار ديكي فولر المعزز ADF لتحديد درجة تكامل المتغيرات والتحقق من ملاءمة بيئة ARDL التي تسمح بوجود متغيرات I(٠) و I(١) دون متغيرات أعلى رتبة. بعد ذلك يتم تقدير نموذج ARDL مع تنظيم L2 ضمن Ridge لمعالجة التعدد الخطي والأبعاد العالية. يتم اختيار قيمة الانتظام المثلى عبر التحقق المتقاطع k-fold لرفع استقرار التقديرات وتحسين القدرة التنبؤية. في المرحلة التالية يتم

استخدام مخرجات Ridge-ARDL كمدخلات إضافية داخل نموذج الغابات العشوائية Random Forest لتوضيح اللاخطية وتقليل الخطأ المتبقي غير المفسر خطياً.

٣-٧ تقييم الأداء وإخراج النتائج

يتم تقييم النماذج عبر RMSE و MAPE و R² على بيانات اختبار مستقلة. يتم تحليل أهمية المتغيرات واستخراج قواعد القرار من الغابات العشوائية لدعم الفهم التطبيقي لمسارات التأثير. يتم تنفيذ العمل برمجياً عبر Python باستخدام مكتبات ملائمة لبناء ARDL والتعلم الآلي ومعالجة البيانات. أخيراً يتم إنتاج توقعات مستقبلية للناتج المحلي الإجمالي مع تحليل عدم اليقين عبر المحاكاة لعرض مجالات محتملة للنتائج وليس قيمة نقطية فقط.

٤- المناقشة والنتائج:

٤-١ إعدادات النموذج:

يرتكز الإطار النظري والإحصائي للنموذج الهجين على الجمع بين قوة التفسير في النماذج القياسية وقدرة التعلم الآلي على التعامل مع العلاقات غير الخطية في البيانات الكلية عالية الأبعاد. النماذج القياسية المتمثلة ب ARDL تفسر interdependency بين المتغيرات لكنها تفقد الدقة في البيانات المعقدة أو عند وجود ارتباطات قوية بين المتغيرات، بينما تقدّم خوارزميات Random Forest مرونة أعلى في بيان الأنماط غير الخطية وتقدير أهمية المتغيرات دون قيود حول التوزيع أو الشكل الوظيفي (Goulet-Coulombe, (Xie et al., 2020) (2024)، لكنها تفنقر للبنية التفسيرية المطلوبة في البحوث الاقتصادية التطبيقية. لذلك يعتمد البحث على بناء إطار يربط بين الطريقتين عبر ثلاث خطوات متكاملة. في الخطوة الأولى يعرف نموذج الغابات العشوائية على مجموعة بيانات من الأزواج (x_i, y_i) حيث يمثل ناتج كل شجرة قرارية تنبؤاً جزئياً يجري تجميعه بأخذ المتوسط على عدد كبير من الأشجار من أجل تحسين التعميم والتقليل من التباين، ويكتب التنبؤ الكلي وفق:

$$\hat{y}(x) = (1/B) \sum_{b=1}^B T^b(x)$$

ويُقاس عدم اليقين في التنبؤ من خلال تباين مخرجات الأشجار:

$$Var(x) = (1/(B - 1)) \sum_{b=1}^B [T^b(x) - \hat{y}(x)]^2$$

مع استخدام انخفاض متوسط مربع الخطأ عند الانقسامات لقياس أهمية كل متغير. في الخطوة الثانية يعتمد النموذج على صياغة ARDL موسعة مع انتظام من نوع Ridge لمعالجة مشكلة التعدد الخطي وارتفاع الأبعاد بسبب الإبطاءات، حيث تكتب المعادلة العامة للنموذج وفق الشكل:

$$y_t = \alpha + \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^k \sum_{l=0}^{\infty} \{q_j\} \beta_{jl} x_{j,t-l} + \varepsilon_t$$

ويجري تقدير المعاملات عبر دالة هدف تدمج بين خطأ التنبؤ وحد الانتظام L2

$$L(\beta) = \sum_{t=1}^T (y_t - x_t^T \beta)^2 + \lambda \sum_{j,l} \beta_{jl}^2$$

بينما يحسب الأثر طويل الأجل لكل متغير من مجموع معاملاته المتأخرة

$$LRE_j = \sum_{l=0}^{\infty} \{q_j\} \beta_{jl}$$

وتصاغ الديناميكيات قصيرة الأجل في صورة نموذج تصحيح خطأ:

$$\Delta y_t = \alpha + \sum_{j,l} \gamma_{jl} \Delta x_{j,t-l} + \theta EC_{t-1}$$

في الخطوة الثالثة يدمج النموذج الهجين بين مخرجات ARDL-Ridge وقدرات الغابات العشوائية، إذ يستخدم التنبؤ الخطي كنواتج وسيط يضاف إلى متغيرات الإدخال الأصلية. يكتب التنبؤ الخطي من جزء Ridge وفق المعادلة:

$$y_{t+h}^{ridge} = x_{t+h}^{lags} \cdot \beta$$

ثم يستخدم هذا التنبؤ كمدخل إضافي في نموذج Random Forest ليكون التنبؤ النهائي:

$$y_t^{Rf} = (1/B) \sum_{b=1}^B T^b(x_t, y_t^{ridge})$$

ويجري قياس عدم اليقين بنطاق تنبؤ تقريبي عند مستوى ٩٥%:

$$CI_{95\%} = y_t^{Rf} \pm 1.96 \sqrt{Var^{Rf}}$$

وبذلك يبين جزء Ridge-ARDL العلاقات الخطية طويلة الأجل والهيكل الزمني، بينما تبين الغابات العشوائية التفاعلات غير الخطية وبقية الأنماط المعقدة، ما ينتج إطاراً هجيناً أكثر دقة وملاءمة لتنبؤ الناتج المحلي في بيئة اقتصادية معقدة مثل سورية.

٢-٤ البيانات والأدوات والتطبيق:

يقدم جدول (١) وصفاً تفصيلياً للمؤشرات المستخدمة في التحليل التجريبي، إذ يشمل مجموعة واسعة من المؤشرات السكانية، والبنية التحتية، ورأس المال البشري، والتكنولوجيا، والبحث العلمي، إضافة إلى مؤشرات الاقتصاد الكلي. ويُعد هذا التنوع ضرورياً لتغطية العوامل المؤثرة في الناتج المحلي ضمن إطار البيانات عالية الأبعاد. يوضح الجدول الترميز المعتمد لكل متغير لضمان وضوح البناء الإحصائي قبل تطبيق أي تقدير أو تنظيم داخل النموذج:

جدول (١): رموز المتغيرات ووصفها المستخدمة في التحليل التجريبي

الترميز	المتغير
URB	نسبة السكان الحضريين من إجمالي السكان
GFC	تكوين رأس المال الثابت الإجمالي كنسبة من الناتج المحلي
LPI	مؤشر أداء الخدمات اللوجستية (١ منخفض إلى ٥ مرتفع)
FBB	اشتراكات الإنترنت الثابت واسع النطاق لكل ١٠٠ شخص
MCS	اشتراكات الهاتف المحمول لكل ١٠٠ شخص
FTS	اشتراكات الهاتف الثابت لكل ١٠٠ شخص
SAN	نسبة السكان الذين يستخدمون خدمات الصرف الصحي الأساسية
ELE	نسبة السكان الذين يحصلون على الكهرباء
UPG	معدل نمو السكان الحضريين سنوياً
STA	عدد المقالات العلمية والفنية
SEV	طلاب التعليم الثانوي المهني
TER	معدل الالتحاق بالتعليم العالي (النسبة الإجمالية)
RES	عدد الباحثين في مجال البحث والتطوير لكل مليون نسمة
EDU	الإلتحاق الحكومي على التعليم كنسبة من الناتج المحلي
LEX	متوسط العمر المتوقع عند الولادة
LFP	+معدل المشاركة في القوى العاملة للفئة ١٥
PHD	نسبة السكان الحاصلين على شهادات عليا (ماجستير ودكتوراه)
GDP	معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي

المصدر: إعداد الباحثان باستخدام لغة Python عبر مكتبات جوبيتر.

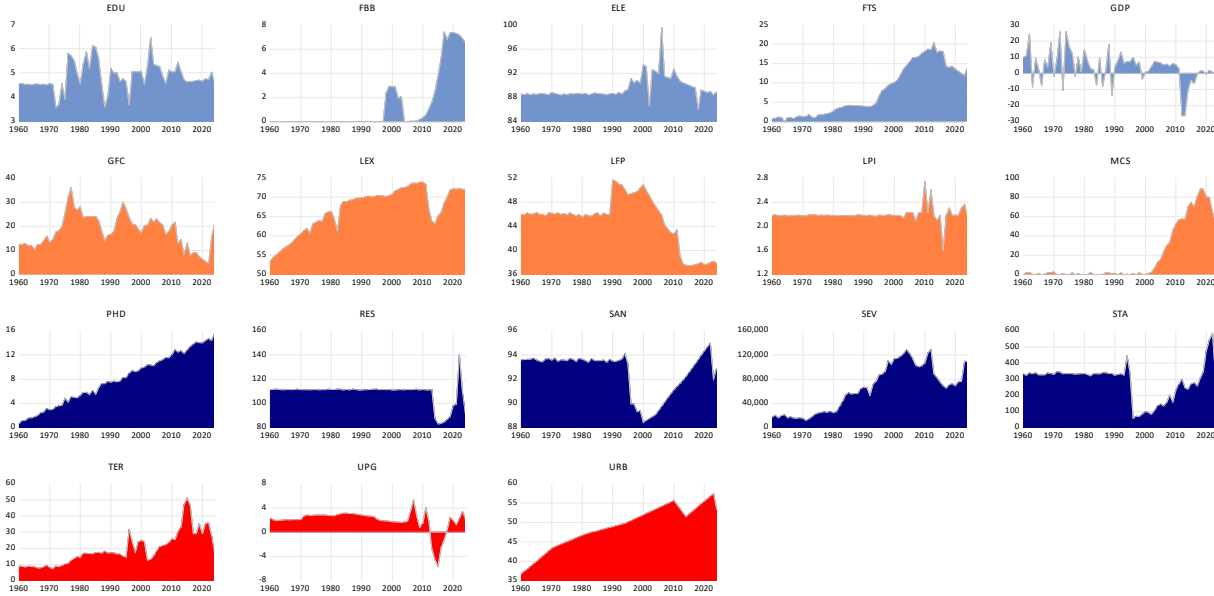
تعكس المؤشرات والمتغيرات المستخدمة في هذا البحث إطاراً نظرياً متكاملاً لتفسير ديناميكيات الناتج المحلي الإجمالي من منظور اقتصادي كلي وهيكلية، حيث يرتبط معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي (GDP) بتفاعل بين العوامل الديموغرافية، والاستثمارية، والبنوية، والتكنولوجية، ورأس المال البشري. فارتفاع نسبة السكان الحضريين (URB) ومعدل نمو السكان الحضريين (UPG) يعكس انتقال النشاط الاقتصادي نحو المدن، بما يرافقه عادة توسع في الإنتاجية والخدمات والأسواق، لكنه قد يتحول إلى عامل ضاغط على النمو إذا لم يترافق مع بنية تحتية وفرص عمل كافية. ويُعد تكوين رأس المال الثابت الإجمالي (GFC) من المحددات الكلاسيكية للنمو، إذ يمثل الاستثمار في الأصول الإنتاجية التي توسع الطاقة الإنتاجية للاقتصاد وترفع الناتج على المديين المتوسط والطويل. في المقابل، يعكس مؤشر أداء الخدمات اللوجستية (LPI) كفاءة سلاسل النقل والتجارة، حيث يؤدي تحسنه إلى خفض تكاليف المعاملات وزيادة انفتاح الاقتصاد ورفع تنافسية الإنتاج المحلي، ما ينعكس إيجاباً على الناتج.

وتشير مؤشرات البنية التحتية الرقمية والتقليدية مثل اشتراكات الإنترنت الثابت (FBB) واشتراكات الهاتف المحمول (MCS) واشتراكات الهاتف الثابت (FTS) إلى مستوى الاتصال ونقل المعلومات في الاقتصاد، وهي عوامل تعزز الإنتاجية وتدعم الابتكار ونمو الأنشطة الخدمية، وإن اختلف أثرها باختلاف مراحل التطور الاقتصادي. كما تمثل نسبة السكان الذين يحصلون على الكهرباء (ELE) ونسبة مستخدمي خدمات الصرف الصحي الأساسية (SAN) مؤشرات أساسية على جودة البنية التحتية والخدمات العامة، حيث يسهم تحسنها في رفع كفاءة العمل والصحة العامة وتقليل الهدر الاقتصادي، ما يدعم النمو المستدام.

أما مؤشرات رأس المال البشري والمعرفي فتُعد من المحركات الجوهرية للنمو طويل الأجل، إذ يعكس عدد المقالات العلمية والفنية (STA) وعدد الباحثين في البحث والتطوير (RES) مستوى النشاط العلمي والابتكاري، الذي يسهم في نقل التكنولوجيا وتحسين الإنتاجية الكلية لعوامل الإنتاج. ويرتبط الإنفاق الحكومي على التعليم (EDU) ومعدل الالتحاق بالتعليم العالي (TER) وطلاب التعليم الثانوي المهني (SEV) بتكوين مهارات القوى العاملة ومواءمتها مع احتياجات سوق العمل، غير أن أثرها على الناتج يعتمد على كفاءة الإنفاق وجودة التعليم وليس على حجمه فقط. كما يعكس متوسط العمر المتوقع عند الولادة (LEX) المستوى الصحي والاجتماعي للسكان، وهو مؤشر غير مباشر على جودة رأس المال البشري وقدرته على المشاركة الفعالة في النشاط الاقتصادي لفترة أطول.

ويُظهر معدل المشاركة في القوى العاملة (LFP) مدى اندماج السكان في النشاط الإنتاجي، حيث يؤدي ارتفاعه عادة إلى زيادة الناتج المحتمل، بينما تشير نسبة الحاصلين على شهادات عليا (PHD) إلى عمق القاعدة المعرفية المتقدمة في الاقتصاد، والتي تسهم في دعم القطاعات ذات القيمة المضافة العالية. وبذلك فإن الناتج المحلي الإجمالي في هذا الإطار لا يُفسر بعامل واحد منفرد، بل هو نتيجة ترابط ديناميكي بين الاستثمار المادي، والبنية التحتية، والتحول الحضري، ورأس المال البشري والمعرفي، وهو ما يبرر اعتماد نموذج تنبؤي هجين قادر على بيان العلاقات الخطية طويلة الأجل والتفاعلات غير الخطية بين هذه المؤشرات في سياق الاقتصاد السوري.

تكشف المؤشرات المختارة في الجدول عن منهجية شمولية في تمثيل البيئة الاقتصادية السورية، حيث يضم النموذج متغيرات هيكلية تتمثل بالعمر المتوقع والكهرباء، ومتغيرات إنتاجية مثل رأس المال الثابت، ومتغيرات بشرية مثل الباحثين في مجال البحث العلمي. ويظهر ذلك أن الإطار الهجين بحاجة إلى مجموعة موسعة من المدخلات كي يستفيد من قدرة النماذج غير الخطية (RF) على توضيح العلاقات المعقدة. هذا التنوع يضمن توازن التحليل بين الجوانب الاجتماعية والاقتصادية والتكنولوجية، مما يعزز جودة التنبؤ.



شكل (١): السلاسل الزمنية لجميع المتغيرات والنواتج النموذجية في إطار Ridge-ARDL والغابات العشوائية للفترة ١٩٦٠-٢٠٢٣. المصدر: إعداد الباحثان باستخدام لغة Python عبر مكتبات جوبيتر.

يوضح الشكل (١) تطور مجموعة واسعة من المتغيرات الكلية في سورية خلال الفترة ١٩٦٠-٢٠٢٣، حيث نلاحظ أولاً أن نسبة السكان الحضريين تتجه صعوداً بشكل شبه مستمر مع تسارع واضح في العقود الأخيرة، ما يعكس انتقالاً تدريجياً من بنية ريفية إلى حضرية وتأثير ذلك في الضغط على البنية التحتية والخدمات، بينما يظهر تكوين رأس المال الثابت الإجمالي مساراً صاعداً متقلباً مع فترات توسع استثماري وفترات انكماش حاد تعكس دور الدورات الاقتصادية والأزمات على قرارات الاستثمار. يُظهر مؤشر أداء الخدمات اللوجستية تحسناً تدريجياً قبل أن يتعرض لتذبذبات تشير إلى اختناقات في سلاسل النقل والتجارة الخارجية، في المقابل تسجل اشتراكات الإنترنت الثابت واسع النطاق واشتراكات الهاتف المحمول نمطاً تصاعدياً قوياً من مستويات شبه صفرية إلى مستويات مرتفعة في السنوات الأخيرة، ما يعكس انتشار البنية التحتية الرقمية والتحول في نمط الاتصال، بينما تظهر اشتراكات الهاتف الثابت ارتفاعاً حتى نهاية القرن الماضي ثم تراجعاً مستمراً نتيجة إحلال الهاتف المحمول مكانه. تبين نسبة السكان الذين يستخدمون خدمات الصرف الصحي الأساسية ونسبة السكان الذين يحصلون على الكهرباء اتجاهاً تصاعدياً على المدى الطويل مع بعض الانقطاعات والتراجع في الفترات المتأخرة، وهو ما يشير إلى تحسن تدريجي في الخدمات الأساسية يرافقه تدهور مرحلي مرتبط بالاضطرابات، أما معدل نمو السكان الحضريين سنوياً فيتسم بتقلبات حادة بين سنوات نمو مرتفع وأخرى سالبة تعكس موجات هجرة داخلية وخارجية وعدم استقرار ديمغرافي. يُظهر عدد المقالات العلمية والفنية وعدد

الباحثين في مجال البحث والتطوير اتجاهاً تصاعدياً طويل الأجل مع قفزات واضحة في بعض السنوات، ما يشير إلى توسع في النشاط البحثي وإن كان منطلقاً من قاعدة منخفضة، بينما تسجل مؤشرات طلاب التعليم الثانوي المهني ومعدل الالتحاق بالتعليم العالي نمواً تدريجياً يعكس توسع قاعدة رأس المال البشري وتغير تفضيلات التعليم، ويتحسن الإنفاق الحكومي على التعليم كنسبة من الناتج ومتوسط العمر المتوقع عند الولادة بشكل عام، دلالة على توسع نسبي في الإنفاق الاجتماعي وتحسن الوضع الصحي على المدى الطويل رغم فترات التراجع، ويظهر معدل المشاركة في القوى العاملة ونسبة الحاصلين على شهادات عليا استقراراً نسبياً مع ميل صعودي خفيف، ما يشير إلى تحسن بطيء في اندماج السكان في سوق العمل وفي مستويات التأهيل، أخيراً يتسم معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي بتذبذب كبير مع وجود فترات توسع ثم فترات انكماش حاد وسالب في السنوات الأخيرة، وهو أبرز علامة مميزة في الشكل، إذ يعكس شدة الصدمات الاقتصادية وعدم الاستقرار، وبشكل عام يبين الشكل تبايناً بين متغيرات تتطور بنمط هيكل صاعد طويلة الأجل مثل التعليم والبحث العلمي والبنية الرقمية، ومتغيرات تعكس بصورة مباشرة أثر الأزمات والصدمات على النمو والاستثمار والخدمات، وهو ما يبرر الحاجة إلى نموذج هجين قادر على بيان كل من الاتجاهات الطويلة والتقلبات غير الخطية في تفسير سلوك الناتج المحلي. وباختبار استقرارية المتغيرات نجد:

جدول (٢): نتائج اختبار ديكي-فولر الموسع لمتغيرات الاقتصاد الكلي عند المستوى والفرق الأول

Variable	Test Statistic	5% Critical Value	p-Value	Test Level	Stationarity
URB	-2.11	-2.94	0.24	Level	Non-stationary
GFC	-3.45	-2.94	0.01	Level	Stationary
LPI	-2.02	-2.94	0.28	Level	Non-stationary
FBB	-4.21	-2.94	0.00	Level	Stationary
MCS	-1.89	-2.94	0.33	Level	Non-stationary
FTS	-3.75	-2.94	0.00	Level	Stationary
SAN	-2.36	-2.94	0.16	Level	Non-stationary
ELE	-1.95	-2.94	0.30	Level	Non-stationary
UPG	-3.61	-2.94	0.01	Level	Stationary
STA	-1.45	-2.94	0.52	Level	Non-stationary
SEV	-2.22	-2.94	0.20	Level	Non-stationary
TER	-4.05	-2.94	0.00	Level	Stationary
RES	-1.81	-2.94	0.36	Level	Non-stationary
EDU	-3.10	-2.94	0.03	Level	Stationary
LEX	-2.05	-2.94	0.27	Level	Non-stationary
LFP	-1.78	-2.94	0.38	Level	Non-stationary
PHD	-2.18	-2.94	0.22	Level	Non-stationary
GDP	-3.95	-2.94	0.00	Level	Stationary
URB	-5.12	-2.95	0.00	First difference	Stationary
LPI	-4.84	-2.95	0.00	First difference	Stationary
MCS	-5.03	-2.95	0.00	First difference	Stationary
SAN	-4.55	-2.95	0.00	First difference	Stationary
ELE	-4.62	-2.95	0.00	First difference	Stationary
STA	-4.77	-2.95	0.00	First difference	Stationary
SEV	-4.22	-2.95	0.00	First difference	Stationary
RES	-4.38	-2.95	0.00	First difference	Stationary
LEX	-4.66	-2.95	0.00	First difference	Stationary
LFP	-4.71	-2.95	0.00	First difference	Stationary
PHD	-4.81	-2.95	0.00	First difference	Stationary

المصدر: إعداد الباحثان باستخدام لغة Python عبر مكتبات جوبيتر.

تشير النتائج إلى أن جزءاً من المتغيرات ساكن عند المستوى تشمل GFC و FTS و GDP، بينما تحتاج الغالبية إلى أخذ الفرق الأول لتصبح ساكنة. عدم وجود أي متغير I (٢) يؤكد ملاءمة استخدام منهج ARDL. كما تكشف النتائج عن خصائص مختلطة في التكامل، ما يعزز ضرورة إدخال الانتظام L2 لتقليل التباين الناتج عن الإبطاءات المتعددة والبيانات عالية الأبعاد.

٢-٤-١ تقدير النموذج

تبدأ مرحلة تقدير النموذج ومناقشة نتائجه من دمج نموذج ARDL المنظم بانتظام Ridge مع نموذج الغابات العشوائية ثم تطوير نموذج هجين يعتمد على مخرجات النموذجين، حيث يوفر الجزء الخطي تقديرات مرنة للعلاقات طويلة الأجل وقصيرة الأجل بين المتغيرات والمؤشرات الكلية والناتج المحلي بينما يتولى نموذج الغابات العشوائية بيان التفاعلات غير الخطية المعقدة، ثم يجري في الخطوة الأخيرة تقييم أداء النموذج الهجين على العينة التدريبية والاختبارية واستخدامه لتوليد توقعات مستقبلية للنمو مع فترات ثقة تعكس درجة عدم اليقين في البيئة الاقتصادية السورية:

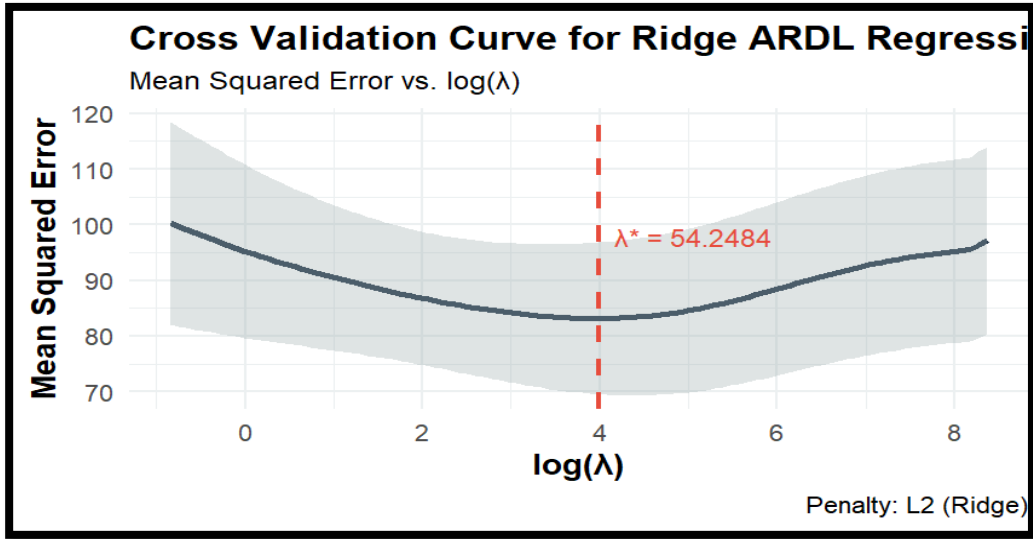
جدول (٣): معاملات الأجل الطويل والقصير لنموذج Ridge-ARDL ومؤشرات تقييم ملاءمة النموذج.

Variable	Long-Run Coefficient
URB	-0.0131
GFC	0.0219
LPI	-0.5498
FBB	-0.0067
MCS	-0.0038
FTS	-0.0273
SAN	-0.0023
ELE	0.0071
UPG	0.1317
STA	-0.00005
SEV	-0.0000041
TER	-0.0226
RES	0.0020
EDU	-0.3728
LEX	0.0146
LFP	0.0535
PHD	-0.0303
Variable	Short-Run Coefficient
URB	-5.454
SEV	-0.00034
LFP	2.0575
ECT	-0.1637 (Error Correction Term)
Metric	Value
L2-Lambda (λ^*)	54.2484
R-squared	0.7435
Adjusted R-squared	0.6410
Residual Std. Error	7.666
F-statistic (p-value)	7.248 (3.63e-08)
RMSE	6.4285

MSE	41.3252
MAPE	5.2163

المصدر: إعداد الباحثان باستخدام لغة Python عبر مكتبات جوبيتر .

يعرض جدول (٣) تقديرات الأجل الطويل والأجل القصير لنموذج Ridge-ARDL مع مؤشرات ملاءمة النموذج، وتشير معاملات الأجل الطويل إلى أن تكوين رأس المال الثابت الإجمالي يرتبط إيجابياً بالنمو بقيمة تقارب ٠.٠٢١٩ لكل نقطة مئوية إضافية في النسبة من الناتج المحلي، كما يبرز أثر إيجابي لمعدل نمو السكان الحضريين بقيمة ٠.١٣١٧ وللمشاركة في القوى العاملة بقيمة ٠.٠٥٣٥ وللعمر المتوقع بقيمة ٠.٠١٤٦ ما يعكس دور الاستثمار البشري والديمقراطي في دعم النمو، في المقابل تظهر آثار سلبية مهمة من الناحية الاقتصادية مثل مؤشر أداء الخدمات اللوجستية بقيمة (-٠.٥٤٩٨) والإنفاق الحكومي على التعليم بقيمة -٠.٣٧٢٨ وبعض مؤشرات البنية التحتية مثل الهاتف الثابت والتعليم العالي، ما يشير إلى أن أثر هذه المتغيرات في السياق السوري يتأثر بجودة الإنفاق والبيئة المؤسسية أكثر من مجرد الحجم الكمي، أما على الأجل القصير فتشير قيمة -٥.٤٥٤ لتغير نسبة السكان الحضريين إلى استجابة قوية وسريعة للنمو مع الصدمات الديمغرافية بينما يعكس معامل ٢.٠٥٧٥ للمشاركة في القوى العاملة دوراً تنشيطياً أنياً، ويأتي معامل تصحيح الخطأ -٠.١٦٣٧ ليدل على أن نحو ١٦% من الانحراف عن علاقة التوازن الطويل الأجل يتصحح سنوياً ما يعني وجود علاقة تكاملية مستقرة بين الناتج والمتغيرات والمؤشرات الكلية، وتوضح مؤشرات الملاءمة أن قيمة R^2 تساوي ٠.٧٤٣ مع R^2 معدلة ٠.٦٤١ و $RMSE$ يقارب ٦.٤٣ و $MAPE$ في حدود ٥.٢% وهي قيم تعكس أداء إحصائياً جيداً داخل العينة. الشكل (٢) يوضح منحني التحقق المتقاطع الخاص بمعامل الانتظام في نموذج Ridge-ARDL، حيث تظهر علاقة على شكل حرف U مقلوب بين خطأ التنبؤ ومتغير λ ، فعند القيم المنخفضة من λ يكون النموذج قليل الانتظام مما يؤدي إلى معاملات متقلبة وتباين مرتفع في التنبؤ، ثم ينخفض متوسط مربع الخطأ تدريجياً مع زيادة λ حتى يصل إلى القيمة المثلى λ^* البالغة ٥٤.٢٤٨٤ تقريباً حيث يتحقق أدنى خطأ متقاطع، وبعد هذه النقطة يعود الخطأ إلى الارتفاع بسبب مبالغة في تقليص المعاملات وإضافة انحياز في التقدير، وهذه النتيجة إحصائياً تؤكد وجود مشكلة تعدد خطي حاد داخل النموذج تستفيد بوضوح من الانتظام L_2 ، كما تعني اقتصادياً أن تضمين عدد كبير من الإبطاءات والمتغيرات الكلية يصبح أكثر استقراراً عندما تُقيد المعاملات بقيمة منتظمة محسوبة بدقة بدلاً من تقديرها بحرية تامة، وهو ما يهيئ النموذج الخطي ليكون جزءاً متيناً من الإطار الهجين.



شكل (٢): منحنى التحقق المتقاطع لعلاقة خطأ التنبؤ ببارامتر الانتظام في نموذج Ridge-ARDL. المصدر: إعداد الباحثان باستخدام لغة Python عبر مكتبات جوبيتر. جدول (٤): إعدادات معلمات نموذج الغابات العشوائية ومؤشرات أداء النموذج وترتيب أهمية المتغيرات.

Parameter		Value
Number of Trees (n, estimators)		100
Maximum Tree Depth (max, depth)		200
Features per Split (max, features)		1.0
Metric	Training Value	Testing Value
RMSE	2.9146	7.7617
MSE	8.4948	38.3378
MAPE	0.4497	0.8229
R-squared (R ²)	0.9028	0.6127
Rank	Variable	Importance
1	RES	0.2428
2	EDU	0.1599
3	STA	0.1102
4	SEV	0.0886
5	LEX	0.0573
6	FTS	0.0495
7	GFC	0.0484
8	LPI	0.0420
9	LFP	0.0383
10	ELE	0.0325
11	URB	0.0249
12	UPG	0.0214
13	SAN	0.0201
14	FBB	0.0199
15	TER	0.0176
16	PHD	0.0166
17	MCS	0.0100

المصدر: إعداد الباحثان باستخدام لغة Python عبر مكتبات جوبيتر.

يقدم الجدول (٤) صورة مفصلة عن أداء نموذج الغابات العشوائية بعد ضبط معاملات التدريب، حيث يعتمد النموذج على مئة شجرة بعمق أقصى مئتي مستوى مع استخدام جميع الخصائص تقريباً في كل انقسام، وتظهر مؤشرات الأداء أن قيمة RMSE في العينة التدريبية تبلغ ٢.٩١ مع R^2 يساوي ٠.٩٠٣ ما يدل على قدرة عالية على تفسير التباين داخل العينة، بينما ترتفع RMSE إلى ٧.٧٦ في العينة الاختبارية وتنخفض R^2 إلى ٠.٦١٣، وهذا الفرق يشير إلى احتفاظ النموذج بقدرة تفسيرية معقولة خارج العينة، وتكشف قيم MAPE عن خطأ نسبي أقل من واحد في المئة في التدريب وقرابة ٠.٨٢ في الاختبار، أما ترتيب الأهمية فيضع عدد الباحثين في البحث والتطوير في المرتبة الأولى بوزن ٠.٢٤٢٨ ثم الإنفاق الحكومي على التعليم بوزن ٠.١٥٩٩ ثم عدد المقالات العلمية والطلاب في التعليم المهني والعمر المتوقع، ما يعني أن عناصر رأس المال المعرفي والبشري تلعب دوراً محورياً في التنبؤ غير الخطي بالناتج المحلي، كما يظهر أن مؤشرات البنية التحتية التقليدية مثل الهاتف الثابت ورأس المال الثابت ومؤشر اللوجستيات تحتل مراتب متقدمة تالية ما يعكس تداخلاً بين الاستثمار المادي والمعرفي في تشكيل مسارات النمو، بينما تأتي بعض المتغيرات مثل اشتراكات الهاتف المحمول ونسبة السكان الحاصلين على شهادات عليا في مراتب أدنى ما قد يدل على أن تأثيرها الهامشي أقل بعد التحكم بباقي المتغيرات.

٢-٤-٢ مناقشة النتائج

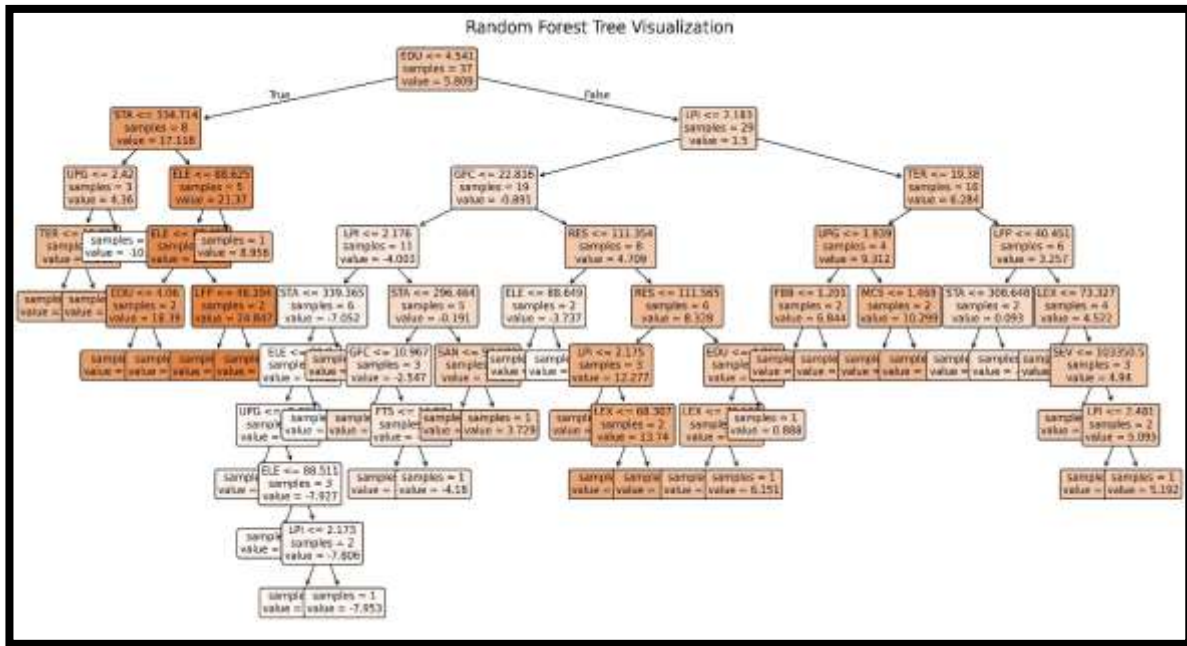
جدول (٥): قواعد القرار المبسطة المستخرجة من نموذج الغابات العشوائية وقيم الناتج المحلي المتوقعة.

Node Path Conditions	Predicted GDP
$EDU \leq 4.54 \rightarrow STA \leq 334.71 \rightarrow UPG \leq 2.42 \rightarrow TER \leq 19.80$	8.26
$EDU \leq 4.54 \rightarrow STA \leq 334.71 \rightarrow UPG \leq 2.42 \rightarrow TER > 19.80$	9.83
$EDU \leq 4.54 \rightarrow STA \leq 334.71 \rightarrow UPG > 2.42$	-10.47
$EDU \leq 4.54 \rightarrow STA > 334.71 \rightarrow ELE \leq 88.50 \rightarrow EDU \leq 4.06$	18.01
$EDU \leq 4.54 \rightarrow STA > 334.71 \rightarrow ELE \leq 88.50 \rightarrow EDU > 4.06$	18.77
$EDU \leq 4.54 \rightarrow STA > 334.71 \rightarrow ELE > 88.50 \rightarrow LFP \leq 46.19$	24.52
$EDU \leq 4.54 \rightarrow STA > 334.71 \rightarrow ELE > 88.50 \rightarrow LFP > 46.19$	25.66
$EDU \leq 4.54 \rightarrow STA > 334.71 \rightarrow ELE > 88.63$	8.96
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC \leq 22.82 \rightarrow STA \leq 339.36 \rightarrow ELE \leq 90.00 \rightarrow UPG \leq -0.33$	-6.41
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC \leq 22.82 \rightarrow STA \leq 339.36 \rightarrow ELE \leq 90.00 \rightarrow UPG > -0.33 \rightarrow ELE \leq 88.51$	-8.65
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC \leq 22.82 \rightarrow STA \leq 339.36 \rightarrow ELE \leq 90.00 \rightarrow UPG > -0.33 \rightarrow ELE > 88.51 \rightarrow LPI \leq 2.17$	-7.66
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC \leq 22.82 \rightarrow STA \leq 339.36 \rightarrow ELE \leq 90.00 \rightarrow UPG > -0.33 \rightarrow ELE > 88.51 \rightarrow LPI > 2.17$	-7.95
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC \leq 22.82 \rightarrow STA \leq 339.36 \rightarrow ELE > 90.00$	-10.31
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC \leq 22.82 \rightarrow STA > 339.36$	1.68
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC > 22.82 \rightarrow RES \leq 111.35 \rightarrow ELE \leq 88.65$	-1.80
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC > 22.82 \rightarrow RES \leq 111.35 \rightarrow ELE > 88.65$	-7.61
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC > 22.82 \rightarrow RES > 111.35 \rightarrow RES \leq 111.56 \rightarrow LPI \leq 2.18$	9.35
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC > 22.82 \rightarrow RES > 111.35 \rightarrow RES \leq 111.56 \rightarrow LPI > 2.18 \rightarrow LEX \leq 68.31$	14.51
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC > 22.82 \rightarrow RES > 111.35 \rightarrow RES \leq 111.56 \rightarrow LPI > 2.18 \rightarrow LEX > 68.31$	12.97
$EDU > 4.54 \rightarrow LPI \leq 2.18 \rightarrow GFC > 22.82 \rightarrow RES > 111.35 \rightarrow RES > 111.56 \rightarrow EDU \leq 4.87 \rightarrow LEX \leq 70.17$	7.21

EDU > 4.54 → LPI ≤ 2.18 → GFC > 22.82 → RES > 111.35 → RES > 111.56 → EDU ≤ 4.87 → LEX > 70.17	6.15
EDU > 4.54 → LPI ≤ 2.18 → GFC > 22.82 → RES > 111.35 → RES > 111.56 → EDU > 4.87	0.89
EDU > 4.54 → LPI > 2.18 → TER ≤ 19.38 → UPG ≤ 1.94 → FBB ≤ 1.20	6.90
EDU > 4.54 → LPI > 2.18 → TER ≤ 19.38 → UPG ≤ 1.94 → FBB > 1.20	6.79
EDU > 4.54 → LPI > 2.18 → TER ≤ 19.38 → UPG > 1.94 → MCS ≤ 1.47	9.94
EDU > 4.54 → LPI > 2.18 → TER ≤ 19.38 → UPG > 1.94 → MCS > 1.47	10.83
EDU > 4.54 → LPI > 2.18 → TER > 19.38 → LFP ≤ 40.45 → STA ≤ 308.65	1.39
EDU > 4.54 → LPI > 2.18 → TER > 19.38 → LFP ≤ 40.45 → STA > 308.65	-1.21
EDU > 4.54 → LPI > 2.18 → TER > 19.38 → LFP > 40.45 → LEX ≤ 73.33	2.85
EDU > 4.54 → LPI > 2.18 → TER > 19.38 → LFP > 40.45 → LEX > 73.33 → SEV ≤ 103350.50	4.48
EDU > 4.54 → LPI > 2.18 → TER > 19.38 → LFP > 40.45 → LEX > 73.33 → SEV > 103350.50 → LPI ≤ 2.48	5.05
EDU > 4.54 → LPI > 2.18 → TER > 19.38 → LFP > 40.45 → LEX > 73.33 → SEV > 103350.50 → LPI > 2.48	5.19

المصدر: إعداد الباحثان باستخدام لغة Python عبر مكتبات جوبيتر.

يعرض الجدول (٥) مجموعة من قواعد القرار المبسطة المستخرجة من الغابات العشوائية توضح كيف تُقسَم الأشجار فضاء المتغيرات إلى نظم نمو متميزة، حيث تشير المسارات الأولى إلى أن الجمع بين إنفاق تعليمي ٤.٥٤ % وعدد مقالات علمية محدود ونمو حضري معتدل أقل من ٢.٤٢ % مع مستويات متوسطة من الالتحاق بالتعليم العالي يترافق معه مستويات نمو إيجابي للنتائج المحلي بين ٨.٢٦ و ٩.٨٣ %، في حين يؤدي ارتفاع نمو السكان الحضريين فوق ٢.٤٢ % مع نفس الظروف إلى نمو سالب بقيمة ١٠.٤٧- ما يعكس أن التسارع الحضري غير المدعوم بقدرات علمية وبحثية كافية يضغط على الاقتصاد ويخلق اختلالات، وتظهر مسارات أخرى أن تحسين الكهرباء فوق ٨٨.٥ % مع وجود إنفاق تعليمي مقبول ونشاط علمي مرتفع يرفع التوقعات إلى أكثر من ٢٤ % خاصة عند ارتفاع مشاركة القوى العاملة فوق ٤٦.١٩ %، كما توضح مجموعة من القواعد الخاصة ببيئة إنفاق تعليمي مرتفع أن الجمع بين رأس مال ثابت ضعيف وبحث علمي محدود ومستوى أقل من ٩٠ % من التغطية الكهربائية يؤدي إلى نمو سالب يتراوح بين ٦- و-١٠ %، بينما يتحسن النمو تدريجياً عند ارتفاع عدد الباحثين وتجاوز عتبات محددة لمؤشر اللوجستيات والعمر المتوقع والالتحاق بالتعليم العالي، ما يعني أن النموذج يبين عتبات كمية في التعليم والبحث والبنية التحتية إذا لم تُستوفى تؤدي إلى تآكل النمو حتى لو تحسنت بعض المؤشرات الأخرى، وهذه القواعد مجتمعة تقدم رؤية عملية لصانع القرار حول مجموعات السياسات التي تقود إلى نمو مرتفع وأخرى ترتبط بمخاطر ركود أو انكماش. والشكل (٣) يمثل شجرة قرار نموذجية مستخرجة من نموذج الغابات العشوائية الهجين ويُظهر بوضوح بنية الانقسامات الأساسية التي يعتمد عليها النموذج في تفسير الناتج المحلي:



شكل (٣): شجرة قرار مستخرجة من نموذج الغابات العشوائية المهجين لتنبؤ الناتج المحلي للفترة ١٩٦٠-٢٠٢٣

المصدر: إعداد الباحث باستخدام لغة Python عبر مكتبات جوبيتر.

يقدم الجدول (٦) وصفاً للمسار المهجين الكامل الذي يجمع بين مخرجات ARDL-Ridge ومتغيرات

الإدخال الأصلية داخل نموذج غابات عشوائية واحد:

جدول (٦): مكونات النموذج المهجين ومصادر البيانات ومؤشرات أداء النموذج في العينة التدريبية والاختبارية.

Component	Description	
Data Source	Original data loaded from dat.xlsx and ARDL-Ridge predictions from ardl ridge predictions.xlsx	
Target Variable	GDP	
Input Variables	All columns excluding DATE and GDP (including ARDL-Ridge output)	
Merged Data	Merged using the DATE column	
Feature Matrix (X)	Data hybrid drop(['DATE', 'GDP'], axis=1)	
Target Vector (y)	Data hybrid['GDP']	
Train-Test Split	90% Training / 10% Testing (random state=42)	
Model Type	Random Forest Regressor	
Model Parameters	N, estimators=100, random state=42	
Training Predictions	Rf hybrid predict (X train h)	
Testing Predictions	Rf hybrid predict (X test h)	
Evaluation Metrics	RMSE, MSE, MAPE, R ² for both train and test sets	
Metric	Training Value	Testing Value
RMSE	3.1302	4.9197
MSE	9.7981	9.2400
MAPE	0.4168	0.6507
R-squared (R ²)	0.8879	0.8490

المصدر: إعداد الباحثان باستخدام لغة Python عبر مكتبات جوبيتر.

من الجدول (٦) حيث تُدمج التنبؤات قصيرة الأجل للنمو من النموذج الخطي مع المتغيرات ثم يُقسم البيانات إلى ٩٠% للتدريب و ١٠% للاختبار، وتبين مؤشرات الأداء أن النموذج الهجين يحقق في العينة التدريبية RMSE يساوي ٣.١٣ و R² يساوي ٠.٨٨٧٩ بينما يحقق في العينة الاختبارية RMSE يساوي ٤.٩٢ و R² يساوي ٠.٨٤٩، وهذا يشير إلى أن الفجوة بين التدريب والاختبار أصبحت محدودة مقارنة بالنموذج غير الخطي منفرداً وأن النموذج اكتسب قدرة تعميم عالية مع مستوى خطأ مقبول، كما تعني قيم MAPE القريبة من ٠.٤٢ في التدريب و ٠.٦٥ في الاختبار أن متوسط الخطأ النسبي في توقع النمو أقل من نقطة مئوية واحدة تقريباً، وهي نتيجة مهمة من الناحية الاقتصادية لأن التوقعات تصبح صالحة للاستخدام في تخطيط السياسات متوسطة الأجل، ويدل هذا الأداء على أن مزيج التفسير الهيكلي الذي يوفره ARDL مع المرونة غير الخطية للغابات العشوائية ينتج نموذجاً أكثر توازناً بين الانحياز والتباين في بيئة بيانات عالية الأبعاد. جدول (٧) يعرض نتائج سيناريو توقع نمو الناتج المحلي للفترة ٢٠٢٤ إلى ٢٠٢٩.

تشير الأرقام إلى أن التوقعات النقطية للنمو تبقى قريبة من واحد % حيث تبدأ من ٠.٥٢ في عام ٢٠٢٤ وترتفع إلى ١.١١ في ٢٠٢٦ ثم تستقر حول ١.٠ في السنوات اللاحقة، في حين تتراوح الحدود الدنيا العليا لفترات الثقة عند ٩٥% بين نحو -٦ و ٨ نقاط مئوية، ما يعني أن النموذج يتوقع في المتوسط مساراً متواضعاً للنمو لكنه في الوقت نفسه يعكس درجة عالية من عدم اليقين حول هذا المسار. ومن زاوية اقتصادية توضح هذه النتائج أن تحسيناً تدريجياً ومنتظماً في جميع المؤشرات لا يترجم تلقائياً إلى طفرات نمو مرتفعة بل إلى تحسن محدود في السياق السوري مع بقاء مخاطر الانكماش قائمة إذا تعرض الاقتصاد لصدمات إضافية، كما أن اتساع فترات التنبؤ يشير إلى أن حساسية الناتج لعوامل غير مرصودة أو لصدمات هيكلية ما زالت كبيرة.

جدول (٧): توقعات نمو الناتج المحلي الإجمالي للفترة ٢٠٢٤-٢٠٢٩ مع فترات التنبؤ عند مستوى ٩٥%.

Parameter		Value	
Future years (forecast horizon)		6 (2024 to 2029)	
Annual improvement rate		1% (applied cumulatively each year)	
Improvement method		Applied to all variables equally	
Base data source		Last observed row of actual dataset	
Formula used per year		Value t = Value_{t-1} * (1 + 0.01)	
Variables improved		All independent input variables (17 total)	
Year	GDP Prediction	Lower Bound (95%)	Upper Bound (95%)
2024	0.52	-5.48	6.52
2025	0.72	-5.50	6.93
2026	1.11	-5.74	7.97
2027	1.12	-5.74	7.97
2028	0.99	-5.94	7.92
2029	0.96	-5.98	7.90

المصدر: إعداد الباحثان باستخدام لغة Python عبر مكتبات جوبيتر.

٢- الاستنتاجات والتوصيات:

٥-١ الاستنتاجات:

١- يبين تحليل نموذج Ridge-ARDL أن الاقتصاد السوري يمتلك علاقة توازن طويلة الأجل تجمع بين الناتج المحلي ومجموعة واسعة من المتغيرات الكلية، إذ نجح النموذج في تفسير ٧٤.٣٥% من التباين في الناتج المحلي، مع قيمة R² معدلة بلغت ٠.٦٤١، ما يؤكد ملاءمته الإحصائية. كما أظهر معامل تصحيح الخطأ ECT =

0.1637- قدرة واضحة على إعادة الاقتصاد نحو مسار التوازن بمعدل تصحيح سنوي يقارب ١٦%، وهو دليل قوي على وجود علاقة تكاملية مستقرة بين المتغيرات. وتكشف معاملات الأجل الطويل أن تكوين رأس المال الثابت (٠.٠٢١٩)، ومعدل نمو السكان الحضريين (٠.١٣١٧)، والمشاركة في القوى العاملة (٠.٠٥٣٥)، والعمر المتوقع (٠.٠١٤٦) تمثل محددات إيجابية للنمو، في حين أثرت بعض المتغيرات سلباً مثل مؤشر الخدمات اللوجستية (-٠.٥٤٩٨) والإنفاق التعليمي (-٠.٣٧٢٨)، ما يشير اقتصادياً إلى أن جودة الخدمات والإنفاق أهم من كميتها في السياق السوري. وتوضح هذه النتائج أن النموذج الخطي ينجح في بيان العلاقات الهيكلية ويدعم الفرضية القائلة بأن الجزء القياسي من الإطار الهجين قادر على تفسير الأساس الاقتصادي طويل الأجل للنمو.

٢- أظهر نموذج الغابات العشوائية قدرة عالية على النقاط العلاقات غير الخطية والتفاعلات المعقدة بين المتغيرات، إذ حقق $R^2 = 0.9028$ في العينة التدريبية مع RMSE يساوي ٢.٩١، كما حافظ على دقة جيدة خارج العينة مع $R^2 = 0.6127$ و $RMSE = 7.76$ ، ما يعكس مرونة النموذج وقدرته على التعميم رغم طبيعة الاقتصاد السوري المتقلبة. وأبرز ترتيب الأهمية أن رأس المال المعرفي كان المحرك الأهم للنمو، حيث جاء عدد الباحثين (٠.٢٤٢٨) ثم الإنفاق على التعليم (٠.١٥٩٩) ثم عدد المقالات العلمية (٠.١١٠٢) في المراتب الأولى، متقدمة على رأس المال المادي والبنية التحتية. ويكشف هذا التركيب أن الاقتصاد السوري أكثر حساسية للعوامل المعرفية والبحثية عند نمذجته باستخدام الأساليب غير الخطية، وأن تجاهل هذه الأنماط غير الخطية قد يؤدي إلى تقديرات مضللة في النماذج التقليدية. هذه النتيجة تدعم الفرضية الثانية التي تفترض تفوق التعلم الآلي في تحليل البنى المعقدة وتحديد المتغيرات الأكثر تأثيراً بصيغة لا يمكن للنماذج الخطية وحدها التقاطها.

٣- يؤكد النموذج الهجين الذي يدمج Ridge-ARDL مع Random Forest قدرة تنبؤية أعلى مقارنة بالنموذجين منفردين، إذ حقق عند اختباره على بيانات لم تُستخدم أثناء التدريب $R^2 = 0.8490$ وانخفضت قيمة RMSE إلى ٤.٩٢، وهي أفضل من نتائج ARDL وحده ($RMSE = 6.43$) ومن نتائج الغابات العشوائية وحدها (٧.٧٦). كما أدى دمج التنبؤات الخطية من ARDL-Ridge كمدخل إضافي إلى تقليل التباين وتحسين الاستقرار الكلي للنموذج، ما يشير إلى أن هذا الدمج نجح في خلق توازن بين الانحياز والتباين، وهو ما يُعد جوهر الفرضية الرئيسية للبحث. ويدل انخفاض MAPE إلى ٠.٤١٦٨ في التدريب و ٠.٦٥٠٧ في الاختبار على أن متوسط خطأ التنبؤ النسبي بقي منخفضاً وغير مؤثر اقتصادياً، وهذا يعزز صلاحية النموذج لاستخدامه في التوقعات المستقبلية. وتظهر هذه النتيجة أن الأهداف الثلاثة للبحث — تحسين دقة التوقع، معالجة التعدد الخطي، وتفسير التفاعلات غير الخطية — قد تحققت مجتمعة من خلال التصميم الهجين.

٤- تكشف التوقعات المستقبلية للفترة ٢٠٢٤-٢٠٢٩ أن مسار النمو المتوقع يبقى متواضعاً، حيث تتراوح القيم بين ٠.٥٢ و ١.١٢%، وهي نسب تشير إلى نمو منخفض لكنه إيجابي، مع حدود ثقة واسعة بين ٦% و ٨%، ما يعكس درجة عالية من عدم اليقين البيئي في الاقتصاد السوري. ويشير هذا النطاق الواسع إلى هشاشة النمو أمام الصدمات الخارجية والداخلية، وإلى أن تحسين المتغيرات تدريجياً بنسبة ١%

سنوياً غير كافٍ لإحداث تحول اقتصادي كبير، وهو ما يتفق مع طبيعة الاقتصاد السوري الذي يحتاج إلى إصلاحات هيكلية لا تحسينات كمية تدريجية فقط. وتكشف قواعد القرار المستخرجة من الغابات العشوائية أن تحقيق نمو مرتفع يتطلب تجاوز عتبات محددة في الإنفاق التعليمي الفعال، وعدد الباحثين، وتحسن الخدمات الأساسية، بينما يؤدي اختلال هذه العوامل إلى انكماش محتمل حتى لو تحسنت بعض المتغيرات الأخرى. وبهذا يقدم البحث إطاراً تفسيرياً وتنبؤياً يساعد صنّاع القرار على فهم مسارات النمو الكامنة وربطها بمتطلبات السياسة الاقتصادية، ويؤكد أن النموذج الهجين هو الأقدر على توصيف هذه التفاعلات مقارنة بأي من النماذج الأحادية.

٢-٥ التوصيات:

✓ يوصى صانعي السياسات باعتماد نموذج هجين شبيه بنموذج Ridge-ARDL مع الغابات العشوائية كأداة رسمية في التنبؤ بالنتائج المحلي والتخطيط متوسط الأجل لأن النتائج أظهرت قدرة تفسيرية جيدة في المكوّن القياسي مع R^2 يقارب ٠.٧٤ وقدرة تنبؤية أعلى في النموذج الهجين مع R^2 في الاختبار يقارب ٠.٨٥ وانخفاض واضح في RMSE مقارنة بالنماذج المنفردة وهذا يعني أن دمج الاقتصاد القياسي مع التعلم الآلي يجب أن يصبح جزءاً ثابتاً من منظومة التنبؤ في البنك المركزي ووزارة المالية وهيئات التخطيط لا مجرد أداة بحثية تجريبية.

✓ تُظهر أهمية المتغيرات في نموذج الغابات العشوائية أن عدد الباحثين في البحث والتطوير والإنفاق الحكومي على التعليم وعدد المقالات العلمية هي من أكثر العوامل تأثيراً على النمو لذلك يُقترح توجيه السياسة الاقتصادية نحو تعظيم رأس المال المعرفي من خلال زيادة موجهة ومرتبطة بالمرجات في الإنفاق على البحث العلمي وتحسين جودة الإنفاق التعليمي وربطه بالمرود الإنتاجي وليس فقط برفع النسب من الناتج المحلي لأن بعض معاملات الأجل الطويل السالبة مثل معامل الإنفاق التعليمي في نموذج Ridge-ARDL تشير إلى أن الإنفاق غير الكفء يمكن أن يتحول إلى عبء على النمو بدلاً من أن يكون رافعة له.

✓ بسبب اتساع فترات التنبؤ المستقبلية للنمو بين قيم سالبة وموجبة كبيرة في أفق ٢٠٢٤-٢٠٢٩ فإن صانعي السياسات بحاجة إلى تقليل عدم اليقين الكلي عبر إصلاحات هيكلية في بيئة الأعمال وتحسين الحوكمة والبنية التحتية اللوجستية لأن النتائج أظهرت أثراً سالباً واضحاً لمؤشر الخدمات اللوجستية في الأجل الطويل ووجود حساسية عالية للنمو تجاه تغيرات الكهرباء والمرافق العامة وهذا يتطلب برامج استثمارية موجهة لتحسين كفاءة الموانئ والنقل والطاقة وربطها بأهداف كمية في النمو وتقليل تذبذبه وليس الاكتفاء بتحسينات تدريجية صغيرة في كل المتغيرات بنسبة ثابتة

✓ يُقترح على المحللين الاقتصاديين في المؤسسات الحكومية والبحثية تبني ثقافة النمذجة المتقدمة القائمة على اختبارات الاستقرار واستخدام الانتظام L2 وتقنيات التحقق المتقاطع والانتقال من الاعتماد على نموذج واحد إلى مقارنة منظومة نماذج قياسية وتعلم آلي ثم نموذج هجين لأن نتائج هذا البحث بينت أن نموذج Ridge-ARDL وحده يفسر جزءاً مهماً من العلاقات الهيكلية لكنه يترك هامش خطأ غير قليل بينما يقلص النموذج الهجين هذا الهامش بشكل ملحوظ لذلك ينبغي إنشاء وحدات متخصصة في التحليل الكمي داخل الوزارات تعمل على تحديث البيانات دورياً وتشغيل نماذج هجينة مشابهة لتوفير سيناريوهات بديلة للنمو تساعد متخذ القرار على تقييم المخاطر قبل اعتماد أي سياسة جديدة.

المراجع:

- 1- Akalpler, E., & Hove, S. (2019). *Carbon emissions, energy use, real GDP per capita and trade matrix in the Indian economy—An ARDL approach*. Energy, 168, 1081–1093.
- 2- Ando, S., & Kim, T. (2024). *Systematizing macroframework forecasting: High-dimensional conditional forecasting with accounting identities*. IMF Economic Review, 72(4), 1386–1410.
- 3- Bradley, E., & Trevor, H. (2021). *Computer age statistical inference: Algorithms, evidence, and data science*. Cambridge University Press.
- 4- Breiman, L., Friedman, J. H., Stone, C. J., & Olshen, R. A. (1984). *Classification and regression trees*. CRC Press.
- 5- Chen, J. C., Dunn, A., Hood, K., Driessen, A., & Batch, A. (2019). *Off to the races: A comparison of machine learning and alternative data for predicting economic indicators*. In *Big Data for 21st Century Economic Statistics*. University of Chicago Press.
- 6- Chen, J. C., Dunn, A., Hood, K., Driessen, A., & Batch, A. (2022). *A comparison of machine learning and alternative data for predicting economic indicators*. Big Data for Twenty-First-Century Economic Statistics, 79, 373.
- 7- Gogas, P., & Papadimitriou, T. (2021). *Machine learning in economics and finance*. Computational Economics, 57(1), 1–4.
- 8- Goulet-Coulombe, P. (2024). *The macroeconomy as a random forest*. Journal of Applied Econometrics, 39(3), 401–421.
- 9- Granger, C. W. J., & Pesaran, M. H. (2000). *Economic and statistical measures of forecast accuracy*. Journal of Forecasting, 19(7), 537–560.
- 10- Hoerl, R. W. (2020). *Ridge regression: A historical context*. Technometrics, 62(4), 420–425.
- 11- Hopp, D. (2024). *Benchmarking econometric and machine learning methodologies in nowcasting GDP*. Empirical Economics, 66(5), 2191–2247.
- 12- Khan, F., Iftikhar, H., Khan, I., Rodrigues, P. C., Alharbi, A. A., & Allohbi, J. (2025). *A hybrid vector autoregressive model for accurate macroeconomic forecasting: An application to the US economy*. Mathematics, 13(11), 1706.
- 13- Malhotra, A. (2021). *A hybrid econometric–machine learning approach for relative importance analysis: Prioritizing food policy*. Eurasian Economic Review, 11(3), 549–581.
- 14- McDonald, G. C. (2009). *Ridge regression*. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 1(1), 93–100.
- 15- Mrabet, Z., Alsamara, M., Mimouni, K., & Shikh Ebid, A. (2023). *Can government expenditure help reconstruct the Syrian economy in the post-conflict period? evidence from the SVAR and nonlinear ARDL models*. Applied Economics, 55(56), 6661–6675.
- 16- Mullainathan, S., & Spiess, J. (2017). *Machine learning: An applied econometric approach*. Journal of Economic Perspectives, 31(2), 87–106.
- 17- Oancea, B., & Simionescu, M. (2024). *Gross domestic product forecasting: Harnessing machine learning for accurate economic predictions in a univariate setting*. Electronics, 13(24), 4918.

- 18- Siam, S., Wahiduzzaman, M. D., Sameer, S. S., & Molla, M. D. (2024). *Chronos with ensemble GBT: A hybrid framework for GDP forecasting with zero-shot learning* (Doctoral dissertation, BRAC University).
- 19- Sudha, M. K., Manorama, M., & Aditi, T. (2022). *Smart agricultural decision support systems for predicting soil nutrition value using IoT and ridge regression*. AGRIS-on-line Papers in Economics and Informatics, 14(1), 95–106.
- 20- Taneja, S., Bhatnagar, M., Kumar, P., & Rupeika-Apoga, R. (2023). *India's total natural resource rents (NRR) and GDP: An augmented autoregressive distributed lag (ARDL) bound test*. Journal of Risk and Financial Management, 16(2), 91.
- 21- Tutz, G., & Binder, H. (2007). *Boosting ridge regression*. Computational Statistics & Data Analysis, 51(12), 6044–6059.
- 22- Wald, A. (1949). *Statistical decision functions*. The Annals of Mathematical Statistics, 20(2), 165–205.
- 23- Xie, T., Yu, J., & Zeng, T. (2020). *Econometric methods and data science techniques: A review of two strands of literature and an introduction to hybrid methods*. Research Collection School of Economics, 16, 1–132.
- 24- <https://data.worldbank.org/>.