Journal of Insights in Basic and Applied Sciences
مجلة رؤى في العلوم الأساسية والتطبيقية
Volume 1, Issue 2, 2025, Pages: 140-150
Journal homepage: https://jibas.com.ly/index.php/jibas/en

A Comparative Statistical Analysis of Simple and Double Exponential Smoothing Models: An Application to Libya's Population Data (1960- 2024)

Ahmed Mohamed Sawadi [1 *], Salem Mohamed Altabouni [2], Alshiteewi Ali Imseelikh [3]
[1] Department of Mathematics, Faculty of Science, Al-Asabaa, University of Gharyan, Libya
[2,3] Department of Statistics, Faculty of Science, Zintan, University of Zintan, Zintan, Libya

مقارنة بين نماذج التمهيد الأسي البسيط والمزدوج: دراسة تطبيقية على عدد سكان ليبيا خلال الفترة (1960–2024)

أ. أحمد محمد سوادي [1*]، أ. سالم محمد مادي الطابوني [2]، أ. الشتيوي إمحمد إمسيلخ [3]
[1] قسم الرياضيات، كلية العلوم الأصابعة، جامعة غريان، الأصابعة، ليبيا
[3،2] قسم الاحصاء، كلية العلوم الزنتان، جامعة الزنتان، الزنتان، ليبيا

[*]Corresponding author: salem.taboni@uoz.edu.ly

Received: October 14, 2025	Accepted: December 20, 2025	Published: December 31, 2025

Copyright: © 2025 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract:
This study aims to apply the Exponential Smoothing method to forecast the population of Libya during the period 1960–2024, with a comparison between the Simple and Double Exponential Smoothing models to identify the most accurate and suitable model for predicting population time series. The study adopts a descriptive-analytical approach, where population data were collected and analyzed to identify the general trends of the time series, and then both models were implemented using Minitab software.
The results indicate that Libya's population has followed an overall increasing trend in recent years. The comparison between the models shows a clear difference in forecasting accuracy, with the Double Exponential Smoothing model achieving the lowest values for all accuracy measures (MSD, MAD, MAPE), making it the most suitable for future population forecasts. Predictions using the double model indicate a continuous increase in population during the period 2025–2034, reflecting the ongoing upward trend.
The study recommends using the Double Exponential Smoothing model as the primary forecasting tool for population, with regular updates as new data become available, and utilizing the results for planning in education, health, and housing to meet future population needs.

Keywords: Population of Libya, Model, Data, Time series, Smoothing model.

الملخص
هدف هذا البحث إلى تطبيق أسلوب التمهيد الأسي للتنبؤ بعدد سكان ليبيا خلال الفترة 1960–2024، مع مقارنة بين النموذج البسيط والنموذج المزدوج لتحديد النموذج الأكثر دقة وملاءمة للتنبؤ بالسلاسل الزمنية السكانية. اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم جمع بيانات السكان وتحليلها للتعرف على الاتجاهات العامة للسلسلة الزمنية، ثم تم تطبيق النموذجين باستخدام برنامج.Minitab . أظهرت النتائج أن عدد سكان ليبيا يتجه اتجاهًا تصاعديًا عامًا خلال السنوات الماضية. كما أظهرت المقارنة بين النماذج فرقًا واضحًا في دقة التنبؤ، حيث حقق النموذج المزدوج أدنى القيم لجميع معايير الدقة (MSD، MAD، MAPE)، مما يجعله الأنسب للتنبؤ المستقبلي. وتشير التنبؤات باستخدام النموذج المزدوج إلى زيادة مستمرة في عدد السكان خلال الفترة 2025–2034، بما يعكس استمرار الاتجاه التصاعدي الحالي.

يوصي البحث باستخدام التمهيد الأسي المزدوج كنموذج رئيسي للتنبؤ بالسكان، مع تحديثه دوريًا عند توفر بيانات جديدة، واستغلال النتائج للتخطيط في مجالات التعليم، الصحة، والإسكان لتلبية الاحتياجات المستقبلية..

الكلمات المفتاحية: سكان ليبيا، نموذج، بيانات، سلسلة زمنية، نموذج التنعيم.

مقدمة:

يُعتبر التنبؤ الإحصائي أداة أساسية في تحليل السلاسل الزمنية، نظرًا لدوره المهم في دعم عمليات اتخاذ القرار والتخطيط المستقبلي في مختلف المجالات الاقتصادية والاجتماعية. ومن بين الأساليب المتبعة في هذا المجال، يبرز أسلوب التمهيد الأسي (Exponential Smoothing) لما يمتاز به من بساطة وسهولة في التطبيق، إضافة إلى قدرته على التعرف على الأنماط الزمنية وتقديم تقديرات دقيقة للمستقبل، مما يجعله أكثر موثوقية مقارنة ببعض الأساليب التقليدية الأخرى.

يهدف هذا البحث إلى تطبيق أسلوب التمهيد الأسي في التنبؤ بعدد سكان ليبيا خلال الفترة (1960–2024)، مع إجراء مقارنة بين النموذج البسيط والنموذج المزدوج، بهدف تحديد النموذج الأكثر دقة وملاءمة للتنبؤ بالسلاسل الزمنية السكانية.

مشكلة البحث:

يعد التنبؤ بالظواهر السكانية والاقتصادية من المجالات الحيوية التي تساهم في تحسين التخطيط ودعم اتخاذ القرار. ويعتمد نجاح عملية التنبؤ على اختيار الأسلوب الإحصائي المناسب الذي يضمن أعلى درجات الدقة والموثوقية. من بين الأساليب المتبعة في تحليل السلاسل الزمنية، يبرز أسلوب التمهيد الأسي لما له من قدرة على إعطاء وزن أكبر للبيانات الحديثة، لكنه قد يختلف في فعاليته حسب طبيعة البيانات المرصودة ومدى احتوائها على اتجاهات أو أنماط معينة.

وبناءً على ذلك، يمكن صياغة مشكلة البحث في السؤال التالي:

أيّ النماذج أكثر دقة في التنبؤ بعدد سكان ليبيا خلال الفترة (1960–2024): التمهيد الأسي البسيط أم المزدوج؟

أهمية البحث:

تكمن أهمية هذا البحث في تقييم مدى قدرة أسلوب التمهيد الأسي على التنبؤ بالبيانات الزمنية بشكل عام، وبالبيانات السكانية في ليبيا بشكل خاص. يساهم البحث في إبراز دقة الأسلوب وبساطته مقارنة بالطرق الأخرى، ما أن المقارنة بين النماذج تبرز مدى بساطة الأسلوب وفاعليته في التعامل مع بيانات زمنية طويلة، وهو ما يجعله أداة عملية يمكن الاعتماد عليها في الدراسات التطبيقية المستقبلية في مجالات الاقتصاد، الصحة، التعليم وغيرها. بالإضافة إلى ذلك، تساعد نتائج البحث على فهم الاتجاهات المستقبلية للسكان، وهو ما يدعم عمليات التخطيط واتخاذ القرار.

أهداف البحث:

1. تطبيق أسلوب التمهيد الأسي (البسيط والمزدوج) على بيانات عدد سكان ليبيا للفترة من 1960 إلى 2024.
2. مقارنة النتائج بين التمهيد الأسي البسيط والمزدوج لاختبار وجود فروق جوهرية في دقة التنبؤ.
3. تحديد النموذج الأكثر ملاءمة للتنبؤ.

فرضيات البحث:

لا يوجد فرق معنوي في دقة التنبؤ بين التمهيد الأسي البسيط والتمهيد الأسي المزدوج.

متغيرات البحث:

عدد السكان في ليبيا خلال الفترة (1960–2024)، وهو يمثل السلسلة الزمنية محل الدراسة.

منهجية البحث:

اعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي، وذلك من خلال جمع بيانات عدد السكان في ليبيا خلال الفترة (1960–2024) وتحليلها للتعرف على اتجاهاتها العامة. ثم جرى استخدام برنامج Minitab لتطبيق أسلوب التمهيد الأسي بنوعيه: البسيط والمزدوج، وقد تمت مقارنة النتائج بين النموذجين للوصول إلى النموذج الأكثر ملاءمة.

الدراسات السابقة:

1- دراسة (الحويج، 2021) بعنوان "التنبؤ بمعدلات التضخم في الاقتصاد الليبي باستخدام طرق التمهيد الأسي":

هدفت هذه الدراسة إلى التنبؤ بمعدلات التضخم خلال الفترة 2020–2025. استخدم البحث الرقم القياسي لأسعار المستهلك (CPI) بأسعار سنة 2003 كمؤشر لمعدلات التضخم.

أظهرت نتائج الدراسة أن طريقة Holt-Winters بدون موسمية (no seasonality) كانت الأفضل للتنبؤ بمعدلات التضخم في الاقتصاد الليبي، حيث حققت أدنى قيم للمعايير الإحصائية مثل RMSE وSSR. كما أظهرت عملية التنبؤ أن المستوى العام للأسعار في الاقتصاد الليبي من المتوقع أن ينخفض عام 2020 إلى 2.70، ثم يبدأ بالارتفاع تدريجيًا ليصل إلى 2.97 عام 2025، مما يدل على استمرار ظاهرة التضخم وتصاعدها خلال الفترة المتنبأ بها.

2- دراسة محمود وإبراهيم (2022) بعنوان "استخدام نماذج التمهيد الأسي في التنبؤ بإنتاج محصولي القمح والفول":

هدفت هذه الدراسة إلى التنبؤ بإنتاج القمح والفول خلال الفترة 1987–2019. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال تحليل السلاسل الزمنية للمحصولين، مع اختبار Durbin-Watson للكشف عن الارتباط الذاتي بين البواقي، واستخدام نماذج التمهيد الأسي (Smoothing Models) لمعالجة عدم استقرار البيانات.

أظهرت النتائج أن النموذج المزدوج للتمهيد الأسي (Holt DES) هو الأفضل للتنبؤ، حيث قدر إنتاج القمح للفترة 2022–2025 بنحو 57,495، 57,005، 56,515، 56,025 ألف إردب على الترتيب، وإنتاج الفول بنحو 686، 652، 618، 585 ألف إردب لنفس الفترة. وأكدت الدراسة أن استخدام هذه النماذج يسهم في وضع خطط مستقبلية دقيقة لمواجهة أي قصور في إنتاج المحاصيل الاستراتيجية.

3- **دراسة رزاقي ومقيمح (2018) بعنوان "فعالية التنبؤ باستخدام نموذج التمهيد الأسي في ترشيد قرارات الإنتاج دراسة حالة مؤسسة صناعة الإسمنت بحجار السود، سكيكدة":**

هدفت هذه الدراسة إلى توضيح كيفية التنبؤ بكميات الإنتاج باستخدام نموذج التمهيد الأسي، والتعرف على أهمية التحليل الإحصائي في وضع الخطط والاستراتيجيات المستندة إلى التنبؤ بالسلاسل الزمنية الإنتاجية. اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال تدقيق الوثائق والسجلات الخاصة بالمؤسسة، بالإضافة إلى إجراء مقابلات مع المسؤولين والعمال، لتطبيق التنبؤ باستخدام بيانات الإنتاج وتحليل فعاليتها. أظهرت النتائج أن المؤسسة يجب أن تعتمد على التنبؤ لأنه يزود الإدارة بالافتراضات والتصورات اللازمة لبناء الاستراتيجيات والخطط. كما تبين أن سلسلة الإنتاج محل الدراسة غير مستقرة بسبب وجود مركبة اتجاه عام ومركبة موسمية، وأن نموذج التمهيد الأسي التجميعي (Holt-Winters) يتمتع بفعالية عالية عند استخدامه للتنبؤ بحجم الإنتاج في المؤسسة.

4- دراسة Kuzhda (2014) بعنوان "التمهيد الأسي للتنبؤ ببيانات السلاسل الزمنية المالية":

هدفت هذه الدراسة إلى توضيح كيفية استخدام أسلوب التمهيد الأسي في التنبؤ بالبيانات المالية مثل أسواق الأسهم والسندات، وأسواق الصرف الأجنبي، والتأمين، والائتمان، والأسواق الأولية والثانوية.

اعتمدت الدراسة على النماذج الأساسية للتمهيد الأسي، وهي البسيط والمزدوج، حيث يزن التمهيد الأسي البسيط الملاحظات السابقة بأوزان تتناقص أسيًا لتوقع القيم المستقبلية، ويعد مناسبًا للتنبؤ بالسلاسل الزمنية المالية للفترات المحددة. أما التمهيد الأسي المزدوج، فهو تحسين للنموذج البسيط، حيث يضيف عنصرًا يأخذ في الاعتبار الاتجاه العام في البيانات، ما يجعله أكثر ملاءمة للسلاسل الزمنية التي تحتوي على اتجاهات.

كما تناولت الدراسة قياس دقة التنبؤ، وعرضت أمثلة كمية على تقدير سعر السهم الواحد باستخدام كلا النموذجين، مع تقديم توصيات تطبيقية حول استخدام التمهيد الأسي المزدوج لتحسين دقة التنبؤ بأسعار الأسهم.

الإطار النظري:

1- مفهوم السلاسل الزمنية:

هي مجموعة من المشاهدات المتتابعة لمتغير معين، قد يكون اقتصاديًا، ماليًا، أو من أي نوع آخر، تُسجل خلال فترات زمنية محددة، والتي قد تكون ساعة، يومًا، أسبوعًا، شهرًا، أو سنة. تُستخدم هذه المشاهدات لتحليل البيانات بهدف فهم الأنماط السابقة، والتنبؤ بالقيم المستقبلية، ودعم اتخاذ القرارات، سواء من قبل المديرين أو في وضع السياسات التسويقية والإدارية. (عمر، 2022).

2- مركبات السلاسل الزمنية:

- **الاتجاه العام:**

يشير إلى المسار الذي تتبعه السلسلة الزمنية على مدى فترة طويلة، ولا يتسم هذا الاتجاه بالثبات التام، بل يظهر حركة مستمرة نحو الارتفاع أو الانخفاض. ويتأثر الاتجاه العام بعوامل متعددة تؤدي إلى زيادة أو نقصان قيمة الظاهرة المدروسة، وغالبًا ما تكون هذه التغيرات بطيئة ومنتظمة، بحيث لا يظهر تأثيرها إلا بعد مرور فترة زمنية طويلة. رياضيًا، يمكن تمثيل الاتجاه العام بخط مستقيم أو منحنى، ويعتمد شكل هذا التمثيل على طبيعة نمو الظاهرة المدروسة (الشمرتي، 2005).

- **التغيرات الدورية**:

تشير إلى التقلبات طويلة المدى في السلسلة الزمنية، والتي لا تكون بالضرورة منتظمة أو سهلة التنبؤ. تمتد هذه الدورات عادة إلى ما بعد السنة، ويمكن أن تتأثر بعوامل اقتصادية، سياسية، أو اجتماعية مختلفة. ومن الأمثلة على ذلك الدورات الاقتصادية التي تتخلل فترات من الارتفاع والانخفاض على مدى عدة سنوات (Bachioua, 2011).

- **التغيرات العشوائية:**

تمثل أحد المكونات الأساسية للسلاسل الزمنية، وتشير إلى التقلبات غير المنتظمة التي تظهر في البيانات دون نمط محدد أو سبب واضح. وتتميز هذه التغيرات بعدم التنبؤ بها، وقد تنشأ نتيجة مجموعة متنوعة من العوامل، مثل الأحداث الطبيعية، الصدمات الاقتصادية، أو التغيرات الاجتماعية والسياسية (الفضل، 2007).

- **التغيرات الموسمية:**

تشير إلى متوسط التغير المنتظم الذي يحدث بشكل دوري خلال فترة زمنية قصيرة، عادة لا تتجاوز السنة، مثل التغيرات الشهرية أو الأسبوعية. وتعد هذه التغيرات من أكثر جوانب السلاسل الزمنية دراسةً، خاصةً في المجالات التي تتأثر بالفصول أو المناسبات، مثل مبيعات السيارات، استهلاك الطاقة الكهربائية، والمبيعات المرتبطة بالمواسم والأعياد. ومن أبرز العوامل المؤثرة في التغيرات الموسمية: التغيرات المناخية، العادات والتقاليد، والاحتفالات الدينية. فعلى سبيل المثال، يؤثر الطقس على الإنتاج الزراعي، النشاط السياحي، وأعمال البناء، بينما تسهم الأعياد والمواسم في زيادة مبيعات بعض السلع مثل الملابس والمواد الغذائية (صغير، 2018).

3- التمهيد الأسي للسلاسل الزمنية:

ويقصد بالتمهيد محاولة تقليل التغيرات في قيم السلسلة حول الخط الذي يمثل النمط العام لها، وذلك لتسهيل التنبؤ بالقيم المستقبلية (جيلاني، 2017). ويستند التمهيد الأسي إلى فكرة المتوسط المتحرك، حيث يتم حساب متوسط لقيم متتالية من السلسلة لتشكيل سلسلة جديدة تمهيدية. ومع ذلك، فإن المتوسط المتحرك البسيط يعطي جميع القيم السابقة وزناً متساويًا ولا يولي أهمية أكبر للقيم الحديثة، مما قد يقلل دقة التنبؤ.

ولتجاوز هذه القيود، ظهر التمهيد الأسي، الذي يعتمد على المتوسط المتحرك الموزون، ويستعمل معاملًا يسمى ألفا (α) لتحديد وزن القيم السابقة في التوقع. وبذلك، يساهم التمهيد الأسي في دمج جميع القيم السابقة للسلسلة مع إيلاء أهمية أكبر للقيم الحديثة، ما يحسن دقة التنبؤ مقارنة بالمتوسط المتحرك التقليدي (بن رشيد وآخرون، 2004).

4- طرق التمهيد الأسي للسلاسل الزمنية:

4-1- التمهيد الأسي البسيط (الأحادي):

يطبق على السلاسل الزمنية التي لا تتأثر باتجاه عام أو بموسمية، ويمكن اعتبار قيمها نتاج متوسط عام مضافًا إليه خطأ عشوائي يختلف عبر الزمن. يعتمد هذا النموذج على إعطاء وزن أكبر للقيم الأحدث عند حساب التقدير، ويتم تحديث هذا التقدير مع ظهور كل قيمة جديدة في السلسلة الزمنية (البشير، 2016).
ويمكن كتابة المعادلات الخاصة بهذه الطريقة كما يأتي: (Brockwell & Davis, 2002)

$$\hat{y}_{t+1} = \alpha y_t + \alpha(1-\alpha)y_{t-1} + \alpha(1-\alpha)^2 y_{t-2} \ldots + \alpha(1-\alpha)^k y_{t-k} \quad (1)$$

ويمكن اختصار المعادلة على الشكل التالي:

$$\hat{y}_{t+1} = \alpha y_t + \alpha(1-\alpha)\hat{y}_t \quad (2)$$

حيث:
$\hat{y}_{t+1}$ هي القيمة لمتوقعة للفترة القادمة
y_t ، y_{t-1} ، y_{t-2}،.. هي القيم الفعلية السابقة للسلسلة الزمنية
α هو ثابت التمهيد (Smoothing Constant) الذي يتحكم في وزن القيم السابقة، بحيث يعطي وزنًا أكبر للقيم الأحدث ويقلل تدريجيًا من تأثير القيم الأقدم.
وعندما تكون قيمة الثابت قريبة من الواحد، يكون التنبؤ متأثرًا بشكل كبير بالقيمة الأحدث، بينما يقل تأثير القيم السابقة بسرعة. أما إذا كانت قيمة الثابت قريبة من الصفر، فإن التنبؤ يتأثر بالقيم السابقة بشكل أبطأ، مع منح جميع القيم السابقة أوزانًا متساوية في الحالة المثالية للقيمة صفر.

4-2- التمهيد الأسي المزدوج:

- **نموذج براون (Brown's Double Exponential Smoothing):**

يعتمد هذا النموذج على حساب تقدير محلي لكل من مستوى السلسلة (Level) والاتجاه (Trend). تُعتبر طريقة براون للتمهيد الأسي المزدوج (DES) مشابهة لأسلوب التمهيد الأسي البسيط، مع الفرق أن معامل التنعيم في التمهيد الأسي المزدوج يُستنتج عن طريق إعادة التمهيد (re-smoothing) للقيم الممهَّدة من نموذج التمهيد الأسي البسيط.
مثل التمهيد الأسي البسيط، يستخدم نموذج براون عامل تنعيم واحد فقط (α). ويستند النموذج على سلسلتين ممهَّدتين مختلفتين، مركَّزتين في نقطتين زمنيتين مختلفتين، ويُحسب التنبؤ عن طريق استقراء خط يمر عبر هاتين النقطتين. المعادلات الرياضية الأساسية للنموذج كالتالي: (IGI Global, 2018)

$$S'_t = \alpha A_t + (1-\alpha)S'_{t-1} \quad (3)$$

$$S''_t = \alpha S'_t + (1-\alpha)S''_{t-1} \quad (4)$$

$$L_t = 2S'_t - S''_{t-1} \quad (5)$$

$$T_t = \frac{\alpha}{(1-\alpha)}(S'_t - S''_{t-1}) \quad (6)$$

$$Y_{t+k} = L_t + kT_t \quad (7)$$

حيث:
S'_t السلسلة الممهَّدة مرة واحدة.
S''_t السلسلة الممهَّدة مرتين.
L_t المستوى المقدر عند الفترة.
T_t الاتجاه المقدر عند الفترة.
α معامل التمهيد.
Y_{t+k} القيمة المتوقعة.

- **نموذج هولت (Holt's linear trend method):** (Hyndman et al,2008)

يُعتبر نموذج هولت (Holt's linear trend method) من النماذج المطوّرة لأسلوب التمهيد الأسي البسيط، حيث أدخله هولت عام 1957 للتعامل مع البيانات التي تحتوي على اتجاه زمني (trend) متزايد

أو متناقص. يقوم النموذج على فصل مكوّن المستوى (level) عن مكوّن الاتجاه (trend) باستخدام معاملي تنعيم مستقلين (α وβ)، تتراوح قيمتهما بين (0 و1) وثلاث معادلات أساسية:

المستوى (Level):

$$\ell_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1}) \quad (8)$$

النمو (Growth):

$$b_t = \beta^*(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1-\beta^*)b_{t-1} \quad (9)$$

التنبؤ (Forecast):

$$\hat{y}_{t+h|t} = \ell_t + b_t h \quad (10)$$

يشير ℓ_t إلى تقدير لمستوى السلسلة قي الزمن t ، ويشير b_t إلى تقدير ميل أو نمو السلسلة في الزمن t.

في حالة خاصة عندما يكون α = β يصبح نموذج هولت مكافئًا لطريقة براون في التمهيد الأسي المزدوج (Brown's Double Exponential Smoothing)، حيث اعتمد براون على مفهوم الخصم (discounting) بحيث يُستخدم معامل واحد لتخفيف أثر كل من المستوى والاتجاه معًا.

وفي حالة خاصة من نموذج هولت، عندما يكون معامل الاتجاه $\beta^* = 0$،حيث:

المستوى (Level):

$$\ell_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1}) \quad (11)$$

التنبؤ (Forecast):

$$\hat{y}_{t+h|t} = \ell_t + bh \quad (12)$$

يُبسَّط النموذج إلى ما يُعرف بـ "SES مع انحراف". في هذه الطريقة، يُحسب المستوى على أساس القيم السابقة والاتجاه، ويتم التنبؤ المستقبلي بإضافة الميل المقدر مضروبًا بعدد الخطوات المستقبلية. تعتبر هذه الطريقة مرتبطة بأسلوب "Theta method" للتنبؤ بالاتجاهات في السلاسل الزمنية.

3-4- نموذج هولت-وينتر الموسمي الجمعي (Holt-Winters' seasonal additive model):

يُستخدم التمهيد الأسي الثلاثي (Triple Exponential Smoothing, TES)، المعروف أيضًا باسم نموذج هولت-وينتر الموسمي الجمعي (Holt-Winters' seasonal additive model)، للتنبؤ بالبيانات التي تحتوي على اتجاه (Trend) وموسمية (Seasonality) في الوقت نفسه. في هذا النموذج، يُفترض أن تأثير الموسمية ثابت على مدار الزمن (Seasonal effect). يتكون TES من ثلاث معادلات أساسية: المستوى (Level)، الاتجاه (Trend)، والموسمية (Seasonality)، حيث يتم إدخال تأثير الموسمية إلى النموذج كما هو موضح في المعادلة الخاصة بها: (Ustundag et al, 2022)

$$L_t = \alpha(y_t - S_{t-s}) + (1-\alpha)(L_{t-1} + B_{t-1}) \quad (13)$$

$$B_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)B_{t-1} \quad (14)$$

$$S_t = \gamma(y_t - L_t) + (1-\gamma)S_{t-s} \quad (15)$$

حيث γ هو معامل تمهيد الموسمية وS_{t-s} هو التأثير الموسمي في الزمن $t-s$.

التنبؤ بـk خطوة إلى الأمام يساوي: $\hat{y}_{t+k} = L_t + kB_t + S_{t-s+k}$.

5- معايير دقة التنبؤ:

- **متوسط الخطأ المطلق (Mean Absolute Deviation, MAD):** يقيس متوسط القيم المطلقة للفروق بين القيم الفعلية والمتوقعة، ويعطي فكرة عن متوسط حجم الخطأ دون النظر لاتجاهه (Bedson et al, 2009)

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^{N} |Y_t - Y^*_t|}{N} \quad (16)$$

- **متوسط الخطأ النسبي المطلق (Mean Absolute Percentage Error, MAPE):** هو متوسط الفروق المطلقة بالنسبة المئوية بين القيم الفعلية والقيم المتوقعة للطلب. يُحسب MAPE عن طريق جمع القيم المطلقة للفروق النسبية لكل فترة زمنية، ثم تقسيم الناتج على عدد الفترات.

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^{N} \frac{|Y_t - Y^*_t|}{Y_t}}{N} \quad (17)$$

من الجدير بالذكر أن متوسط الانحراف المطلق (Mean Absolute Deviation, MAD) لا يأخذ في الاعتبار حجم البيانات الفعلي، إذ من المرجح أن مجموعة بيانات ذات طلب مرتفع تعطي قيمة MAD كبيرة. وهذا قد يشكل مشكلة عند مقارنة دقة النماذج على مجموعات بيانات مختلفة. على العكس، يقوم MAPE بتطبيع الفروق بالنسبة لحجم البيانات، ما يجعله أكثر ملاءمة للمقارنة بين النماذج على مجموعات بيانات متفاوتة الحجم. (Chiulli, 2018)

- **متوسط مربعات الخطأ (Mean Square Error, MSE):** هو متوسط مربعات الفروق بين القيم الفعلية والقيم المتوقعة، ويمكن التعبير عنه رياضيًا كما يلي:

$$MSE = \frac{\sum(Actual - Forecast)^2}{n} \quad (18)$$

على عكس متوسط الانحراف المطلق (MAD) الذي يستخدم القيم المطلقة، يعتمد MSE على مربعات الفروق للتغلب على مشكلة اختلاف الإشارة. كما أن القيم التي تتضمن أخطاء كبيرة يزداد تأثيرها بسبب استخدام التربيع، مما يمنحها وزنًا أكبر في الحساب، ويساعد على تقييم دقة النماذج بشكل أكثر حساسية للانحرافات الكبيرة. (Hasanuzzaman & Abd Rahim, 2019).

الجانب التطبيقي:

اعتمدت هذه الدراسة على البيانات السنوية لعدد سكان ليبيا خلال الفترة (1960–2024) كما وردت في قاعدة بيانات البنك الدولي. وقد تم استخدام برنامج Minitab لتطبيق أسلوب التمهيد الأسي بنموذجيه البسيط والمزدوج، بهدف مقارنة دقة التنبؤ بينهما واختيار الأنسب بالاعتماد على معيار متوسط مربعات الانحراف (MSD).

في الجدول (1) تم عرض السلسلة الزمنية لعدد سكان ليبيا خلال الفترة (1960–2024) كما وردت في بيانات البنك الدولي، وذلك بهدف استخدامها في تطبيق نماذج التمهيد الأسي.

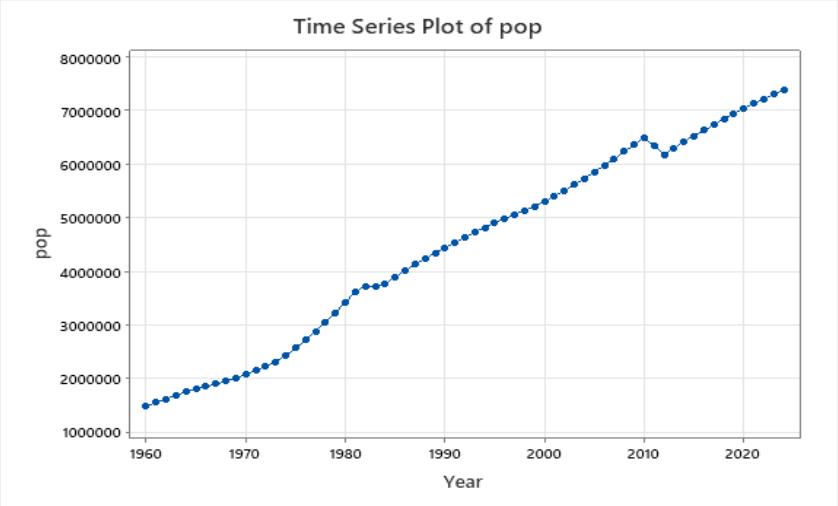
جدول (1): سلسلة البيانات السنوية لعدد سكان ليبيا (1960–2024).

العام	عدد السكان	العام	عدد السكان	العام	عدد السكان
1960	1,492,890	1982	3,724,765	2004	5,736,693
1961	1,555,699	1983	3,718,961	2005	5,858,798
1962	1,621,960	1984	3,773,633	2006	5,980,211
1963	1,690,457	1985	3,898,745	2007	6,104,380
1964	1,753,691	1986	4,017,403	2008	6,235,430
1965	1,804,015	1987	4,129,739	2009	6,366,686
1966	1,849,063	1988	4,237,755	2010	6,497,839
1967	1,898,199	1989	4,342,920	2011	6,343,203

6,179,328	2012	4,445,239	1990	1,952,781	1968
6,304,628	2013	4,544,400	1991	2,014,293	1969
6,427,252	2014	4,640,352	1992	2,082,589	1970
6,531,819	2015	4,733,045	1993	2,153,534	1971
6,632,126	2016	4,822,037	1994	2,226,091	1972
6,738,770	2017	4,906,843	1995	2,314,193	1973
6,849,055	2018	4,987,393	1996	2,432,211	1974
6,951,033	2019	5,064,639	1997	2,571,556	1975
7,045,399	2020	5,140,704	1998	2,721,237	1976
7,135,175	2021	5,218,038	1999	2,881,533	1977
7,223,805	2022	5,305,021	2000	3,052,526	1978
7,305,659	2023	5,403,639	2001	3,233,846	1979
7,381,023	2024	5,508,410	2002	3,424,378	1980
		5,619,398	2003	3,621,486	1981

المصدر: مجموعة البنك الدولي، عدد السكان، ليبيا (إجمالي السكان). قاعدة بيانات مؤشرات التنمية العالمية. تم الاسترجاع من:
https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=LY

يوضح الشكل (1) الاتجاه العام للسلسلة الزمنية لعدد سكان ليبيا خلال الفترة (1960–2024)، حيث يظهر بوضوح النمو المتزايد للسكان، مما يجعل هذه البيانات مناسبة لتطبيق نماذج التمهيد الأسي ومقارنتها.



شكل (1): الاتجاه العام للسلسلة الزمنية لعدد سكان ليبيا خلال الفترة (1960–2024).

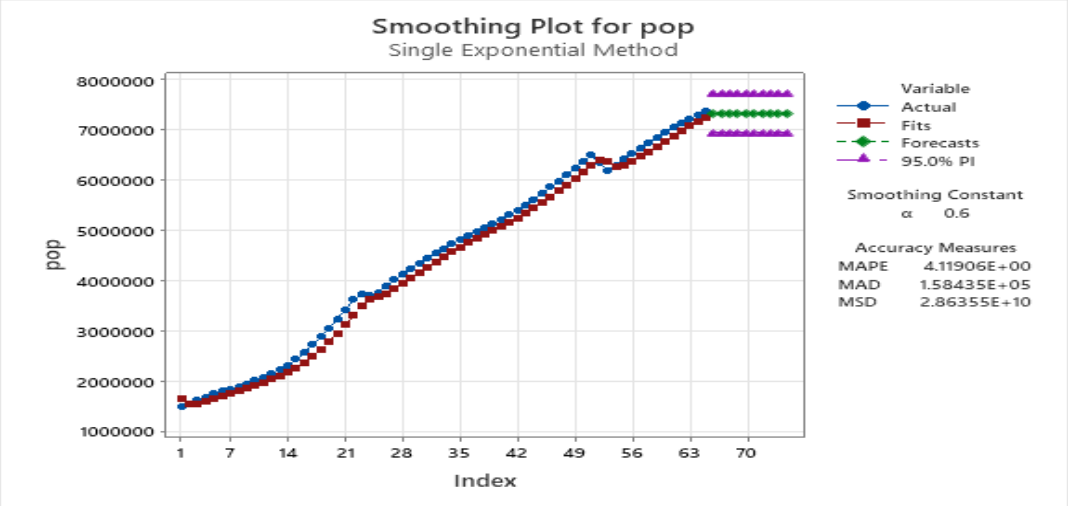
تطبيق نماذج التمهيد الأسي على السلسلة المدروسة:

نموذج التمهيد الأسي البسيط (Simple Exponential Smoothing):

تم تطبيق أسلوب التمهيد الأسي البسيط على السلسلة الزمنية، حيث تم اختيار قيمة معامل التمهيد ($\alpha = 0.6$). ويعرض الجدول التالي قيم معايير الدقة الإحصائية المستخدمة لتقييم النموذج، وهي: متوسط مربعات الخطأ (MSE)، ومتوسط الانحراف المطلق (MAD)، ومتوسط النسبة المئوية المطلقة للخطأ (MAPE).

جدول (2): نتائج التمهيد الأسي البسيط

α	MAPE	MAD	MSD
0.6	4.11906	158435	28635500000



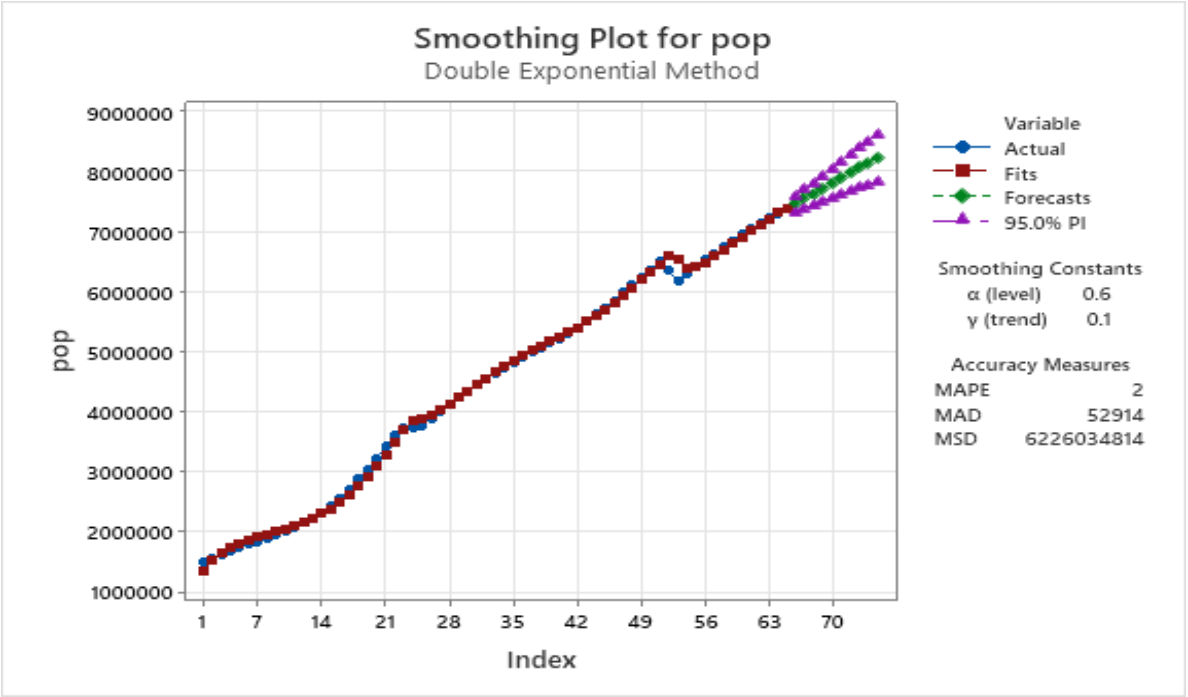
شكل (2): نتائج التمهيد الأسي البسيط مع التنبؤ لعدد السكان (2025-2034)

نموذج التمهيد الأسي المزدوج (Double Exponential Smoothing):

تم تطبيق أسلوب التمهيد الأسي المزدوج (بهدف التعامل مع الاتجاه الخطي في السلسلة الزمنية، إذ يُعد هذا النموذج تطويرًا للتمهيد الأسي البسيط من خلال إضافة معامل خاص بالاتجاه. وقد تم اختيار قيم معاملات التمهيد بحيث بلغت $\alpha = 0.6$ لموازنة مستوى السلسلة، و$\beta = 0.1$ لالتقاط اتجاه النمو بشكل تدريجي. ويعرض الجدول التالي قيم معايير الدقة الإحصائية للنموذج، والمتمثلة في: متوسط مربعات الخطأ (MSE)، ومتوسط الانحراف المطلق (MAD)، ومتوسط النسبة المئوية المطلقة للخطأ (MAPE).

جدول (3): نتائج التمهيد الأسي المزدوج.

α	γ (trend)	MAPE	MAD	MSD
0.6	0.1	2	52914	6226034814



شكل (3): نتائج التمهيد الأسي المزدوج مع التنبؤ لعدد السكان (2025-2034)

المفاضلة بين النماذج:

يوضح الجدول (4) مقارنة بين التمهيد الأسي البسيط والتمهيد الأسي المزدوج باستخدام ثلاثة معايير: MSD، MAD، وMAPE. تبين أن النموذج المزدوج أفضل بكثير، حيث كانت جميع المعايير منخفضة مقارنة بالنموذج البسيط. بناءً على هذه النتائج، تم رفض فرضية البحث التي تقول بأنه لا يوجد فرق معنوي في دقة التنبؤ بين التمهيد الأسي البسيط والتمهيد الأسي المزدوج.

وتم اختيار التمهيد الأسي المزدوج كنموذج الأنسب للتنبؤ بالسلسلة الزمنية نظرًا لقدرته على التقاط الاتجاهات وتحقيق دقة أعلى.

جدول (4): معايير دقة التنبؤ.

المعايير	MAPE	MAD	MSD
التمهيد الأسي البسيط	4.11906	158435	28635500000
التمهيد الأسي المزدوج	2	52914	6226034814

تم التنبؤ بعدد سكان ليبيا للفترة (2025-2034) باستخدام التمهيد الأسي المزدوج والنتائج موضحة في الجدول (5) الآتي:

جدول (5): التنبؤ بعدد سكان ليبيا للفترة (2025-2034)

السنة	التنبؤ	الحد الأدنى	الحد الأعلى
2025	7,471,631	7,341,994	7,601,268
2026	7,557,527	7,402,855	7,712,199
2027	7,643,422	7,461,279	7,825,566
2028	7,729,318	7,518,214	7,940,422
2029	7,815,214	7,574,198	8,056,229
2030	7,901,109	7,629,545	8,172,674
2031	7,987,005	7,684,447	8,289,563
2032	8,072,901	7,739,028	8,406,774
2033	8,158,796	7,793,371	8,524,222
2034	8,244,692	7,847,532	8,641,852

النتائج والتوصيات:

النتائج:

1. تُظهر السلسلة الزمنية لعدد سكان ليبيا اتجاهًا تصاعديًا عامًا خلال السنوات الماضية.
2. يوجد فرق معنوي في دقة التنبؤ بين النماذج، حيث تم اختيار التمهيد الأسي المزدوج لأنه يحقق أقل قيم للمعايير الإحصائية (MSD، MAD، MAPE).
3. أظهرت التنبؤات باستخدام النموذج المزدوج ارتفاعًا مستمرًا في عدد السكان خلال الفترة 2025-2034، مما يعكس استمرار الاتجاه التصاعدي الحالي.

التوصيات:

1. يُوصى باستخدام التمهيد الأسي المزدوج كنموذج أساسي للتنبؤ بالسكان، نظرًا لدقته في التقاط الاتجاهات المستقبلية.
2. يُنصح بتحديث النموذج دوريًا عند توفر بيانات جديدة لضمان دقة التنبؤات المستقبلية.
3. يمكن استخدام هذه التنبؤات كأساس للتخطيط في مجالات التعليم، الصحة، والإسكان لضمان تلبية الاحتياجات المستقبلية للسكان.

المراجع:

1. البشير، زين العابدين عبد الرحيم. (2016). تحليل السلاسل الزمنية (في مجال التكرار ومجال الزمن). الأردن: دار الجنان.
2. الجابري، بن رشيد نياف؛ بيومي، كمال حسني؛ المحيسن، إبراهيم بن عبد الله. (2004). استشراف مستقبل التعليم بمنطقة المدينة المنورة: تطبيق السلاسل الزمنية. المجلة الدولية للبحوث النوعية المتخصصة، ع (12)، ص56-151.
3. الجيلاني، أمل. (2017). استخدام التمهيد الأسي للتنبؤ بإنتاج واستهلاك الكهرباء في السودان (1989–2015) (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة الجزيرة، السودان.
4. الحويج، حسين فرج. (2021). التنبؤ بمعدلات التضخم في الاقتصاد الليبي باستخدام طرق التمهيد الأسي. مجلة دراسات العدد الاقتصادي، 12(1)، ص1-14.
5. رزاقي، إيمان؛ مقيمح، صبري. (2018). فعالية التنبؤ باستخدام نموذج التمهيد الأسي في ترشيد قرارات الإنتاج، دراسة حالة مؤسسة صناعة الاسمنت بحجار السود سكيكدة. مجلة الحكمة للدراسات الاقتصادية، 5(11)، ص178-190.
6. الشمرتي، حامد. (2005). الأساليب الإحصائية في اتخاذ القرار تطبيقات في منظمات أعمال إنتاجية وخدمية. إندونيسيا: المنهل.
7. صغير، قليل محمد. (2018). محاضرات في تحليل السلاسل الزمنية. الجزائر: جامعة مصطفى غسطمبولي معسكر.
8. عمر، عطا الله. (2022). محاضرات في مقياس السلاسل الزمنية. الجزائر: جامعة الشهيد حمه لخضر -الوادي-.
9. الفضل، مؤيد عبد الحسين. (2007). الإحصاء المتقدم في دعم القرار بالتركيز على منظمات الأعمال. الأردن: مؤسسة الوراق للنشر والتوزيع.
10. محمود، رانيا فكري؛ إبراهيم، سحر عبد السلام (2022). استخدام نماذج التمهيد الأسى في التنبؤ بإنتاج محصولي القمح والفول. المجلة العربية للعلوم الزراعية، المؤسسة العربية للتربية والعلوم والآداب، 5 (13)، ص 1-22.
11. Bachioua, L. A. (2011). Fundamentals of Statistics Concepts and Applications in Arabic. New York: Phillips publishing.
12. Bedson, P., Duguid Farrant, T. J., & Ellison, S. L. R. (2009). Practical statistics for the analytical scientist: A bench guide (2nd ed.). Royal Society of Chemistry.
13. Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2002). Introduction to Time Series and Forecasting. New York: Springer.
14. Chiulli, R. M. (2018). Quantitative analysis: An introduction. Routledge.
15. Hasanuzzaman, M., & Abd Rahim, N. (Eds.). (2019). Energy for sustainable development: Demand, supply, conversion and management. Academic Press
16. Hyndman, R. J., Koehler, A. B., Ord, J. K., & Snyder, R. D. (2008). Forecasting with exponential smoothing: The state space approach. Springer
17. IGI Global. (2018). Application development and design: Concepts, methodologies, tools, and applications. IGI Global.
18. Kuzhda, T. (2014). Exponential smoothing for financial time series data forecasting [Електронний ресурс]. Соціально-економічні проблеми і держава, 1(10), 177–184.
19. Ustundag, A., Cevikcan, E., & Beyca, O. F. (Eds.). (2022). Business analytics for professionals. Springer.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **JIBAS** and/or the editor(s). **JIBAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.