Comprehensive Journal of Science
Volume (11), Issue (42), (Sapt, 2026)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (11) العدد 42 سبتمبر 2026
ردمد: 3014-6266

التنبؤ بالاستهلاك الشهري للكهرباء باستخدام النموذج المختلط الذي يجمع بين النموذج المضبب ونموذج هولت – وينترز

(دراسة حالة تطبيقية: شركة زليتن للكهرباء)

محمد علي الأرقط[1]*، علي مفتاح بن عروس[2]، محمد عبدالسلام ميلاد[3]

[1 1] قسم الإحصاء، كلية العلوم، الجامعة الأسمرية، زليتن، ليبيا

[1 2] قسم الإحصاء، كلية العلوم، جامعة المرقب، الخمس، ليبيا

[3] قسم الإدارة، كلية العلوم الإدارية والمالية، الأكاديمية الليبية للدراسات العليا، طرابلس، ليبيا

Predicting monthly electricity consumption using a hybrid model combining the fuzzy model and the Holt-Winters model"

(Applied Case Study: Zliten Electricity Company)

Mohamed A. Alargat [1] *, Ali M. Ben Aros [2], Mohamed A H Milad [3]

[1] Department of Statistics, Faculty of Science, Al-Asmarya Islamic University, Zliten, Libya

[2] Department of Statistics, Faculty of Science, Elmergib University, Al Khums, Libya

[3] Department of Management, School of Administrative and Financial Sciences, Libyan, Academy for Postgraduate Studies, Tripoli, Libya

**** Corresponding author: mohamohalargt@gmail.com***

تاريخ الاستلام:2026/08/01 –تاريخ المراجعة:2026/08/09– تاريخ القبول: 2026/08/15– تاريخ للنشر: 2026 /9/15

الملخص

تعتبر دقة التنبؤ بالاستهلاك الشهري للكهرباء العمود الفقري في كيفية التعامل مع الطلب على الطاقة الكهربائية بحيث تستطيع شركات الكهرباء تحسين خدماتها من حيث الكفاءة وتغطية الطلب وذلك لتتمكن من تقديم الخدمات بشكل مستمر وهذه الدراسة هدفها ايجاد نموذج للتنبؤ باستهلاك الكهرباء الشهري في مدينة زليتن ينتج من دمج نموذجين هما نموذج هولت - وينترز التجميعي ونموذج المنطق الضبابي وفقا لأسلوب تشين (1996) حيث استخدمت بيانات تتمثل في استهلاك الكهرباء الشهري في مدينة زليتين للفترة الممتدة من يناير 2017 وحتى ديسمبر 2024 وهي نفس البيانات المستخدمة في بحثنا السابق [1] كانت نتيجته تفوق نموذج هولت - وينترز التجميعي على نموذج المنطق الضبابي من حيث الدقة في التنبؤ، في هذه الدراسة تم اقتراح نموذج مختلط يتكون من النموذجين السابقين بعد تحديد وزن لكل نموذج بالاعتماد على اسلوب البحث الشبكي تم تطبيقه على بيانات الدراسة للفترة من يناير 2017 إلى ديسمبر 2023 استخدمت كبيانات تجريبية. تم التأكد من صحة النموذج المختلط باستخدام البيانات الشهرية لسنة 2024 واظهرت النتائج دقة اكثر في النموذج المختلط عنها في النماذج السابقة المتمثلة في نموذج هولت - وينترز التجميعي ونموذج المنطق الضبابي وذلك بوزن مثالي يقدر بـ 73% وتم تأكيد ذلك من خلال المعايير الاحصائية المتمثلة في الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الاخطاء (RMSE) ومتوسط الخطأ المطلق (MAE) ومتوسط الاخطاء المئوي المطلق (MAPE) التى اظهرت تفوقاً واضحاً بقيم أقل في كل المعايير. ثم مقارنة النموذج المختلط بالنماذج السابقة باستخدام الاختبارات الاحصائية وكان النموذج المختلط اكثر دلالة إحصائية, وبناءً على هذه النتائج نوصى باستخدام النموذج المقترح المختلط كأداة اساسية للتخطيط وإدارة الطلب على الكهرباء في منطقة الدراسة.

الكلمات المفتاحية / استهلال الكهرباء، هولت - وينترز، المنطق الضبابي، النماذج المختلطة، التنبؤ، زليتن.

Abstract

The accuracy of forecasting monthly electricity consumption is considered the backbone of how to deal with the demand for electrical energy, so that electricity companies can improve their services in terms of efficiency and demand coverage in order to be able to provide services continuously. This study aims to find a

model for predicting monthly electricity consumption in the city of Zliten, resulting from the integration of two models: the Holt-Winters aggregate model and the young logic model according to the method of Chen (1996), where data represented by monthly electricity consumption in the city of Zliten was used for the period extending from January 2017. Until December 2024, which is the same data used in our previous research [1]. The result was that the Holt-Winters aggregate model was superior to the fuzzy logic model in terms of accuracy in prediction. In this study, a mixed model was proposed consisting of the two previous models after specifying a weight for each model based on the network search method. It was applied to the study data for the period from January 2017 to December 2023, which was used as experimental data. The validity of the mixed model was confirmed using monthly data for the year 2024. The results showed more accuracy in the mixed model than in the previous models represented by the Holt-Winters aggregate model and the fuzzy logic model, with an ideal weight estimated at 73%. This was confirmed through the statistical criteria represented by the root mean square errors (RMSE), the mean absolute error (MAE), and the mean absolute percentage errors (MAPE), which showed clear superiority. With lower values in all criteria. Then the mixed model was compared to the previous models using statistical tests, and the mixed model was more statistically significant. Based on these results, we recommend using the proposed mixed model as a basic tool for planning and managing electricity demand in the study area.

Keywords: Electricity startup, Fuzzy logic, Holt-Winters, Mixed models, Prediction, Zliten.

1. المقدمة

تعتبر الطاقة الكهربائية العنصر الاساسي في جميع المجالات خاصتاً الاقتصادية والاجتماعية خصوصاً في السنوات الأخيرة لما تلعبه من دور في تزويد المصانع والمؤسسات الحكومية ومنازل المواطنين بالطاقة اللازمة لاستمرار عجلة الحياة والتنمية، ونظراً للانتشار الملحوظ في عدد المصانع والمنازل في الآونة الاخيرة الذي بدوره زاد من الطلب على الكهرباء ويجعل من إدارة شركات الكهرباء على المحك لتوفير الطاقة اللازمة والتخطيط لتوزيعها بشكل منتظم ومستمر دون انقطاع بحيث لا يتسبب في خسائر تجارية كبيرة [1 ,2]، على هذا الاساس تقوم إدارة الشركات الكهربائية بتنظيم استهلاك الكهرباء وترشيدها من حيث إجراء الصيانة وتوزيع الاحمال وتقديم الخدمات في المستقبل وذلك بالاعتماد على التنبؤ بذلك الاستهلاك القائم على الدقة. توجد العديد من الطرق للتنبؤ بالسلاسل الزمنية منها التقليدية (الكلاسيكية) ومنها الضبابية ومنها المختلطة التي تجمع بين الاثنين.

يُعد نموذج هولت – وينترز من أحد النماذج الاحصائية الذي يتميز باستخدامه الواسع النطاق في مجال التنبؤ حيث يتعامل مع التغيرات الدورية والموسمية والاتجاه العام للسلاسل الزمنية [3]، واثبتت الدراسات انه مفيد في السلاسل الزمنية قصيرة ومتوسطة المدى [4].

في الوقت نفسه قام زاده [5] بتطوير نماذج السلاسل الزمنية الضبابية واستخدمها كمنهج جديد خاصة في قدرتها على التعامل مع الغموض وعدم التأكد في البيانات الحقيقية [6 ,7] وأثبتت نجاحها في عدة مجالات منها التنبؤ بالطقس والاسواق المالية والطلب على الطاقة الكهربائية. الدورية والموسمية والاتجاه العام

ظهرت النماذج المختلطة في الآونة الاخيرة بشكل ملحوظ باستخدامها في التنبؤ بالطاقة من قبل الباحثون بهدف الوصول الى نموذج مختلط يجمع بين نقاط القوة في النموذجين ويستبعد نقاط ضعفهما [8].

اظهرت الدراسات السابقة ان نموذج هولت-وينترز يوفر تقديرات وتنبؤات دقيقة للسلسلة الزمنية ذات الاتجاه العام والتغيرات الموسمية، كما أظهرت نماذج المنطق الضبابي ايضاً دقة في التنبؤ عند وجود القيم المتطرفة ولكن عند الجمع بين كلا النموذجين نحصل على نتائج وتقديرات أفضل.

في بحثنا السابق [1] قدمنا مقارنة بين نموذج هولت - وينترز التجميعي ونموذج تشين للمنطق الضبابي بهدف التنبؤ باستهلاك الكهرباء لمدينة زليتين لنفس البيانات المستخدمة في هذه الدراسة حيث خلصت تلك الدراسة الي تفوق نموذج هولت - وينترز التجميعي على النموذج الضبابي بالاعتماد على نتائج المعايير الإحصائية, واوصت باقتراح نموذج مُحسن للسلاسل الزمنية الضبابية أو ذمجها مع نماذج أخرى لتحسين النتائج، ووفقاً على هذه التوصية اعتمدت الدراسة الحالية تلك الفكرة وذلك ببناء نوذج مقترح مختلط بين النموذجين الى السالفين الذكر اعتماداً على المتوسط المرجع (الموزون) للبيانات قيد الدراسة واستخلاص النتائج العملية حول سلوكهما مع تقديم توصيات لاستخدامها عملياً في منطقة زليتن وفى قطاع الكهرباء على وجه الخصوص.

2. مشكلة البحث:

كما هو الحال في معظم دول العالم تواجه شركة الكهرباء في مدينة زليتن تحديات وصعوبات كثيرة في تقدير استهلاك الكهرباء والذي يجعل للتنبؤ بذلك الاستهلاك أهمية كبيرة خاصة في ظل الظروف التي تمر بها البلاد من تقلبات موسمية وعشوائية تصاحبها تقلبات في مستويات الاستهلاك والذي يجعل من التكهن بالعرض والطلب على الكهرباء بالغ الصعوبة ويُساعد متخذي القرار في التخطيط المستقبلي لتوليد وتوزيع الكهرباء الذي يؤدى إما لانقطاع التيار الكهربائي بسبب نقص التوليد أو هدر الموارد بسبب زيادة الانتاج في الطاقة عن الاحتياجات, وبناءً على ذلك تظهر الحاجة الملحة لاستخدام نموذج احصائي للتنبؤ بالاستهلاك الكهربائي يساعد في التحكم في عملية انتاج الكهرباء حسب الحاجة ويحقق التوازن بين العرض والطلب على الطاقة ويحافظ على جودة الخدمات وخفض التكاليف خاصتاً في ظل تزايد الطلب على الكهرباء والنمو السكاني والعمراني في هذه المنطقة.

3. هدف البحث:

تهدف هذه الدراسة الي اقتراح نموذج مختلط قائم على دمج نموذج هولت - وينترز التجميعي ونموذج المنطق الضبابي على طريقة تشين، ثم يتم اختيار افضل نموذج مختلط مرجح ومقارنته بكل نموذج على حده بالاعتماد على معايير التنبؤ المشهورة والمعتمدة ، ومن تم اعتماد النموذج الافضل لاستخدامه في التنبؤ بالاستهلاك الشهري للكهرباء في منطقة الدراسة وتقديم توصيات بناءً على النتائج المتحصل عليها.

4. فرضية البحث:

توجد فروق ذات دلالة احصائية في دقة التنبؤ باستخدام النموذج المختلطة المقترح والنموذجين (نموذج هولت – وينترز ونموذج المنطق الضبابي) كلا على حدة.

5. الدراسات السابقة والجانب النظري:

1.5 الدراسات السابقة:

في العقود الأخيرة أصبح الباحثون يهتمون بالتطبيقات الاحصائية في مجال الطاقة من خلال نماذج تختلف باختلاف المنهج المتبع منها التقليدية (الكلاسيكية) ومنها الحديثة المعتمدة بشكل كبير على الذكاء الاصطناعي وتصنف الدراسات هذه النماذج الى عدة أنواع منها تلك التي تعتمد على متغيرات ثانوية على سبيل المثال بيانات المناخ والاقتصاد والنمو السكاني التي تؤثر بشكل مباشر على استهلال الطاقة الكهربائية وتتمثل هذه النماذج في نموذج الانحدار ونماذج السلاسل الزمنية المعتمدة على بيانات حالية وسابقة للمتغير المراد التنبؤ به بافتراض استمرار النمط الحالي في المستقبل، ومن اهم هذه النماذج نماذج المتوسطات المتحركة والانحدار الذاتي والنموذج الأسى.

كما ظهرت دراسات حديثة تحاكي الطبيعة مثل الشبكات العصبية الاصطناعية والمنطق الضبابي لمعالجة العلاقات الغير خطية المعقدة.

اشار الباحثون في [2 ,4] إلى نموذج التنعيم الأسى المتمثل في نموذج هولت- وينترز بصفته الأكثر سهولة في التطبيق خاصتاً في الطاقة والاقتصاد لقدرته على رصد التغيرات الموسمية والاتجاه العام بدقة وبصفته لا يحتاج إلى بيانات كثيرة كغيره من النماذج الأخرى، كما وجد غاردز [9] ان النموذج الأسى لا يحتاج الى بيانات كثيرة عند ظهور التغيرات الموسمية والاتجاه العام بالتزايد او النقصان في التنبؤات قصيرة الأجل مقارنة بالنماذج الأخرى، وبالمثل درس تايلور [10] نموذج هولت - وينترز تنائي الموسمية وأظهر انه الأفضل في التنبؤ بالطلب على الكهرباء على المدى القصير (يوم واحد).

اقترح زاده [5] النموذج الضبابي واستند عليه كوسيلة لتكملة نماذج الاقتصاد القياسي التقليدية في التعامل مع عدم اليقين في بيانات السلاسل الزمنية.

يعد نموذج سونق وتشيسوم [6] من أوائل النماذج التي تم تطبيقها في المنطق الضبابي للتنبؤ بعدد الطلاب في جامعة الأباما حيث توصل الى نموذج جديد أكثر دقة من النماذج التقليدية في السلاسل الزمنية.

في دراسة تشين [7] تم ابتكار نموذج لعلاقات الاستدلال الضبابي وتم تحسين التنبؤ ضمن نموذج ضبابي مبسط يتميز بفترات ضبابية متساوية الطول لضمان قابليته للتطبيق على بيانات متعددة. أقترح هورينخ [11] طريقة قائمة على النسب لهذه الفترات ليكون النموذج أكثر مرونة في التعامل مع البيانات، كما تم تطوير نماذج ضبابية من الرتبتين الثانية والثالثة لاستيعاب بيانات أكثر تعقيداً [12] ولتحقيق دقة اعلى في التنبؤ.

في العقدين الأخرين زاد الاهتمام بالنماذج المختلطة او الهجينة والتي تجمع بين نموذجين او أكثر لتحسين دقة التنبؤ لاستيعابها جوانب كثيرة ومختلفة من البيانات[13 ,14] . تنوعت اساليب الدمج بين النماذج بدءًا بالدمج الخطى وصولاً إلى الدمج الغير خطى والدمج التسلسلي [8].

2.5 الجانب النظري:

اولاً السلاسل الزميلة: وهي سلسلة من المشاهدات مرصودة عبر الزمن بفترات منتظمة قد تكون ساعات او ايام أو شهور أو سنوات ويتمثل تحليل بيانات السلاسل الزمنية في الخصائص الزمنية والتنبؤ بالقيم المستقبلية [4] تتكون السلسلة الزمنية من أربع مكونات رئيسية وهي الاتجاه العام والتغيرات الموسمية والتغيرات الدورية والتغيرات العشوائية (الغير منتظمة) وتعد نماذج السلاسل الزمنية أساس عملية التنبؤ واتخاد القرار [2, 3].

ثانياً نموذج هولت – وينترز: صُمم هذا النموذج للتنبؤ بالقيم المستقبلية للسلاسل الزمنية ذات الاتجاه العام والتغيرات الموسمية [15] وهو امتداد لنموذج التنعيم الأسى البسيط بإضافة الاتجاه العام والموسمية ويصنف هذا النموذج إلى نوعين هما النموذج التجميعي الذي يستخدم عندما تكون التغيرات الموسمية ثابتة والنموذج الضربي الذي يستخدم عندما تزداد التغيرات الموسمية بازدياد مستوى السلسلة الزمنية ويعتمد نموذج التنعيم الاسى على ثلاث معاملات تنعيم تتراوح قيمها بين الصفر والواحد الصحيح يتم تقديرها لتقليل الخطأ في التنبؤ [3] وتم استخدام هذا النموذج في دراسات تتعلق بالطاقة [9 ,10].

ثالثا السلاسل الزمنية الضبابية: تم تطوير نماذج السلاسل الزمنية الضبابية للتعامل مع الغموض وعدم التأكد في البيانات الزمنية بالاعتماد على نظرية المجموعات لزاده [5] وذلك بتحويل الأرقام إلى مجموعات ضبابية تستخدم في التنبؤ بناءً على اسلوب سونغ وتشيوم [6] الذي أستند على علاقات المنطق الضبابي بين المتغيرات.

رابعاً النماذج المختلطة في التنبؤ: وهي عبارة عن دمج نموذجين أو أكثر لتقليل تباين الخطأ [14,13]، وتوجد عدة طرق للدمج منها الدمج الخطى المتمثل في دمج المتوسط البسيط أو المرجح والدمج الغير خطي باستخدام الشبكات العصبية والدمج التسلسلي.

3.5 الدراسة الأساسية:

تعتبر هذه الدراسة امتداداً للدراسة السابقة [1] والتي قمنا فيها بالتحليل الوصفي لبيانات استهلاك الكهرباء المستخدمة في دراستنا الحالية حيث كشفت النتائج عن وجود تغيرات موسمية واتجاه عام تزايدي وتم استخدام نموذج هولت - وينترز التجميعي والضربي في عملية النمذجة ووقع الاختيار على النموذج التجميعي باعتباره الافضل في التنبؤ بالقيم المستقبلية مع تطبيق نموذج السلاسل الزمنية الضبابية الذي اقترحه تشين [7] على البيانات نفسها واجريت المقارنة بين النموذجين وتوصلت الدراسة الي ان النموذج التجميعي ل هولت - وينترز افضل واكثر دقة في التنبؤ من النموذج الضبابي حسب نتائج المعايير الاحصائية المستخدمة في الدراسة وأوصت الدراسة باستخدام فترات ضبابية غير متساوية وعلاقات أخرى لتحسين النموذج الضبابي وبناءً على ذلك ركزنا في الدراسة الحالية على دمج النموذجين كطريقة جديدة لتحسين التنبؤ.

6. المنهجية

نظراً لاستخدامنا بيانات كمية في هذه الدراسة وهي بيانات قابلة للقياس فإن المنهج المتبع هو المنهج الكمي التحليلي حيث تم تطبيق منهجية المقارنة بين أداء النماذج الثلاثة المتمثلة في نموذج هولت - وينترز ونموذج المنطق الضبابي والنموذج المختلط المقترح.

اعتمدنا في هذه الدراسة على بيانات الدراسة السابقة [1] المكونة من 96 مشاهده تمثل الاستهلاك الشهري للكهرباء في منطقة زلتين للفترة من يناير 2017 إلى ديسمبر 2024 والمتحصل عليها من الشركة العامة للكهرباء في زلتين تم عرضها في الجدول (1) الذي يوضح الاحصاءات الوصفية للاستهلاك الشهري للكهرباء حيث تراوحت مستويات الاستهلال بين 52533 و 149518 وحدة بانحراف معياري قدره 21397.84 وحدة الذي يؤكد وجود التغيرات الموسمية والاتجاه العام مع مرور الوقت.

الجدول (1) الإحصاءات الوصفية لاستهلاك الكهرباء (يناير2017 - ديسمبر2024)

الإحصاءة	القيمة
عدد المشاهدات	96
المتوسط	96425.21
الانحراف المعياري	21397.84
القيمة الصغرى	52533
القيمة العظمى	149518
معامل الاختلاف	%22.19

7. الجانب التطبيقي:

تم تقسيم البيانات إلى مجموعتين الأولى للتدريب وتشمل المشاهدات من يناير 2017 إلى ديسمبر 2023 وتستخدم لبناء النموذج والثانية للاختبار وتشمل المشاهدات من يناير 2024 إلى ديسمبر 2024 وتستخدم لتقييم أداء التنبؤ.

بالاستناد على دراستنا السابقة [1] تم استخدام نموذ جين، الأول يتمثل في نموذج هولت - وينترز التجميعي والآخر نموذج تشين للسلاسل الزمنية الضبابية

تم استخدام البرنامج الاحصائي (IBM SPSS) الاصدار 26 في بناء نموذج هولت – وينترز التنبؤي لتقليل أخطاء التنبؤ الموسمية على بيانات التدريب وكان النموذج التجميعي هو الا فضل في دقة التنبؤ[1] ، كما تم تطبيق منهجية تشين [7] في بناء نموذ ج السلاسل الزمنية الضبابية تضمنت عدة خطوات بدأت من تحديد نطاق البيانات بناء على أصغر واكبر قيم الاستهلاك (150000,52000) وتم تقسيم النطاق إلى سبع فترات ضبابية متساوية الطول (4000) وحدة لكل منها كما هو موضح في الجدول (2).

الجدول (2): الفترات الضبابية ونقاط المنتصف انتبه للحدود المدى والنقطة

الفترة الضبابية	المدى	نقطة المنتصف
A_1	[52000-66000]	59000
A_2	[66000-80000]	73000
A_3	[80000-94000]	87000
A_4	[94000-108000]	101000
A_5	[108000-122000]	115000
A_6	[122000-136000]	129000
A_7	[136000-150000]	143000

اما الخطوات التالية فكانت تحويل كل قيم الاستهلاك الفعلية إلى مجموعتها الضبابية المناظرة وهو ما يعرف بعملية "التضبيب"، بعد ذلك تم استخراج علاقات الانعكاس من المرتبة الأولى باستخدام العلاقة حيث $t = 2,3,...,96$ وبعد ذلك تم تجميع جميع العلاقات ذات نفس الشرط السابق وتم بناء قواعد تفيد بأن التنبؤ عند الزمن t سيتم باستخدام متوسط نقاط المنتصف للشروط اللاحقة لكل شرط سابق تستخدم للتنبؤ بجميع القيم في السلسلة الزمنية والجدول (3) يوضح ذلك.

الجدول (3): قواعد التنبؤ وعلاقات الانعكاس الضبابي

الحالة السابقة	الحالة اللاحقة	قاعدة التنبؤ (متوسط نقاط المنتصف)
A_1	$A_2(2), A_1(4)$	63667
A_2	$A_3(7), A_2(10), A_4(1), A_1(1)$	78895
A_3	$A_2(6), A_3(9), A_4(6), A_5(2)$	89435
A_4	$A_3(6), A_4(6), A_5(6), A_6(2)$	103800
A_5	$A_6(3), A_3(1), A_2(1), A_4(4), A_7(3), A_5(4)$	115000
A_6	$A_4(3), A_7(2)$	117800
A_7	$A_5(4), A_7(2)$	124333

اعتمدنا في هذه الدراسة على اسلوب المتوسط البسيط في بناء النموذج المختلط ومن أبسط الاساليب التي استخدمها الخبراء واكثرها شيوعاً في الدراسات العلمية [13, 14] ويتمثل هذا النموذج في دمج النموذجين (نموذج هولت – وينترز والنموذج الضبابي) في الصورة التالية:

$$\hat{Y}\ \text{Hybrid}(t) = w \times \hat{Y}\ \text{HW}(t) + (1 - w) \times \hat{Y}\ \text{FTS}(t)$$

حيث $\hat{Y}$ Hybrid(t) تمثل قيمة التنبؤ للنموذج المختلط عند الزمن t و $\hat{Y}$ HW(t) تمثل قيمة التنبؤ لنموذج هولت – وينترز عند الزمن t أما $\hat{Y}$ FTS(t) فهي تمثل قيمة التنبؤ الضبابي عن الزمن t, والوزن المناسب w فقد تم اختياره عن طريق البحث الشبكي بأخذ قيمة في كل مرة بين الصفر والواحد الصحيح تتغير بقدار 0.01 حتى تم الحصول على الوزن المرجح الأمثل W=0.73 باستخدام معيار الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) لكل قيمة مقابلة والذي يعنى ان النموذج المختلط سيتكون من سيتكون من 73% من تنبؤات نموذج هولت - وينترز مقابل 27% من تنبؤات النموذج الضبابي.

تم تطبيق المعايير الاحصائية المشهورة [3, 2] لتقييم أداء النماذج على بيانات الاختبار (2024) والمتمثلة في الجبر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) ومتوسط الخطأ المطلق (MAE) بالإضافة إلى متوسط الخطأ المطلق النسبي المئوي (MAPE) ووقع الاختيار على النموذج المختلط كأفضل نموذج للتنبؤ وتم التأكيد على ذلك باستخدام اختبار ويلكاكسون للرتب عند مستوى معنوية 5%.

8. النتائج:

توصلت الدراسة الى النتائج التالية:

- تحديد الوزن الامثل للنموذج المختلط بقيمة قدرها 73% النموذج هولت - وينترز مقابل 27% للنموذج المضبب.
- تم تطبيق النماذج الثلاثة على بيانات الاختبار (2024) وتم حساب مقاييس الدقة الموضحة في الجدول (4).
- مقارنة أداء النماذج الثلاث على بيانات الاختبار(2024) التي أظهرت تفوقاً ملحوظاً للنموذج المختلط من على كلا من النموذجين هولت – وينترز والنموذج الضبابي استناداً على نتائج المعايير الإحصائية المستخدمة (**MAE, RMSE, MAPE**) الموضحة في الجدول (4) حيث بلغت قيمة **RMSE** (5843,22) وهي أقل بنسبة 10.48 % من قيمة نموذج هولت - وينترز واقل بنسبة 56.23 % من قيمة النموذج المضبب (13348.10), بينما حقق النموذج المختلط قيمة **(MAE)** تساوي 3512.60 وهي أقل بنسبة 9.93% من نموذج هولت وينترز واقل من النموذج المضبب بنسبة 69.65%، أما عن **(MAPE)** فقد حقق النموذج المختلط قيمة 3.92 % مقارنةً بنموذج هولت - وينترز الذي حقق 4.40% والنموذج المضبب الذي حقق 11.40%.

الجدول (4): مقارنة أداء النماذج الثلاث على بيانات الاختبار(2024)

المقياس	نموذج هولت - وينترز	النموذج المضبب	النموذج المختلط (w=0.73)	التحسن عند استخدام النموذج المختلط
(RMSE)	6526.21	13348.10	5843.22	-10.485
(MAE)	3899.75	11572.40	3512.60	-9.93
(MAPE %)	4.40%	11.40%	3.92%	-10.91%

- مقارنة القيم الفعلية والتقديرية بين النماذج الثلاث بناءً على بيانات الاختبار (2024) واظهرت النتائج الموضحة في الجدول (5) ان النموذج المختلط كان أكثر دقة في تتبع التغيرات الشهرية في استهلاك الكهرباء الواضحة في أشهر مارس وابريل ومايو وتكمن دقة هذا النموذج في تعديل التوقعات بشكل أفضل من النموذجين المنفردين.

الجدول (5): مقارنة القيم الفعلية والتقديرية بين النماذج الثلاث بناءً على بيانات الاختبار (2024)

الشهر	القيمة الفعلية	تنبؤ هولت -وينترز	تنبؤ النموذج المضبب	تنبؤ النموذج المختلط
يناير	98308	110139	117800	111634
فبراير	115326	113293	103800	110040
مارس	137468	133547	115000	126163
ابريل	114892	114743	124333	117963
مايو	108326	109472	115000	111997
يونيو	105044	105605	115000	109794
يوليو	122965	106946	103800	105797
أغسطس	139361	134751	117800	128428
سبتمبر	147558	145289	124333	137367
أكتوبر	117650	133847	115000	126954
نوفمبر	114000	114775	115000	114890
ديسمبر	136000	131350	124333	128883

- اظهرت نتائج اختبار الإشارة الرتبي لويلكاكسون لمقارنة أخطاء التقدير الموضحة في الجدول (6) وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين اخطاء التنبؤ للنموذج المختلط مقابل كل من النموذجين (هولت -وينترز والمضبب) عند مستوى معنوية 5% حيث بلغت قيمة مستوى المعنوية المشاهد $p=0.032$ وهى أقل من 5%، كما أظهر الاختبار وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين النموذج المختلط و النموذج الضبابي بمستوى معنوية مشاهد $p=0.001$ ما يؤكد دقة أفضل للنموذج المختلط في التنبؤ من النموذجين الآخرين الآخرين.

الجدول (6): نتائج اختبار الإشارة الرتبي لويلكاكسون

المقارنات	قيمة اختبار Z	مستوى المعنوية المشاهد P
المختلط مقابل هولت-وينترز	-2.201	0.032
المختلط مقابل المضبب	-3.059	0.001

9. مناقشة النتائج:

من خلال تحليل بيانات الدراسة لاحظنا تفوق النموذج المختلط على النموذجين المستقلين حيث كان لنموذج هولت - وينترز قدرة عالية في رصد الاتجاه العام والتغيرات الموسمية المستقرة في البيانات الغير مستقرة التي كانت واضحة في سلسلة الاستهلاك الشهري للكهرباء في زليتن الموضحة في المرجع [1] وتم تمثيل نموذج هولت – وينترز بوزن عال (73%) في النموذج المختلط مقابل (27%) للنموذج المضبب الذي أظهر متانة كبيرة في وجه القيم المتطرفة في بيانات الدراسة مثل ذلك الانخفاض خلال فترة جائحة كورونا 2019. عند مقارنة نتائج هذه الدراسة لاحظنا تحسن في أداء النموذج المختلط في التنبؤ عن النماذج المستقلة عن بعضها البعض، ومن خلال نتائج الدراسة يمكن المساعدة في اتخاذ قرار صحيح لإدارة الطلب على الكهرباء في زليتن نظرا لدقة التنبؤ التي يقدمها النموذج المختلط.

10. الخلاصة

اظهرت نتائج هذه الدراسة التفوق الواضح في دقة التنبؤ باستخدام النموذج المختلط المقترح عنه في نموذجي هولت - وينترز والنموذج الضبابي وفقاً للمعايير الإحصائية المستخدمة المتمثلة في الجدر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء **(RMSE)** ومتوسط الخطأ المطلق **(MAE)** ومتوسط الخطأ المطلق النسبي المئوي **(MAPE %)**.

11. التوصيات والعمل المستقبلي:

من خلال نتائج هذه الدراسة نقترح هذه التوصيات في مجال التنبؤ باستهلاك الطاقة الكهربائية لأخذها في الاعتبار من قبل الباحثين في هذا المجال:

- استخدام النموذج المختلط المقترح في دراستنا كأداة رئيسية للتنبؤ بالاستهلاك الشهري للكهرباء في زليتن مع تحديثه بشكل دوري ببيانات حديثة.
- تطبيق النموذج المختلط في مناطق أخرى في ليبيا او خارجها تتمتع بنفس الظروف لاختبار أداءه.

المصادر والمراجع:

[1] M. A. Alargat and A. M. Ben Aros, "A comparative study between Holt-Winters model and fuzzy time series model for forecasting monthly electricity consumption: A case study of the Zliten region," Al-Farooq Journal of Sciences, vol. 2, no. 3, Jun. 2026.
[2] S. Makridakis, S. C. Wheelwright, and R. J. Hyndman, "Forecasting: Methods and Applications," 3rd ed. John Wiley & Sons, 1998.
[3] R. J. Hyndman and G. Athanasopoulos, "Forecasting: Principles and Practice," 3rd ed. OTexts, 2021.
[4] G. E. P. Box, G. M. Jenkins, G. C. Reinsel, and G. M. Ljung, "Time Series Analysis: Forecasting and Control," 5th ed. John Wiley & Sons, 2015.
[5] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," Information and Control, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.
[6] Q. Song and B. S. Chissom, "Forecasting enrollments with fuzzy time series - Part I," Fuzzy Sets and Systems, vol. 54, no. 1, pp. 1-9, 1993.
[7] S. M. Chen, "Forecasting enrollments based on fuzzy time series," Fuzzy Sets and Systems, vol. 81, no. 3, pp. 311-319, 1996.
[8] G. P. Zhang, "Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model," Neurocomputing, vol. 50, pp. 159-175, 2003.
[9] E. S. Gardner, "Exponential smoothing: The state of the art," Journal of Forecasting, vol. 4, no. 1, pp. 1-28, 1985.

[10] J. W. Taylor, “Short-term electricity demand forecasting using double seasonal exponential smoothing,” Journal of the Operational Research Society, vol. 54, no. 8, pp. 799-805, 2003.
[11] J. R. Hwang and H. K. Yu, “Ratio-based interval lengths for forecasting in fuzzy time series,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B: Cybernetics, vol. 36, no. 2, pp. 328-340, 2006.
[12] S. M. Chen and N. Y. Chung, “Forecasting enrollments using high-order fuzzy time series and genetic algorithms,” International Journal of Intelligent Systems, vol. 21, no. 5, pp. 485-501, 2006.
[13] J. M. Bates and C. W. J. Granger, “The combination of forecasts,” Journal of the Operational Research Society, vol. 20, no. 4, pp. 451-468, 1969.
[14] R. T. Clemen, “Combining forecasts: A review and annotated bibliography,” International Journal of Forecasting, vol. 5, no. 4, pp. 559-583, 1989.
[15] P. R. Winters, “Forecasting sales by exponentially weighted moving averages,” Management Science, vol. 6, no. 3, pp. 324-342, 1960.