Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -
Faculté des Sciences Economiques,
Commerciales et des Sciences de Gestion

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محند أولحاج
-البويرة-
كلية العلوم الإقتصادية والتجارية وعلوم التسيير

قسم العلوم الاقتصادية

مذكرة مقدمة ضمن متطلبات نيل شهادة الماستر في العلوم الاقتصادية

تخصص اقتصاد كمي

بعنوان:

دراسة تنبؤية مقارنة للاستهلاك العائلي للكهرباء دراسة حالة سونلغاز وكالة برج أخريص خلال الفترة (2018:01 - 2023:12)

من إعداد الطالب:

- قوري يحيى

تحت إشراف :

أ.د. جوادي علي

لجنة المناقشة:

اسم ولقب الاستاذ	الرتبة	الجامعة	الصفة
بختي فريد	أستاذ	جامعة البويرة	رئيسا
جوادي علي	أستاذ	جامعة البويرة	مشرفا
طهراوي فريد	أستاذ	جامعة البويرة	مناقشا

السنة الجامعية: 2024/2023

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة أكلي محند أولحاج
-البويرة-
كلية العلوم الإقتصادية والتجارية وعلوم التسيير

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira -
Tasdawit Akli Muḥend Ulḥağ - Tubirett -
Faculté des Sciences Economiques,
Commerciales et des Sciences de Gestion

جامعة البويرة

قسم العلوم الاقتصادية

مذكرة مقدمة ضمن متطلبات نيل شهادة الماستر في العلوم الاقتصادية

تخصص اقتصاد كمي

بعنوان:

دراسة تنبؤية مقارنة للاستهلاك العائلي للكهرباء دراسة حالة سونلغاز وكالة برج أخريص خلال الفترة (2018:01 - 2023:12)

من إعداد الطالب:

- قوري يحيى

تحت إشراف :

د. جوادي علي

لجنة المناقشة:

اسم ولقب الاستاذ	الرتبة	الجامعة	الصفة
د. بختي فريد	أستاذ	جامعة البويرة	رئيسا
د. جوادي علي	أستاذ محاضر-أ-	جامعة البويرة	مشرفا
د. طهراوي فريد	أستاذ محاضر –ب-	جامعة البويرة	مناقشا

السنة الجامعية: 2024/2023

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وعرفان

الشكر والحمد أولا إلى الله سبحانه وتعالى قبل كل
شيء الذي وفقني على إتمام هذا العمل،
ثم أشكر ثانيا حضرة المشرف الفضيل الأستاذ جوادي علي
الذي وجهني طيلة الوقت نحو إنجاز العمل على أكمل وجه،
وأشكر أيضا السيد عكليوش عماد مديرة المؤسسة المستقبلة
والمؤطر يحياوي مراد وكل طاقم العمل على حسن الاستضافة
والتوجيه، والشكر إلى كل من دعمني وشجعني ولو بكلمة طيبة
على إنجاز هذا العمل المتواضع.

يحيى

إهداء

إلى من كانوا سندي في الصغر وملجئي في الكبر
أمي وأبي حفظهما الله وأطال في عمرهما،
إلى إخوتي الأعزاء كبيرهم وصغيرهم وكل أفراد عائلتي
القريب منهم والبعيد،
إلى أساتذتي في كل الأطوار الذين بفضلهم وصلت إلى هنا،
إلى كل أصدقائي وزملائي في الدراسة وبالأخص قسم السنة
ثانية ماستر تخصص اقتصاد كمي،
إلى كل هؤلاء أهدي هذا العمل المتواضع.

يحيى

الملخص

I. ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى المقارنة بين طرق التمهيد الأسي وطريقة Box-Jenkins من حيث أيهما أفضل في عملية التنبؤ، وذلك من خلال الاعتماد على سلسلة الاستهلاك الشهري للكهرباء الخاص بقطاع العائلات في دائرة برج أخريص للفترة من شهر جانفي 2018 إلى غاية شهر ديسمبر 2023، وهذا في محاولة للتنبؤ بقيم الأشهر الثلاث الأولى لسنة 2024 ومقارنتها بالقيم الحقيقية لنفس الفترة. وهذا بعد المرور على الجانب النظري الذي تم التناول فيه واقع الكهرباء في الجزائر ومختلف الأدبيات النظرية المتعلقة بالطريقتين السابقة الذكر.

الكلمات المفتاحية: طريقة Box-Jenkins، طرق التمهيد الأسي، استهلاك الكهرباء، التنبؤ، السلاسل الزمنية، سونلغاز.

II. Abstract :

This study aims to compare the Exponential Smoothing methods and the Box-Jenkins method in terms of which is better in the forecasting process, based on the series of monthly electricity consumption for the family sector in the Bordj Okhriss district for the period from January 2018 to December 2023, and this is in an attempt to predict the values of the first three months of 2024 and compare them with the real values for the same period. This is after going through the theoretical aspect, which dealt with the reality of electricity in Algeria and various theoretical literature related to the two aforementioned methods.

Keywords: Box-Jenkins method, Exponential Smoothing methods, electricity consumption, forecasting, time series, SONLGAS.

فهرس

المحتويات

فهرس المحتويات

المحتوى	الصفحة
شكر وعرفان	
الإهداء	
الملخص	II
فهرس المحتويات	IV
قائمة الجداول	VIII
قائمة الأشكال	X
قائمة الملاحق	XIII
مقدمـــة	أ
الفصل الأول: الطاقة الكهربائية في الجزائر	
تمهيد الفصل الأول	02
المبحث الأول: عموميات حول الطاقة	03
المطلب الأول: مفهوم الطاقة	03
المطلب الثاني: مصادر الطاقة	05
المطلب الثالث: مجالات استعمال الطاقة	11
المبحث الثاني: ماهية الطاقة الكهربائية	14
المطلب الأول: مفهوم الطاقة الكهربائية	14
المطلب الثاني: طرق توليد الكهرباء	17
المطلب الثالث: تخزين، نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية	25
المبحث الثالث: واقع الكهرباء في الجزائر	29
المطلب الأول: تطور الطاقة الكهربائية في الجزائر	29
المطلب الثاني: استهلاك واستعمال الطاقة الكهربائية	32
المطلب الثالث: ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية	37
خلاصة الفصل الأول	41

الفصل الثاني: عموميات حول التنبؤ	
تمهيد الفصل الثاني	43
المبحث الأول: عموميات حول التنبؤ	44
المطلب الأول: ماهية التنبؤ	44
المطلب الثاني: أنواع التنبؤ	47
المطلب الثالث: معايير اختيار طرق التنبؤ	53
المبحث الثاني: عرض طرق التمهيد الأسي	56
المطلب الأول: مفاهيم حول السلاسل الزمنية	56
المطلب الثاني: طرق التمهيد الأسي	63
المطلب الثالث: تصنيف نماذج ETS	67
المبحث الثالث: عرض طريقة Box-Jenkins	72
المطلب الأول: مفاهيم عامة وأساسية	72
المطلب الثاني: النماذج الخطية للسلسلة الزمنية	75
المطلب الثالث: مراحل منهجية Box-Jenkins	78
خلاصة الفصل الثاني	83
الفصل الثالث: دراسة حالة شركة سونلغاز فرع برج أخريص	
تمهيد الفصل الثالث	85
المبحث الأول: ماهي شركة سونلغاز	86
المطلب الأول: تقديم شركة سونلغاز وتاريخها	86
المطلب الثاني: مهام وأهداف وأفاق شركة سونلغاز	89
المطلب الثالث: الهيكل التنظيمي لشركة سونلغاز	93
المبحث الثاني: التنبؤ باستهلاك الكهرباء في دائرة برج أخريص	98
المطلب الأول: دراسة وتحليل سلسلة استهلاك الكهرباء لدائرة برج أخريص	98
المطلب الثاني: تطبيق طرق التمهيد الأسي للتنبؤ على سلسلة استهلاك الكهرباء	110

المطلب الثالث: تطبيق طريقة Box-Jenkins للتنبؤ على سلسلة استهلاك الكهرباء	115
المبحث الثالث: المقارنة والمفاضلة بين الطريقتين	123
المطلب الأول: المقارنة بين الطريقتين على أساس القيم	123
المطلب الثاني: المقارنة بين الطريقتين على أساس المعايير الاحصائية	124
المطلب الثالث: تحليل ومناقشة النتائج	124
خلاصة الفصل الثالث	126
الخاتمـــة	128
قائمـــة المراجـــع	132
الملاحق	137

قوائم الجداول، الأشكال والملاحق

الرقم	عنوان الجدول	الصفحة
01	الاستهلاك الوطني للكهرباء في الجزائر في الفترة من 1980 إلى 2021	33
02	مختلف نماذج ETS	67
03	الاستهلاك الشهري للكهرباء في قطاع العائلات لدائرة برج أخريص ELEC	98
04	المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لسنوات السلسلة ELEC	101
05	تحليل التباين للكشف عن الفصلية و/أو الاتجاه العام	103
06	اختبار تحليل التباين على السلسلة ELEC	104
07	اختبار Augmented Dickey-Fuller على السلسلة ELEC	107
08	اختبار Augmented Dickey-Fuller على السلسلة DELEC	109
09	مقارنة بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بها بطريقة Holt-Winters	112
10	مقارنة بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بها بطريقة تمهيد ETS	114
11	أفضل النماذج المقدرة للسلسلة DELEC	116
12	تقدير معلمات النموذج ARIMA $(6,1,1)\ (1,0,0)_{12}$	116
13	مقارنة بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بها بطريقة Box-Jenkins	122

14	مقارنة بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بها بطرق التمهيد الأسي وطريقة Box-Jenkins	123
15	مقارنة بين طرق التمهيد الأسي وطريقة Box-Jenkins على أساس معايير دقة التنبؤ	124

قائمة الأشكال

الرقم	عنوان الشكل	الصفحة
01	مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد البخارية	17
02	مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد النووية	18
03	مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد المائية	19
04	مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد بالمد والجزر	20
05	مخطط يوضح كيفية عمل محرك الديزل	21
06	مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد بالتوربينات الغازية	22
07	مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد بالرياح	23
08	مخطط يوضح كيفية الاستفادة من الطاقة الشمسية في انتاج الطاقة الكهربائية	25
09	مخطط يوضح وسائل تخزين الطاقة الكهربائية	27
10	شبكة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية	28
11	منحنى يبين تطور الاستهلاك الوطني للكهرباء في الجزائر ما بين 1980 و2021	34
12	منحنى يبين مركبة الاتجاه العام	60
13	منحنى يبين مركبة الفصلية	61

14	منحنى يبين المركبة الدورية	62
15	منحنى يبين المركبة العشوائية	62
16	الشكل الجدائي للسلسلة الزمنية	65
17	الشكل التجميعي للسلسلة الزمنية	66
18	مراحل منهجية Box-Jenkins في التنبؤ	79
19	التمثيل البياني للسلسلة ELEC	99
20	منحنى كل شهر على حدة للسلسلة ELEC	101
21	correlogram السلسلة ELEC	105
22	المنحنى البياني للسلسلة DELEC	108
23	تطبيق طريقة Holt-Winters الجدائية على السلسلة ELEC	111
24	منحنى يوضح السلسلة الممهدة ELECSM مع السلسلة الأصلية ELEC	112
25	تطبيق طريقة تمهيد ETS على السلسلة ELEC	113
26	منحنى يوضح السلسلة الممهدة ELECSM01 مع السلسلة الأصلية ELEC.	114
27	correlogram السلسلة المستقرة DELEC	115
28	الدائرة الأحادية لمعكوس جذور AR و MA	117

29	قيم معكوس جذور AR وMA	118
30	منحنى يوضح السلسلة المقدرة مع السلسلة الأصلية DELEC	119
31	اختبار Q-stat لسلسلة البواقي	120
32	اختبار Jarque-Bera على سلسلة البواقي	121

الرقم	عنوان الملحق	الصفحة
01	الهيكل التنظيمي لشركة سونلغاز فرع البويرة.	137
02	المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لسنوات السلسلة ELEC بواسطة برمجية EViews	138
03	تقدير النموذج $\delta_i = a + b\bar{X}_i$	138
04	اختبار تحليل التباين للسلسلة ELEC	139
05	اختبار Dickey-Fuller على السلسلة ELEC	140
06	اختبار Dickey-Fuller على السلسلة DELEC	143
07	تقدير معلمات النموذج ARIMA $(6,1,1)\ (1,0,0)_{12}$	146
08	معايير دقة التنبؤ لنموذج طريقة Holt-Winters الجدائية	146
09	معايير دقة التنبؤ لنموذج طريقة تمهيد ETS	147
10	معايير دقة التنبؤ لنموذج طريقة Box-Jenkins	147

مقدمة

1- توطئة:

تعتبر الطاقة عصبا حيويا لحياة العصر الحديث، إذ تنعكس آثارها وتأثيراتها على الاقتصاديات الوطنية للدول التي تعتمد عليها، وتعتبر من بين مؤشرات تقدم الدول أو تخلفها. ونظرا لكون الجزائر من بين هذه الدول نتيجة لاحتياطاتها الاقتصادية والاجتماعية الهامة من مصادر الطاقة، خاصة البترول والغاز الطبيعي، فقد عملت الدولة جاهدة على تطوير هذا القطاع لتحقيق الاكتفاء الذاتي وجلب العملة الصعبة.

في بداية الستينيات، بدأت الجزائر في إنشاء مؤسسات صناعية تعزز اقتصادها الوطني، مستبدلة لتلك المؤسسات الفرنسية، أنشئت مؤسسة كهرباء وغاز الجزائر (EGA) عام 1949، قبل أن يتم دمجها في المؤسسة الوطنية للكهرباء والغاز (سونلغاز) وذلك في 26 يوليو 1969 حسب ما نص عليه المرسوم رقم 59-69. وبعد تأميم الثروات، أصبحت سونلغاز تعتبر على نطاق واسع كمؤسسة حكومية مثل شركة سوناطراك، حيث تقوم بالتنقيب، واستخراج، وتكرير، وإنتاج، وتصدير الموارد الطبيعية، بالإضافة إلى دورها في إنتاج وتوزيع الكهرباء ونقل الغاز.

مع زيادة الطلب على الكهرباء واستخدامها المتزايد على المستوى الوطني، أصبح من الضروري التركيز على عوامل الطلب وتوجيهها بفعالية، خاصة مع توجهات الحفاظ على البيئة واعتماد الطاقة المتجددة. لذلك، تقع على عاتق سونلغاز مسؤولية كبيرة في تلبية احتياجات البلاد من الكهرباء والغاز، وضمان استدامة الإمدادات، بالإضافة إلى تحقيق الأرباح.

ونظرا للتطور الكبير الحاصل في مجال التنبؤ في يومنا هذا قررنا الاستعانة ببيانات شركة سونلغاز للاستهلاك الشهري لقطاع العائلات وتحديدا في دائرة برج أخريص، وذلك في محاولة منا للمقارنة بين طرق التمهيد الأسي وطريقة Box-Jenkins والتي تعتبر من أشهر الطرق التنبؤية، من خلال تطبيقها على سلسلة الاستهلاك الشهري للكهرباء لقطاع العائلات لدائرة برج أخريص من جانفي 2018 إلى ديسمبر 2023، ومحاولة المفاضلة بين الطريقتين واستخلاص أيهما أفضل.

2- إشكالية الدراسة:

من خلال ما سبق تظهر مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيسي التالي:

"ما هي الطريقة الأفضل في التنبؤ باستهلاك العائلات للكهرباء في دائرة برج أخريص من بين طريقتي التمهيد الأسي وBox-Jenkins؟"

وعلى ضوء هذا التساؤل الرئيسي يمكن صياغة الأسئلة الفرعية التالية:

1) ماهي أفضل طرق التنبؤ على المدى القصير؟
2) من الأسهل عمليا في التطبيق من بين طريقتي التمهيد الأسي وBox-Jenkins؟
3) على أي أساس يتم المفاضلة بين هاته الطريقتين؟

3- فرضيات الدراسة:

للإجابة على التساؤلات المطروحة يمكن طرح الفرضيات التالية:

1) تعتبر طريقة Box-Jenkins أفضل طريقة للتنبؤ على المدى القصير.
2) تعتبر طرق التمهيد الأسي أسهل في التطبيق من طريقة Box-Jenkins.
3) أفضل طريقة هي من تقابل أقل قيم لمعايير دقة التنبؤ.

4- مبررات اختيار موضوع الدراسة:

يعود اختيار هذا الموضوع إلى جملة من المبررات منها:

أ- اعتبارات موضوعية:

1) الأهمية الكبيرة للتنبؤ في المؤسسات الاقتصادية.
2) العلاقة الوطيدة بين موضوع الدراسة والتخصص.
3) التعرف على أهم طرق التنبؤ.

ب- اعتبارات ذاتية:

1) الاهتمام الشخصي بالمواضيع المتعلقة بالكهرباء.
2) إمكانية إجراء تربص في الموضوع.
3) قرب مكان إجراء التربص من مقر الإقامة.

5- أهمية الدراسة:

تظهر أهمية هذه الدراسة من خلال النقاط التالية:

1) الاطلاع على تاريخ الجزائر في مجال الطاقة الكهربائية.
2) إبراز أهمية عملية التنبؤ في مختلف المجالات.
3) التعرف على أهم نماذج التنبؤ للمدى القصير.

4) تطبيق عملي لطريقتي التمهيد الأسي وBox-Jenkins في عملية التنبؤ.
5) تنمية المعارف فيما يخص تحليل السلاسل الزمنية.

6- أهداف الدراسة:

تسعى الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف، من أهمها ما يلي:

1) الإجابة على التساؤلات السابقة.
2) معرفة كيفية تطبيق الطريقتين السابقتين وتحديد أهم الاختلافات بينهما.
3) معرفة أي الطريقتين أفضل في عملية التنبؤ باستهلاك العائلات للكهرباء.

7- حدود الدراسة:

تتمثل الحدود التي أجريت في إطارها هذه الدراسة فيما يلي:

أ- **الحدود المكانية:** تم إجراء هذه الدراسة على شركة نقل وتوزيع الكهرباء سونلغاز فرع برج أخريص.

ب- **الحدود الزمانية:** تم إجراء هذه الدراسة على الفترة ما بين شهر جانفي 2018 إلى غاية شهر مارس 2023.

8- منهج الدراسة والأدوات المستعملة:

تم الاعتماد في هذه الدراسة على المنهج الوصفي وذلك فيما يخص الجانب النظري، وقد تم الاعتماد على المنهج التحليلي الإحصائي فيما يخص الجانب التطبيقي، بالإضافة إلى المنهج المقارن في نهاية الدراسة. وقد تم الاستعانة ببرمجية Excel وبرمجية EViews في دراستي.

9- صعوبات الدراسة:

من بين أهم العراقيل التي واجهتها أثناء إنجاز هذه الدراسة ما يلي:

1) النقص النسبي في المراجع فيما يتعلق بالطاقة.
2) نقص المراجع فيما يتعلق بالطاقة الكهربائية في الجزائر.
3) عدم وجود البيانات لفترات طويلة في الماضي.

10- هيكل الدراسة:

من أجل الإجابة على جملة التساؤلات المطروحة، ومعالجة موضوع الدراسة، تم تقسيم هذه الأخيرة إلى مجموعة من الفصول تسبقها مقدمة وتليها خاتمة، وذلك وفقا للشكل التالي:

- **الفصل الأول:** سيتم التطرق فيه إلى الطاقة الكهربائية في الجزائر، أين سنبدأ بالطاقة من خلال بيان مفهومها، أشكالها، مصادرها ومختلف استعمالاتها، ثم ننتقل إلى الكهرباء وذلك من خلال بيان مفهومها وتاريخ اكتشافها وأنواعها، ومختلف المحطات التي تستخدم في توليدها بالإضافة إلى طرق تخزينها، نقلها وتوزيعها، حتى نصل أخيرا إلى واقع إمكانيات الجزائر من حيث الطاقة الكهربائية والذي سيشتمل تطور إنتاج الطاقة الكهربائية في الجزائر ومتبوعا بتطور استهلاكها، وفي الختام بعض النصائح فيما يتعلق بترشيد استهلاك الطاقة في الجزائر.
- **الفصل الثاني:** سيتم التناول فيه مفهوم التنبؤ والذي يعتبر من أهم المواضيع في عصرنا هذا، حيث سنمر على أهميته، مجالاته، مختلف أنواعه ومعايير اختيار طرقه، ثم ننتقل إلى السلاسل الزمنية من مفهومها وأنواعها ومختلف مركباتها، وبعدها نذهب الى طرق التمهيد الأسي في التنبؤ وسنغطي فيها أنواع هذه الطريقة ومختلف نماذجها، وأخيرا منهجية Box-Jenkins أين سنتطرق إلى تطبيق هذه المنهجية ومختلف نماذجها.
- **الفصل الثالث:** يتمحور هذا الفصل حول الدراسة التطبيقية التي تعتمد على بيانات الاستهلاك الشهري للكهرباء لدائرة برج أخريص للفترة من 2018 إلى 2023 والذي سوف نبدأه بتقديم عام للشركة الوطنية لنقل وتوزيع الكهرباء سونلغاز، ثم ننتقل إلى تطبيق الطريقتين المذكورتين في الفصل الثاني على سلسلة البيانات السابقة، وأخيرا نقوم بالمقارنة والمفاضلة بين الطريقتين وكذا تحليل وتفسير النتائج التي تم الوصول إليها.

الفصل الأول:

الطاقة الكهربائية

في الجزائر

تمهيد الفصل:

الجزائر من البلدان السائرة في طريق النمو التي من أهدافها السعي إلى التطور والتقدم الاقتصادي، وتعتمد بشكل كبير على مواردها الطبيعية، خاصة الهيدروكربونات. ولهذا السبب، تم إنشاء عديد من المؤسسات القطاعية في مجال الطاقة، من بين هذه المؤسسات نجد "سونلغاز" التي تم تأسيسها بغاية تطوير كل من قطاع الكهرباء والغاز، واستثمار الطاقة التي توفرها الدولة.

تحظى الطاقة بأهمية كبيرة في تحقيق التنمية الاقتصادية، حيث تعتبر عنصرا أساسيا لاقتصاد الدول. ومن بين الجوانب الحيوية في هذا السياق يأتي قطاع الكهرباء، الذي يعتبر سلعة حيوية يصعب الاستغناء عنها، حيث تلعب دورا رئيسيا في توفير الظروف المعيشية للسكان وتعزيز التطور الاقتصادي والصناعي. لذا، تعتبر الكهرباء بمثابة عامل حيوي يشير تناوله إلى مدى تقدم أو تراجع دولة معينة، إذ يعتبر مقياسا اقتصاديا يفسر التقدم أو التخلف.

سنقدم في هذا الفصل نظرة عامة على الطاقة بمفهومها الشامل، بداية من المصادر ووصولا إلى استخداماتها. وسنركز بشكل خاص على الطاقة الكهربائية كخطوة مهمة، حيث سنسلط الضوء على تطور قطاع الطاقة الكهربائية في الجزائر.

ومما سبق، تم تقسيم هذا الفصل كما يلي:

المبحث الأول: عموميات حول الطاقة

المبحث الثاني: ماهية الطاقة الكهربائية

المبحث الثالث: واقع الكهرباء في الجزائر

المبحث الأول: عموميات حول الطاقة

نظرا للتطور الكبير التي شهدته العلوم في آخر قرنين تطورت الحضارة العالمية الحديثة بشكل كبير، حيث مس هذا التقدم بشكل كبير إنتاج واستخدام الطاقة. أصبحت معدلات استهلاك الطاقة معيارا حيويا يعكس مدى التقدم والتطور في أي دولة، وأصبح أيضا معيارا أساسيا لتحديد الفارق بين التقدم الاقتصادي والتخلف. يعد هذا المعدل مؤشرا حاسما لتقييم إمكانيات الدولة في سبيل التنمية والتطوير، ويشكل أساسا لتحديد مكانتها في المجتمع الدولي.

يرتبط مستوى استهلاك الطاقة بشكل مباشر بمستوى المعيشة، حيث يظهر ارتفاع معدل استهلاك الفرد للطاقة سنويا ارتفاعا في جودة الحياة. ومن المهم أن نلاحظ أن هذا الارتفاع يكون أكثر وضوحا في البلدان المتقدمة اقتصاديا، حيث يعكس تقدمها في مجالات الاقتصاد والتكنولوجيا والتنمية.

المطلب الأول: مفهوم الطاقة

تعبر مفاهيم الطاقة عن تنوع الأفكار والتعاريف التي توضح جوانبها المختلفة، حيث يتم تحديدها على أنها القدرة والقابلية لأداء عمل محدد أو إنتاج تأثير أو فعالية خارجية. تشكل الطاقة عنصرا أساسيا في البنية الاقتصادية للمجتمعات المتقدمة، حيث تعد ضرورية لجميع قطاعات المجتمع، بالإضافة إلى دورها المهم في تسهيل الحياة اليومية. يتم استعمال الطاقة في العديد من المجالات مثل تشغيل المصانع، وتحريك مختلف وسائل النقل، وتشغيل الأجهزة المنزلية، وفي الكثير من السياقات الأخرى.

الفرع الأول: تعريف الطاقة

أولا: التعريف اللغوي

اشتقت كلمة طاقة بالإنجليزية (energy) من الكلمة اليونانية إنيرجيا، والتي ظهرت لأول مرة في كتاب الأخلاق النيقوماخية في القرن الرابع قبل الميلاد.[1]

واسم الطاقة مشتق من الإطاقة وهي القدرة على الشيء. وقد طاقه طوقا، وأطاقه، وعليه.[2]

[1] موقع ويكيبيديا، **تاريخ الطاقة**، نقلا عن الرابط التالي:
https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%AA%D8%A7%D8%B1%D9%8A%D8%AE_%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9 consulter le: Samedi 17/02/2024, 14:57.

[2] مجد الدين محمد بن يعقوب الفيروز آبادي، **القاموس المحيط**، الطبعة الثامنة، مؤسسة الرسالة، بيروت، لبنان، 2005، ص: 906.

ثانيا: التعريف الاصطلاحي

– تعرف الطاقة بأنها قدرة المادة على إعطاء قوى قادرة على إنجاز عمل معين. وتعرف أيضا بأنها عبارة عن كمية فيزيائية تظهر على شكل حرارة أو شكل حركة ميكانيكية أو كطاقة ربط في أنوية الذرة بين البروتون والنيترون.[1]

– وهي مقدرة نظام ما على إنتاج فاعلية أو نشاط خارجي، وتوجد على عدة أشكال منها: طاقة الشمس، طاقة الرياح، وطاقة جريان الماء ومساقطها. ويمكن أن تكون الطاقة مخزونة في مادة كالوقود التقليدي (النفط، الفحم، الغاز).[2]

– وتعرف أيضا: "الطاقة مصطلح علمي يعني ترشيد وتنظيم العمليات القاعدية على الطبيعة ولا نستطيع ملاحظتها أو قياسها مباشرة إنما ندرس تأثيرها على المواد".[3]

ومما سبق، ندرك أن الطاقة تمثل قدرة المادة على تحريك قوى قادرة على القيام بعمل معين، سواء كان ذلك من خلال إنتاج حرارة أو حركة ميكانيكية، أو حتى كطاقة متمثلة في الارتباطات داخل أنوية الذرات. ويمكن تجسيد الطاقة في أشكال متنوعة مثل طاقة الشمس والرياح وتدفقات المياه، كما يمكن تخزينها في المواد مثل الوقود التقليدي. من الناحية العلمية، يتم فهم الطاقة كمفهوم يتصل بتنظيم وتحسين العمليات الأساسية في الطبيعة دون القدرة على رصد أو قياسها مباشرة، بل من خلال دراسة تأثيرها على المواد.

الفرع الثاني: أنواع الطاقة

تتنوع أشكال الطاقة في الطبيعة، ومنها:

أولا: الطاقة الميكانيكية: تتضمن هذه الطاقة كل من الطاقة الحركية والطاقة الكامنة، وهي ناتجة عن حركة الأجسام من مكان لآخر.

ثانيا: الطاقة الكيميائية: هي الطاقة التي ترتبط بذرات الجزيء الواحد وتربطها ببعضها في المركبات الكيميائية.

---

[1] عبد المطلب النقرش، **الطاقة، مفاهيمها، أنواعها، مصادرها**، وزارة الطاقة والثروة المعدنية، الأردن، 2005، ص: 6.

[2] بن أحمد أحمد، **النمذجة القياسية للاستهلاك الوطني للطاقة الكهربائية في الجزائر خلال الفترة (10:1988 – 03:2007)**، رسالة ماجستير، جامعة الجزائر، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، الجزائر، 2008، ص: 8.

[3] سمير بن محاد، **استهلاك الطاقة في الجزائر دراسة تحليلية وقياسية**، رسالة ماجستير، جامعة الجزائر، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، الجزائر، 2009، ص: 3.

ثالثا: الطاقة الحرارية: هي إحدى الصور الأساسية للطاقة التي يمكن تحويل جميع أنواع الطاقة الأخرى إليها.

رابعا: الطاقة الشمسية: تعد مصدرا لا ينضب للطاقة، لكنها تصل إلينا بشكل متفرق وتتطلب تقنية متقدمة (مثل الخلايا الشمسية) لتجميعها واستخدامها بشكل فعال.[1]

خامسا: الطاقة النووية: هي الطاقة التي تربط بين مكونات النواة (البروتونات والنيوترونات)، وتنتج نتيجة تكسر هذه الرابطة، مما يؤدي إلى إطلاق كمية هائلة من الطاقة الحرارية.

سادسا: الطاقة الكهربائية: لا يوجد مصدر طبيعي للكهرباء، لأن جميع المواد تكون متعادلة كهربائيا، ولا تتولد الطاقة الكهربائية إلا من خلال تحويل نوع آخر من أنواع الطاقة إليها.[2]

سابعا: الطاقة الضوئية: تتكون من موجات كهرومغناطيسية تحتوي كل منها على حزم من الفوتونات.[3]

المطلب الثاني: مصادر الطاقة

يمكننا تصنيف مصادر الطاقة إلى نوعين أساسيين استنادا إلى ديمومتها وقابليتها للنفاد: المصادر المتجددة والمصادر غير المتجددة. تعتمد المصادر المتجددة على موارد طبيعية تتجدد بسرعة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح. أما المصادر غير المتجددة فتعتمد على موارد طبيعية قابلة للنفاد، مثل الفحم والنفط.

أولا: المصادر غير المتجددة

تعرف المصادر الناضبة بأنها تلك التي يمكن أن تنضب مع مرور الوقت نتيجة للاستخدام الكثيف. توجد هذه المصادر في الطبيعة بكميات محدودة ولا تتجدد. بالإضافة إلى ذلك، فإنها تلوث البيئة. وتتمثل أساسا في:

1- الوقود الأحفوري: الذي ينقسم إلى بدوره إلى:

أ- البترول: أصل كلمة "البترول" يعود إلى اللغة اللاتينية ويعني "زيت الصخر". هو سائل أسود كثيف وقابل للاشتعال، يتكون من خليط من المركبات العضوية التي تحتوي بشكل رئيسي على الكربون

[1] بن أحمد أحمد، مرجع سبق ذكره، ص: 9.
[2] نفس المرجع، ص: 11.
[3] نفس المرجع، ص: 12.

والهيدروجين، والمعروفة بالهيدروكربونات. تتراوح نسبة الهيدروكربونات في بعض أنواع البترول بين 50% و98%. يتجمع البترول في باطن الأرض ويبقى هناك حتى يخرج إلى السطح بفعل العوامل الطبيعية أو يتم استخراجه بواسطة الإنسان. يتواجد البترول في الطبيعة في حالات مختلفة: صلبة، شبه صلبة، سائلة، أو غازية.

ينتج عن البترول العديد من المواد المختلفة. من خلال عمليات التقطير والتصنيع للزيت الخام، يمكن الحصول على منتجات متنوعة. بناء على الكثافة النوعية للزيت، كلما زادت كثافة الزيت، زادت نسبة المقطرات الخفيفة ذات القيمة العالية مثل وقود الطائرات والسيارات، وكلما قلت الكثافة، زادت نسبة المقطرات الثقيلة ذات القيمة المنخفضة مثل زيت الوقود والمازوت. لذا، لا يستخدم البترول فقط لإنتاج الوقود والزيوت، بل يشكل أساسا لصناعة كبيرة متعددة الأشكال تعرف بصناعة البتروكيماويات.

تختلف أنواع البترول بناء على خصائصه الكيميائية والفيزيائية إلى:

- البترول الخفيف جدا مثل وقود الطائرات والبنزين.
- البترول الخفيف مثل الديزل.
- البترول المتوسط الذي يمثل أغلب النفط الخام.
- البترول الثقيل الذي يمثل النفط الثقيل.

يتميز البترول عن باقي مصادر الطاقة بعدة خصائص منها:

- ارتفاع قيمته الحرارية مقارنة بالمصادر الأخرى.
- توفره بكميات كبيرة رغم خاصية النضوب واحتوائه على كميات كبيرة من الغاز الطبيعي.
- انخفاض تكلفة إنتاجه وقيمته التبادلية مقارنة بالمصادر الأخرى.
- سهولة نقله لمسافات بعيدة بوسائل متنوعة.
- كونه مصدرا للعديد من المنتجات التي يحتاجها الإنسان في مختلف نشاطاته.
- ارتفاع قيمته الاستعمالية مقارنة بالمصادر الأخرى[1].

[1] زهرة روايقية، **تحسين كفاءة استخدام الطاقة من أجل تحقيق التنمية المستدامة في الاقتصاديات العربية**، أطروحة دكتوراه، جامعة 8 ماي 1945 قالمة، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، الجزائر، 2019، ص: 81-82.

ب- الغاز الطبيعي: يعرف الغاز الطبيعي بأنه مادة لا لون لها ولا رائحة، ويتكون بشكل أساسي من الميثان، وهو مركب كيميائي يتألف من الكربون والهيدروجين. غالبا ما يتواجد الغاز الطبيعي بالقرب من البترول تحت سطح الأرض، ويتم نقله عبر أنابيب إلى مناطق التخزين. ولتسهيل اكتشافه في حالة حدوث تسرب، يضاف إليه مادة كيميائية تمنحه رائحة نفاذة (لتجنب الحرائق). عند استخراجه، يكون الغاز الطبيعي سائلا يحتوي على هيدروكربونات ثقيلة مشبعة ومركبات أخرى غير قابلة للاشتعال مثل النيتروجين والأزوت. يعرف الغاز الطبيعي المستخرج من حقول البترول المشتركة مع البترول بالغاز المشترك أو المرتبط، بينما يسمى الغاز المستخرج من حقول الغاز المستقلة بالغاز غير المشترك.

يتميز الغاز الطبيعي بعدة خصائص تجعله أكثر ملاءمة ونظافة وأقل تأثيرا على البيئة مقارنة بالبترول، مما يجعله وقودا مثاليا في الوقت الحالي. من أبرز هذه الخصائص:

- توفره بكميات كبيرة وزيادة حجم احتياطاته حاليا ومستقبلا.
- سهولة استخراجه ونقله.
- تركيبته الكيميائية البسيطة نسبيا.
- طاقته الحرارية العالية بفضل خاصية الاحتراق السهل والكامل.
- عدم حاجته لعمليات معالجة كبيرة قبل استخدامه مقارنة بالفحم الحجري والبترول الخام.
- خلوه من الشوائب، مما يجعله يحترق نظيفا بدون بقايا.

ج- الفحم: هو مادة صلبة سوداء اللون تتكون من الكربون، الهيدروجين، الأكسجين، النيتروجين، والكبريت. يتميز بقدرته على الاشتعال والاحتراق، مما ينتج عنه طاقة حرارية يمكن استخدامها في العديد من المجالات، مثل تدفئة المنازل وتوفير الوقود للمنشآت. ومع ذلك، يستخدم الفحم بشكل أساسي في إنتاج الكهرباء.

يمتلك الفحم العديد من المزايا، منها:

- احتوائه على طاقة عالية وكميته الكبيرة التي تكفي لمئات السنين.
- تكلفته المنخفضة.

يتواجد في الطبيعة ثلاثة أنواع من الفحم:

- فحم الأنثراسيت، وهو أصلب الأنواع وأكثرها غنى بالطاقة.

- فحم الجنايت، وهو الأقل صلابة ويحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين والأكسجين.
- فحم البيتومينوس، الذي يتميز بصلابة ومحتوى حراري متوسط.[1]

2- الطاقة النووية: بدأ ظهور الطاقة النووية في 2 ديسمبر 1942 عندما تم تشغيل أول مفاعل نووي تحت مدرجات ملعب شيكاغو بالولايات المتحدة. قاد هذا المشروع مجموعة من أكبر علماء الفيزياء، من بينهم "نيلز بور"، و"روبرت أوبنهايمر"، و"إنريكو فيرمي". تم تسمية هذا المفاعل "كومة (PILE)" نظرا لمظهره، ولإخفاء حقيقته. في هذا اليوم، شهد العلماء إنتاج الطاقة من انشطار ذرة اليورانيوم، مما مثل بداية عصر الطاقة النووية الانشطارية وحقق واحدا من أعظم الاكتشافات في تاريخ البشرية.

أول من اكتشف هذا النوع من الطاقة هو الفيزيائي "ألبرت أينشتاين" بفضل النظرية النسبية التي وضعها في بداية القرن العشرين. من خلال معادلته الرياضية، أوضح أينشتاين أن المادة يمكن أن تتحول إلى طاقة باستخدام العلاقة التالية: ط = ك × س^2

حيث: ط: تمثل الطاقة، ك: تمثل الكتلة، س: تمثل سرعة الضوء.

بدأ استخدام الطاقة النووية منذ إنشاء أول مفاعل نووي في الولايات المتحدة الأمريكية، وهو المفاعل (EBR-1) الذي يعمل بقوة 300 كيلوواط. اتبعت العديد من الدول هذا النهج، وعلى رأسها الاتحاد السوفيتي السابق. استخدمت هذه الطاقة لأغراض عسكرية بحتة ولأغراض سلمية، مثل توليد الكهرباء وتطبيقات صحية وزراعية.

تعد أوروبا أكبر مستهلك للطاقة النووية بنسبة 47.6%، تليها الولايات المتحدة بنسبة 30.4% من حجم الاستهلاك العالمي في عام 2004.[2]

ثانيا: المصادر المتجددة

يوجد العديد من مصادر الطاقة المتجددة منها:

1- الطاقة الشمسية: هي الأشعة التي تنبعث من التفاعلات النووية التي تتم داخل الشمس، والطاقة الشمسية، أو أشعة الشمس، تصل إلى الأرض من خلال الفضاء في صورة حزم تسمى "الفوتون Photon"، وهو جسيم أولي، وهو الكم للضوء وجميع الأشكال الأخرى للإشعاع الكهرومغناطيسي، والحامل للقوة الكهرومغناطيسية، والشمس من أكبر مصادر الضوء والحرارة، وتتوزع الطاقة المنبعثة منها على الأرض

[1] زهرة روايقية، مرجع سبق ذكره، ص: 85-87.
[2] سمير بن محاد، مرجع سبق ذكره، ص: 9-10.

حسب قرب كل مكان من خط الاستواء، وخط الاستواء هو المنطقة التي ينالها أكبر قدر أو نصيب من الطاقة الشمسية والطاقة الحرارية المنبعثة منها.

ومن أهم استخداماتها توليد الكهرباء من خلال السخانات الشمسية التي تستخدم في تسخين المياه، وكذا صناعة منتجات الألبان، صناعة الغزل والنسيج، وأيضا تسخين الهواء لأغراض التدفئة وتجفيف الحاصلات الزراعية، ومن التقنيات الحديثة والمتفشية بشكل واسع في هذا المجال هي الخلايا الشمسية، وهي عبارة عن محولات ضوئية تحول ضوء الشمس المباشر مباشرة إلى طاقة كهربائية.

من مزايا الطاقة الشمسية الأكيدة أنها طاقة نظيفة مستمرة العطاء، حيث تتعلق بالشمس دائمة الوجود، خالية من النفايات هدفها حفظ صحة الإنسان وأمان بيئته، مستدامة من أجل بيئة خضراء، غير أن البعض يرى أن المشكل الأهم عند استعمالها، هو أن الشمس موجودة فقط في النهار، وفي حالات الأمطار ينخفض إشعاعها، وبعض مناطق العالم محرومة من الشمس ومزاياها لأشهر عديدة في السنة.[1]

2- طاقة الرياح: وهي الطاقة التي تستمد من حركة الرياح ليتم تحويلها إما لطاقة ميكانيكية أو كهربائية وذلك من خلال المولدات، وقد استخدم هذا النوع من الطاقة منذ القديم في دفع السفن الشراعية وإدارة الطواحين واستخراج المياه من الآبار، ومع تطور التقنيات الحديثة ارتبطت هذه الطاقة بتوليد الكهرباء بواسطة الطواحين الهوائية ومحطات التوليد لإنتاج ما مقداره 20 مليون ميغاواط من الكهرباء عالميا حسب تقديرات منظمة المقاييس العالمية.[2]

3- الطاقة الحرارية الجوفية: هي الحرارة المخزنة تحت سطح الأرض، وتتجلى في شكل مياه ساخنة وبخار رطب وجاف، وصخور ساخنة، وحرارة مضغوطة في العمق، وتخرج من باطن الأرض عبر الاتصال الحراري والنقل والينابيع الساخنة والبراكين النشطة.

يعتبر العلماء طاقة حرارة باطن الأرض من أهم مصادر الطاقة، إذ يعتقد أنها قادرة على توليد كميات كبيرة من الكهرباء في المستقبل. فقد استفاد الإنسان من هذه الطاقة منذ آلاف السنين في تدفئة المساكن،

---

[1] دراج عفيفة، دراج نبيلة صالحة، **الطحالب البحرية، مستقبل واعد لطاقة متجددة آمنة -أبحاث وتجارب دولية رائدة-**، الملتقى العلمي الدولي حول: استراتيجيات الطاقات المتجددة ودورها في تحقيق التنمية المستدامة -دراسة تجارب بعض الدول-، جامعة البليدة 2، بتاريخ 23 أفريل 2018، ص: 7-8.

[2] الشريف بوفاس، **تفعيل استخدام الطاقة المتجددة كاستراتيجية للتنويع الطاقوي في الجزائر**، الملتقى الوطني حول: المؤسسات الاقتصادية الجزائرية واستراتيجيات التنويع الاقتصادي في ظل انهيار أسعار المحروقات، جامعة 8 ماي 1945 قالمة، يومي 25 و26 أفريل 2017، ص: 11.

ومنذ التسعينات في إنتاج الكهرباء. ويعتبر البعض أن طاقة حرارة باطن الأرض مصدرا أساسيا للطاقة المتجددة، إذ يمكن تزويد العديد من الدول بها بنسبة 100% من احتياجاتها الطاقوية.[1]

4- طاقة الكتلة الحيوية: يعتبر هذا المصدر من الطاقة من المصادر التي كانت منتشرة وشائعة في القرون الماضية خاصة قبل ظهور النفط وتعتمد على استعمال مواد الكتلة الحيوية التي تنتج وتجمع محليا (مثل مخلفات المحاصيل، والخشب، وروث الحيوانات... الخ) وعلى الرغم من أن معظم دول العالم قد انتقلت بسرعة من استعمال هذا المصدر إلى استعمالات الطاقة الأحفورية منذ بدء استعمال الفحم في القرن التاسع عشر وانتشار استعمال النفط في القرن العشرين، إلا أن الطاقة المتجددة التقليدية القائمة على الكتلة الحيوية لا تزال مصدرا وحيدا للطاقة لأكثر من 2 مليار نسمة يعيش معظمهم في جنوب آسيا وفي أواسط إفريقيا وبالتالي فإنها تشكل 10% من بين المصادر الأساسية للطاقة العالمية.[2]

5- الطاقة المائية (الهيدروليكية): وهي الطاقة التي تنتج من خلال حركة المياه المستمرة والتي لا يمكن أن تنفذ، وهي من أهم مصادر الطاقة المتجددة، وبمعنى آخر هي الاستفادة من حركة المياه لأغراض مفيدة. فقد كان استخدام الطاقة المائية قبل انتشار توفر الطاقة الكهربائية التجارية، وذلك في ري وطحن الحبوب وصناعة النسيج، فضلا عن تشغيل المناشير.

وتعرف الطاقة المائية كذلك على أنها تلك الطاقة التي تأتي من طاقة تدفق المياه أو سقوطها، ولقد كانت طاقة المياه من أول أنواع الطاقة التي تعلم الإنسان استخدامها منذ حوالي 2000 سنة حيث اخترع الإنسان الساقية (الناعورة) وهي عبارة عن عجلة ذات أرياش حول إطارها وعندما يرتطم الماء المتحرك بالأرياش فإنه يدير العجلة، وتستخدم العجلة الدوارة في تسيير آلة، وبهذه الطريقة يمكن تحويل طاقة المياه إلى طاقة ميكانيكية.[3]

ومن بين أهم المصادر التي يمكن اعتبارها طاقة مائية نجد:

أ- طاقة المد والجزر: طاقة المد والجزر، المعروفة أيضا بالطاقة القمرية، هي شكل من أشكال طاقة الحركة المخزنة في تيارات المد والجزر التي تنشأ نتيجة لجاذبية القمر والشمس وتأثير دوران الأرض حول محورها. ونظرا لأن هذه الظواهر طبيعية ومستمرة، فإن هذه الطاقة تصنف عادة كطاقة متجددة.

---

[1] إبراهيم عبد الله عبد الرؤوف محمد، **الطاقة المتجددة والتنمية المستدامة (دراسة تحليلية وتطبيقية على الطاقة الشمسية في مصر)**، مجلة البحوث القانونية والاقتصادية، المجلد 3، العدد 54، جامعة المنصورة، مصر، 2013، ص: 1094-1095.

[2] عمر خليل احمد الجبوري، احمد حسن احمد الجبوري، **مبادئ الطاقات المتجددة**، المعهد التقني الحويجة، العراق، 2010، ص: 336.

[3] بوعشة إسمهان، **جدوى استغلال الطاقة الشمسية كطاقة متجددة وإمكانية استخدامها في التبادلات التجارية الخارجية (دراسة حالة الجزائر)**، أطروحة دكتوراه، جامعة محمد خيضر بسكرة، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، الجزائر، 2019، ص: 96.

ب- طاقة الأمواج: تحتوي الأمواج على طاقة حركية يمكنها أن تدير توربينة، إذ نجد أن الماء يرتفع داخل غرفة فيدفع الهواء الموجود بها إلى الخارج، ليدير أثناء خروجه توربينة تستطيع إدارة عمود يقطع بدورانه المجال المغناطيسي داخل مولد فنحصل على الكهرباء، أما عندما يهبط منسوب المياه فإن الهواء يدخل إلى الغرفة مرة أخرى ليملأها وهكذا دواليك، وهذه الفكرة هي أحد طرق الاستفادة من هذه الطاقة.[1]

6- المصادر المتجددة للطاقة في مرحلة التجريب:

أ- طاقة الهيدروجين: يعتبر الهيدروجين أحد مصادر الطاقة المتجددة الأكثر انتشارا في الكون، حيث يشكل جزءا كبيرا من تركيب الشمس والنجوم الأخرى، ويحتوي الفضاء بينها على نسبة عالية منه. على الرغم من ذلك، لا يوجد الهيدروجين كعنصر مستقل على كوكب الأرض، بل يوجد بشكل متحد مع الأكسجين في مياه البحار والأنهار. يرى البعض أن الهيدروجين سيكون وقود المستقبل بسبب جدواه الاقتصادية والتقنية، وتأثيره الإيجابي على البيئة. يمتاز الهيدروجين بأن كل كيلو جرام منه ينتج ثلاثة أضعاف الطاقة المولدة من نفس الكمية من البنزين. يمكن الحصول على الهيدروجين عن طريق التحلل الكهربائي للماء، أو بالتحلل الحراري للماء باستخدام درجات حرارة تصل إلى 3500 درجة مئوية، أو من خلال تأثير الأشعة الشمسية مباشرة بطريقة تشبه عملية التمثيل الضوئي.[2]

المطلب الثالث: مجالات استعمال الطاقة.

بناء على أهمية استخدام الطاقة في مختلف جوانب الحياة، يمكننا تقسيمها إلى أربع مجالات أساسية، وهي:

أولا: الاستعمال المنزلي

الطاقة في قطاع العائلات تعتمد على مصادر متنوعة مثل الكهرباء، الغاز الطبيعي (سواء عبر الأنابيب أو في القوارير)، الفيول[3]، الفحم، والخشب، بالإضافة إلى البطاريات الكهربائية. يمكن تصنيف استخدامات هذه المصادر الطاقوية في العائلات إلى أربع فئات رئيسية:

[1] بوعشة إسمهان، مرجع سبق ذكره، ص: 98-99.

[2] إبراهيم عبد الله عبد الرؤوف محمد، مرجع سبق ذكره، ص: 1099-1100.

[3] الفيول: أو زيت الوقود هو أحد الأجزاء الناتجة عن عملية التقطير المجزأ للنفط الخام. وبصفة عامة، هو أي منتج نفطي سائل ثقيل يحرق في الفرن أو المرجل لتوليد الحرارة أو لتوليد الطاقة الكهربائية أو الحركية.

1. **التدفئة:** تمثل هذه الفئة الاستخدام الأكثر شيوعا في المنازل، حيث تشكل حوالي 60% من استخدامات الطاقة.
2. **الإنارة والأجهزة الكهربائية المنزلية والتبريد:** تشكل هذه الفئة حوالي 20% من استخدامات الطاقة.
3. **توفير الماء الساخن للاستخدامات الصحية:** تمثل حوالي 15% من استخدامات الطاقة.
4. **استخدامات المطبخ:** تشكل حوالي 5% من استخدامات الطاقة.

يراعى أن استخدام الطاقة في الأسر لا يمثل سوى حوالي 20% من الاستهلاك الإجمالي للطاقة في الدول المتقدمة، وهو يختلف بشكل كبير من حيث الكم والنوع في الدول النامية.

ثانيا: الاستعمال الفلاحي

قبل بداية النهضة الصناعية، كانت مصادر الطاقة المتاحة للإنسان محدودة إلى الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية، وعناصر الجو مثل الرياح وقوة المياه، بالإضافة إلى الكتلة الحيوية التي كانت تستخدم للتدفئة والطهي، بالإضافة إلى الاستفادة غير المباشرة من الجهد الحيواني والبشري. بعد الثورة الصناعية، تغيرت هذه الديناميات بشكل جذري، حيث بدأ الاعتماد على مصادر طاقة جديدة. ويمكن تقسيم استهلاك الطاقة في هذا السياق إلى قسمين:

1. **الاستخدام المباشر:** ويشمل استخدام الوقود للآلات مثل الجرارات ومضخات المياه، واستخدام الكهرباء للإنارة والفيول والغاز والخشب للتدفئة وطهي الطعام.
2. **الاستخدام غير المباشر:** وهو الطاقة المستخدمة في صناعة المواد والمواد اللازمة لإنتاج الغذاء والأعلاف والأسمدة ومواد أخرى ضرورية للإنتاج الزراعي والحيواني.

ثالثا: الاستعمال الصناعي

منذ القدم، اعتمد الإنسان على قواه العضلية لتوليد الطاقة الميكانيكية والحصول على الحرارة، الإضاءة، وصنع الغذاء، وما إلى ذلك. لكن في العصر الحديث، أصبحت تكنولوجيا تحويل الطاقة تلعب دورا أساسيا في الدول الصناعية، حيث انتشر استخدام الكهرباء في مختلف الصناعات والقطاعات الأخرى مثل النقل، والتغذية، والتدفئة، والإنارة.

في الخمسينات من القرن الماضي، كان القطاع الصناعي يمثل أكثر من 50% من الاستهلاك الكلي للطاقة في الدول الصناعية، لكن هذه النسبة تغيرت مع مرور الزمن وتختلف الآن من دولة إلى أخرى بين 35% و45%.

مع تطور تكنولوجيا المعلومات والاتصال في نهاية القرن الماضي، زادت أهمية كفاءة استخدام الطاقة، وأصبحت الدول المتقدمة تستخدم كميات أقل من الطاقة لتحقيق مخرجات أكبر.

تطور توزيع استهلاك الطاقة في الدول الصناعية عبر ثلاث مراحل: المرحلة الأولى شهدت استخدام الفحم بشكل رئيسي، ثم جاءت المرحلة الثانية مع استخدام النفط حتى بداية الثمانينات، ومن ثم استخدام الغاز الطبيعي والطاقة النووية.

رابعا: الاستعمال في قطاع النقل

تطورت طرق تبادل السلع والبضائع بين البشر مع تطور الحضارة، حيث كانت الملاحة البحرية المفضلة لنقل البضائع الثقيلة بعد استخدام الحيوانات في النقل، ثم جاء النقل البري بعد اكتشاف الآلات البخارية في بداية القرن التاسع عشر. وفي بداية القرن العشرين، دخلت الآلات الحديثة مثل السيارات ووسائل النقل الجوي عالم النقل، مع توجه استخدام الوقود السائل. ومع دخول عصر الكهرباء، بدأت القطارات الكهربائية وقطارات الأنفاق تلعب دورا هاما في قطاع النقل.

ومن المهم ملاحظة أن الطاقة التي تستهلك في قطاع النقل، تشكل حوالي 80% من استهلاك الوقود للسيارات. ويستهلك قطاع النقل حوالي الربع من الطاقة الإجمالية في الدول المتقدمة مثل الولايات المتحدة الأمريكية.[1]

[1] سمير بن محاد، مرجع سبق ذكره، ص: 4-6.

المبحث الثاني: ماهية الطاقة الكهربائية

سيتم في هذا المبحث استكشاف مفهوم الطاقة الكهربائية، مع التركيز على توضيح وسائل توليد الكهرباء المتنوعة، بالإضافة إلى استعراض كيفية نقل وتوزيع هذه الطاقة.

المطلب الأول: مفهوم الطاقة الكهربائية

تعتبر الكهرباء من أهم مقومات الحياة في عصرنا الحاضر، حيث تقوم عليها كل الصناعات بما فيها صناعة النفط وما ينتج عنها من صناعات، والزراعة، والتجارة، والنقل، بل حتى على مستوى احتياجات الفرد التي تعتمد جميعها على هذا المورد الهام للطاقة.

الفرع الأول: تعريف الطاقة الكهربائية

أولا: التعريف اللغوي

أطلق على ظاهرة جذب قضيب الكهرمان لريش الطيور بعد دلكه اسم الكهرباء بالإنجليزية (Electricity)، والتي استنبطت من الكلمة اللاتينية القديمة (Elektron) وتعني الكهرمان. أما في اللغة العربية فقد اصطلح اسم الكهرباء نسبة إلى الكهرمان مباشرة.[1]

ثانيا: التعريف الاصطلاحي

تعرف الكهرباء بأنها إحدى أشكال الطاقة التي يمكن ملاحظتها والشعور بها في الطبيعة، حيث تنشأ الكهرباء نتيجة لتدفق الشحنات الثابتة أو المتحركة، إذ تحمل الإلكترونات هذه الشحنات، ونتيجة لذلك تنشأ أشكال الكهرباء المختلفة من خلال تراكم أو حركة عدد من الإلكترونات.[2]

كما تعرف الطاقة الكهربائية أيضا بأنها مقدار الشغل المبذول في الدارة الكهربائية اللازم لتحريك الشحنات أو الإلكترونات خلال فترة زمنية معينة، وتسمى هذه الحركة بالتيار الكهربائي.[3]

---

[1] حسام الدين بن سيف، **الطاقة الكهربائية**، مجلة العلوم التقنية، العدد 95، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم التقنية، الرياض، 2010، ص: 10.

[2] وسام درويش، **تعريف الكهرباء وأنواعها**، موقع سطور، نقلا عن الرابط التالي:
https://sotor.com/%D8%AA%D8%B9%D8%B1%D9%8A%D9%81-%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%87%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%A1-%D9%88%D8%A3%D9%86%D9%88%D8%A7%D8%B9%D9%87%D8%A7/consulter le: samedi 06/04/2024, 17:45.

[3] فولتيات، **ما هي الطاقة الكهربائية وطرق توليدها**، نقلا عن الرابط التالي:
https://www.voltiat.com/electrical-energy/ consulter le: jeudi 22/02/2024, 15:20.

الفرع الثاني: أنواع الطاقة الكهربائية

الكهرباء تنقسم إلى نوعين: الكهرباء الساكنة والكهرباء المتحركة.

أولا: الكهرباء الساكنة

هي الكهرباء التي توجد في مكان محدد ولا تنتقل إلى مكان آخر. يمكن توضيح هذا المفهوم من خلال تجربة بسيطة: احضر بالونا مملوءا بالهواء وامسحه بقطعة من الصوف، ثم ضعه بالقرب من الحائط، ستلاحظ أن البالون يلتصق بالحائط. بإمكانك أيضا ربط بالونين بخيط وامسح كل منهما بقطعة من الصوف، ستجد أن البالونين يتنافران.

تفسر هذه الظاهرة بتحصيل البالونين لشحنات ساكنة من الكهرباء. عند مسح البالون بالصوف، يتم نقل إلكترونات إلى البالون، مما يكسبه شحنة سالبة، بينما تحمل الأشياء المحيطة بالحائط شحنة موجبة، مما يؤدي إلى جذب البالون نحو الحائط، وتنافر البالونين بسبب وجود نفس الشحنة السالبة في كل منهما.

الكهرباء الساكنة يمكن أن تتسبب في الشعور بالصدمة، كما تتجلى في الصواعق الناتجة عن البرق والرعد. عندما تحتك السحب ببعضها، تكتسب بعضها شحنة سالبة، بينما تصبح الأجسام المعدنية الموجودة على سطح الأرض موجبة الشحنة. نتيجة لهذه الشحنات المتعاكسة، قد يحدث نقل للإلكترونات بين السحب والأرض أو بين السحب أنفسها، مما يؤدي إلى حدوث الصواعق.[1]

ثانيا: الكهرباء المتحركة

يتم إنتاج الكهرباء المتحركة عندما يمر التيار الكهربائي عبر مادة موصلة، مما يؤدي إلى تسخينها وارتفاع درجة حرارتها. يعرف التيار الكهربائي بأنه معدل تدفق الإلكترونات في المادة الموصلة، ويقاس بالأمبير. يمكن مقارنة التيار الكهربائي بتدفق الماء في قنوات الأنهار، حيث يشبه تدفق الإلكترونات حركة الماء بين نقاط مختلفة، وتشبه المادة الموصلة مجرى النهر حيث يتدفق التيار. يتكون الموصل الكهربائي عادة من النحاس. ومثلما يمكن قياس سرعة وطاقة تدفق الماء في النهر، يمكن أيضا حساب سرعة وطاقة التيار الكهربائي التي يولده خلال فترة زمنية معينة[2].

---

[1] سعيد خليفة الحموي، **أساسيات إنتاج الطاقة (البترول-الكهرباء-الغاز)**، الطبعة الأولى، الأكاديميون للنشر والتوزيع، الأردن، 2016، ص: 161-162.

[2] مراد الشوابكة، **أنواع الكهرباء**، موقع موضوع، نقلا عن الرابط التالي:
https://mawdoo3.com/%D8%A3%D9%86%D9%88%D8%A7%D8%B9_%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%87%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%A1 consulter le: samedi 06/04/2024, 14:23.

الفرع الثالث: تاريخ الطاقة الكهربائية

منذ أكثر من ألفي عام، عرف الكهرمان (واسمه اليوناني هو الإلكترون) عندما يفرك بمادة صوفية يكتسب خاصية جذب الأجسام الخفيفة. وحتى وقت قريب نسبيا، لم يكن هناك الكثير من المعلومات المعروفة عن الكهرباء، وهو الاسم الذي يطلق على التأثير الذي يفترض أنه ينقل خاصية الكهرمان المفروك؛ ولكن خلال المائة عام الماضية أو نحو ذلك حدثت زيادة كبيرة جدا في معرفتنا بهذا الفرع من الفلسفة الطبيعية.[1]

تأتي كلمة "كهرباء" في اللغة العربية من الكلمة "كهربا"، التي تشير إلى صمغ الشجرة الذي يجذب التبن عند حكه. أول من أدرك الظاهرة الكهربائية، وتحديدا البرق، كان العالم الأمريكي فرانكلين. الكهرباء هي إحدى أشكال الطاقة الطبيعية، وتم العثور عليها في الطبيعة عبر الصواعق والاحتكاك، لكنها كانت تعتبر صعبة وغير مجدية للاستخدام العملي.

في عام 1780، نجح العالم الإيطالي فولتا في إنتاج الكهرباء الكيميائية باستخدام وعاء فولتا المعروف. بعدها، قام العالم الفرنسي أمبير بتمييز التوتر (الجهد) عن التيار الكهربائي. وفي عام 1826، شرح العالم أوم ظاهرة توصيل الكهرباء عبر الموصلات ووضع تعريفا للجهد الكهربائي وتأثيره على الموصلات.

وفي عام 1827، اكتشف العلاقة بين التوتر والتيار، حيث أن المعادلة تمثل القانون الأساسي للكهرباء

حيث: تمثل U التوتر، و R المقاومة، و I شدة التيار.

تم تصنيف المواد بناء على تفاعلها مع التيار الكهربائي إلى ثلاث فئات:

- **المواد الناقلة:** وهي التي تبدي مقاومة بسيطة للتيار مثل المعادن؛
- **المواد العازلة:** وهي التي تبدي مقاومة عالية للتيار مثل الزجاج والمطاط؛
- **أنصاف الموصلات:** وهي التي تبدي مقاومة عالية في اتجاه واحد ومنخفضة في الاتجاه الآخر.[2]

[1] Robert M. Ferguson, James Blyth, Electricity, W.&R. Chambers, London and Edinburgh, 1882, p 61.

[2] أحمد نصير، يونس زين، **محاولة اقتراح نموذج SARIMA للتنبؤ بمبيعات الكهرباء الموجهة لزبائن التوتر المتوسط في الجزائر حالة: مديرية التوزيع ورقلة**، مجلة أبحاث اقتصادية وإدارية، العدد 24، جامعة محمد خيضر بسكرة، 2018، ص: 99-100.

المطلب الثاني: طرق توليد الكهرباء

توليد الطاقة الكهربائية هي عملية تحويل الطاقة من شكل إلى آخر، استنادا إلى مصادر الطاقة المتاحة في المناطق التي يتم فيها طلب الكهرباء، ووفقا لكميات الطاقة المطلوبة.

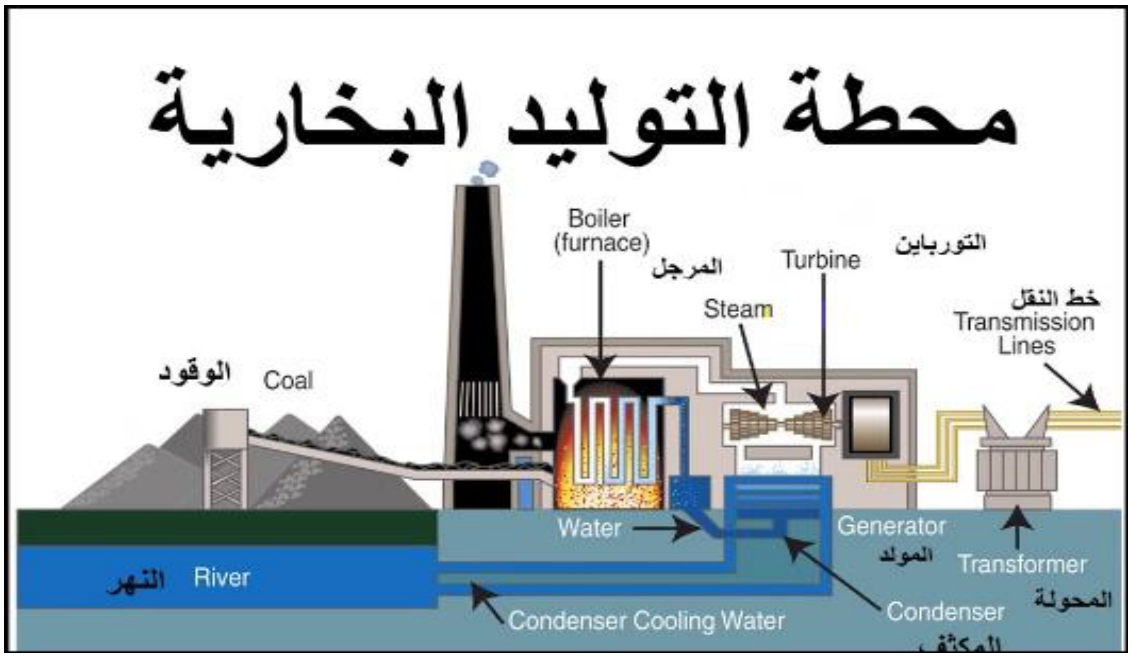
يتم تحديد نوع المحطة وموقعها وقدرتها بناء على أنواع محددة من مصادر الوقود وأساليب الاستهلاك، حيث تلعب أنواع المحطات الكهربائية ومصادر الوقود وكذلك طرق الاستهلاك دورا مهما في هذا السياق.

أولا: محطات التوليد البخارية

تعد محطات توليد الطاقة البخارية محولات للطاقة تستخدم مصادر مختلفة من الوقود، مثل الفحم الحجري، أو البترول السائل، أو الغاز الطبيعي، أو الغاز الصناعي، حسب توافرها. تتميز هذه المحطات بحجمها الكبير وتكاليفها المنخفضة مقارنة بقدراتها الضخمة، وتتمتع بالقدرة على تحلية المياه المالحة، مما يجعلها قادرة على الإنتاج المزدوج، خاصة في الدول التي تعاني من نقص مصادر المياه العذبة.

والشكل التالي يوضح كيفية عمل محطة التوليد البخارية:

الشكل رقم (1): مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد البخارية



المصدر: منتدى المهندس على الموقع:https://almohandes.org/t/%D8%B7%D8%B1%D9%82-%D8%AA%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%AF-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%87%D8%B1%D8%A8%D9%8A%D8%A9/31630

ثانيا: محطة التوليد النووية (Nuclear Power Station)

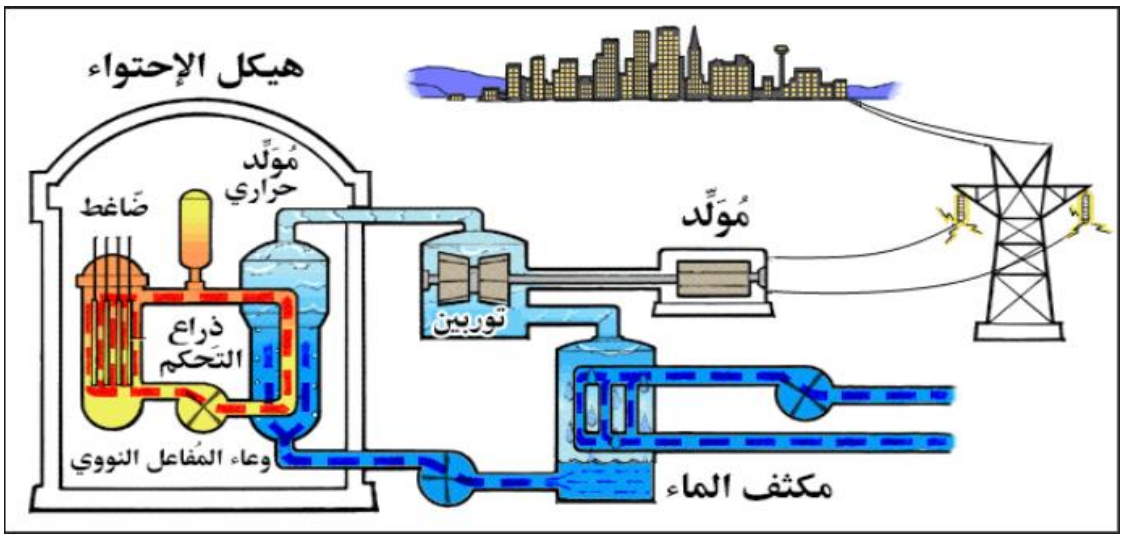
تعتبر نوع من محطات التوليد الحرارية، حيث تعتمد على نفس المبدأ: توليد البخار بواسطة الحرارة، ومن ثم استخدام البخار لتشغيل التوربينات التي بدورها تدير الجزء الدوار من المولد الكهربائي، مما يؤدي إلى توليد الطاقة الكهربائية على أطراف الجزء الثابت من المولد.

والاختلاف الرئيسي في محطات التوليد النووية يكمن في استخدام مفاعلات ذرية بدلا من الأفران التي يحترق فيها الوقود. في هذه المفاعلات، يتم إنشاء الحرارة عن طريق انشطار ذرات اليورانيوم نتيجة لتصادم الإلكترونات المتحركة في الطبقة الخارجية للذرة. تستخدم هذه الطاقة الحرارية الهائلة لغليان المياه في المراجل، مما يحولها إلى بخار عالي الضغط ودرجة حرارة مرتفعة للغاية.

تضم محطات التوليد النووية فرنا ذريا يتطلب وجود جدار عازل وواق من الإشعاع الذري. يتألف هذا الجدار من طبقات من الآجر الناري، والمياه، والحديد الصلب، مغطاة بطبقة من الأسمنت، بسمك يصل إلى متر واحد، وذلك لحماية العاملين في المحطة والبيئة المحيطة من التلوث بالإشعاعات النووية.

والشكل التالي يوضح كيفية عمل محطة التوليد النووية:

الشكل رقم (2): مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد النووية



المصدر: ويكيبيديا على الموقع:

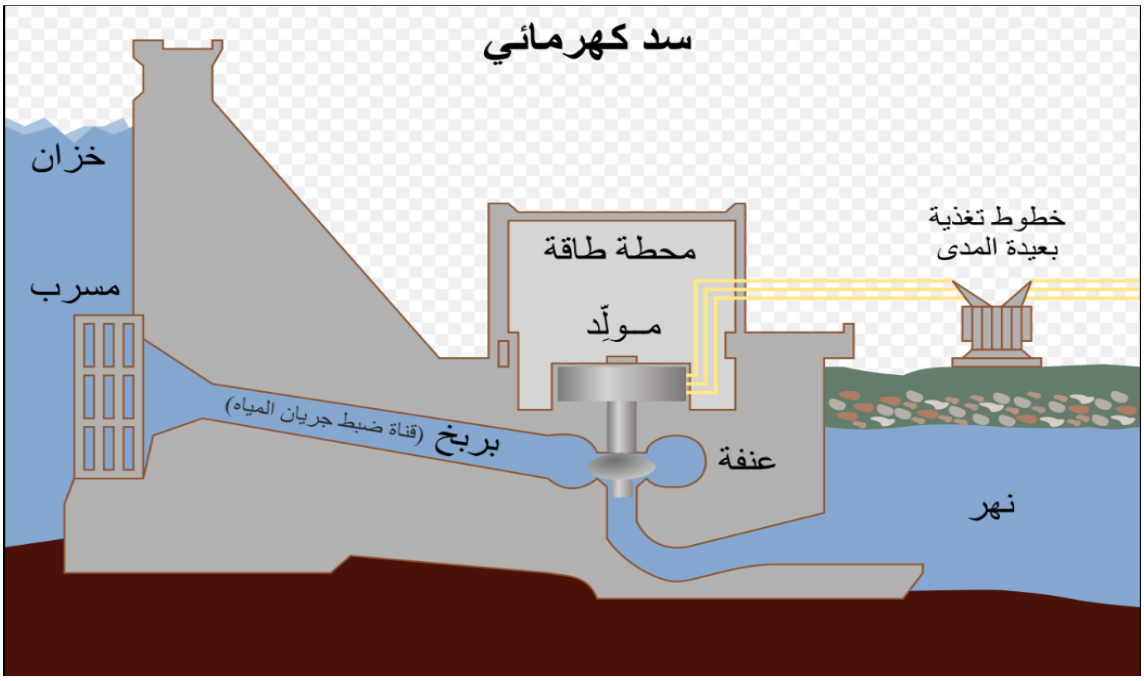
https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AD%D8%B7%D8%A9_%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9_%D9%86%D9%88%D9%88%D9%8A%D8%A9#/media/%D9%85%D9%84%D9%81:PressurizedWaterReactor-ar.gif

ثالثا: محطة التوليد المائية (Hydraulic Power Station)

في المناطق الجغرافية التي تشمل أماكن مرتفعة مثل البحيرات ومسارات الأنهار، يعتبر توليد الطاقة من المياه خيارا مهما، ويمكن تحقيق ذلك بشكل خاص في المناطق الجبلية التي تتميز بتساقط الأمطار وتدفق الأنهار. في هذه الحالات، يمكن استخدام انحدارات المياه لتوليد الكهرباء. أما في المناطق التي تكون فيها مجاري الأنهار لها انحدارات طفيفة، فيتطلب الأمر إنشاء سدود لتجميع المياه في الأماكن المناسبة. تقام محطات توليد الكهرباء عادة بالقرب من هذه السدود، كما هو الحال في حالة نهر النيل حيث تم بناء السد العالي بالتزامن مع إنشاء محطة لتوليد الكهرباء بسعة 1800 ميغاواط. وعلى سبيل المثال، في شمال سوريا على نهر الفرات، تم بناء سد ومحطة توليد كهرباء بسعة 800 ميغاواط.

والشكل التالي يوضح كيفية عمل محطة التوليد المائية:

الشكل رقم (3): مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد المائية



المصدر: ويكيبيديا على الموقع:

https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9_%D9%83%D9%87%D8%B1%D9%85%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D8%A9#/media/%D9%85%D9%84%D9%81:Hydroelectric_dam-ar.svg

رابعا: محطات التوليد من المد والجزر (Tidal Power Stations)

تعتبر المد والجزر ظواهر طبيعية مألوفة على سواحل البحار، حيث يشهد السكان ارتفاعا وانخفاضا في مستوى مياه البحر خلال فترات محددة من اليوم. ورغم أنهم يلتقطون هذه الظواهر بدقة، قد لا يكونون

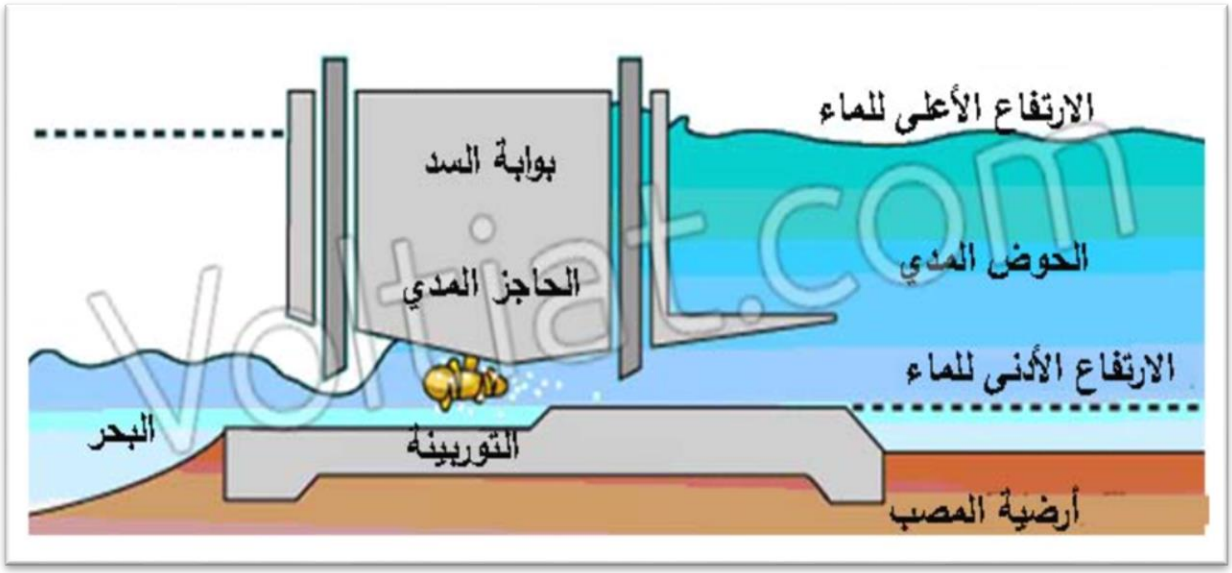
على دراية بأن هذه الحركة المد والجزر ناتجة عن تأثير جاذبية القمر على المياه. يدور القمر حول الأرض في مدار بيضاوي الشكل، يدور دورة كل شهر هجري، بينما تدور الأرض حول نفسها كل 24 ساعة.

في ليالي البدر، حينما يكون القمر مضيئا بقوة في السماء، يكون أثره الجاذبي قويا، مما يؤدي إلى ارتفاع مياه البحر. وبعد مرور 12 ساعة، يتم الاقتراب من الوقت الذي يكون فيه القمر على النقيض تماما، حيث يبتعد عن المكان، وبالتالي يقل ارتفاع مستوى المياه وينخفض.

تستخدم بعض المناطق هذه الطاقة الطبيعية لإنتاج الطاقة الكهربائية، فقد تم إنشاء محطة توليد كهرباء بقدرة 400 ميغاواط، حيث تثبت توربينات خاصة في مجرى المد لتدويرها بواسطة المياه الصاعدة، ثم تعاد المياه الهابطة لتدور التوربينات مرة أخرى.

والشكل التالي يوضح كيفية عمل محطة التوليد بالمد والجزر:

الشكل رقم (4): مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد بالمد والجزر



المصدر: فولتيات على الموقع: https://www.voltiat.com/idea-of-generating-electricity-from-tides/

خامسا: محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي (Internal Combustion Engines)

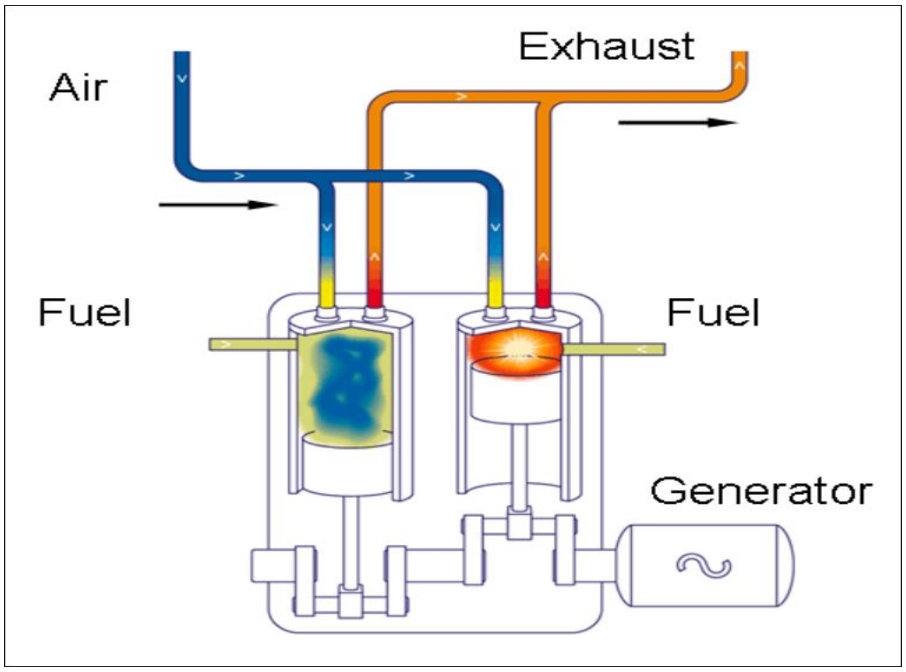
عبارة عن آلات تستخدم الوقود السائل، حيث يختلط بالهواء بنسب محددة ويحترق داخل غرف احتراق. ينتج عن هذا الاحتراق غازات ذات ضغط عال، قادرة على تحريك المكبس في حالة محركات الديزل، أو تدوير التوربينات بحركة دورانية في حالة التوربينات الغازية. تنقسم هذه الآلات بين نوعين:

1- توليد الكهرباء بواسطة الديزل (Diesel Power Station)

تستخدم محطات الديزل في توليد الكهرباء في العديد من المناطق في دول الخليج، خاصة في المدن الصغيرة والقرى. تتميز هذه المحطات بسرعة البدء والتوقف، ولكنها تتطلب كمية كبيرة نسبيا من الوقود، مما يؤدي إلى ارتفاع تكلفة الكهرباء التي تنتجها، حيث تعتمد هذه التكلفة على أسعار الوقود. علاوة على ذلك، فإن وحدات محطات الديزل غالبا ما تكون ذات سعة محدودة، حيث لا تزيد عادة عن 3 ميغاواط. تستخدم هذه المحطات بشكل شائع في حالات الطوارئ أو خلال فترات الطلب القصوى، حيث يتم تشغيل عدة محطات بالتوازي لتلبية احتياجات مراكز الاستهلاك.

والشكل التالي يمثل كيفية عمل محرك الديزل:

الشكل رقم (5): مخطط يوضح كيفية عمل محرك الديزل



المصدر: مهندس نت على الموقع: https://muhandes.net/?p=1504

2- توليد الكهرباء بالتوربينات الغازية (Gas Turbine)

محطات توليد الكهرباء التي تعمل بالتوربينات الغازية تعتبر حديثة نسبيا في العالم، ويظهر الشرق الأوسط كمنطقة رائدة في استخدامها. تتنوع هذه المحطات في السعة والحجم، حيث تتراوح بين 1 ميغاواط و250 ميغاواط، وعادة ما تستخدم في فترات الطلب الكهربائي الذروي في البلدان التي تمتلك محطات توليد

بخارية أو مائية. وتتميز هذه المحطات بقدرتها على البدء والإيقاف بسرعة، حيث يتراوح زمن التشغيل بين دقيقتين وعشرة دقائق.

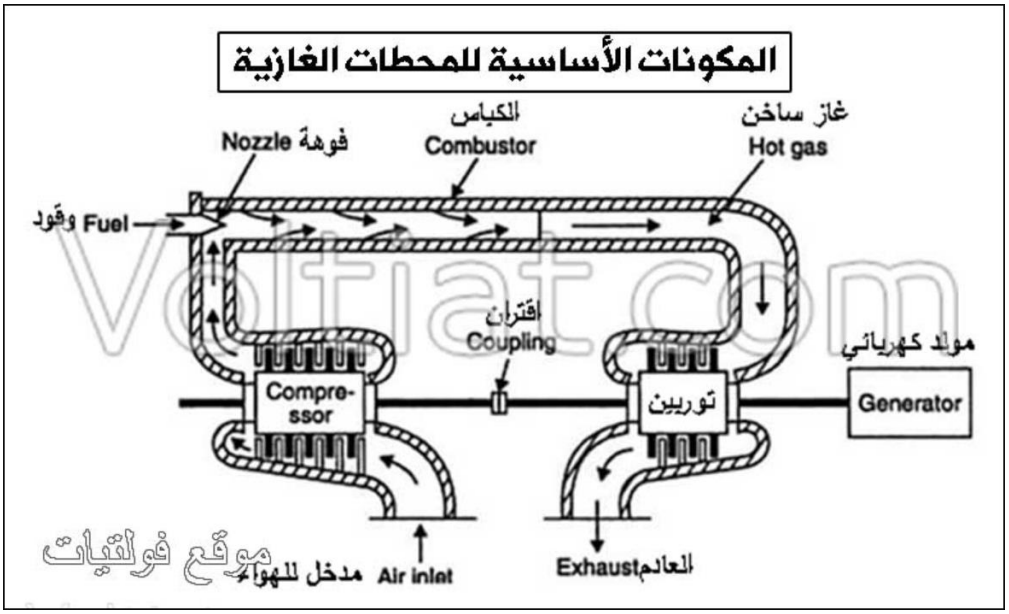
في مناطق كثيرة بالشرق الأوسط، وخاصة في المملكة العربية السعودية، تستخدم التوربينات الغازية لتوليد الكهرباء على مدار الساعة، بما في ذلك فترات الذروة. وتتوفر في الأسواق اليوم وحدات متنقلة من هذه المولدات للاستخدام في حالات الطوارئ، بمختلف الأحجام والقدرات.

تتميز هذه المولدات بالبساطة والتكلفة المنخفضة نسبيا، وسهولة التركيب والصيانة، ولا تحتاج إلى كميات كبيرة من المياه للتبريد. كما يمكن استخدام مجموعة متنوعة من الوقود، مثل البترول الخام النقي والغاز الطبيعي والغاز الثقيل. وتتميز أيضا بسرعة التشغيل والإيقاف.

مع هذه المزايا، تظهر بعض العيوب، مثل ضعف الكفاءة القياسية التي تتراوح بين 15% و25%، بالإضافة إلى عمر محدود نسبيا واستهلاك كميات أكبر من الوقود مقارنة بمحطات التوليد الحرارية والبخارية.

والشكل التالي يمثل كيفية عمل محطة التوليد بالتوربينات الغازية:

الشكل رقم (6): مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد بالتوربينات الغازية



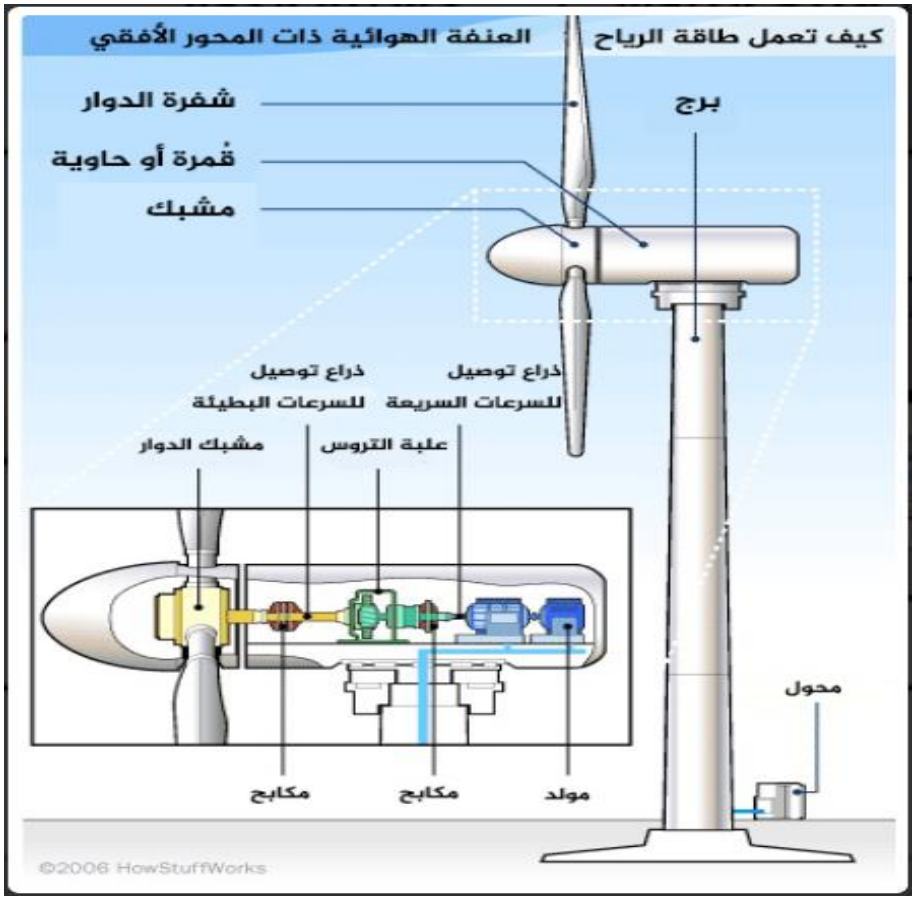
المصدر: فولتيات على الموقع: https://www.voltiat.com/components-of-a-gas-power-plant/

سادسا: محطة توليد الكهرباء بواسطة الرياح (Wind Power Station)

يمكن الاستفادة من الطاقة الريحية في المناطق التي تتميز بتدفق مستمر للرياح عبر استخدام مراوح ضخمة وعالية لتوليد الكهرباء. على سبيل المثال، هناك مدن صغيرة في الولايات المتحدة وأوروبا تعتمد على محطات توليد الكهرباء من الرياح، حيث يصل طول شفرات مراوحها إلى 25 مترا. في الماضي، كانت طواحين الهواء الشهيرة في أوروبا تستخدم لتشغيل الطواحين الحجرية، وفي الوقت الحاضر، يمكن رؤية العديد من هذه المراوح على الساحل الشرقي لإسكتلندا، حيث تولد الكهرباء، بالإضافة إلى رؤيتها في المتنزهات على الشواطئ الشمالية في لبنان حيث تستخدم لرفع المياه من البحر لإنتاج الملح.

والشكل الموالي يمثل كيفية عمل محطة التوليد بالرياح:

الشكل رقم (7): مخطط يوضح مكونات وآلية عمل محطة التوليد بالرياح



المصدر: ناسا بالعربي على الموقع: https://nasainarabic.net/main/articles/view/wind-power

سابعا: محطة التوليد بالطاقة الشمسية (Solar power station)

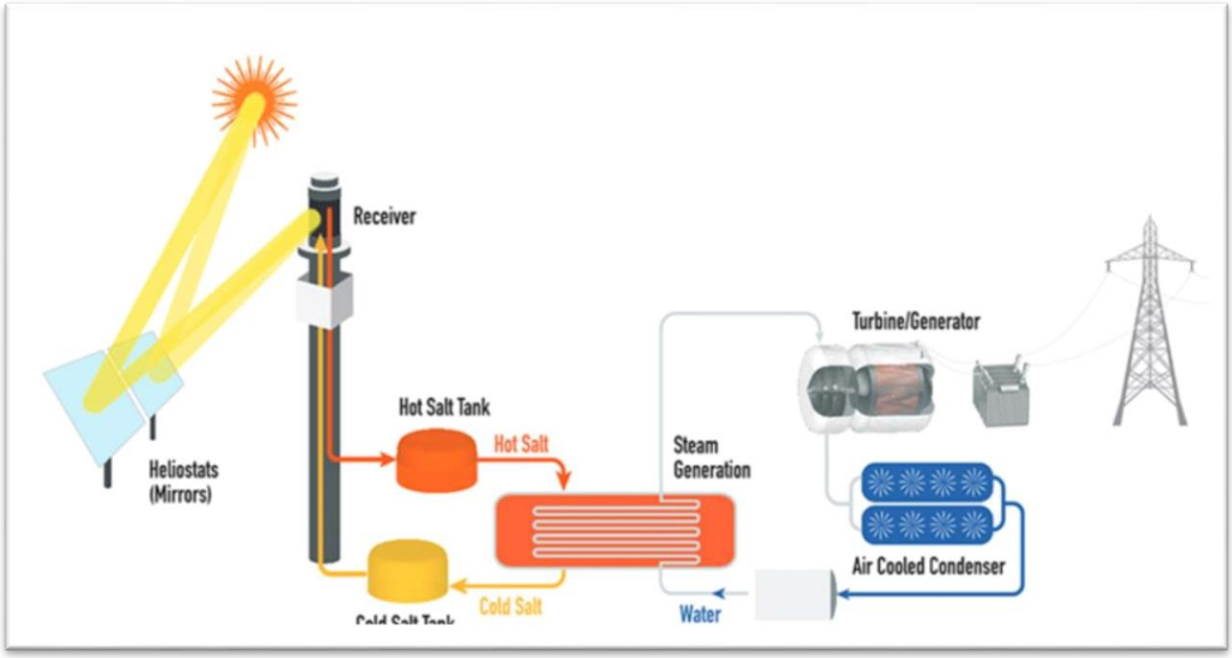
يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية وحرارية باستخدام آليتين رئيسيتين: التحويل الكهروضوئي والتحويل الحراري. في عملية التحويل الكهروضوئي، تحول الخلايا الشمسية الإشعاع الضوئي مباشرة إلى طاقة كهربائية باستخدام مواد مثل السيليكون والجرمانيوم. تم اكتشاف هذه الظاهرة في نهاية القرن التاسع عشر، حيث وجد العلماء أن الضوء يمكنه تحرير الإلكترونات من بعض المعادن، وأن الضوء ذو الطول الموجي الأقصر يكون له تأثير أكبر في هذه العملية. ألبرت أينشتاين حصل على جائزة نوبل في عام 1921 لشرحه لهذه الظاهرة.

تتميز الخلايا الشمسية بعدم وجود أجزاء متحركة وعدم استهلاك وقود، ولا تلوث الجو، وتتميز بطول عمرها وقلة الصيانة المطلوبة. يمكن استخدام هذه التقنية بفعالية من خلال تثبيت وحدات شمسية على أسطح المباني دون الحاجة إلى مركزات ضوئية، مما يتيح استخدامها لتوليد الكهرباء. تتمتع كفاءتها عادة بنسبة تتراوح حوالي 20%. يمكن استخدام الطاقة الشمسية أيضا لتسخين المياه وتوفير الحرارة للتدفئة، بالإضافة إلى استخدامها في تشغيل أنظمة الاتصالات وإنارة الطرق وضخ المياه والاستخدامات الأخرى.[1]

[1] موقع معهد علوم الهندسة العالي للتدريب، **طرق توليد الطاقة الكهربائية**، نقلا عن الرابط التالي:
https://esi.edu.sa/%D8%B7%D8%B1%D9%82-%D8%AA%D9%88%D9%84%D9%8A%D8%AF-%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%87%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D8%A9/ consulter le vendredi 23/02/2024, 17:02.

والشكل الموالي يمثل كيفية الاستفادة من الطاقة الشمسية في انتاج الطاقة الكهربائية:

الشكل رقم (8): مخطط يوضح كيفية الاستفادة من الطاقة الشمسية في انتاج الطاقة الكهربائية



المصدر: اربرينا على الموقع: https://www.arabrena.com/961/

المطلب الثالث: تخزين، نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية

بعد توليد وإنتاج الطاقة الكهربائية تمر ببضعة مراحل حتى تصل إلى مرحلة استعمالها النهائي (أي المستهلك النهائي)، وتتمثل هذه المراحل في:

أولا: التخزين

على الرغم من أن أنظمة الطاقة الكهربائية تعمل حاليا بشكل فعال دون الحاجة إلى تخزين الطاقة، إلا أن موثوقيتها محدودة. فعلى سبيل المثال، في الشبكة الكهربائية السورية، تضطر بعض المناطق أحيانا إلى فصل الكهرباء جزئيا في أوقات الذروة. ولذلك، يعد تخزين الطاقة الكهربائية (Electric Energy Storage و باختصار EES) حلا فعالا لتلبية احتياجات الطاقة في هذه الأوقات وتحسين الموثوقية والأداء. يعمل نظام تخزين الطاقة على تخزين الطاقة المتاحة من الشبكة خارج أوقات الذروة، واستعادتها خلال هذه الفترات. بالإضافة إلى ذلك، يساهم نظام تخزين الطاقة في تنظيم توتر وتردد الشبكة. وفي الوقت الحاضر، تركز الدراسات والأبحاث على تطوير وتحسين تقنيات تخزين الطاقة

الكهربائية وتقليل تكاليفها. وقد أفضت التطورات الأخيرة إلى إنتاج عناصر جديدة لتخزين الطاقة بأداء متميز.

تكتسب عملية تخزين الطاقة الكهربائية أهمية بالغة في تعزيز أداء وكفاءة أنظمة الطاقة المتجددة، إذ تعتبر المفتاح الأساسي لاستغلال هذه المصادر بشكل واسع وعلى نطاق تجاري، مما يسهم في زيادة مشاركتها في تلبية الطلب وتقليل التكاليف.

يمكن تخزين الطاقة المتجددة بفترات قصيرة أو طويلة حسب الحاجة، ويشمل ذلك عملية التخزين والاسترجاع (الشحن والتفريغ). يعتمد تصميم أنظمة التخزين على عوامل متعددة، مثل أوقات توفر الطاقة، ونوع وسيط التخزين المستخدم، ومعدل فقد الطاقة خلال عمليات التخزين والاسترجاع، بالإضافة إلى تكلفة تلك الأنظمة والحمل الكهربائي المطلوب.

تعتبر الطاقة الكهربائية من بين الأشكال الصعبة للتخزين مقارنة بالطاقة الحرارية والميكانيكية. لذا، يتم تحويلها عادة إلى أشكال أخرى يسهل تخزينها. هناك عدة طرق لتخزين الطاقة الكهربائية، بما في ذلك التخزين الحراري والميكانيكي والكيميائي والمغناطيسي.

تخزن الطاقة الحرارية بواسطة الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة. أما الطاقة الكهربائية، فغالبا ما تخزن في المكثفات، في حين يتم تخزين الطاقة الميكانيكية على شكل طاقة حركية أو طاقة كامنة في مخزنات الهواء المضغوط أو المياه العالية أو الحدافة.

أما الطاقة الكيميائية، فتخزن عادة عن طريق التفاعلات الكيميائية العكوسة أو تخزين الوقود الناتج عن هذه التفاعلات. بينما يتم التخزين المغناطيسي باستخدام موصلات فائقة الناقلية، التي تصنع من مواد تتمتع بمقاومة منخفضة جدا عند درجات الحرارة المنخفضة.

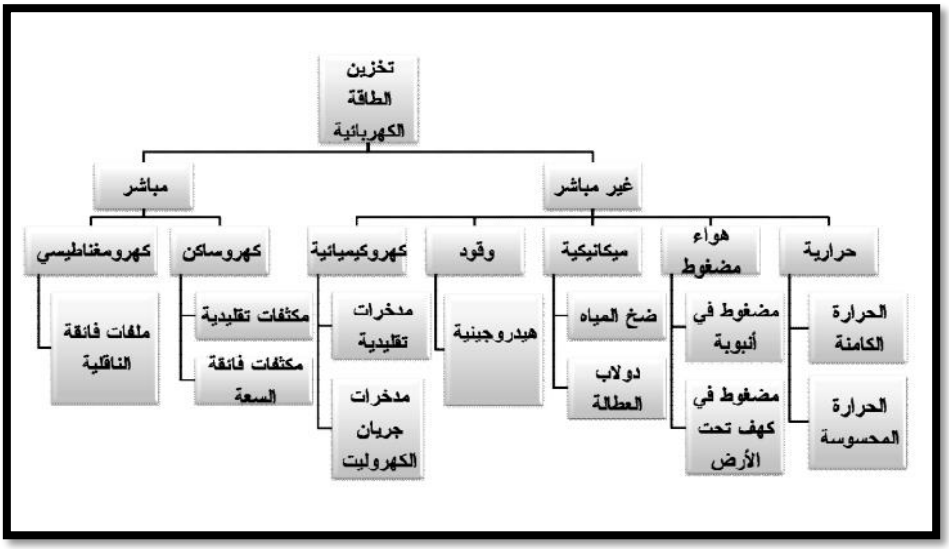
ومنه نجد أنه يتوافر الآن العديد من نظم تخزين الطاقة (EES)، ومن أهمها:

- التخزين الكهربائي بالمكثفات الكهربائية (Capacitors EES).
- التخزين المغناطيسي (Magnetic EES).
- التخزين بالهيدرجين (Hydrogen EES).
- التخزين الكهروكيمياوي (Electrochemical EES).
- التخزين بدولاب العطالة (Flywheel EES).
- التخزين المائي (Pumped hydro EES).

- التخزين بالهواء المضغوط (Compressed air EES).
- التخزين الحراري (Thermal EES).[1]

يوضح الشكل التالي مختلف وسائل تخزين الطاقة الكهربائية:

الشكل رقم (9): مخطط يوضح وسائل تخزين الطاقة الكهربائية



المصدر: محمد هاشم أبو الخير، ياسر دياب، مرجع سبق ذكره، ص: 31.

ثانيا: النقل والتوزيع

بعد توليد وتخزين الكهرباء من محطات القوى تأتي مرحلة نقلها وتوزيعها إلى المستخدمين الذين يتواجدون في المدن والقرى وغيرها من مناطق الاستهلاك مثل المصانع، فكلما زادت سعة المولد كلما أمكن الحصول على كهرباء أكثر أين يمكن أن يصل جهدها إلى حوالي 25000 فولت، والجهد هو قياس للقوة الدافعة الكهربية المارة في كابلات النقل، فهو القوة التي تدفع الإلكترونات في الدائرة الكهربية. في بداية الأمر توجه الكهرباء الناتجة من محطات القوى الكهربية إلى محولات توجد داخل المحطات لتتولي رفع الجهد إلى حوالي 400000 فولت، يفيد هذا الإجراء في نقل أو ضخ الكهرباء لمسافات بعيدة، حيث يعمل الجهد المرتفع على نقلها هذه المسافات بكفاءة عالية. وتصنع كابلات الجهد المرتفع من النحاس أو الألمونيوم بسبب مقاومتها المنخفضة، إلا أن مقاومة الكابلات تؤدي إلى فقد جزء من الكهرباء فتتحول إلى حرارة، وهذه الكهرباء يتم نقلها إلى محطات المحولات التي تتواجد بالقرب من مناطق الاستهلاك، لتقوم بخفض الجهد المرتفع إلى ما يعرف بالجهد المنخفض.

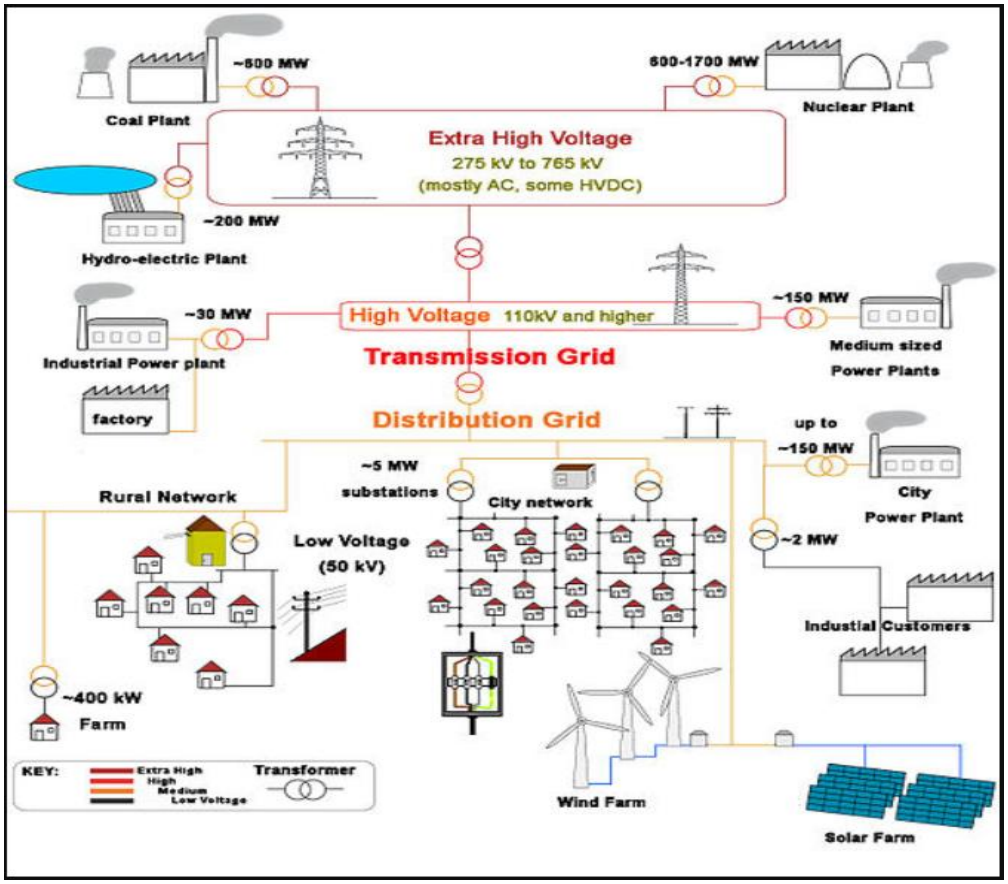
[1] محمد هاشم أبو الخير، ياسر دياب، **تخزين الطاقة الكهربائية**، جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، سوريا، 2015، ص: 13-14.

ومن محطة المحولات يتم نقل الكهرباء في مستويات جهد مختلفة إلى مناطق الاستهلاك القريبة منها، والغرض من اختلاف مستويات الجهد هو أن تصل الكهرباء بالجهد المطلوب إلى مناطق الاستهلاك، والتي تختلف احتياجاتها من الكهرباء حسب أحمالها، والحمل هو الكهرباء التي تحتاجها الأجهزة عند المستخدم، فالمصانع تحتاج قدرا من الكهرباء غير الذي تحتاجه المنازل، لذا يخفض الجهد بالقرب من المنازل إلى حوالي 220 فولت حتى يتناسب مع تشغيل الأجهزة المنزلية، مثل الأفران ومجففات الملابس.

ويتم نقل خطوط القوى الكهربية بطريقتين، إما تمد عبر أبراج خاصة وتسمى كابلات هوائية أو تدفن في الأرض وتسمي كابلات أرضية، هذا وتصمم كابلات نقل القوي على أساس حمايتها من العوامل الجوية، مثل العواصف الرملية والثلجية، التي يمكن أن تتسبب في تحطيم هذه الكابلات.[1]

ويبين الشكل التالي شبكة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية:

الشكل رقم (10): شبكة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية



المصدر: Electricity encyclopedia على الموقع: https://electricity-encyclopedia.blogspot.com/2022/12/electrical-distribution.html

[1] سعيد خليفة الحموي، مرجع سق ذكره، ص: 175-176.

المبحث الثالث: واقع الكهرباء في الجزائر

سيتم التطرق في هذا المبحث إلى الطاقة الكهربائية في الجزائر وكيفية استغلالها.

المطلب الأول: تطور الطاقة الكهربائية في الجزائر

شهد قطاع الطاقة الكهربائية في الجزائر تحولا ملحوظا خلال السنوات الأخيرة، حيث اعتمدت الحكومة استراتيجية متعددة لتنويع مصادر الطاقة بهدف تلبية الاحتياجات المتنامية للبلاد. وقد تم تعزيز إنتاج الكهرباء عبر توسيع قاعدة التوليد، وذلك بفضل مشاريع الطاقة المتجددة مثل محطات الطاقة الشمسية والرياح. يعكس هذا التحول التزام البلاد بتحقيق التنمية المستدامة والحد من الاعتماد الكبير على الوقود الأحفوري.

الفرع الأول: تطور إنتاج الكهرباء

منذ استقلال الجزائر، شهد نظام إنتاج ونقل وتوزيع الكهرباء تغيرات كبيرة من جانبي المستوى والهيكل. فيما يتعلق بالإنتاج، فقد تضاعفت القدرة المثبتة أكثر من ثلاث مرات. وبالتحليل الدقيق لهذا التطور، نجد ثلاث مراحل أساسية تواكبت مع مراحل التنمية الاقتصادية والاجتماعية في الجزائر.

المرحلة الأولى كانت شبه الركود، حيث لم تتجاوز زيادة القدرة المثبتة 1.54% بسبب ضعف النشاط الاقتصادي في الفترة من عام 1963 إلى عام 1971. ثم جاءت مرحلة النمو، حيث زادت القدرة المثبتة بمقدار 20.1%، حيث ارتفعت من 652 ميغاواط إلى 3398 ميغاواط. تركزت جهود النمو هذه في إنشاء محطات توليد الغاز والتي زادت بمعدل 22 مرة، تلتها محطات توليد البخار التي زادت بمعدل 6 مرات، وذلك خلال الفترة من عام 1972 إلى عام 1986.

ثم جاءت المرحلة التالية من المتابعة للنمو، حيث استمرت زيادة القدرة المثبتة ولكن بوتيرة أقل، نظرا لتحقيق الجزائر مستوى معين من الاكتفاء الذاتي بالكهرباء، بالإضافة إلى فوائد تطوير ترابط الشبكات، مما يسهل عملية توجيه الطاقة بين محطات الإنتاج ومراكز الاستهلاك. هذا التطور سمح بتعظيم استخدام كل محطات الإنتاج لتلبية الطلب، وتحسين نوعية الخدمة وتقليل تكاليف الاستغلال. بفضل التطوير في الترابط، أصبح من الأقلية الحاجة إلى وجود احتياطات في مختلف أنحاء الشبكة، مما يقلل من الحاجة إلى إنشاء محطات جديدة.

تحولت بنية الإنتاج لصالح المحطات الحرارية على حساب المحطات الكهرومائية. كما تم تعزيز شبكة النقل والتوزيع لتواكب هذه التغيرات في بنية الإنتاج، مما يسمح بنقل وتوزيع كميات أكبر من الطاقة الكهربائية. يأتي ذلك استجابة لتطوير القطاعات الاقتصادية المختلفة، وزيادة قدراتها الإنتاجية، وتوسيع نطاق أنشطتها. بالإضافة إلى ذلك، يهدف هذا التطوير إلى توفير الكهرباء لعدد أكبر من سكان المدن والأرياف، مما يسهم في رفع مستوى المعيشة.

شهد إنتاج الكهرباء تطورا ملحوظا بالتوازي مع نمو الاستهلاك، حيث ارتفع الإنتاج من 1691.4 جيغاواط ساعي في عام 1970 إلى 15451 جيغاواط ساعي، بمعدل نمو سنوي يقارب 12%، ووصل إلى 36936 جيغاواط ساعي في عام 2007.

فيما يخص الشبكات المنعزلة في الجنوب، شهد الإنتاج زيادة سريعة نتيجة تعزيز التنمية السطحية. ويعتمد الإنتاج بشكل رئيسي على المصدر الحراري (أكثر من 96%)، حيث تولد المحطات الحرارية البخارية 1943 ميجاوات، بينما تولد العنفات الغازية 1920 ميجاوات. في المقابل، في عام 1970، كان هذا النمط من الإنتاج يشكل حوالي 64% فقط، مع نسبة 3.5% للعنفات الغازية، وطاقة جاهزة تبلغ 288 ميجاوات للمحطات البخارية و56 ميجاوات للعنفات الغازية. أما باقي الإنتاج، فيتوزع بين المحطات المائية ذات القدرات المحدودة التي تنتج 285 ميجاوات وتوليد يتراوح بين 300 و600 جيجاوات ساعي، بالإضافة إلى محطات الديزل المخصصة للمناطق الجنوبية المعزولة غير المتصلة بشبكة الغاز الطبيعي.[1]

الفرع الثاني: نقلها وتوزيعها

بعد الاستقلال، كانت شبكة النقل والتوزيع الكبرى تتألف بشكل أساسي من خط يربط بين الشرق والغرب، ويربط المراكز الرئيسية للإنتاج والاستهلاك في شمال الجزائر باستخدام خط بقوة 150 كيلو فولت. وبسبب التطور السريع في الإنتاج والاستهلاك منذ عام 1970، تم إنشاء نقاط عبور هامة حيث تم استبدال معظم خطوط الترابط القديمة بشبكة 150 كيلو فولت بخطوط جديدة بقوة 220 كيلو فولت في عام 1976 (حوالي 2000 كيلومتر من الخطوط و8 مراكز). أما الخطوط المتبقية بقوة 60 كيلو فولت، فهي حاليا تستخدم أساسا للتوزيع الإقليمي نحو شبكات التوزيع وللعملاء الصناعيين الرئيسيين. تم إنشاء حوالي 700 كيلومتر من الخطوط خلال 20 سنة، مما يعكس الجهود المبذولة لتطوير شبكة النقل، التي زاد طولها من 3615 كيلومترا في عام 1970 إلى 10954 كيلومترا في عام 1990.

[1] بن أحمد أحمد، مرجع سبق ذكره، ص: 43-44.

في عام 1990، كانت شبكة النقل والترابط تمتد على طول 5000 كيلومتر، مزودة بـ 34 مركزا للتوتر العالي. توزعت هذه المراكز على فئات مختلفة: 60 كيلو فولت بنسبة حوالي 45%، 90 كيلو فولت بنسبة 3.7%، و220 كيلو فولت بنسبة 50.7%. جاءت الفئة الأخيرة في عام 1976 لتحل محل فئة 150 كيلو فولت التي لم تعد تمثل حاليا سوى 0.6%. أما شبكات توزيع خطوط التوتر المتوسط (5.5 كيلو فولت، 10 كيلو فولت، 30 كيلو فولت) وخطوط التوتر المنخفض (220 فولت و380 فولت). كما شهدت خطوط التوتر المنخفض تطورا ملحوظا تجاوز باقي الفئات، حيث تضاعف طول هذه الشبكات بأكثر من 11 مرة في العقد الأخير، حيث ارتفع من 21800 كيلومتر إلى 72530 كيلومتر. سيتم البدء في دراسات لتحديد فترة إدخال أعلى مستويات التوتر بهدف الوصول إلى نسبة كهربة تغطي 95% من كل ولاية. يعتبر هذا البرنامج ذو طابع اجتماعي يهدف إلى تقليص الفوارق الجهوية وضمان حد أدنى من الرفاهية لسكان الريف، نظرا للزيادة السريعة في الطلب الناتجة عن سياسة التصنيع وتطبيق المخطط الوطني للكهربة. يجدر بالذكر أن توسع شبكة التوتر المنخفض وجزء كبير من شبكة التوتر المتوسط هو نتيجة مباشرة لتطبيق برنامج المخطط الوطني للكهربة.

أما بالنسبة للتوزيع، فما زالت هناك احتياجات كبيرة في مجال التوصيل يجب تلبيتها، وهي تتزايد باستمرار. لذا فإن القدرة على تلبية هذا الطلب تظل مرتبطة بشكل كبير على المدى الطويل بالقدرة على التغلب على القيود الرئيسية وهي: التمويل، الإمكانيات ووسائل الإنجاز، والتحكم في المشاريع.[1]

الفرع الثالث: منتجوها

تتكفل الشركة الوطنية للكهرباء والغاز (سونلغاز) بأكثر من 97% من إنتاج الكهرباء في البلاد، بينما يتولى الباقي منتجون ذاتيون عموميون يستهلكون كامل إنتاجهم الذاتي. تأسست سونلغاز بموجب مرسوم 59-69 الصادر في 28 يوليو 1969 لتحل محل المؤسسة العمومية كهرباء وغاز الجزائر (Electricité et Gaz D'Algerie) التي أنشئت في عام 1948 بعد تأميم قطاعي الكهرباء والغاز.

تشمل أنشطة سونلغاز ما يلي:

- إنتاج ونقل وتوزيع الكهرباء وتوسيع شبكة الكهرباء في البلاد.
- نقل وتوزيع وتوسيع استخدام الغاز للاستهلاك الوطني.

[1] بن أحمد أحمد، مرجع سبق ذكره، ص: 45.

أهم المنتجين الذاتيين ينتمون إلى القطاعات التالية:

- قطاع المحروقات.
- قطاع الكيمياء، المطاط، والمواد البلاستيكية.
- قطاع الصناعات المعدنية الحديدية، الميكانيكية والكهربائية (I.S.M.M.E).
- قطاع الصناعات الغذائية: التبغ والكبريت.
- قطاع المناجم والمحاجر.
- قطاع السيليلوز والورق.

من حيث القدرة الإنتاجية، يتمتع قطاع المحروقات بالنصيب الأكبر، يليه قطاع الكيمياء والمطاط والمواد البلاستيكية، ثم قطاع (I.S.M.M.E). أما من حيث إنتاج الطاقة، يأتي قطاع الكيمياء والمواد البلاستيكية والمطاط في المرتبة الأولى، يليه قطاع (I.S.M.M.E)، ثم قطاع المحروقات. يعود هذا الاختلاف في الترتيب إلى فترات الاستهلاك الطويلة في قطاعي الكيمياء والمطاط و (I.S.M.M.E) مقارنة بالفترة المحدودة في قطاع المحروقات.[1]

المطلب الثاني: استهلاك واستعمال الطاقة الكهربائية

الفرع الأول: تطور استهلاك الكهرباء في الجزائر

الكهرباء من أحد أهم العوامل التي تساعد على التنمية والنمو الاقتصادي في الجزائر، وقد شهدت البلاد تطورا كبيرا في مجال الكهرباء على مدار السنوات الأخيرة. في البداية، كانت إنتاجية الكهرباء في الجزائر محدودة ولم تستطيع تلبية الاحتياجات المتزايدة للسكان والصناعة. ولكن مع تطور البنية التحتية والتكنولوجيا، تمكنت الجزائر من زيادة إنتاجية الكهرباء وتوفيرها للعديد من المناطق النائية.

[1] بن أحمد أحمد، مرجع سبق ذكره، ص: 47.

والجدول التالي يبين الاستهلاك الوطني للكهرباء في الجزائر من 1980 إلى 2021:

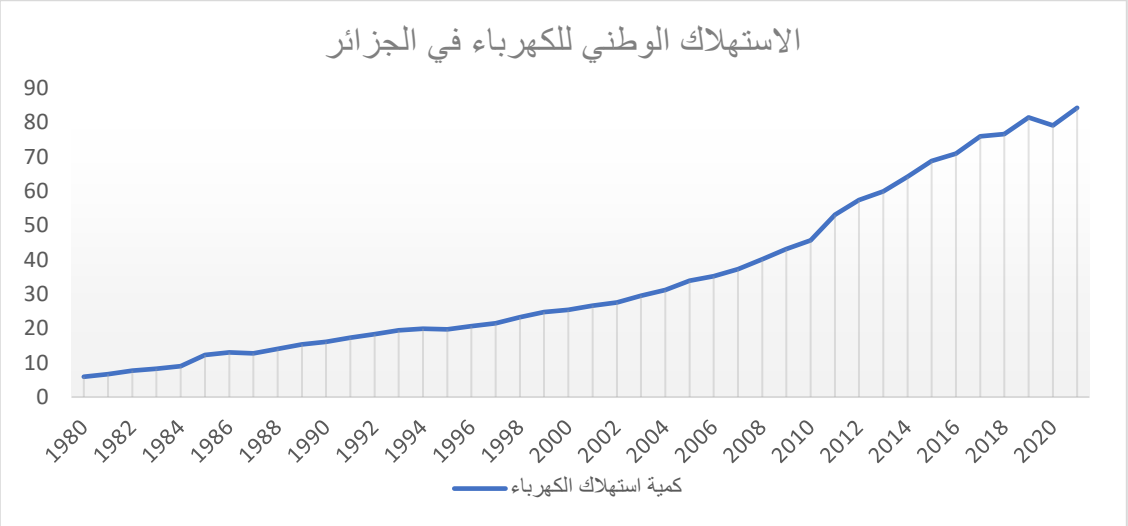
الجدول رقم (1): الاستهلاك الوطني للكهرباء في الجزائر في الفترة من 1980 إلى 2021

السنة	الكهرباء	السنة	الكهرباء	السنة	الكهرباء	السنة	الكهرباء	السنة	الكهرباء
1980	5.9	1989	15.3	1998	23.3	2007	37.3	2016	71
1981	6.7	1990	16.1	1999	24.8	2008	40.2	2017	76
1982	7.7	1991	17.3	2000	25.4	2009	43.1	2018	76.6
1983	8.2	1992	18.3	2001	26.6	2010	45.7	2019	81.5
1984	9	1993	19.4	2002	27.6	2011	53.1	2020	79.2
1985	12.3	1994	19.9	2003	29.5	2012	57.4	2021	84.3
1986	13	1995	19.7	2004	31.2	2013	59.9		
1987	12.7	1996	20.7	2005	33.9	2014	64.2		
1988	14	1997	21.5	2006	35.2	2015	68.8		

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على معطيات bp على الموقع: https://www.bp.com/

مما هو ملاحظ من الجدول أن استهلاك الكهرباء كان سنة 1980 حوالي 5.9 تيرا واط ساعي والتي ارتفعت بعدها إلى أن وصلت 16.1 تيرا واط ساعي سنة 1990 بمتوسط نمو 10.95% سنويا، واستمرت في الارتفاع لسنة 2000 بقيمة 25.4 تيرا واط ساعي بمتوسط نمو 4.7% سنويا، وقدرت أيضا كمية الاستهلاك سنة 2010 ب 45.7 تيرا واط ساعي بمتوسط نمو 6.06% سنويا، واستمرت في الزيادة حتى سنة 2019 حيث كانت الكمية 81.5 تيرا واط بمتوسط نمو 6.71% سنويا، والتي انخفضت في سنة 2020 ب 2.82% إلى 79.2 تيرا واط، وعاودت الزيادة في سنة 2021 بكمية قدرت ب 84.3 تيرا واط ساعي.

الشكل رقم (11): منحنى يبين تطور الاستهلاك الوطني للكهرباء في الجزائر ما بين 1980 و2021



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على الجدول رقم (1).

نستنتج من المنحنى السابق أن تطور استهلاك الكهرباء في الجزائر مر بثلاث مراحل في الفترة من 1980 إلى 2021:

- **من 1980 إلى 2019:** مرحلة ارتفاع وذلك راجع لتطور وتعدد المعدات والأجهزة التي تستهلك الكهرباء والاستعمالات الواسعة لها بالإضافة إلى الأمن والاستقرار في البلاد.

- **سنة 2020:** مرحلة انخفاض وذلك بسبب الأوضاع الصحية التي كانت سائدة (جائحة كورونا).

- **سنة 2021 فما فوق:** مرحلة ارتفاع وذلك بعد التغلب على الوضع الصحي الذي كان سائدا.

الفرع الثاني: استعمالات الطاقة الكهربائية

تستخدم الطاقة الكهربائية في العديد من المجالات، ومنها:

أولا: استخدامات الكهرباء في المنازل

يتم استخدام الكهرباء لتوفير الطاقة للمنازل في جميع أنحاء العالم، وذلك عبر تزويد الأجهزة الكهربائية المنزلية بالطاقة اللازمة لتشغيلها. بالإضافة إلى ذلك، تمد الأسلاك الكهربائية بالطاقة الضرورية للإضاءة

الداخلية والخارجية. تستخدم الكهرباء أيضا لتدفئة وتبريد المنازل على مدار السنة بواسطة أجهزة التكييف التي تبرد المنازل في الصيف وتدفئها في الشتاء.

ثانيا: استخدامات الكهرباء كوقود

الكهرباء تستخدم الآن لتشغيل السيارات الكهربائية، وعلى الرغم من أن هذه التقنية ليست جديدة، إذ بدأت في التطور منذ عقود، إلا أن السيارات الكهربائية الحديثة مجهزة بنظام شحن يمكن استخدامه لإعادة شحن البطارية. عندما يقل مستوى الطاقة في البطارية، يمكن للمستخدم توصيل السيارة بجهاز يتضمن منفذا خاصا لإعادة شحنها، وهكذا، تستخدم الكهرباء بدلا من الوقود في تشغيل هذه السيارات.

ثالثا: استخدامات الكهرباء في الرعاية الصحية

استخدام الكهرباء في مجال الرعاية الصحية يشمل عدة جوانب مهمة، بما في ذلك استخدام أجهزة العلاج الكهربائي لعلاج مجموعة واسعة من الأمراض، وتوفير الطاقة الضرورية لتشغيل المعدات والأجهزة الطبية خلال العمليات الجراحية، وتأمين الطاقة لأجهزة الأشعة السينية والتصوير المقطعي والتصوير المغناطيسي. يعزى الفضل لهذا الاستخدام الواسع للكهرباء في تحسين تشخيص وعلاج الأمراض، مما يقلل من معدلات الوفيات في جميع أنحاء العالم.

رابعا: استخدامات الكهرباء في النقل والاتصالات

تعتمد الطاقة الكهربائية في وسائل النقل وفي التنقل الداخلي والخارجي عبر العالم. على سبيل المثال، يعتبر انقطاع التيار الكهربائي على متن الطائرات خلال الرحلات أمرا خطيرا للغاية، كما أن الكهرباء تلعب دورا أساسيا في وسائل الاتصالات. بدون الكهرباء، يصعب ربط العالم مع بعضه البعض من خلال شبكة الاتصالات العالمية التي تعتمد على الطاقة الكهربائية.

خامسا: استخدام الكهرباء في القطاع التجاري

تعتبر الطاقة الكهربائية جزءا لا يتجزأ في معظم القطاعات التجارية، إذ تعتمد معظم الأجهزة والمعدات المستخدمة في بيئات العمل بشكل كامل على هذه الطاقة. وتشمل هذه الأجهزة والمعدات مجموعة واسعة من العناصر مثل المصابيح، والمصاعد، وأجهزة التبريد والتدفئة، والماسحات الضوئية، وأجهزة الحاسوب، والإلكترونيات، وغيرها، حيث يتطلب تشغيلها الحصول على الطاقة الكهربائية.

سادسا: استخدامات الكهرباء في مجال الصناعة

يعتمد قطاع الصناعة بشكل كبير على الطاقة الكهربائية كمصدر أساسي لتشغيل عمليات التصنيع والإنتاج. ونتيجة للنشاط الصناعي المتزايد، ارتفع استهلاك الصناعة للكهرباء بشكل ملحوظ خلال السنوات الأخيرة. تستخدم الكهرباء في عمليات التصنيع لرفع درجات حرارة المواد الخام والمكونات لتحقيق النتائج المطلوبة. وبينما تعتمد بعض المنشآت الصناعية على الشبكة الكهربائية العامة، إلا أن هناك منشآت أخرى قامت بإنشاء محطات توليد كهرباء خاصة بها لتلبية احتياجاتها الخاصة بالطاقة.

كما تستخدم الكهرباء في قطاع الصناعة لتشغيل محركات الآلات، وأجهزة الحاسوب، والإضاءة، وتشغيل أجهزة المكاتب، وأجهزة التبريد والتدفئة والتجميد. وتعتمد بعض الصناعات مثل صناعة المعادن، والحديد والألمنيوم، بشكل كبير على الكهرباء في عمليات التصنيع. وبشكل عام، تستخدم الشركات المصنعة الكهرباء مباشرة في تشغيل معداتها وآلاتها في إطار عمليات الإنتاج.

سابعا: استخدامات الكهرباء في الهندسة

يتم استخدام الكهرباء في الهندسة لتحقيق الراحة والتطور في المجتمع، حيث يتم تضمينها في تصميم وبناء المباني الحديثة لتوفير بيئة مريحة للسكان. فعمليات بناء المنازل الحديثة تتطلب تركيب بوابات ونوافذ تعمل بالكهرباء، وتوفير أنظمة تدفئة وتبريد فعالة. كما أن الكهرباء ضرورية في معظم عمليات البناء الهندسي لتشغيل الآلات والمعدات اللازمة لإتمام المشاريع بكفاءة وسرعة.

ثامنا: استخدامات الكهرباء في الفضاء

تعتمد المجسات والأقمار الصناعية التي ترسل من الأرض إلى الفضاء على الطاقة الكهربائية لتشغيلها، حيث يتم توليدها من خلال مولدات أو باستخدام بطاريات مشحونة بالكهرباء. يعتبر هذا الاعتماد على الكهرباء أساسيا لإمكانية الهبوط على سطح القمر واستكشاف الكواكب والمجرات الفضائية.

تاسعا: استخدامات الكهرباء في المباني العامة

يتم استخدام الطاقة الكهربائية على نطاق واسع في المباني العامة مثل المدارس، ومراكز الشرطة، والفنادق، والمستودعات، ومراكز التسوق، وغيرها. تستخدم الكهرباء في هذه الأماكن لأغراض متعددة مثل الإضاءة، والتبريد، والتدفئة، والتهوية، بالإضافة إلى تشغيل الأجهزة والآلات الأخرى.[1]

المطلب الثالث: ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية

ترشيد استخدام الكهرباء يمثل الطريقة الأمثل للتعامل مع موارد الطاقة الكهربائية، وهو عبارة عن مجموعة من السلوكيات والتقنيات التي تهدف إلى تقليل استهلاك الطاقة دون التأثير على راحة الأفراد أو إنتاجيتهم. يتضمن ذلك استخدام الطاقة فقط عندما يكون ذلك ضروريا، بالإضافة إلى تحسين كفاءة استخدام الطاقة لتقليل الهدر. وبالتالي، فإن الهدف من الترشيد ليس منع استهلاك الطاقة تماما، ولكنه يهدف إلى استخدامها بطرق تجنب الهدر وتحقيق أقصى قدر من الكفاءة.

أولا: طرق ترشيد الطاقة الكهربائية في بعض الأجهزة

فيما يلي بعض الطرق لترشيد استهلاك الكهرباء فيما يخص الأجهزة الكهرو منزلية:

1- الإضاءة

يمكن تخفيض تكلفة الإضاءة بنسبة تصل إلى 15% عن طريق اتباع السلوكيات التالية:

- زيادة استخدام الضوء الطبيعي.
- إطفاء الإنارة في المناطق غير المستخدمة عند مغادرتها فورا.
- استخدام مصابيح طاقة منخفضة.
- الحفاظ على نظافة معدات الإضاءة.
- استخدام الإضاءة الموجهة بدلا من الإضاءة العامة.

[1] أماني المشاقبة، **استخدام الطاقة الكهربائية**، موقع موضوع، نقلا عن الرابط التالي:
https://mawdoo3.com/%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%AE%D8%AF%D8%A7%D9%85_%D8%A7%D9%84%D8%B7%D8%A7%D9%82%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D9%83%D9%87%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%A6%D9%8A%D8%A9 consulter le Dimanche 03/03/2024, 17:00.

2- السخان الكهربائي

يعتبر سخان المياه الكهربائي من الأجهزة المنزلية التي تستهلك الطاقة بشكل كبير، ولذلك ينصح باتباع الإرشادات التالية:

- استخدام الدش بدلا من ملء الحوض عند استحمامك.
- تنظيم صيانة دورية للأنابيب والمحابس لتجنب تسرب المياه الساخنة.
- عزل الأنابيب الساخنة باستخدام مواد عازلة لمنع فقد الحرارة، سواء كانت الأنابيب مدفونة في الحائط أو مكشوفة في الهواء.
- إغلاق المحابس بإحكام عند عدم استخدام السخان.
- قطع التيار الكهربائي عن السخان عند عدم الحاجة إليه.
- ضبط درجة حرارة السخان على 60 درجة مئوية لتوفير الطاقة.

3- التلفاز

- قم بإيقاف تشغيل التلفاز عند مغادرة الغرفة، أو عند النوم، أو إذا لم يكن هناك استمرارية في مشاهدة البرامج المذاعة.

4- الثلاجة والفريزر

- التأكد من فعالية عمل الثلاجة.
- تنظيف الملف المكثف الذي يقع في الجزء الخلفي من الثلاجة.
- التأكد من إغلاق الباب بإحكام، وتجنب فتحه دون داع، وإعادة إغلاقه بسرعة بعد الاستخدام لمنع تسرب الهواء البارد.
- ترتيب محتويات الثلاجة لسهولة الوصول إليها واستخدامها.
- إذابة الثلج بانتظام بحيث لا يتجاوز سمكه ربع بوصة.
- ترتيب الأطعمة داخل الثلاجة مع الحرص على ترك مسافة فارغة لتدفق الهواء حولها، أما بالنسبة للفريزر فيفضل ملؤه تماما، وعند الحاجة يمكن استخدام أكياس ممتلئة بالماء لملئ الفراغ.
- فصل الثلاجة عن التيار الكهربائي عندما يتم مغادرة المنزل لفترة تزيد عن أسبوع، مع تنظيفها جيدا وترك الباب مفتوحا.

- معرفة التكاليف التقريبية لتشغيل الثلاجة سنويا قبل شرائها.
- استخدام مبرد المياه للشرب في فصل الصيف لتقليل عدد مرات فتح الثلاجة.

5- غسالة الملابس

- قبل القيام بالشراء، من الضروري تقدير التكاليف التقريبية لتشغيل الغسالة سنويا.
- يجب تجنب تشغيل الغسالة إلا عندما تكون الحمولة كاملة، لأنها تستهلك كمية متساوية من الكهرباء سواء كانت الحمولة كبيرة أم صغيرة.

6- مكيف الهواء

ترتفع فواتير الكهرباء خلال فصل الصيف بسبب استخدام أجهزة التكييف الكهربائية، ولكن يمكن الحفاظ على بيئة مريحة بتكلفة أقل من خلال اتباع النصائح التالية:

- الاطلاع على دليل استخدام المكيف للحصول على أفضل النتائج.
- ضبط درجة الحرارة على 25 درجة مئوية، وهي درجة مناسبة للراحة وتوفير الطاقة.
- تجنب استخدام التكييف عندما تكون درجة حرارة الجو مقبولة (25 درجة مئوية).
- إيقاف تشغيل التكييف عند مغادرة الغرفة لفترة طويلة.
- إغلاق الستائر أثناء النهار لتقليل دخول الحرارة.
- استخدام المروحة في الأيام اللطيفة لتوفير التبريد.
- إغلاق الأبواب والنوافذ وسدها لمنع دخول الهواء الساخن.
- معرفة التكلفة التقريبية لتشغيل المكيف سنويا قبل شرائه.
- غسل المكيف قبل بداية فصل الصيف لتحسين كفاءته.
- تركيب نوافذ زجاجية مزدوجة وعاكسة للحرارة لتقليل انتقال الحرارة إلى الداخل.

باتباع هذه الإرشادات، يمكن تحقيق توفير في استهلاك الطاقة وتقليل فاتورة الكهرباء خلال فصل الصيف.[1]

[1] بوهنة كلثوم، **التنبؤ باحتياجات القطاع العائلي من الطاقة الكهربائية بالجزائر للفترة 2013-2017**، أطروحة دكتوراه، جامعة أبي بكر بلقايد، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير والعلوم التجارية، الجزائر، 2014، ص: 78-80.

ثانيا: سياسات ترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية

قد يتفق الجميع على أن جعل عملية تقليص استهلاك الكهرباء أمرا اقتصاديا يأتي في المقام الأول. ولتحقيق هذا الهدف، يتطلب الأمر استثمارات، بما في ذلك وضع سياسات فعالة وتنفيذ برامج عملية، تشمل:

- **سياسات الأسعار**: يمكن وضع سياسات سعرية مدروسة، حيث يمكن أن يؤدي ارتفاع أسعار الكهرباء إلى تحفيز المستهلكين على تقليل استهلاكهم، وربما استبدال الأجهزة ذات الاستهلاك الكبير بأخرى أكثر كفاءة.
- **التوعية**: يمكن تنظيم حملات توعية تشمل كافة الجوانب السياسية والاقتصادية والاجتماعية، وتوفير المعلومات والإرشادات الضرورية، وحتى تضمين تعليم وسائل التوفير في المناهج المدرسية.
- **البحث والتطوير**: يجب أن تقود الدولة دورا فعالا في توجيه الأبحاث وتوفير الموارد الضرورية لتطوير أساليب جديدة وتحسين الطرق الحالية لتقليل استهلاك الكهرباء.
- **تحسين كفاءة البنية التحتية الكهربائية**: يجب تحسين أداء كل مرحلة من مراحل البنية التحتية الكهربائية، بما في ذلك الإنتاج والنقل والتوزيع.[1]

[1] بن أحمد أحمد، مرجع سبق ذكره، ص: 39.

خلاصة الفصل:

لقد كان موضوع هذا الفصل الطاقة الكهربائية حيث تطرقنا أولا إلى موضوع الطاقة بصفة عامة والذي تناولنا فيه مفهوم الطاقة، أين وجدنا تعدد التعاريف ووجهات النظر المتعلقة بها، بالإضافة الى تنوع أنواعها في الطبيعة من طاقة ميكانيكية، كيميائية، حرارية، شمسية، ضوئية، نووية وكهربائية، والأهمية الكبيرة للطاقة التي تشغلها في العالم، تابعين ذلك بمصادرها ومختلف أوجه استعمالاتها.

بعد ذلك تطرقنا إلى الطاقة الكهربائية بصفة خاصة أين رأينا مختلف تعاريفها ونوعيها المتمثلين في الساكنة والمتحركة، مرورا إلى تاريخ اكتشافها، بعدها تعمقنا في مختلف محطات توليد الكهرباء المتمثلة في محطات التوليد البخارية، النووية، المائية، المد والجزر، بواسطة الرياح، الطاقة الشمسية وذات الاحتراق الداخلي التي تنقسم إلى: محطات توليد بواسطة الديزل ومحطات توليد بالتوربينات الغازية، ثم انتقلنا إلى كيفية تخزين ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية والتي هي عبارة عن عملية متكاملة فيما بينها.

وأخيرا ختمنا الفصل بواقع الكهرباء في الجزائر، أين ألقينا نظرة على تطور إنتاج ونقل وتوزيع الكهرباء في الجزائر الذي وجدنا أنه مر بالعديد من التطورات والتحولات حتى وصل إلى ما هو عليه الان، ومررنا أيضا على مجال إنتاج الكهرباء في الجزائر حيث وجدنا أن شركة سونلغاز تحتكره بنسبة كبيرة، بعد ذلك انتقلنا إلى تطور استهلاك الكهرباء في الجزائر أين وجدنا أنه يرتفع من سنة إلى أخرى، وأخيرا تطرقنا إلى بعض النصائح والسياسات لترشيد استهلاك الطاقة الكهربائية وتخفيض قيمة فاتورة الكهرباء.

وبما أن استهلاك الكهرباء هو عبارة عن سلسلة زمنية فإنه لابد من التطرق إلى السلاسل الزمنية قبل المرور إلى دراسة استهلاك الكهرباء، وهو موضوع فصلنا القادم.

الفصل الثاني:

تقنيات التنبؤ

بالسلاسل الزمنية

تمهيد الفصل:

يشير تحليل السلاسل الزمنية إلى دراسة التغيرات في القيم على مر الزمن. حيث يستخدم هذا النوع من التحليل في مجالات مختلفة مثل الاقتصاد، والطقس، والتمويل، والإحصاءات، وغيرها، أين يمكن من التعرف على الاتجاهات والأنماط والتنبؤ بالقيم المستقبلية.

والتنبؤ هو عملية توقع الأحداث المستقبلية باستخدام البيانات والمعلومات المتاحة في الوقت الحالي، ويعتمد على التنبؤ في فهم النماذج والاتجاهات التي تحدث في البيانات المتاحة واستخدامها لتوقع ما قد يحدث في المستقبل. ويستعمل التنبؤ في العديد من المجالات مثل الطقس، والاقتصاد، والسياسة، والصحة، والرياضة، والتكنولوجيا، وغيرها الكثير.

ومن أفضل الطرق التقليدية للتنبؤ توجد طريقة التمهيد الأسي (Exponential Smoothing) وهي منهجية تم إنشاؤها من طرف Brown سنة 1944 وتم استحداث هذه المنهجية لتشمل الموسمية والاتجاه العام من طرف Holt سنة 1957.

بالإضافة إلى طريقة التمهيد الأسي نجد طريقة Box-Jenkins والتي تعتبر من بين أشهر الطرق التنبؤية، التي تم تطويرها بواسطة George Box وGwilym Jenkins في الستينيات، وهي من المنهجيات التي أصبحت شائعة في العديد من المجالات، والهدف الرئيسي لهذه المنهجية هو بناء نماذج تنبؤ قوية ودقيقة لتحليل وتنبؤ السلاسل الزمنية.

وانطلاقا من ذلك، تم تقسيم هذا الفصل وفقا لما يلي:

المبحث الأول: عموميات حول التنبؤ

المبحث الثاني: عرض طرق التمهيد الأسي

المبحث الثالث: عرض طريقة Box-Jenkins

المبحث الأول: عموميات حول التنبؤ

يشهد عالمنا، في الوقت الحاضر، تطورات متسارعة في مختلف المجالات، سواء كانت سياسية، اقتصادية، علمية...الخ. هذه الحقيقة تبرز واقع عدم الاستقرار في العصر الحالي، حيث تؤدي عوامل مثل التغيرات المناخية وتقلبات أسواق الطاقة إلى تقلبات حادة في بعض المجتمعات. لذا، يجب أن تكون القدرة على التنبؤ بالمستقبل أمرا أساسيا لضمان استقرار المؤسسات وتحقيق التنمية بشكل عام في ظل هذا الوضع المتقلب.

المطلب الأول: ماهية التنبؤ

أولا: تعريف التنبؤ

تعددت تعاريف التنبؤ، نذكر منها:

يمثل التنبؤ عملية عرض حالي لمعلومات مستقبلية باستخدام معطيات مشاهدة تاريخية (data observed) بعد دراسة سلوكها الماضي.[1]

وهو أيضا تقدير كمي للقيم المتوقعة للمتغيرات التابعة في المستقبل القريب بناءا على ما هو متاح لدينا من معلومات عن الماضي والحاضر. ويلاحظ هنا أن التنبؤ يفترض أن سلوك الظواهر الاقتصادية في المستقبل القريب ما هو إلا امتداد لسلوك هذه الظواهر في الماضي القريب.[2]

كما يمكن تعريفه بأنه تحليل بيانات الماضي وتطبيق نتائجها على المستقبل من خلال استخدام نموذج رياضي مناسب.[3]

ثانيا: أهمية التنبؤ ومجالات تطبيقه

1- أهمية التنبؤ

تعيش المؤسسات الاقتصادية في بيئة ديناميكية تتطلب استخدام التقنيات الكمية لاتخاذ القرارات. يبرز أهمية التنبؤ في هذا السياق من خلال عدة نقاط:

---

[1] مولود حشمان، **السلاسل الزمنية وتقنيات التنبؤ قصيرة المدى**، الطبعة الثالثة، ديوان المطبوعات الجامعية، الجزائر، 2010، ص: 219.

[2] عبد القادر محمد عبد القادر عطية، **الحديث في الاقتصاد القياسي بين النظرية والتطبيق**، الطبعة الرابعة، الدار الجامعية، الإسكندرية، مصر، 2014، ص: 696.

[3] حسين علي بخيت، سحر فتح الله، **الاقتصاد القياسي**، دار اليازوري للنشر والتوزيع، الأردن، 2010، ص: 108.

- تحقيق كفاءة وفاعلية أكبر للمؤسسة في التكيف مع تغيرات البيئة الخارجية.
- فهم احتياجات المؤسسة على المدى القصير والمتوسط.
- التقليل من المخاطر التي قد تواجه المؤسسة.
- توفير رؤية لتوجهات المؤسسة المستقبلية.
- المساهمة الفاعلة في عملية اتخاذ القرارات وتقييم آثارها.[1]

2- مجالات تطبيق التنبؤ

هناك العديد من المجالات التي تم اثبات فائدة التنبؤات الاقتصادية فيها وهي:

- تخطيط العمليات ومراقبتها (مثل إدارة المخزون، تخطيط الإنتاج، إدارة قوى المبيعات وما شابه).

- التسويق (على سبيل المثال، استجابة المبيعات لخطط التسويق المختلفة).

- الاقتصاد (متغيرات اقتصادية رئيسية، مثل الناتج المحلي الإجمالي، والبطالة، والاستهلاك، والاستثمار، ومعدلات الفائدة).

- إدارة الأصول المالية (مثل عوائد الأصول وأسعار الصرف وأسعار السلع).

- إدارة المخاطر المالية (على سبيل المثال، تقلب عائد الأصول).

- ميزانية قطاع الأعمال والميزانية الحكومية (توقعات الإيرادات).

- الديموغرافيا (معدلات الخصوبة والوفيات).

- إدارة الأزمات (احتمالات التخلف عن السداد، وتخفيض قيمة العملة، والانقلابات العسكرية، وما إلى ذلك).[2]

[1] بوغازي فريدة وآخرون، **فعالية استخدام التنبؤ في الجهاز الإداري**، الملتقى الوطني السادس حول: استخدام التقنيات الكمية في اتخاذ القرارات الإدارية بالمؤسسات الاقتصادية الجزائرية، جامعة سكيكدة، يومي 27 و28 جانفي 2009، ص: 3. على الموقع:
https://iefpedia.com/arab/?p=16018

[2] دامودار جوجاراتي، ترجمة مها محمد زكي، **الاقتصاد القياسي بالأمثلة**، الطبعة الأولى، دار حميثرا للنشر، مصر، 2019، ص: 417.

ثالثا: لمحة تاريخية عن التنبؤ

تعلمنا الأدلة الأثرية القديمة أن أولى محاولات البشرية في التنبؤ تعود إلى فترة ظهور الكتابة. ومع ذلك، يبدو أن التنبؤ كان موجودا قبل ذلك، حيث كانت مجموعات الصيادين في العصور البدائية تحتاج إلى التنبؤ بمواقع الصيد والموارد الطبيعية مثل النباتات الصالحة للأكل ومصادر المياه خلال مختلف فصول السنة. وبالتالي، من المحتمل أنهم وضعوا تصورات حول فصول السنة والأحوال الجوية مثل هطول المطر والجفاف.

في العصور القديمة، كان لدى الحضارات مثل البابليون والمصريين القدماء طرق لمراقبة الظواهر الطبيعية بهدف التنبؤ والتخطيط. على سبيل المثال، رصد البابليون تطور السماء ليلا بغرض تسهيل زراعة المحاصيل وتحديد مواسم الحصاد. بالمثل، امتلك المصريون القدماء أجهزة للتنبؤ بالفيضانات السنوية لنهر النيل، وهو ما كان أساسيا لري وإنعاش حقولهم بالتربة الغنية.

ومع ذلك، هناك بعض المحاولات القديمة للتنبؤ التي يثار شك حولها، مثل عرافة دلفي، التي كانت تقدم تنبؤات غامضة، وكذلك العراف الفرنسي الشهير Nostradamus في القرن السادس عشر.

ربما كانت إحدى أوائل المحاولات للتنبؤ الإحصائي تعود إلى الاقتصادي الإنجليزي Sir William Petty خلال القرن السابع عشر. في مساهماته الرئيسية في مجال الاقتصاد الكمي، الذي أطلق عليه "الحساب السياسي"، حاول Petty تحديد متغيرات الاقتصاد الكلي. من خلال ذلك، لاحظ "دورة الأعمال" التي تستمر سبع سنوات، وهو ما قدم أساسا للتنبؤات الاقتصادية المنتظمة.

ازدهرت صناعة التنبؤ في الولايات المتحدة في بداية القرن العشرين، خصوصا في عقد العشرينيات، حيث اعتمدت على أحدث الأساليب لقياس الأعمال ومنحنيات ABC التي اقترحها Warren Persons. ورغم مشاركة شخصيات بارزة مثل Irving Fisher، فإن معظم المتنبئين فشلوا في التنبؤ بأزمة الكساد الكبير في عام 1929، باستثناء Roger Babson، الذي اكتسب مصداقية مؤقتة عندما توقع هذه الأزمة. ومع ذلك، فقد Babson أيضا مصداقيته عندما كرر توقع نهاية الأزمة مرارا وتكرارا دون أن يتحقق ذلك.

تسببت هذه الكارثة، التي كانت عدم القدرة على التنبؤ بأزمة عام 1929، في زيادة كبيرة في جمع البيانات الاقتصادية. وذلك لأن تأثير الأزمة استمر طوال فترة ما بعد الحرب العالمية الثانية. كما أدى هذا

الوضع إلى تطوير أساليب إحصائية أكثر دقة في نمذجة الاقتصاد، في محاولة لفهم الأخطاء التي وقعت وتجنب تكرارها.[1]

المطلب الثاني: أنواع التنبؤ

تنقسم أنواع التنبؤ إلى عدة معايير نذكرها فيما يلي:

أولا: حسب المنهجية

1- الأساليب غير النظامية

هذه الطرق تعتمد على التقدير الذاتي دون الحاجة لقاعدة محددة أو تحديد للمتغيرات التي تفسر سلوك المتغير المهم. بدلا من ذلك، تعتمد على الخبرة والتقدير الشخصي. تنقسم هذه الطرق إلى مجموعتين رئيسيتين:

أ- أساليب التناظر والمقارنة

يمكن التنبؤ بمسار أي متغير من خلال استخدام المسار الذي تتبعه المتغيرات المماثلة في حالات مشابهة. على سبيل المثال، يمكن التنبؤ بتأثير خفض قيمة العملة على معدل التضخم من خلال دراسة تأثير خفض قيمة العملة في بلد مماثل اقتصاديا للبلد المعني بالدراسة.[2]

ب- الأساليب المعتمدة على أراء ذوي الشأن والخبرة: وتنقسم هذه النماذج إلى:

المسوحات والاستقصاء: تهدف إلى معرفة آراء وتوقعات الخبراء وأصحاب الشأن في بعض الأنشطة الاقتصادية بهدف التنبؤ ببعض المؤشرات الاقتصادية مثل اتجاهات السوق ومعدلات التضخم. يتم ذلك من خلال استطلاع عينة من المعنيين باستخدام استبيان مخصص لهذا الغرض.

ندوات الخبراء: يتجلى ذلك في إجراء نقاش بين مجموعة من الخبراء والمفكرين لتبادل الأفكار حول المواضيع الاقتصادية التي تهم المجتمع بشكل أساسي، وتقديم حلول للمشكلات الحالية. هذه الطريقة قد تساهم في تكوين رؤية محددة للمستقبل.

---

[1] بن معزو محمد زكريا، **مطبوعة في نماذج النمو**، جامعة باجي مختار عنابة، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، الجزائر، 2022، ص: 3-4.

[2] جمال حامد، **أساليب التنبؤ**، العدد الرابع عشر، المعهد العربي للتخطيط، الكويت، 2003، ص: 4.

طريقة دلفي: تعد هذه الطريقة من الأساليب الشائعة في الدول المتقدمة، وتعتمد بشكل أساسي على جمع آراء عدد من الخبراء بدقة، ثم دمجها وتنسيقها للوصول إلى رأي موحد بشأن التنبؤات المتعلقة بمواضيع البحث المختلفة.

طريقة السيناريوهات: السيناريو هو وصف أو سرد لمجموعة من الأحداث والتصرفات المحتملة في المستقبل، بالإضافة إلى وصف القوى المؤثرة التي قد تؤدي إلى وقوعها. يبنى هذا الوصف على ترتيب منطقي لتسلسل الأحداث، ومحاولة تحديد جميع الروابط بينها. يعتبر هذا النهج أن الأحداث ليست منعزلة، بل ترتبط ببعضها البعض من خلال عملية ديناميكية. لذا، يتكون السيناريو من عنصرين رئيسيين: الأحداث والتصرفات.[1]

2- الأساليب النظامية

تعتمد على طرق علمية لتفسير أية ظاهرة وتستند إلى معالجة جميع المتغيرات المؤثرة من خلال نماذج رياضية قابلة للتقدير، ما يجعلها تتسم بالموضوعية وتكون نتائج التنبؤات بعيدة عن التأثر بالعوامل الذاتية. وتنقسم إلى مجموعتين:

أ- النماذج السببية

يعتمد المتغير المراد دراسته على مجموعة من المتغيرات التفسيرية التي توضح سلوكه. وباستخدام نظرية معينة لتفسير الظاهرة محل الدراسة، يتم صياغة العلاقة في شكل نموذج رياضي قابل للتقدير. على سبيل المثال، يمكن تفسير استهلاك الأسر لسلعة معينة C من خلال دخل هذه الأسر Y وسعر السلعة P. ووفقا لنظرية الطلب، يتم صياغة النموذج بالشكل التالي: $C = a + bY + cP$، بعد ذلك، تقدر معلمات النموذج، a وb وc، باستخدام الأساليب الإحصائية المتاحة مثل طريقة المربعات الصغرى. ومن أبرز النماذج السببية نجد:

نماذج الاقتصاد القياسي: تعتمد هذه النماذج على قياس وتفسير العلاقة بين المتغيرات بناء على النظرية الاقتصادية المتعلقة بالمتغيرات التي تساهم في تفسير سلوك المتغير التابع. على سبيل المثال، يمكن تفسير دالة الاستهلاك باستخدام الدخل المتاح مع افتراض ثبات العوامل الأخرى: $C = a + bY + \varepsilon$ حيث:

C: الاستهلاك؛

[1] فريد بختي، **دروس وتمارين محلولة في: مبادئ نظرية القياس الاقتصادي – مفاهيم نظرية وتطبيقات على حزمة EViews 7.0 –**، جامعة البويرة، كلية العلوم الاقتصادية، التجارية وعلوم التسيير، الجزائر، 2016، ص: 32.

Y: الدخل المتاح؛

ε: عنصر عشوائي؛

تستلزم هذه النماذج:

- تحديد النظرية الاقتصادية المتعلقة بموضوع البحث؛
- صياغة النموذج بصورة رياضية؛
- جمع البيانات المتعلقة بمتغيرات النموذج؛
- تقدير معلمات النموذج؛
- اختبار صحة النموذج؛
- استخدام النموذج لإجراء التنبؤات؛

نماذج المدخلات والمخرجات: يتم تمثيل العلاقة التبادلية بين القطاعات الاقتصادية المختلفة خلال العملية الإنتاجية في جداول المدخلات والمخرجات لفترة زمنية معينة (عادة سنة). توضح هذه الجداول مدخلات كل قطاع من مستلزمات الإنتاج التي يحتاجها من القطاعات الأخرى. تستخدم نماذج المدخلات والمخرجات في عمليات التخطيط والتنبؤ الاقتصادي.

نماذج الأمثلية والبرمجة الخطية: البرمجة الخطية هي واحدة من أبرز نماذج الأمثلية، وتركز على كيفية استغلال الموارد المتاحة لوصف العلاقة بين متغيرين أو أكثر. يتم ذلك من خلال تعظيم أو تصغير دالة الهدف التي تحتوي على متغيرات هيكلية تحدد مستوياتها بهدف تحقيق أكبر (أو أصغر) قيمة ممكنة لدالة الهدف.

نماذج المحاكاة: لتجنب أي مشكلة قد تنشأ أثناء إجراء التجارب على أنظمة حقيقية، يتم استخدام نماذج المحاكاة. تعتبر هذه النماذج الرياضية وسيلة لتمثيل وعكس كافة خصائص وسلوكيات النظام الحقيقي، مما يمكن من دراسة الآثار المحتملة لقرارات معينة على المتغيرات المستقبلية. بالإضافة إلى ذلك، تستخدم هذه النماذج لمقارنة بين عدة سياسات اقتصادية لتحقيق الأهداف المرجوة.[1]

[1] فريد بختي، **دروس وتمارين محلولة في: مبادئ نظرية القياس الاقتصادي – مفاهيم نظرية وتطبيقات على حزمة EViews 7.0 –**، مرجع سبق ذكره، ص: 30-31.

ب- النماذج غير السببية:

هذه النماذج تستند إلى القيم التاريخية للمتغير المراد التنبؤ بقيمته المستقبلية، دون الحاجة إلى تحديد المتغيرات التي تفسر سلوكه. ومن بين النماذج غير السببية البارزة:

النماذج الإحصائية للسلاسل الزمنية:

تركز هذه النماذج على الجانب العشوائي في سلاسل الزمن، وتنقسم إلى:

- نماذج الانحدار الذاتي AR، حيث تعبر القيم الحالية كدالة خطية في القيم السابقة لنفس المتغير.
- نماذج المتوسطات المتحركة MA، حيث تعبر القيم للمتغير كدالة خطية في القيمة الحالية لعنصر الخطأ العشوائي وعدد من قيمه السابقة.
- نماذج Box-Jenkins، حيث يمكن دمج النموذجين AR وMA في نموذج ARMA، وقبل إجراء التنبؤات تمر هذه الطريقة بعدة مراحل: التمييز، تحديد درجة AR وMA، والتقدير، واختبار سوء التوصيف، والتأكد من دقة النماذج، ثم التنبؤ بالقيم المستقبلية للسلسلة.
- نماذج متجه الانحدار الذاتي VAR.

✓ **النماذج الديناميكية غير الخطية:** اتسمت النماذج السابقة بالخطية، حيث تكتب كدالة خطية في القيم المؤخرة وقيم العناصر العشوائية. وقد تم في السنوات الأخيرة التركيز على نماذج حتمية غير خطية، اتضح أنها قادرة على توصيف سلوك بعض السلاسل الزمنية التي لا يمكن توصيفها بالاعتماد على النماذج التقليدية، من تلك النماذج نماذج الفوضى والكارثة.

- **إسقاطات الاتجاه العام في التنبؤ:** الهدف الرئيسي من استخدام إسقاطات الاتجاه العام في السلاسل الزمنية هو توقع وتحليل القيم المستقبلية للمتغيرات الاقتصادية. يعرف الاتجاه العام للسلسلة الزمنية على أنه النمط العام للتغير في قيم المتغير المدروس مع تجاهل المتغيرات الأخرى المؤثرة. يتسبب تذبذب السلسلة الزمنية في صعودها وهبوطها بسبب تذبذب مكوناتها الأربعة، وهي:
- الاتجاه العام: الحركة العامة على المدى البعيد.
- التقلبات الموسمية: تقلبات منتظمة تكرر نفسها حسب فترة زمنية.
- التقلبات الدورية: حسب الدورة الاقتصادية.
- التقلبات العشوائية: تنجم عن أسباب غير متوقعة كالحروب وعوامل الطبيعة.

يكمن الهدف من تفكيك السلاسل الزمنية في التعرف على أنماط تقلبها لتحسين دقة التنبؤ، ولذلك فإن هذ الطريقة تفقد من قيمتها إذا لم يكن هناك استقرار في أنماط تقلب مكونات السلسلة سواء كانت الاتجاه العام أو الموسمية أو غيرها.[1]

ثانيا: معايير أخرى لأنواع التنبؤ

1- حسب صيغة التنبؤ: نحن هنا نفصل بين توقع النقطة (Point Forecast) وتوقع الفترة (Interval Forecast). التوقع النقطي يتعلق بتوقع قيمة واحدة للمتغير المعني في كل فترة مستقبلية. على سبيل المثال، توقع القيمة المتوقعة للادخار القومي لتكون 100 مليار جنيه في عام 2010. أما بالنسبة لتوقع الفترة، فيتعلق بتقدير نطاق معين يحتمل أن تقع ضمنه قيمة المتغير المعني بفرصة معينة. على سبيل المثال، توقع القيمة المتوقعة للادخار القومي بأن تكون ما بين 90 مليار جنيه و110 مليار جنيه، باحتمال 95% أو99%.

2- حسب فترة التنبؤ: يمكن التفرقة أيضا بين نوعين من التنبؤ وفقا لمعيار فترة التنبؤ:

- تنبؤ بعد التحقق (Ex-post Forecast).
- تنبؤ قبل التحقق (Ex-ante Forecast).

يلاحظ أن كل من النمطين يتوقعان القيم المتوقعة للمتغير التابع في الفترة التالية للفترة التي تم فيها تطوير النموذج. ومع ذلك، يتميز التنبؤ بعد التحقق بتوقع القيم في فترة تتوفر فيها بيانات فعلية، مما يتيح فرصة التحقق من دقة التوقعات من خلال مقارنتها بالبيانات الفعلية المتاحة. ومن الأمثلة على ذلك أن تكون السنة الحالية هي عام 2004، وأن نقوم بتقدير دالة الادخار عن الفترة (1970-2000)، ثم نقوم باستخدام هذه الدالة المقدرة في التنبؤ بقيمة الادخار في عامي 2001 و2002 وهي أعوام تتاح عنها بيانات فعلية خاصة بالادخار كمتغير تابع وبالدخل كمتغير تفسيري. وفيما يتعلق بالتنبؤ قبل التحقق، يقدر النموذج قيم المتغير التابع في فترات مستقبلية حيث لا تكون هناك بيانات متاحة بشأن المتغير التابع. على سبيل المثال، يمكن أن نقوم بتقدير قيمة الادخار في عام 2007 ونحن في عام 2004.

وهناك من يفرق بين ثلاثة أنواع حسب فترة التنبؤ. فإذا افترضنا أن لدينا بيانات فعلية عن الفترة (1970-1996)، ثم قمنا بأخذ عينة من هذه البيانات للفترة (1970-1985) واستخدمناها في تقدير معادلة الانحدار التالية: $Y_t = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 X_{1t} + \hat{\beta}_2 X_{2t} + u_t$

[1] جمال حامد، مرجع سبق ذكره، ص: 5.

فعندئذ يمكن الحصول على تنبؤات لثلاث فترات:

أ- تنبؤات داخل العينة (In-Sample Forecasts): وهي تنبؤات المتغير التابع (Y_t) التي يمكن الحصول عليها بالتعويض عن القيم الفعلية للمتغيرات المستقلة (X_{it}) خلال فترة العينة (1970-1985). وتسمى أحيانا بالقيم الممهدة (Fitted Values).

ب- تنبؤات محققة خارج العينة (Out-of-Sample Forecasts): وهي التنبؤات التي يمكن الحصول عليها للمتغير التابع باستخدام القيم الفعلية المتوفرة للمتغيرات المستقلة خلال الفترة خارج العينة (1986-1996) والتي تتوفر فيها بيانات فعلية عن كل من (Y_t) و(X_{it}). وتستخدم هذه التنبؤات عادة لاختبار مقدرة النماذج المختلفة على التنبؤ وذلك بمقارنة القيم الفعلية للمتغير التابع (Y_t) خارج فترة العينة بالقيم المتوقعة باستخدام هذه النماذج خلال نفس الفترة.

ج- تنبؤات مستقبلية (Ex-ante Forecasts): وهي التنبؤات الخاصة بالمتغير التابع في فترة مستقبلية (بعد 1996) لا تتوفر فيها بيانات فعلية عن المتغير التابع أو المتغيرات المستقلة. وهذه هي التنبؤات التي نقصدها في محاولات التنبؤ.

3- حسب درجة التأكد: يمكن التفرقة وفقا لهذا المعيار بين نوعين من التنبؤ هما:

- التنبؤ المشروط (Conditional Forecast).

- والتنبؤ غير المشروط (Unconditional Forecast).

وبما أن التنبؤ الغير المشروط يتضمن تنبؤ قيمة متغير معين استنادا إلى المعلومات المتاحة عن المتغيرات التفسيرية، فإن جميع أشكال التنبؤ بعد التحقق يمكن أن تعتبر كتنبؤ غير مشروط. ومن الأمثلة على ذلك النموذج التالي: $Y_t = \alpha + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + u_t$ حيث:

Y_t: مخزون الفترة الحالية (الشهر الحالي).

X_{t-1}: مبيعات الفترة السابقة.

X_{t-2}: مبيعات الفترة قبل السابقة.

ويشير النموذج السابق إلى أن مخزون الفترة الحالية يتحدد بمبيعات الفترة السابقة وما قبلها. فإذا أردنا أن نتنبأ بمخزون الفترة المقبلة (Y_{t+1}). فمن الممكن عمل ذلك باستخدام البيانات المتوفرة عن المبيعات في الفترة الحالية "t" والفترة السابقة "$t-1$" وهي بيانات فعلية مؤكدة.

وفي حالة التنبؤ المشروط، قد لا تكون قيم إحدى المتغيرات التفسيرية المستخدمة لتوقع قيم المتغير التابع معروفة تماما، وقد يتطلب ذلك توقعها أو تخمينها بناء على المعرفة المتاحة. بالتالي، تعتمد دقة التنبؤ بقيم المتغير التابع على مدى دقة التوقعات أو التخمينات للمتغيرات التفسيرية. يمكن أن يعتبر نموذج الانحدار السابق كمثال على هذا، حيث نأخذه بالصيغة التالية: $Y_t = \alpha + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + u_t$ فإذا أردنا توقع قيمة (Y_{t+1}) في الفترة المقبلة فلابد أن نتوقع أولا قيم المتغيرين (X_{1t}) و(X_{2t}) في الفترة المقبلة أي (X_{1t+1}) و(X_{2t+1}).

4- حسب درجة الشمول: يمكن استخدام نموذج الانحدار الذي يتكون من معادلة واحدة للتنبؤ في هذا السياق (Forecasting with a Single-Equation Model) أو يمكن استخدام نموذج مكون من عدد من المعادلات (Forecasting with a Multi-Equation Model).

5- حسب أسلوب التنبؤ: هناك طريقتان للتنبؤ، وكل منهما له نهجه الخاص:

- التنبؤ القياسي (Econometric Forecasting).
- تنبؤ السلاسل الزمنية (Time Series Forecasting).

فيما يتعلق بالتنبؤ القياسي، يستند إلى نماذج الانحدار التي تربط بين متغير أو متغيرات تابعة ومتغيرات مستقلة. وتبرز أهمية هذا النهج في قدرته على التنبؤ بقيم المتغيرات وتقديم تفسير لتغيراتها بالاعتماد على العلاقات الإحصائية بينها. بالنسبة لتنبؤ السلاسل الزمنية، يعتمد على القيم السابقة لمتغير معين لتنبؤ قيمه المستقبلية دون تقديم تفسير للتغيرات في هذا المتغير.[1]

المطلب الثالث: معايير اختيار طرق التنبؤ

من بين أهم عناصر تحليل السلاسل الزمنية يأتي اختيار الأسلوب الملائم للتنبؤ في مقدمة الأولويات. إن اختيار الأسلوب الملائم للتنبؤ ليس مهمة سهلة، بل هي عملية تتطلب صبرا وتفانيا، وتحتاج من المحلل الإحصائي أو صاحب القرار إلى الثقة بالنفس وعدم الاستسلام للإحباط. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن يكون لديه الخبرة والمعرفة اللازمة في هذا المجال. يعتمد اختيار الأسلوب المناسب عموما على بعض المعايير والعوامل العامة، منها:

[1] عبد القادر محمد عبد القادر عطية، مرجع سبق ذكره، ص: 696-700.

1- تقليص حجم الأخطاء في التنبؤ هو أمر أساسي يجب أن ينظر إليه الإحصائي أو صانع القرار أثناء اختيار الأسلوب والنموذج الملائمين للتنبؤ، وعادة ما يقاس حجم هذه الأخطاء بأحد المقاييس الأربعة (MAD-MSE-MAPE-RMSE) حيث:

- متوسط الانحرافات المطلقة (Mean Absolute Deviation):

$$MAD = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}|e_t| = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}|y_t - \hat{y}_t|$$

- متوسط مربعات الأخطاء (Mean Squared Error):

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}e_t^2 = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t - \hat{y}_t)$$

- متوسط الأخطاء النسبية المطلقة (Mean Absolute Percentage Error):

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t}\right| \times 100 = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{e_t}{y_t}\right| \times 100$$

- جذر متوسط مربعات الأخطاء (Root Mean Squared Error):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}e_t^2} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t - \hat{y}_t)}$$

2- نوعية التنبؤ المطلوب، إذا كان الهدف من الدراسة هو الحصول على تنبؤ نقطي (point forecast)، فيمكن أن تكون الأساليب البسيطة أو النماذج التقليدية كافية لتحقيق هذا الهدف. ومع ذلك، في العديد من الدراسات، إذا كان الهدف التنبؤ بفترة زمنية (interval forecast) أو اختبار الفروض ذات أهمية، في مثل هذه الحالات، يفضل استخدام أساليب تنبؤ حديثة ومنظمة مثل منهجية Box-Jenkins للحصول على تنبؤات أكثر دقة وتفصيلا.

3- في حالة كون عدد المشاهدات محدودا، يصبح استخدام أساليب حديثة غير مبرر، مما يفضل استخدام الأساليب التقليدية.

4- ينبغي النظر في تكلفة استخدام أساليب التنبؤ ومدى توفر البرمجيات الإحصائية المناسبة.

5- يجب أخذ سهولة العمليات الإحصائية والحسابية الضرورية بعين الاعتبار، بالإضافة إلى فهم أسلوب التنبؤ المستخدم.

6- من الأساسيات الهامة التي يجب مراعاتها عند اختيار أسلوب أو نموذج التنبؤ المناسب، هو مدى تحقق الفروض النظرية التي يستند إليها هذا الأسلوب.

مما سبق يتضح بأن أفضل أسلوب للتنبؤ ليس بالضرورة هو الأسلوب الذي يحقق أعلى دقة أو أصغر حجم أخطاء ممكن، فقد يستخدم أحد الأساليب بسبب نوعية التنبؤ المطلوب، وقد يستخدم أسلوب أخر بسبب صغر عدد المشاهدات المتاحة وقد يستخدم أسلوب ثالث بسبب انخفاض تكاليفه، وقد يستخدم أسلوب رابع بسبب سهولة عملياته الإحصائية والحسابية، وقد يستخدم أسلوب خامس لأن الفروض النظرية التي يعتمد عليها تتوافق مع بيانات السلسلة المتاحة. وعادة ما يعتمد أسلوب التنبؤ المستخدم على قدرة الإحصائي أو متخذ القرارات في تحقيق التوازن لكل هذه المعايير. وبصفة عامة يمكن القول بأن طريقة التنبؤ التي يجب استخدامها هي أسهل وأبسط طريقة يمكن تنفيذها في الزمن المتاح والتي تفي باحتياجات وظروف التنبؤ بأقل ما يمكن من التكاليف.[1]

[1] مصطفى سمير شعراوي، **مقدمة في التحليل الحديث للسلاسل الزمنية**، الطبعة الأولى، دار النشر العلمي جامعة الملك عبد العزيز، السعودية، 2005، ص: 14-15.

المبحث الثاني: عرض طرق التمهيد الأسي

توجد طرق كثيرة تستخدم في التنبؤ بالقيم المستقبلية للسلاسل الزمنية منها التقليدية ومنها الحديثة، ومن بين هذه الطرق توجد طرق التمهيد الأسي التي تعتبر من أشهر الطرق التقليدية في التنبؤ التي تعتمد على السلاسل الزمنية. فقبل التطرق إلى هذه الطرق يجب علينا أولا المرور على مفهوم السلاسل الزمنية.

المطلب الأول: مفاهيم حول السلاسل الزمنية

سنتطرق في هذا الفصل إلى أهم المفاهيم التي تتعلق بالسلاسل الزمنية.

الفرع الأول: تعريف السلسلة الزمنية

– السلسلة الزمنية هي مثال لما يسمى بالعملية العشوائية، وهي سلسلة من المتغيرات العشوائية مرتبة في الزمن.[1]

– كما أنها مجموعة من القيم لمؤشر إحصائي معين مرتبة حسب تسلسل زمني، بحيث كل فترة زمنية يقابلها قيمة عددية للمؤشر تسمى مستوى السلسلة. وبمعنى آخر هي مجموعة من المعطيات ممثلة عبر الزمن المرتب ترتيبا تصاعديا.[2]

– وتعرف السلسلة الزمنية بأنها مجموعة من القيم الخاصة بمؤشر ما مأخوذة خلال فترات زمنية متتالية وهي تعكس تطور ذلك المؤشر عبر الزمن.[3]

– وتعرف أيضا بأنها مجموعة من المشاهدات أو القياسات التي تأخذ على إحدى الظواهر (الاقتصادية، الاجتماعية، الطبية، الطبيعية...الخ) على فترات زمنية متتابعة عادة ما تكون متساوية الطول.[4]

– بالإضافة إلى أنها مجموعة من المشاهدات التي تتولد على التوالي خلال الزمن.[5]

---

[1] دامودار جوجاراتي، ترجمة مها محمد زكي، **الاقتصاد القياسي بالأمثلة**، مرجع سبق ذكره، ص: 353.

[2] شيخي محمد، **طرق الاقتصاد القياسي محاضرات وتطبيقات**، الطبعة الأولى، دار الحامد للنشر والتوزيع، عمان، الأردن، 2011، ص: 195.

[3] مكيد علي، **الاقتصاد القياسي دروس ومسائل محلولة**، الطبعة الثانية، ديوان المطبوعات الجامعية، الجزائر، 2011، ص: 279.

[4] مصطفى سمير شعراوي، مرجع سبق ذكره، ص: 5.

[5] والتر فاندل، ترجمة عبد المرضي حامد عزام، **السلاسل الزمنية من الوجهة التطبيقية ونماذج بوكس–جنكنز**، دار المريخ للنشر، السعودية، 1993، ص: 19.

الفرع الثاني: أنواع السلاسل الزمنية

هناك عدة معايير لتصنيف السلاسل الزمنية، ومن أهمها:

أولا: حسب نوعية قيم السلسلة

بناء على ارتباطها بالقيمة، يمكن تقسيم القيم إلى قيم متصلة وقيم غير متصلة، وهذا التصنيف يفضي إلى الفئتين التاليتين:

1- سلسلة زمنية متقطعة (منفصلة): إذا كانت مجموعة المشاهدات مأخوذة على فترات زمنية متقطعة، مثل: $T = \{0,\pm1,\pm2,...\}$.

2- سلسلة زمنية مستمرة (متصلة): إذا كانت مجموعة المشاهدات مأخوذة على فترات زمنية متصلة، مثل: $T = [0,1]$.

ثانيا: حسب طبيعة الزمن الذي تحدث فيه قيم السلسلة الزمنية

من حيث أن هذا الزمن محدد مسبقا أو غير محدد، ويؤدي هذا المقياس إلى الصنفين التاليين:

1 - السلاسل الزمنية النقطية: هي السلاسل التي يتم قياس قيمتها في أوقات غير متوقعة، مثل سلاسل الكوارث، كسقوط الطائرات وحوادث القطارات والسيارات، وسلاسل الهزات الأرضية.

2- السلاسل الزمنية غير النقطية: تتم قياسها في فترات زمنية معينة مسبقا، ومن أمثلة ذلك سلاسل الأرباح لشركة الإسمنت في منتصف العام، وسلاسل معدل الدخل السنوي للأفراد التي تقاس في نهاية كل عام، بالإضافة إلى أمثلة أخرى.

ثالثا: حسب عدد القيم التي تأخذها السلسلة عند كل قياس

يؤدي هذا المقياس إلى النوعين التاليين من السلاسل الزمنية:

1- السلاسل الزمنية الثنائية: هذه السلاسل تأخذ إحدى القيمتين: صفر أو واحد، وتعبر عادة عن الفشل أو النجاح. وهي شائعة في مجالات مثل الهندسة الكهربائية ونظرية الاتصالات.

2- السلاسل الزمنية غير الثنائية: هي السلاسل التي تشمل أكثر من قيمتين، ومن أمثلتها: سجلات أعداد السكان ومعلومات أعداد المواشي.

رابعا: حسب التغيرات التي تحدث في السلسلة مع الزمن

يقصد بها تغيرات الاتجاه العام لنمو السلسلة والأمور التي تتكرر فيها، وهذا المقياس يؤدي إلى الأصناف التالية:

1- السلاسل ذات الاتجاه المتزايد: إنها السلاسل التي يمكن لخط مستقيم متزايد (ميله إيجابي) أن يتوسط نقاطها، ومن الأمثلة على هذه السلاسل تلك التي تمثل أعداد السكان، وسلاسل الدخل الوطني، وسلاسل حوادث السيارات.

2- السلاسل ذات الاتجاه المتناقص: هي السلاسل التي يتميز ميلها بالانحدار السالب، حيث يتوسط خط مستقيم نقطها، ومن الأمثلة على ذلك سلاسل مساحات الأراضي الزراعية في منطقة معينة، حيث تشهد تناقصا مستمرا نتيجة انتشار البنية التحتية عليها.

3- السلاسل ذات الاتجاه الثابت: هي السلاسل التي يمكن أن يعبر خط مستقيم ثابت (ميله صفر) نقاطها، ومن الأمثلة على ذلك سلاسل الطاقة الكهربائية المستخدمة في إنارة الإشارات المرورية والشوارع الرئيسية في مدن مختلفة.

4- السلاسل ذات التغيرات المتكررة على فترات متباعدة: هي السلاسل التي يتوسط نقاطها خط يشبه منحنى دالة الجيب أو جيب التمام بعد تعرضها لدوران بزاوية مناسبة، وذلك بسبب تأثير العوامل الفصلية أو السنوية على قيم السلسلة. على سبيل المثال، تتأثر سلسلة مبيعات الملابس الصوفية بتقلبات الفصول، حيث تشهد زيادة في فصل الشتاء وانخفاضا في فصل الصيف، على الرغم من أن المبيعات تتم على مدار العام.

خامسا: من حيث استقرار السلسلة الزمنية

وفي هذا النوع نميز بين:

1- سلسلة زمنية مستقرة: إذا كانت الخصائص الاحتمالية للسلسلة لا تتأثر بالزمن.

2- سلسلة زمنية غير مستقرة: إذا كانت الخصائص الاحتمالية للسلسلة تتأثر بالزمن.[1]

[1] فريد بختي، **محاضرات وتطبيقات على الحاسوب في: السلاسل الزمنية الخطية باستعمال حزمة EViews 7.0**، جامعة البويرة، كلية العلوم الاقتصادية، التجارية وعلوم التسيير، الجزائر، 2015، ص: 23-24.

الفرع الثالث: مركبات السلسلة الزمنية

إن أحد أهداف دراسة السلسلة الزمنية هو وصف الظاهرة موضع الدراسة والتعرف على التغيرات المختلفة التي طرأت عليها خلال الفترة الكلية المتاحة بسبب العوامل (المؤثرات) المختلفة التي تتعرض لها الظاهرة. وفي واقع الأمر يمكن القول إن التغيرات التي تطرأ على الظاهرة من فترة زمنية لأخرى تحدث بسبب أربعة أنواع من العوامل المختلفة هي الاتجاه العام والعوامل الموسمية والعوامل الدورية والعوامل العارضة حيث يؤثر كل نوع من هذه العوامل على الظاهرة عند أي فترة زمنية بشكل معين وفي اتجاه معين وبدرجة معينة. وقد تتأثر السلسلة الزمنية بهذه العوامل مجتمعة أو ببعضها فقط.

أولا: الاتجاه العام (Secular Trend)

عند دراسة نمط التغير لظاهرة معينة في موضوع البحث، غالبا ما يلاحظ وجود تغيرات بطيئة وتدريجية على المدى القصير، سواء بزيادة أو نقصان، مع ميل عام نحو التزايد على المدى الطويل. هذا النوع من التغير يلاحظ غالبا في سلاسل البيانات المتعلقة بأمور مثل عدد المواليد السنوي في بعض الدول أو عدد الحجاج، كما يعتمد على سلاسل البيانات المتعلقة بأسعار السلع والخدمات.

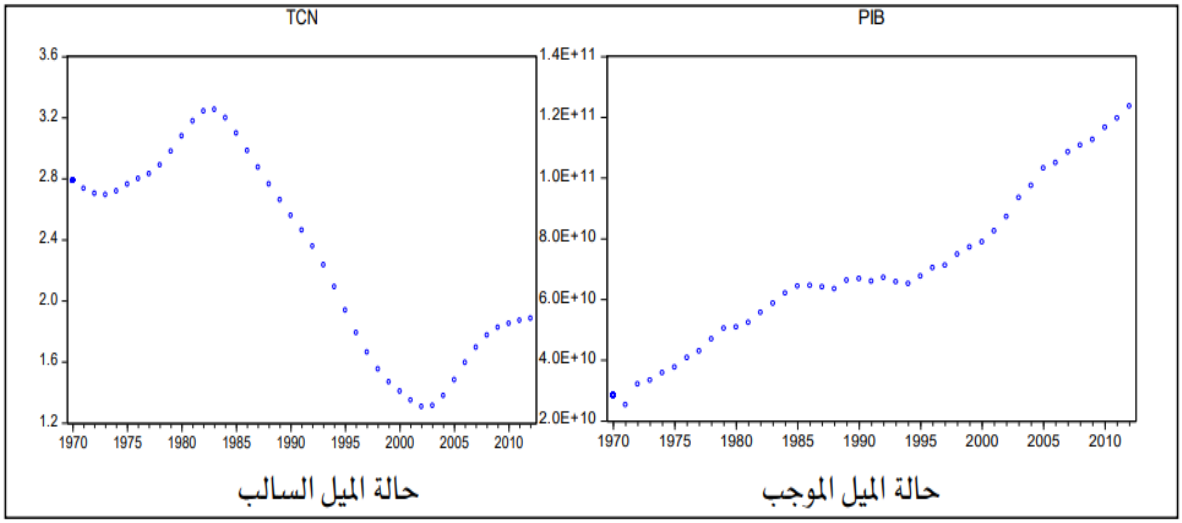
وعلى الجانب المقابل، يلاحظ أحيانا وجود تغيرات بطيئة وتدريجية على المدى القصير، مع ميل عام نحو التناقص على المدى الطويل. يمكن رؤية هذا النوع من التغير في سلاسل البيانات المرتبطة بمعدلات الوفيات السنوية، أو مخزونات الموارد الطبيعية، أو معدل انتشار مرض معين، أو حتى سلاسل البيانات المرتبطة بالاستهلاك السنوي لسلعة تقترب من الانقراض.

هناك أيضا حالات تظهر فيها الظاهرة باتجاه عام نحو التزايد في البداية ومن ثم يتحول إلى اتجاه عام نحو التناقص في نهاية الفترة الزمنية المدروسة.

بشكل عام، يمكن تعريف الاتجاه العام في السلسلة بأنه الحركة الصاعدة أو الهابطة في مستوى السلسلة على المدى الطويل، ويشار إليه عادة بتغيرات المدى الطويل.

والشكل الموالي يبين مركبة الاتجاه العام:

الشكل رقم (12): منحنى يبين مركبة الاتجاه العام



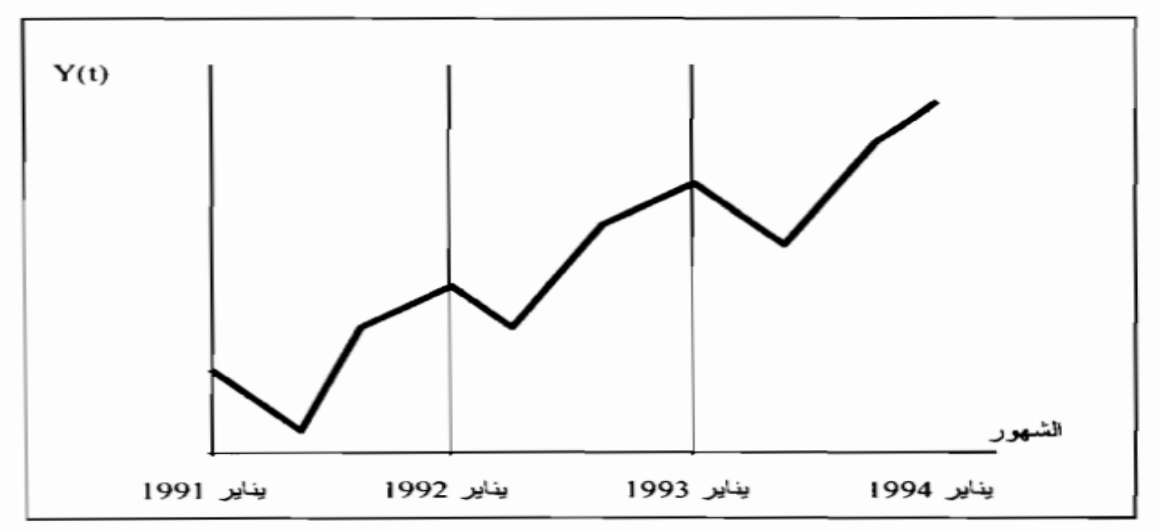
المصدر : فريد بختي، **محاضرات وتطبيقات على الحاسوب في: السلاسل الزمنية الخطية باستعمال حزمة EViews 7.0**، مرجع سبق ذكره، ص: 26.

ثانيا: التغيرات الموسمية (Seasonal Variations)

ويطلق عليها أحيانا التقلبات الموسمية وهي التغيرات التي تؤدي إلى حدوث نمط دوري (Periodical Pattern) كامل في السلسلة يتكرر بانتظام بعدد معين من الفترات الزمنية يشار إليه عادة بالرمز S. وتسمي السلسلة من هذا النوع سلسلة زمنية موسمية (Seasonal Time Series) ذات دورة (Period) طولها S. ويختلف طول الدورة، باختلاف طبيعة البيانات، فقد يساوي 12 إذا كانت البيانات شهرية، وهنا يتكرر النظام الدوري بعد كل 12 شهر أي على أساس سنوي، وأوضح مثال على ذلك السلسلة الخاصة بمتوسط درجة الحرارة الشهرية والذي يكون عادة أقل ما يمكن في شهري يناير وفبراير ويبدأ في الزيادة التدريجية من شهر مارس ويبلغ ذروته عادة في شهري يوليو وأغسطس ثم يبدأ في التناقص مرة أخرى حتى يصل إلى أدنى قيمة له في شهري يناير وفبراير كما كان، ثم يتكرر هذا النظام الدوري كل سنة. وقد يساوي طول الدورة 4 عندما تكون البيانات ربع سنوية وتسمى عادة بيانات فصلية – وهنا يتكرر النظام الدوري بعد أربعة فصول على أساس سنوي أيضا، وأوضح مثال لذلك المبيعات الربع سنوية (الفصلية) من الملابس الصوفية والتي تكون عادة أقل ما يمكن في فصل الصيف وتبدأ في الزيادة في فصل الخريف وتبلغ ذروتها في فصل الشتاء ثم تبدأ في التناقص مرة أخرى حتى تصل إلى أدنى قيمة لها في فصل الصيف، ويتكرر هذا النظام الدوري كل سنة.

وفيما يلي توضيح للمركبة الفصلية:

الشكل رقم (13): منحنى يبين مركبة الفصلية

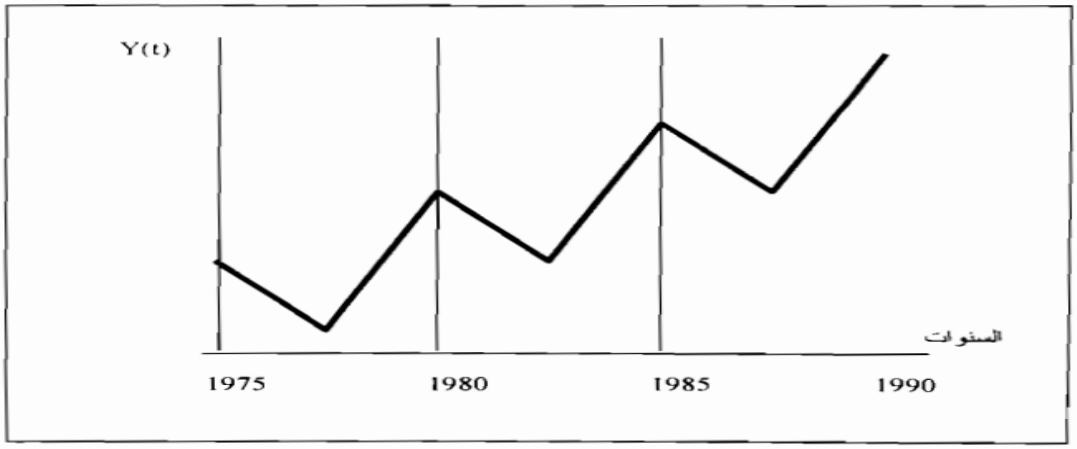


المصدر: مصطفى سمير شعراوي، مرجع سبق ذكره، ص: 45.

ثالثا: التغيرات الدورية (Cyclical Variations)

وهي تغيرات تؤدي إلى حدوث نمط دوري في السلسلة يتكرر كل فترة زمنية طويلة (سنتين أو أكثر)، وهي في ذلك تشبه التغيرات الموسمية، إلا أنها تختلف عن هذه التغيرات في العديد من الأوجه، الأول أن طول الدورة التي تحدثها هذه التغيرات أكبر كثيرا من طول الدورة الموسمية وعادة ما يكون خمس أو عشر سنوات ولذلك تسمى هذه التغيرات بالتغيرات طويلة الأجل. الفارق الثاني يكمن في أسباب حدوث تلك التغيرات، إذ تعكس هذه التغيرات نتائج دورات وتقلبات اقتصادية مثل الركود أو النمو في ظواهر الاقتصاد. بينما يتمثل الفارق الثالث في عدم قدرة تحديد مدى تلك الدورات بدقة، فهذا النوع من التقلبات يتميز بعدم انتظامه، مما يجعله غير مستقر وصعب التنبؤ به باستخدام البيانات الزمنية، ويتطلب وقتا طويلا لاكتشافه وتقديره، كما يوضح الشكل الموالي:

الشكل رقم (14): منحنى يبين المركبة الدورية

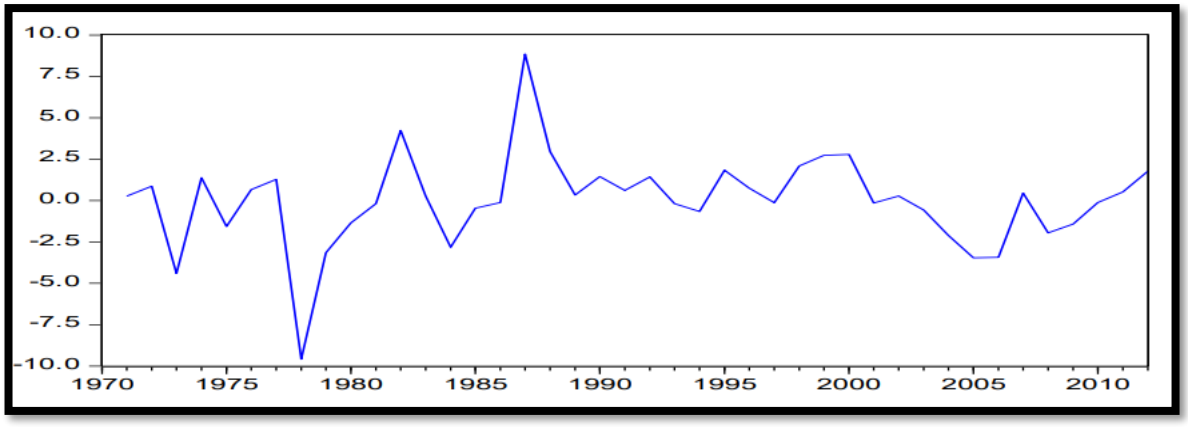


المصدر: مصطفى سمير شعراوي، مرجع سبق ذكره، ص: 47.

رابعا: التغيرات غير المنتظمة (العشوائية) (Irregular Variations)

تختلف هذه التغيرات عن سابقاتها بطبيعتها غير المتوقعة، حيث لا يمكن التنبؤ بها بالاعتماد على أي قوانين أو نظم محددة. تعرف بأنها تغيرات غير اعتيادية تتسبب في اهتزازات فجائية في الظواهر، سواء بالارتفاع أو الانخفاض. تتميز هذه التغيرات بعدم استمراريتها لفترة طويلة، وبالتالي يشار إليها عادة بأنها تغيرات قصيرة الأجل. من أمثلة أسباب هذه التغيرات: الحروب، والكوارث الطبيعية مثل الزلازل والبراكين والحرائق والسيول والفيضانات، وكذلك الإضرابات العمالية وغيرها[1]. وذلك ما يوضحه الشكل التالي:

الشكل رقم (15): منحنى يبين المركبة العشوائية



المصدر: فريد بختي، **محاضرات وتطبيقات على الحاسوب في: السلاسل الزمنية الخطية باستعمال حزمة EViews 7.0**، مرجع سبق ذكره، ص: 28.

[1] مصطفى سمير شعراوي، مرجع سبق ذكره، ص: 42-48.

المطلب الثاني: طرق التمهيد الأسي

في عام 1944، قام Robert Goodell Brown (1923–2013) بتطوير فكرة التمهيد الأسي أثناء عمله كمحلل لبحوث العمليات في البحرية الأمريكية. استخدم هذه الفكرة في جهاز الحوسبة الميكانيكية لتتبع السرعة والزاوية المستخدمة في إطلاق النار على الغواصات. في الخمسينات الأولى، توسع التمهيد الأسي من السلاسل الزمنية المستمرة إلى المنفصلة، وكانت أحد تطبيقاته التنبؤ بالطلب على قطع الغيار في نظام مخزون البحرية الأمريكية، وهو ما شكل الأساس لكتابه الأول "التنبؤ الإحصائي لمراقبة المخزون" (Brown,1959). بجانبه، كان Charles C Holt (1921–2010) يعمل على طريقة التمهيد الأسي أيضا لمكتب الولايات المتحدة للبحوث البحرية. اختلف أسلوب Holt عن أسلوب Brown، حيث اعتمد Holt على التمهيد الأسي الموسمي التجميعي والمضاعف، والذي أصبح معروفا جيدا من خلال ورقة كتبها تلميذه Peter Winters في عام 1960، والتي قدمت اختبارات تطبيقية لطرق Holt. نتيجة لذلك، غالبا ما تشار إلى الإصدارات الموسمية لأساليب Holt بطرق (Holt-Winters) وأحيانا بأساليب Winters فقط. تتنوع طرق التمهيد الأسي حسب مكونات السلسلة الزمنية، مما يؤدي إلى استخدام طرق مختلفة في حالة وجود اتجاه عام مقارنة بحالة وجود الموسميات.[1] وهذا ما سوف نتطرق إليه فيما يلي:

الفرع الأول: طريقة التمهيد الأسي البسيط

تعتبر هذه الصيغة ملائمة في الحالة التي تتحرك فيها السلسة الزمنية لأعلى وأسفل حول متوسط ثابت دون وجود اتجاه متزايد أو متناقص أو نمط موسمي متكرر. وتتمثل الصيغة التي تستخدم في هذه الحالة فيما يلي:

$$Y_{F1t} = \alpha[y_t + (1-\alpha)y_{t-1} + (1-\alpha)^2 y_{t-2} + \cdots] \dots\dots (1)$$

وبالحصول على Y_{F1t-1} وفقا لنفس منطق المعادلة (1) وإجراء بعض التعويضات نحصل على:

$$Y_{F1t} = \alpha y_t + (1-\alpha)Y_{F1t-1}$$

تسمى α معلمة التمهيد (smoothing) وتكون محصورة بين الصفر والواحد، أي: $0 \leq \alpha \leq 1$.

حيث Y_{F1t} تشير للمتوسط الممهد، و y_t تشير للبيانات الأصلية. ويراعى أن أول قيمة ممهدة تساوى أول قيمة أصلية. أي $Y_1 = y_1$. وكلما كانت α قريبة من الواحد كلما كانت Y_{F1t} قريبة من y_t مما يقلل من

[1] جوادي علي، عدلي إبراهيم، **الاقتصاد القياسي طرق وتطبيقات باستخدام برمجية EViews**، الطبعة الأولى، دار الباحث، الجزائر، 2023، ص: 256–257.

درجة التمهيد، وكلما كانت α قريبة من الصفر كلما زادت درجة التمهيد. ويتم تحديد α تحكميا من قبل الباحث، أو توجد هناك بعض البرامج التي تحسبها بحيث تجعل مجموع مربعات أخطاء التنبؤ عند حدها الأدنى. والتنبؤ وفقا لهذه الطريقة يعطي قيمة ثابتة لجميع القيم المتوقعة.

الفرع الثاني: طريقة التمهيد الأسي المزدوج (Brown)

تسمى أيضا بطريقة براون الخطي تقوم هذه الطريقة بعمل التمهيد الأسي مرتين، وهي تعتبر ملائمة في حالة أن يكون هناك اتجاه خطي في البيانات وتقلبات حوله وعدم وجود نمط موسمي. فإذا كان لدينا متغير y_t فإن التمهيد الأسي المزدوج لقيمه يحدث على مرحلتين على النحو التالي:

$$Y_{F1t} = \alpha Y_t + (1-\alpha) Y_{F1t-1} \cdots (2)$$

$$Y_{F2t} = \alpha Y_{F1t} + (1-\alpha) Y_{F2t-1} \cdots (3)$$

وتمثل المعادلة (2) التمهيد الأول، والمعادلة (3) التمهيد الثاني. ويلاحظ أن الصيغة التي تستخدمها هذه الطريقة في التنبؤ للقيمة رقم k بعد الفترة الحالية t تتمثل في:

$$Y_{Ft+k} = \left(2 + \frac{\alpha k}{1-\alpha}\right) Y_{F1t} - \left(1 + \frac{\alpha k}{1-\alpha}\right) Y_{F2t}$$

$$= (2Y_{F1t} - Y_{F2t}) + \frac{\alpha}{1-\alpha}(Y_{F1t} - Y_{F2t})k \cdots (4)$$

ويلاحظ أن صيغة التنبؤ في المعادلة (4) تمثل خط مستقيم، حده الثابت $(2Y_{F1t} - Y_{F2t})$ وميله $(\alpha(Y_{F1t} - Y_{F2t})/(1-\alpha))$.[1]

الفرع الثالث: طريقة التمهيد الأسي المزدوج (Holt)

رأينا أن الطريقة السابقة (طريقة التمهيد الأسي لبراون) تحتوي على معلمة تمهيد واحدة α، بينما طريقة التمهيد الأسي المزدوج لهولت فتحتوي على معلمتي تمهيد، معلمة خاصة بالتمهيد العام وأخرى بالاتجاه العام كما هو موضح في المعادلتين التاليتين:

$S_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ ... التمهيد العام.

$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$ ... التمهيد الاتجاهي.

أما معادلة التنبؤ فتأخذ الصيغة التالية: $\hat{y}_{t+k} = S_t + kT_t$ حيث يمثل k أفق التنبؤ.

[1] عبد القادر محمد عبد القادر عطيه، مرجع سبق ذكره، ص: 720-722.

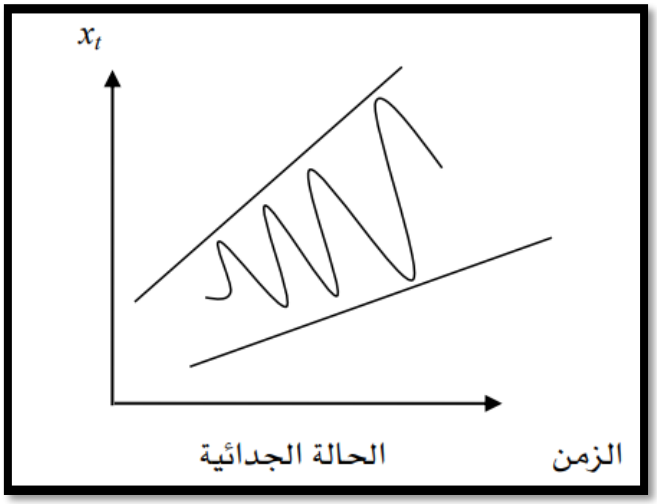
الفرع الرابع: طريقة التمهيد الأسي الثلاثي (Holt-Winters)

إذا كانت السلسلة تحتوي على المركبة الموسمية فهناك طرق تمهيد خاصة للتنبؤ بقيمها المستقبلية، أهم هذه الطرق في طريقة Holt-Winters، وقبل استخدام هذه الطريقة لابد من معرفة شكل المركبات هل هو جدائي أم تجميعي من خلال التطور الزمني لسلسلة أو من خلال الاختبار الإحصائي المناسب.

أولا: الشكل الجدائي

يعني الشكل الجدائي أن مدى التغيرات الموسمية يتغير من سنة إلى أخرى أي أنه مرتبط بالزمن، لذلك يمكن رسم السلسلة بين خطين متفرجين كما يلي:

الشكل رقم (16): الشكل الجدائي للسلسلة الزمنية



المصدر: فريد بختي، **محاضرات وتطبيقات على الحاسوب في: السلاسل الزمنية الخطية باستعمال حزمة EViews 7.0**، مرجع سبق ذكره، ص: 29.

تعطي صيغة التنبؤ لطريقة Holt-Winters الجدائي بالشكل الآتي:

$$\hat{Y}_{t+h} = (S_t + hT_t) \times I_{t+h-s}$$

حيث: s تمثل طول الفترة الموسمية، أما h فتمثل أفق التنبؤ.

يتم تحديد المعاملات الثلاثة من خلال العلاقة التراجعية الآتية:

$S_t = \alpha \left(\frac{Y_t}{I_{t-s}}\right) + (1-\alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ ... التمهيد العام.

$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$ ... التمهيد الاتجاهي.

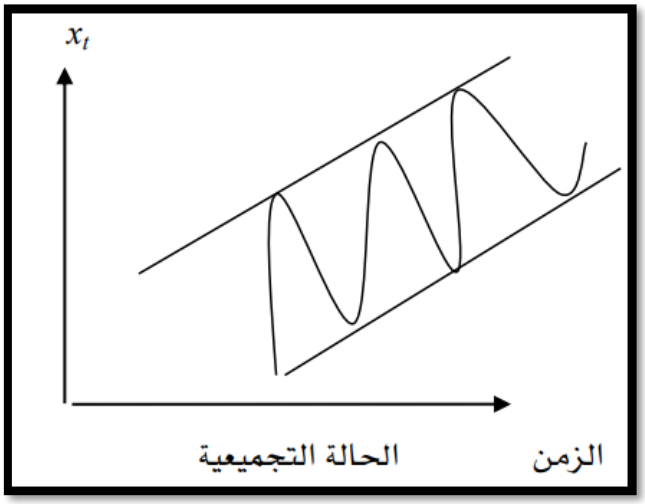
$I_t = \gamma\left(\frac{Y_t}{S_t}\right) + (1-\gamma)I_{t-s}$ ... التمهيد الموسمي.

حيث: $0 < \alpha, \beta, \gamma < 1$.

ثانيا: الشكل التجميعي:

يعني الشكل التجميعي أن مدى التغيرات الموسمية مستقل عن الزمن (الاتجاه العام) فلا يتغير من سنة إلى أخرى، لذلك يمكن رسم السلسلة بين خطين متوازيين كما يلي:

الشكل رقم (17): الشكل التجميعي للسلسلة الزمنية



المصدر: فريد بختي، **محاضرات وتطبيقات على الحاسوب في: السلاسل الزمنية الخطية باستعمال حزمة EViews 7.0**، مرجع سبق ذكره، ص: 29.

تعطي صيغة التنبؤ لنموذج Holt-Winters التجميعي بالشكل الآتي:

$$\hat{Y}_{t+h} = (S_t + hT_t) \times I_{t+h-s}$$

حيث: s تمثل طول الفترة الموسمية، وh فتمثل أفق التنبؤ.

يتم تحديد المعاملات الثلاثة من خلال العلاقة التراجعية الآتية:

$S_t = \alpha(Y_t - I_{t-s}) + (1-\alpha)(S_{t-1} + T_{t-1})$ ... التمهيد العام.

$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$ ... التمهيد الاتجاهي.

$I_t = \gamma(Y_t - S_t) + (1-\gamma)I_{t-s}$ ... التمهيد الموسمي.[1]

[1] جوادي علي، عدلي إبراهيم، مرجع سبق ذكره، ص: 265-267.

المطلب الثالث: تصنيف نماذج ETS

بناء على فكرة مركبات السلاسل الزمنية يمكننا الانتقال من تصنيف التمهيد الأسي الذي يحتوي على مركبتين الاتجاه العام والموسمية إلى تصنيف ETS (Error-Trend-Seasonality)، حيث إذا أضفنا مركبة حد الخطأ Error (بنوعيه التجميعي والجدائي) إلى الاتجاه العام والموسمية نحصل على تصنيف ETS، وعليه يمكن الحصول على 30 نموذج. مع العلم أن النموذج الذي لديه أخطاء تجميعية تكون التنبؤات النقطية نفسها مع النموذج الذي به أخطاء جدائية (بشرط استخدام نفس قيم المعلمات)، لكن فترات التنبؤ للنموذجين تكون مختلفة يلخص الجدول الآتي جميع نماذج ETS:

الجدول رقم (2): مختلف نماذج ETS

Model	Model	Model
ETS (M, M, N)	ETS (A, M, A)	ETS (M, N, M)
ETS (M, A, N)	ETS (A, Md, A)	ETS (M, N, A)
ETS (M, A, M)	ETS (A, Md, M)	ETS (M, N, N)
ETS (A, M, N)	ETS (A, N, A)	ETS (M, A, A)
ETS (A, N, N)	ETS (M, Ad, M)	ETS (A, Ad, M)
ETS (A, A, M)	ETS (M, Ad, N)	ETS (M, M, A)
ETS (M, M, M)	ETS (M, Md, M)	ETS (A, A, A)
ETS (A, N, M)	ETS (A, Ad, N)	ETS (A, Ad, A)
ETS (A, A, N)	ETS (M, Md, A)	ETS (M, Ad, A)
ETS (A, M, M)	ETS (M, Md, N)	ETS (A, Md, A)

المصدر: جوادي علي، عدلي إبراهيم، مرجع سبق ذكره، ص: 271.

حيث في التمهيد الأسي، تتكون مركبة الاتجاه العام من حد المستوى level (l) والنمو growth (b). يمكن الجمع بين المستوى والنمو بعدة طرق، مع إعطاء خمسة أنواع من الاتجاه العام المستقبلي. وبافتراض T_h التي تشير إلى التنبؤ بالاتجاه العام خلال الفترات الزمنية المقبلة h، وأن ϕ التي تمثل معامل التخميد damping $(0 < \phi < 1)$. فإنه يمكن تكوين خمسة أنواع من الاتجاه العام (أنماط النمو) كما يلي:

None: $T_h = l$

Additive: $T_h = l + bh$

Additive damped: $T_h = l + (\phi + \phi^2 + \cdots + \phi^h)b$

Multiplicative: $T_h = lb^h$

Multiplicative damped: $T_h = lb^{(\phi+\phi^2+\cdots+\phi^h)}$

تستخدم معلمة التخميد ϕ بإخماد (تقليل، تثبيط) أو الحد من تأثير الاتجاه العام بمرور الزمن، وهذا ما يؤدي غالبا إلى تحسين دقة التنبؤ خاصة في الفترات الطويلة.

حيث تشير الرموز في الجدول أعلاه إلى:

N: لا شيء، A: تجميعي، M: جدائي، Ad: تجميعي متخامد، Md: جدائي متخامد.

يساعد الترميز ETS(. , . , .) في تذكر ترتيب المركبات. ويمكن أيضا اعتبار ETS اختصارا لـ ExponenTial Smoothing، فمثلا النموذج ETS(A,A,N) يتضمن أخطاء تجميعية واتجاه عام تجميعي ولا توجد موسمية وهذا النموذج هو نفسه طريقة هولت الخطية مع أخطاء تجميعية.

أولا: الكتابة الرياضية لنماذج ETS

يتم تمثيل نماذج ETS كنماذج فضاء حالة State-Space وقبل إعطاء الصيغة الأخيرة لنماذج ETS نعرج باختصار على التطور التاريخي لنموذج فضاء حالة. ففي عام 1960، اقترح Kalman في مجال الهندسة ما يسمى بالمصدر المتعدد للأخطاء Multiple Source Of Errors (MSOE) لنموذج فضاء حالة. النموذج الأصلي معقد للغاية وقد تم تبسيطه لاحقا بواسطة Harvey في عام 1984، والذي تم تقديمه بواسطة معادلتين هما:

$$y_t = w^t v_{t-1} + \varepsilon_t \cdots (1)$$
$$v_t = F v_{t-1} + \eta_t \cdots (2)$$

حيث: y_t تشير إلى المشاهدة في الزمن t و v_t عبارة عن "شعاع حالة" يحتوي على المركبات غير المشاهدة لسلسلة مثل المستوى، الاتجاه العام والموسمية.

$\varepsilon_t \to N(0, \sigma^2)$ خطأ المشاهدة، $\eta_t \to N(0, \Sigma)$ شعاع الخطأ للمركبات، w شعاع القياس ويوضح كيفية هيكلة شكل المركبات، F هي مصفوفة الانتقال Transition Matrix وهي توضح كيف تتفاعل المركبات مع بعضها البعض وتتغير بمرور الزمن.

تعرف المعادلة (1) بمعادلة القياس Measurement (أو المشاهدة Observation). فهي تصف العلاقة بين الحالات غير المشاهدة v_{t-1} والمشاهدة y_t، يصف الحد $w^t v_{t-1}$ تأثير الماضي على y_t.

أما المعادلة (2) فتعرف بمعادلة الانتقال Transition (أو الحالة State) التي تصف كيف تتغير المركبات Components (أو الحالات States) غير المشاهدة (المستوى، الاتجاه، الموسمية) بمرور الزمن. يصف الحد Fv_{t-1} تأثير الماضي على الحالة الحالية على x_t.

في عام 1985، عدل Snyder المصدر المتعدد للأخطاء (MSOE) واقترح مصدر وحيد للخطأ Single Source Of Error (SSOE) لنموذج فضاء حالة (النماذج الخطية) الذي يكتب بالشكل التالي:

$$y_t = w^t v_{t-1} + \varepsilon_t \cdots (3)$$

$$v_t = Fv_{t-1} + g\varepsilon_t \cdots (4)$$

تفسر المعادلتين (3) و(4) بنفس تفسير المعادلتين (1) و(2) ماعدا المصطلح $g\varepsilon_t$ الذي يظهر التغير غير المتوقع في v_t. يحدد شعاع g مدى تأثير الأخطاء على الحالة. ويسمي بشعاع الثبات Persistence.

في عام 1997 واعتمادا على عمل Snyder، أنشأ Ord and Al فئة عامة من نماذج فضاء حالة، تكتب بالصيغة التالية:

$$y_t = w(v_{t-1}) + r(v_{t-1})\varepsilon_t \cdots (5)$$

$$v_t = f(v_{t-1}) + g(v_{t-1})\varepsilon_t \cdots (6)$$

حيث $v_t = (l_t, b_t, s_t, s_{t-1}, \dots, s_{t-m+1})$ وهو شعاع حالة، و $\varepsilon_t \to N(0, \sigma^2)$، $r(v_{t-1})$ يمثل نوع الأخطاء، ففي الأخطاء التجميعية يكون: $r(v_{t-1}) = 1$ أي $\varepsilon_t = y_t - \mu_t \Rightarrow y_t = \varepsilon_t + \mu_t$.

وفي الأخطاء الجدائية يكون: $r(v_{t-1}) = \mu_t$ ومنه:

$$\varepsilon_t = \frac{y_t - \mu_t}{\mu_t} \Rightarrow y_t = \mu_t + \mu_t\varepsilon_t \Rightarrow y_t = \mu_t(1 + \varepsilon_t)$$

وكمثال سنكتب التمهيد الأسي البسيط مع أخطاء تجميعية ETS(A,N,N) كنموذج فضاء حالة كالأتي:

تكتب معادلة التمهيد الأسي البسيط على الشكل: $\hat{y}_{T+1} = \alpha y_T + (1-\alpha)\hat{y}_T$ وهناك طريقة أخرى لكتابة التمهيد الأسي البسيط وهي بتمثيل شكل المركبة لطرق التمهيد الأسي بمعادلة تنبؤ Forecast ومعادلة تمهيد (المستوى) level لكل مركبة من المركبات المضمنة في الطريقة، وكما نعلم أن المركبة

الوحيدة المتضمنة في التمهيد الأسي البسيط هو المستوى l_t (قد تتضمن الطرق الأخرى إضافة الاتجاه العام b_t والمركبة الموسمية s_t)، يتم إعطاء شكل المركبة للتمهيد الأسى البسيط من خلال:

معادلة التنبؤ: $\hat{y}_{t+h} = l_t$

معادلة التمهيد (المستوى): $l_t = \alpha y_t + (1-\alpha) l_{t-1}$

حيث l_t هو المستوى (أو القيمة الممهدة) للسلسلة في الزمن t.

إذا أعدنا ترتيب معادلة التمهيد للمستوى، نحصل على نموذج "تصحيح الخطأ" التالي:

$$l_t = \alpha y_t + (1-\alpha) l_{t-1} = l_{t-1} + \alpha(y_t - l_{t-1}) \Rightarrow l_t = l_{t-1} + \alpha e_t$$

حيث: $e_t = y_t - l_{t-1} \Rightarrow y_t = l_{t-1} + e_t$ و $e_t = \varepsilon_t \to N(0, \sigma^2)$ وعليه نكتب:

معادلة المشاهدة (القياس): $y_t = l_{t-1} + e_t$

معادلة الحالة (الانتقال): $l_t = l_{t-1} + \alpha e_t$

ثانيا: تقدير نماذج ETS

يتم تقدير نماذج ETS عن طريق المعقولية العظمى Maximum Likelihood، ومن ثم يمكن الحصول على تقديرات الاحتمالية القصوى للمعلمات عن طريق تدنئة L^* حيث:

$$L^*(\theta, x_0) = n\, log\left(\sum_{t=1}^{n} \varepsilon_t^2\right) + 2\sum_{t=1}^{n} \log|r(v_{t-1})| = -2log\ (\text{likelihood})$$

المعلمات المقدرة هي معلمات التمهيد $\theta = (\alpha, \beta, \gamma, \phi)$ والحالات الأولية هي:

$x_0 = (l_0, b_0, s_0, s_{-1}, \dots, s_{-m+1})$.

1- قيود المعلمات

أ- القيود التقليدية:

- القيود التقليدية للمعلمات هي $0 < \alpha, \beta^*, \gamma^*, \phi < 1$ بحيث يمكن تفسير المعادلات على أنها متوسطات مرجحة.

- في نماذج فضاء حالة تم وضع $\beta = \alpha\beta^*$ و $\gamma = (1-\alpha)\gamma^*$ لذلك تصبح القيود التقليدية:
$0 < \alpha < 1, \quad 0 < \beta < \alpha, \quad 0 < \gamma < 1 - \alpha$.

ب- القيود المقبولة:

لمنع المشاهدات في الماضي البعيد من أن يكون لها تأثير مستمر على التوقعات الحالية، نضع قيود مقبولة والتي عادة (ولكن ليس دائما) أقل تقييدا من القيود التقليدية فمثلا في نموذج ETS(A,N,N)، منطقة المعلمة التقليدية هي: $0 < \alpha < 1$ ولكن القيود المسموح بها $0 < \alpha < 2$.

ثالثا: الاختيار الأوتوماتيكي بين نماذج ETS

من المزايا الكبيرة للإطار الإحصائي لـ ETS أنه يمكن استخدام معايير المعلومات لاختيار النموذج، حيث يمكن استخدام معيار المعلومات لـ Akaike (AIC) ومعيار المعلومات المصحح لـ Akaike (AICc) ومعيار المعلومات لـ Bayesian (BIC) لتحديد أي من نماذج ETS هو الأنسب لسلسلة زمنية معينة.

$$AIC = -2\,log(L) + 2k$$

$$AICc = AIC + \frac{2k(k+1)}{T-k-1}$$

$$BIC = AIC + k[log(T) - 2]$$

حيث: L هو احتمال Likelihood للنموذج و k هو العدد الإجمالي للمعلمات والحالات الأولية التي تم تقديرها (بما في ذلك تباين البواقي).[1]

[1] جوادي علي، عدلي إبراهيم، مرجع سبق ذكره، ص: 269-274.

المبحث الثالث: عرض طريقة Box-Jenkins

تعتمد طريقة Box-Jenkins على عدة مفاهيم ومراحل سوف نذكرها في هذا المبحث.

المطلب الأول: مفاهيم عامة وأساسية

أولا: النموذج العشوائي (Stochastic Process): العنصر العشوائي يمكن اعتباره ظاهرة إحصائية تتطور عبر الزمن وفق قانون احتمالات معين، ويمكن تعريف النموذج العشوائي رياضيا كمجموعة متغيرات عشوائية مرتبة عبر الزمن، ويرمز له بالرمز "x_t"، حيث $t \in T$ أين "T" يمثل الزمن.

ثانيا: الصدمات العشوائية (White Noise): عبارة عن متتالية عشوائية مستقلة عن بعضها البعض أي غير مرتبطة ولها نفس التباين، ونرمز لها بالرمز (ε_t)، وتسمى أيضا بالشوشرة البيضاء ويمكن تلخيص خصائصها فيما يلي:

$$\forall t: \begin{cases} \varepsilon_t \sim N(0, \delta^2) \\ E(\varepsilon_t) = 0 \\ V(\varepsilon_t) = \delta^2 \\ COV(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k}) = 0 \end{cases}$$

ثالثا: السياق المستقر (Stationary Process): يعتبر السياق (X_t) مستقرا إذا كان تباينه ومتوسطه ثابتين وغير متأثرين بالزمن. ويمكن التعبير عن هذا النوع من الاستقرار رياضيا على النحو التالي:

$$\begin{cases} E(X_t) = \mu \\ V(X_t) < \infty \\ COV(X_t X_{t-h}) = R(h) \end{cases} \quad , \nabla\, t, h \in T$$

رابعا: دالة التباين المشترك الذاتي (Autocovariance Function): يمكن تعريف دالة التباين المشترك الذاتي والمعبر عنها بالرمز $\gamma(h)$ أو بالرمز $\gamma(t,h)$ رياضيا كما يلي:

$$\gamma(t,h) = COV(X_t, X_h)$$

$$\gamma(t,h) = E[(X_t - M_t)(X_h - M_h)] \text{ مع: } t, h \in Z^2$$

حيث:

$$M_t = E(x_t)$$

$$M_h = E(X_h)$$

خامسا: دالة الارتباط الذاتي (Autocorrelation function): إذا أردنا دراسة الارتباط بين مختلف الثنائيات (X_t, X_{t+h})، فإنه يمكننا الاعتماد على ما يسمى بدالة الارتباط الذاتي، حيث أن معاملات هذه الأخيرة تعطى بالعبارة التالية: (معامل الارتباط الذاتي من الدرجة h لسلسلة زمنية مستقرة X_t).

$$\rho_h = \frac{COV(X_t, X_{t+h})}{[Var(X_t)]^{1/2}.[Var(X_{t+h})]^{1/2}} = \frac{\gamma_h}{\gamma_0};\ h = 0, 1 \pm 2, \dots, \pm T$$

بما أنه في الواقع يكون لدينا حالة متحققة واحدة (عينة) للسيرورة العشوائية، فإنه لا يمكننا الحصول على أكثر من دالة الارتباط الذاتي للعينة (SACF)، والتي تعطى معاملاتها كما يلي:

$$\hat{\rho}_h = \frac{\hat{\gamma}_h}{\gamma_0}$$

حيث:

$$\hat{\gamma}_0 = \frac{1}{T-1}\sum_{t=1}^{T}(X_t - \bar{X})^2$$

$$\hat{\gamma}_h = \frac{1}{T-1}\sum_{t=1}^{T-h}(X_t - \bar{X})(X_{t+h} - \bar{X})$$

$$\bar{X} = \frac{1}{T-1}\sum_{t=1}^{T} X_t$$

تتمتع دالة الارتباط الذاتي بالخصائص التالية:

1) $\rho_0 = 1$.

2) $|\rho_h| \leq \rho_0$.

3) $\rho_h = \rho_{-h}$ (دالة زوجية).

4) من أجل ACF معينة، سيكون هناك سلسلة طبيعية واحدة، لكن يمكن أن نجد عدة سلاسل غير طبيعية لها نفس الـ ACF حيث قدم Jenkins وWatts (1968) مثال لسلسلتين زمنيتين عشوائيتين لهما نفس الـ ACF. وتمثيلها البياني يدعى بـ Correlogram.

سادسا: دالة الارتباط الذاتي الجزئي (Partial Autocorrelation Function) (PACF): هذه الدالة تتيح حساب معاملات الارتباط الذاتي الجزئي بين المشاهدات في فترات زمنية مختلفة، وتسهم في تشكيل نماذج الانحدار الذاتي. العرض البياني لهذه الدالة يعرف بـ "Partial Correlogram". يمكن تمثيل هذه الدالة بالعلاقة التالية:

$$r(h) = \frac{COV(X_t - X_t^*, X_{t-h} - X_{t-h}^*)}{\sum_{t=1}^{h}(X_t - \bar{X})^2}, h \geq 0$$

حيث:

(X_t^*): الانحدار الخطي لـ (X_t) على $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-h}$.

(X_{t-h}^*): الانحدار الخطي لـ (X_{t-h}) على $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots, X_{t-h+1}$.

ويسمى (a_h) معامل (X_{t-h}) حيث أن:

$$X_t = a_1 X_{t-1} + a_2 X_{t-2} + \cdots + a_h X_{t-h} + \varepsilon_t$$

$$X_t = \sum_{i=1}^{h} a_i X_{t-i} + \varepsilon_t$$

مع: $\varepsilon_t \sim N(0, \delta^2)$

سابعا: معاملات التحويل: وتتمثل في ما يلي:

1- معامل التأخر (Backward Factor): يطلق على معامل التأخر "B" الذي يعرف كما يلي: $BX_t = X_{t-1}$ وعموما، يمكن تمثيل هذا المعامل بالشكل التالي: $B^k X_t = X_{t-k}$

إذن:

$$\left(\sum_{i=1}^{h} a_i B^i\right) X_t = \sum_{i=1}^{h} a_i X_{t-i}$$

2- معامل التقدم (Forward Factor): يعرف معامل التقدم "F" بما يلي: $FX_t = X_{t+1}$، حيث يمثل هذا المعامل في الحالة العامة بالشكل: $F^k X_t = X_{t+k}$.[1]

إذن:

$$\left(\sum_{i=1}^{n} a_i F^i\right) X_t = \sum_{i=1}^{n} a_i X_{t+i}$$

المطلب الثاني: النماذج الخطية للسلسلة الزمنية

الفرع الأول: نموذج الانحدار الذاتي (Autoregressive model)

نضع Y_t تمثل متغير ما عند الزمن t. إذا نمذجنا Y_t كالتالي:

$$(Y_t - \delta) = \alpha_1 (Y_{t-1} - \delta) + u_t$$

حيث إن δ هي متوسط Y و u_t هو مقدار خطأ عشوائي غير مرتبط له توقع يساوي الصفر وتباين ثابت σ^2 (أي أنه بحت)، وبالتالي فإننا نقول إن Y_t تتبع انحدارا ذاتيا من الدرجة الأولى أو AR(1) عملية عشوائية. هنا قيمة Y عند الزمن t تعتمد على قيمتها في الفترة الزمنية السابقة ومقدار عشوائي، قيم Y معبر عنها بانحرافها عن وسطها الحسابي. بمعنى آخر، فإن النموذج يقول إن القيمة المتنبأ بها لـ Y عند الزمن t هي ببساطة نسبة (α_1) من قيمتها عند الزمن $(t-1)$ بالإضافة إلى مقدار عشوائي عند الزمن t، ومرة أخرى، فإن قيم Y معبر عنها حول قيمها المتوسطة. ولكن إذا اعتبرنا النموذج التالي:

$$(Y_t - \delta) = \alpha_1 (Y_{t-1} - \delta) + \alpha_2 (Y_{t-2} - \delta) + u_t$$

بالتالي، نحن نقول بذلك أن Y_t تتبع انحدارا ذاتيا من الدرجة الثانية أو عملية AR(2)، بمعنى أن قيمة Y عند الزمن t تعتمد على قيمتها في الفترة السابقة بفترتين زمنيتين، قيم Y معبر عنها حول وسطها الحسابي δ. عموما نحن لدينا:

$$(Y_t - \delta) = \alpha_1 (Y_{t-1} - \delta) + \alpha_2 (Y_{t-2} - \delta) \cdots + \alpha_p \left(Y_{t-p} - \delta\right) + u_t$$

[1] فريد بختي، **محاضرات وتطبيقات على الحاسوب في: السلاسل الزمنية الخطية باستعمال حزمة EViews 7.0**، مرجع سبق ذكره، ص: 79-82.

في هذه الحالة تكون Y_t تتبع انحدارا ذاتيا من الدرجة p أو عملية AR(p). نلاحظ أنه في كل النماذج السابقة، لا يوجد سوى القيم الحالية، والسابقة لـ Y ولا يوجد أي متغيرات منحدرة. بمعنى أن البيانات تتحدث عن نفسها.[1]

الفرع الثاني: نموذج المتوسطات المتحركة (Moving Average Model)

عملية AR التي ناقشناها الآن، ليست الطريقة الوحيدة لتوليد Y، فإذا افترضنا أننا نمذجنا Y كالتالي:

$$Y_t = \mu + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1}$$

حيث إن μ ثابت، و u هو مقدار خطأ عشوائي بحت. هنا Y عن الزمن t تساوي ثابتا بالإضافة إلى متوسط متحرك لمقادير الأخطاء الحالية والماضية، وبالتالي في الوضع الحالي نقول إن Y تتبع متوسطات متحركة من الدرجة الأولى أو عملية MA(1). ولكن إذا اتبعت Y الشكل التالي:

$$Y_t = \mu + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} + \beta_2 u_{t-2}$$

إذن هذه عملية MA(2). وبشكل عام فإن:

$$Y_t = \mu + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} + \beta_2 u_{t-2} + \cdots + \beta_q u_{t-q}$$

هي عملية MA(q). باختصار عملية المتوسطات المتحركة هي ببساطة توليفة خطية من مقادير الأخطاء العشوائية البحتة.

الفرع الثالث: نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات متحركة

(Autoregressive Moving Average Model)

بالطبع من المحتمل أن تعرف Y بكل من AR وMA، ومن هنا تأتي ARMA، أي أن Y_t تتبع عملية ARMA (1,1) إذا كان يمكن كتابتها كالتالي:

$$Y_t = \theta + \alpha_1 Y_{t-1} + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1}$$

حيث يوجد مقدار انحدار ذاتي واحد ومقدار متوسطات متحركة واحد. و θ تمثل المقدار الثابت.

[1] دامودار جوجاراتي، ترجمة هند عبد الغفار عودة، **الاقتصاد القياسي الجزء الثاني**، دار المريخ للنشر، السعودية، 2015، ص: 1079-1080.

في العموم، في عملية ARMA (p,q) سيكون لدينا p مقادير انحدار ذاتي، وq مقادير متوسطات متحركة، وذلك على النحو التالي:[1]

$$Y_t = \theta + \alpha_1 Y_{t-1} + \cdots + \alpha_p Y_{t-p} + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} + \cdots + \beta_q u_{t-q}$$

الفرع الرابع: نموذج ARMA غير المستقر (ARIMA Model)

إذا كانت السلسلة الزمنية الأصلية غير مستقرة فيقال عليها أنها متكاملة Integrated، وإذا تعين الحصول على فروقات السلسلة d مرة حتى تصبح مستقرة، يقال عندئذ أن السلسلة الأصلية متكاملة من الدرجة I(d) d.

وبعبارة أخرى نقول إن Y_t هي سلسلة متجانسة وغير مستقرة متكاملة من الدرجة d إذا وجدت $w_t = \nabla^d Y_t$ سلسلة مستقرة جديدة. ومنه يمكن أن ننمذج السلسلة الجديدة w_t كأنها سيرورة ARMA(p,q)، في هذه الحالة ينتج أن Y_t هي سيرورة ARIMA(p,d,q)، ونسمي ذلك بنموذج الانحدار الذاتي والمتوسط المتحرك المتكامل، هذا الأخير بالإضافة إلى الدرجتين p وq فإنه يتميز بدرجة ثالثة d ويكتب على الشكل:

$$\Phi(L)(1-L)^d Y_t = \delta + \theta(L)\varepsilon_t$$

أو

$$\Phi(L)\nabla^d Y_t = \delta + \theta(L)\varepsilon_t$$

ويلاحظ أن وسط $w_t = (1-L)^d Y_t$ المستقر هو $\mu_w = \delta/\left(1 - \sum_{i=1}^{P} \phi_i\right)$، وبالتالي إذا كانت $\delta = 0$ فإن السلسلة المتكاملة w_t سوف يكون لها اتجاه عام محدد البناء. وكمثال فإذا كان النموذج ARIMA(1,1,1) فهذا يعني أنه يتعين الحصول على الفروقات الأولى للسلسلة الأصلية ثم نجري عليها بعد ذلك تقدير ARMA ، ذلك لأن هذا الأخير لا يجرى إلا على سلسلة مستقرة، وتكون صيغة النموذج عندئذ: $\Delta Y_t = \phi_1 \Delta Y_{t-1} + \delta + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$.

وعموما يمكن القول أن: ARIMA(p,0,q) = ARMA(p,q) وتكون السلسلة الأصلية مستقرة، وأيضا ARIMA(p,0,0) = AR(p) وARIMA(0,0,q) = MA(q).

[1] دامودار جوجاراتي، ترجمة هند عبد الغفار عودة، **الاقتصاد القياسي الجزء الثاني**، مرجع سبق ذكره، ص: 1080.

الفرع الخامس: نموذج ARMA غير المستقر الموسمي (SARIMA Model)

تتميز السلاسل الزمنية في الواقع بوجود المركبة الموسمية، الشيء الذي يؤدي إلى ارتفاع كل من p وq، وبالتالي تصعب عملية تقديرها، ولأجل ذلك وضع نموذج يسمى بالنموذج المختلط ذي المركبة الموسمية SARIMA(p,d,q). ويمكن التعبير عنه رياضيا كما يلي:

$$\phi(L)\Phi(L^s)\nabla^d\nabla_s^D Y_t = \theta(L)\Theta(L^s)\varepsilon_t$$

حيث:

$$\Phi(L^S) = 1 - \phi_1 L^S - \phi_2 L^{2S} - \cdots - \phi_p L^{pS}$$

$$\Theta(L^S) = 1 - \theta_1 L^S - \theta_2 L^{2S} - \cdots - \theta_q L^{qS}$$

يمثل $\nabla_s^D = (1 - L^s)^D$ الفروقات الموسمية من الدرجة D و $\nabla^d = (1 - L)^d$ الفروقات المتتالية من الدرجة d اللذان يستخدمان لتحقيق استقرارية Y_t.[1]

المطلب الثالث: مراحل منهجية Box-Jenkins

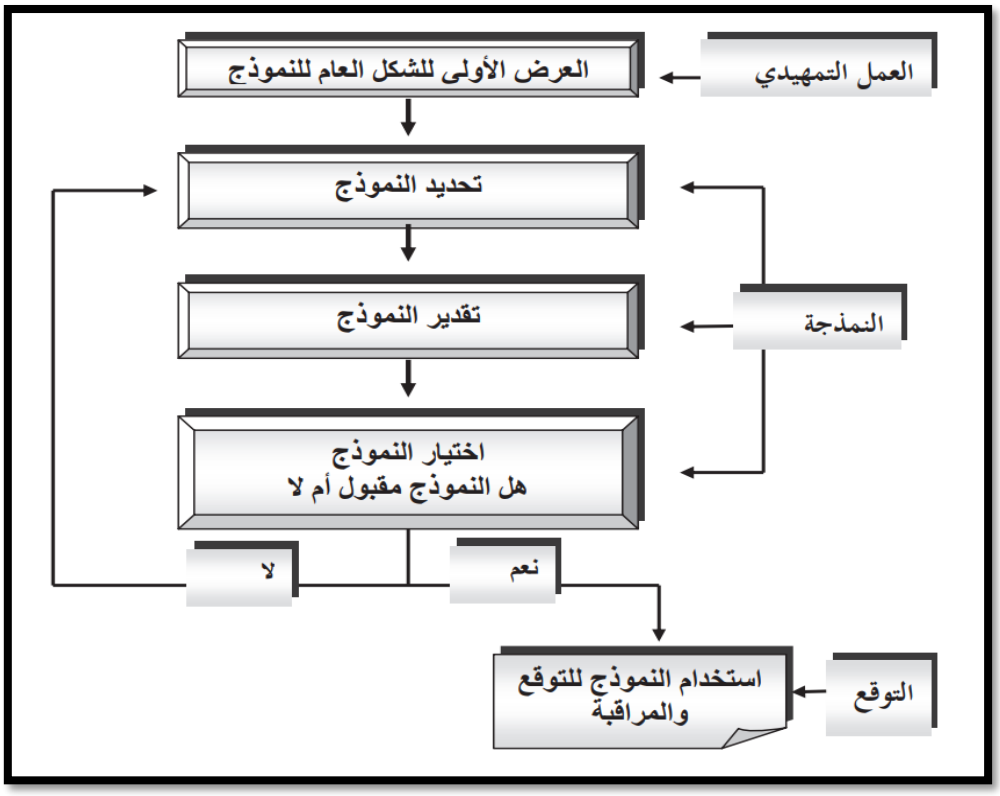
في عام 1976، قام Box and Jenkins بتجميع مجموعة من التقنيات المستخدمة في تحليل السلاسل الزمنية، بهدف المساعدة في تقدير درجة النموذج وتحديد معالمه. كما قدموا اقتراحات لبعض الطرق لضمان صلاحية النموذج واعتماده في شكله النهائي[2].

حيث يبين المخطط التالي الخطوات العملية حسب منهجية Box and Jenkins لبناء نموذج خطي لسلسلة زمنية واحدة، بغرض التوقع والمراقبة في المدى القصير:

[1] شيخي محمد، مرجع سبق ذكره، ص: 235-236.

[2] نفس المرجع، ص: 236.

الشكل رقم (18): مراحل منهجية Box-Jenkins في التنبؤ



المصدر: شيخي محمد، مرجع سبق ذكره، ص: 238.

من خلال هذا المخطط يتبين أنه هناك أربع خطوات يتعين إتباعها حتى نستخدم منهجية Box-Jenkins في التنبؤ، تتمثل فيما يلي:

1- مرحلة التعرف (التحديد) (Identification).

2- مرحلة التقدير (Estimation).

3- مرحلة الفحص (المراقبة والضبط) التشخيصي (Diagnostic).

4- مرحلة التنبؤ (Prediction).

الفرع الأول: مرحلة التعرف (Identification)

تعتبر مرحلة التحديد هي الأهم والأصعب، فهي تتمثل في تحديد النموذج المناسب في عائلة نماذج ARIMA. لأنها تقوم على دراسة الارتباطات البسيطة والجزئية. يمكننا أن نحاول وضع بعض القواعد البسيطة التي تسهل البحث عن المعلمات p، d، q لنموذج ARIMA.

أولا: التعديل الموسمي

في حالة تأثر السلسلة بحركة موسمية، يجب إزالتها قبل أي معالجة إحصائية. تتم إضافة هذه الموسمية إلى سلسلة التوقعات في نهاية المعالجة من أجل الحصول على توقعات من حيث القيمة الأولية.

ثانيا: البحث عن الاستقرارية من حيث الاتجاه

إذا كانت دراسة الارتباط البسيط والاختبارات الإحصائية المرتبطة به (Q إحصائية) تتنبأ بسلسلة متأثرة بالاتجاه، فمن المناسب دراسة خصائصها وفق اختبارات Dickey-Fuller. تعتمد طريقة القضاء على الاتجاه على عملية DS أو TS الكامنة وراء السجل المدروس.

بعد الاستقرارية، يمكننا تحديد قيم المعلمات p، q لنموذج ARMA.

• إذا كان المخطط الارتباطي البسيط يحتوي فقط على حدود q الأولى (q = 3 كحد أقصى) مختلفة عن 0 وكانت حدود دالة الارتباطي الجزئي تتناقص ببطء، فيمكننا توقع MA(q).

• إذا كان المخطط الارتباطي الجزئي يحتوي فقط على حدود p الأولى (p = 3 كحد أقصى) مختلفة عن 0 وتتناقص حدود دالة الارتباطي الذاتي البسيط ببطء، فإن هذا يميز AR(p).

• إذا لم تظهر وظائف الارتباط الذاتي البسيطة والجزئية مقطوعة، فهي عملية من نوع ARMA، والتي تعتمد معلماتها على الشكل المعين للمخططات الارتباطية.[1]

الفرع الثاني: مرحلة التقدير (Estimation)

بعد تحديد القيم المناسبة لكل من p وq، فإن المرحلة التالية هي تقدير معالم مقادير الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة الموجودة في النموذج. أحيانا يمكن عمل هذه الحسابات بالمربعات الصغرى، وأحيانا نحتاج إلى طريقة غير خطية (في المعلمات) في تقدير النموذج. ومن بين أشهر طرق التقدير لدينا:

- طريقة المربعات الصغرى العادية.

- طريقة أعظم احتمال.[2]

[1] Régis Bourbonnais, **Économétrie Cours et exercices corrigés**, 9e édition, Dunod, Paris, 2015, p: 260-261.

[2] دامودار جوجاراتي، ترجمة هند عبد الغفار عودة، **الاقتصاد القياسي الجزء الثاني**، مرجع سبق ذكره، ص: 1082-1083.

الفرع الثالث: مرحلة الفحص (المراقبة والضبط) التشخيصي (Diagnostic)

بعد تحديد وتقدير النموذج الملائم، فإن الخطوة التالية هي التحقق من كفاية النموذج المقدر، ويتم ذلك عن طريق تحليل البواقي، بمعنى أن النموذج المقدر الجيد يجب أن ينتج بواقي يتم توزيعها بشكل طبيعي تقريبا وغير مرتبطة بالزمن. أي السلسلة مستقرة مع ابتكارات الضوضاء البيضاء الغوسية Gaussian White Noise innovations يمكن استخدام دالتي الارتباط الذاتي (ACF وPACF) للبواقي (والتي يمكن اعتبارها تقديرات للأخطاء) ومن ثم نتوقع أن البواقي تكون متسقة مع الأخطاء، حيث يجب أن تكون جميع الارتباطات الذاتية لسلسلة البواقي غير معنوية (أي جميع الأعمدة داخل المجال إذا لم يكن الأمر كذلك، فإننا بحاجة إلى تجربة نموذج آخر.

– يمكن استخدام اختبارات Ljung-Box وBox-Pierce لمعرفة ما إذا كانت جميع الارتباطات تساوي الصفر.

– هناك اختبار آخر اقترحه Rodriguez and Pena (2006) للتباين المعمم إحصائيا وأظهروا أن إحصائيتهما أقوى من اختبار Ljung وBox.

– لاختبار طبيعية البواقي Normality of residuals أي هل البواقي تتبع التوزيع الطبيعي نستعمل عدة اختبارات من بينها اختبار Shapiro-Wilk، اختبار Anderson-Darling، اختبار Lilliefors، اختبار Jarque-Bera.

في بعض الأحيان، إذا كان هناك أكثر من نموذج ملائم لمجموعة البيانات نفسها، فإن هناك بعض الأشياء التي يمكن القيام بها للاختيار بين النماذج هي:

– اختيار النموذج بأقل عدد من المعلمات (مبدأ التقليل) أي الحفاظ على أكبر قدر ممكن من المعلومات.

– فحص الأخطاء القياسية للقيم المتوقعة. ثم نختار النموذج الذي يحتوي على أقل الأخطاء المعيارية عموما للتنبؤات المستقبلية.

– نقارن النماذج فيما يتعلق بالإحصاءات مثل MSE (تقدير تباين الأخطاء) وAIC وBIC، ثم نختار النموذج الذي لديه أقل قيم لهذه الإحصائيات.[1]

[1] جوادي علي، عدلي إبراهيم، مرجع سبق ذكره، ص: 288–289.

الفرع الرابع: مرحلة التنبؤ (Prediction)

الغاية من التنبؤ هي استخدام النموذج الحالي المقدر لفترة زمنية معينة، بهدف تقدير القيم المستقبلية كسلسلة زمنية بأقل خطأ ممكن. لذلك، يعتبر التنبؤ الذي يحقق أصغر متوسط لمربع خطأ التنبؤ Mean Square Error (MSE) هو التنبؤ الأمثل. وبما أن خطأ التنبؤ يعد متغيرا عشوائيا، فإننا نسعى إلى تقليل قيمته المتوقعة.

إن هذا التنبؤ يتم بعد تقدير معالم النموذج ARIMA(p,d,q)، والذي يكون قد تجاوز مختلف مراحل الاختبارات السابقة ومحددا بالدرجة p، d، q، حيث تصبح قيمة التنبؤ ثابتة (أي تكون مساوية لمتوسط السلسلة) بعد الفترة q في نماذج المتوسطات المتحركة، ويمكن تلخيص عملية التنبؤ في المراحل التالية:

أ- كتابة النموذج المقدر $\hat{Y}_t = f\left(\hat{\phi}, \hat{\theta}, Y_t, \hat{\varepsilon}_t\right)$.

ب- تعويض t بـ $T + h$ حيث $h = 1,2, \dots, H$.

ج- تعويض كل القيم المستقبلية للمتغير الخاص بالظاهرة المدروسة بتنبؤاتها، بينما يتم تعويض الأخطاء المستقبلية بالأصفار والماضية (داخل العينة) بالبواقي.

يمكن استعمال النموذج ARIMA المقدر لحساب التنبؤ $\hat{Y}_{T+h}$، حيث نحسب أولا التنبؤ بفترة واحدة في المستقبل، ثم نستعمل هذا الأخير لحساب التنبؤ بفترتين في المستقبل، ونواصل بنفس الطريقة حتى نصل إلى التنبؤ بالفترة h في المستقبل.[1]

[1] شيخي محمد، مرجع سبق ذكره، ص: 257-258.

خلاصة الفصل:

تطرقنا في هذا الفصل إلى التنبؤ الذي أصبح يعد من الوسائل الهامة جدا في التخطيط، ومساعدة المسيرين في عملية اتخاذ القرار في العديد من المجالات. حيث تمثل عملية التنبؤ استحضار لقيم مستقبلية بناءا على قيم ماضية وحاضرة.

ومن بين البيانات التي يعتمد عليها في التنبؤ بيانات السلاسل الزمنية، والتي وجدنا أن هناك العديد من الطرق التي تستعمل في التنبؤ بالاعتماد على هذه البيانات، من بين هذه الطرق، طريقة التمهيد الأسي التي لها أنواع مختلفة، وذلك حسب المركبات التي تحتويها السلسلة الزمنية، فهناك الطريقة البسيطة والثنائية الخاصة Brown والثنائية الخاصة Holt وطريقة Holt-Winters. بالإضافة الى طريقة التمهيد الأسي تطرقنا إلى طريقة Box-Jenkins والتي تعتبر من أشهر الطرق في التنبؤ والتي تتمثل منهجيتها في أربعة مراحل هي مرحلة التعرف، مرحلة التقدير، مرحلة الاختبار ومرحلة التنبؤ، كما وجدنا انها تعتمد على عدة مفاهيم منها استقرارية السلسلة الزمنية ودالة الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي.

سنرى تطبيقا عمليا لهاتين الطريقتين في الفصل القادم.

الفصل الثالث:

دراسة حالة شركة سونلغاز وكالة برج أخريص

تمهيد الفصل:

بعدما تطرقنا في الفصلين السابقين إلى تطور استهلاك الكهرباء في الجزائر وإلى أشهر الطرق التنبؤية المتمثلة في طريقتي التمهيد الأسي وBox-Jenkins، نأتي في هذا الفصل إلى التطبيق العملي لهاته الطريقتين في الواقع، وذلك بالاعتماد على البيانات الحقيقية لاستهلاك الكهرباء للعائلات في دائرة برج أخريص، وذلك بعد تقديم ملخص للشركة الوطنية لنقل وتوزيع الكهرباء والغاز.

ومن أجل حساب التنبؤات الشهرية لما بعد سنة 2023 سنستعين بمختلف الخصائص لهاتين الطريقتين لإيجاد النماذج المناسبة للتنبؤ لكلتا الطريقتين. وفي الأخير سنقوم بالمقارنة بين الطريقتين لإيجاد أي الطريقتين أفضل، وذلك على أساس عدة معايير.

وانطلاقا من ذلك، تم تقسيم هذا الفصل وفقا لما يلي:

المبحث الأول: ماهية شركة سونلغاز.

المبحث الثاني: التنبؤ باستهلاك الكهرباء في دائرة برج أخريص.

المبحث الثالث: المقارنة والمفاضلة بين الطريقتين.

المبحث الأول: ماهية شركة سونلغاز

يعتبر مجمع سونلغاز المتعامل التاريخي في مجال التزويد بالطاقة الكهربائية والغازية في الجزائر. تم إنشاء الشركة عام 1969، وهي تعمل منذ نصف قرن في تزويد الجزائريين بالطاقة.

بعد صدور قانون الكهرباء وتوزيع الغاز بواسطة القنوات، أصبحت سونلغاز شركة قابضة تتكفل بإدارة مجمع متعدد الشركات والمهن وقد لعب مجمع سونلغاز دورا رئيسيا في مسار التنمية الاقتصادية والاجتماعية للبلاد، تتوافق سياسته مع السياسة الطاقوية الوطنية خاصة فيما يتعلق بمجال كهربة الأرياف وتوزيع الغاز، حيث بلغت نسبة التغطية بالكهرباء إلى غاية سنة 2022، 99% بما يعادل تغطية 11461721 زبون بالكهرباء، فيما بلغت نسبة التغطية بالغاز 65% حيث يستفيد 7308462 زبون من التغطية بالغاز.

ويتكون مجمع سونلغاز اليوم من 11 شركة فرعية، يتم تسييرها مباشرة من قبل الشركة القابضة وكذا 10 شركات بالمساهمة بصفة مباشرة وغير مباشرة. وللتعرف أكثر على هذه الشركة نتطرق إلى نشأتها وتطورها وأيضا إلى مهامها وأهدافها وفي الأخير نقوم بتقديم الهيكل التنظيمي لها.

المطلب الأول: تقديم شركة سونلغاز وتاريخها

تعتبر سونلغاز شركة عمومية ذات طابع صناعي وتجاري وهي من أهم الشركات الكبرى في الجزائر بعد شركة سوناطراك، إذ تحتل المرتبة الأولى في المغرب العربي في إنتاج الطاقة الكهربائية، وفضلا عن الإنتاج والتوزيع ونقل الكهرباء، توسعت صلاحياتها إلى البيع والتركيب والصيانة.

مرت شركة سونلغاز بمراحل عديدة تمثلت فيما يلي:

سنة 1947: تم إنشاء كهرباء وغاز الجزائر EGA بالمرسوم رقم 1002-47 المؤرخ في 1947/06/05 وكانت مهمتها إنتاج الكهرباء والغاز.

EGA: وهي عبارة عن مجمع لأقدم شركات إنتاج وتوزيع الكهرباء ذات الطابع الخاص التي سقطت تحت قانون التأميم في سنة 1946 الصادر على السلطة الفرنسية.

سنة 1969: إنشاء المؤسسة الوطنية للكهرباء والغاز بالمرسوم رقم 59-69 في يوم 1969/07/28 الصادر عن الجريدة الرسمية في الأول من أوت 1969، تحول اسم EGA إلى سونلغاز التي أصبحت شركة وطنية للكهرباء والغاز وفي هذا الوقت كانت الشركة من الحجم الكبير أين تجاوز عدد عمالها 6000

موظف، وقد حدد المرسوم مهمة رئيسية لها تتمثل في الاندماج بطريقة منسجمة في سياسة الطاقة الداخلية للبلاد

سنة 1975: في هذه المرحلة تم الفصل بين النشاطات الميدانية والنشاطات القاعدية وكذا إنشاء وحدات كهرباء وترتيب.

سنة 1983: بعد مرور 14 عاما على تأسيسها، قامت سونلغاز بأول عملية إعادة هيكلة، حيث تولد منها 5 شركات تابعة مخصصة للعمل المتخصص وهي عبارة عن كيان تصنيعي يقدم تقاريره إلى جمعيات إدارة مشاركات الدولة، وهذه الشركات هي:

- ✓ KAHRIF: كهربة الريف.
- ✓ KAHRAKIB: البنية التحتية والمنشآت الكهربائية.
- ✓ KANAGHAZ: بناء شبكات الغاز.
- ✓ INERGA: هندسة مدنية.
- ✓ ETTERKIB: التجمع الصناعي.
- ✓ AMC: تصنيع العدادات وأجهزة القياس والتحكم.

مبادئ وقوانين سنة 1986-1989:

- ✓ قوانين خاصة باستقلالية المؤسسة.
- ✓ قوانين العلاقات الاجتماعية.
- ✓ الطرق الجديدة في تسيير المؤسسة.

نظام أساسي جديد لسونلغاز سنة 1991: لقد أصبحت مؤسسة عمومية ذات طابع صناعي وتجاري EPIC في قرار تنفيذي رقم 475-91 المؤرخ في يوم 1991/12/14، وقد فرض هذا الطابع الجديد التسيير الاقتصادي والأخذ بعين الاعتبار كيفية تسويق المنتجات.

سنة 1995: سونلغاز (EPIC) أصبحت في سنة 1995 هيئة عمومية ذات طابع صناعي وتجاري بمرسوم رقم 280-95 المؤرخ في1995/09/17.

سنة 2002: تحولت سونلغاز إلى مؤسسة ذات أسهم، هذا التحول أعطى سونلغاز التوزيع في مبادئ أخرى في قطاع الطاقة، كذلك التدخل في هذا الميدان خارج حدود الجزائر، وباعتبارها مؤسسة ذات أسهم فعليها اكتساب محفظة الأسهم وقيم منقولة أخرى مع إمكانية المشاركة في مساهماتها لدى شركات أخرى.

سنة 2004: أصبحت سونلغاز عبارة عن مجمع (HOLDING) خلال السنوات 2004-2006 وتم إعادة هيكلة الفروع المكلفة بالنشاطات الرئيسية بها كالتالي:

- ✓ سونلغاز إنتاج كهرباء (SPE).
- ✓ مسير شبكة النقل الكهربائي (GRTE).
- ✓ مسير شبكة نقل الغاز (GRTG).

سنة 2006: تم هيكلة وظيفة التوزيع وقسمت إلى أربعة فروع وهي:

- ✓ سونلغاز للتوزيع الجزائر العاصمة (SDA).
- ✓ سونلغاز للتوزيع مركز (SDC).
- ✓ سونلغاز للتوزيع الجهة الشرقية (SDE).
- ✓ سونلغاز للتوزيع الجهة الغربية (SDO).

سنة 2009: الانتهاء من إعادة الهيكلة والتجديد:

بين عامي 2007 و2009، شرع مجمع سونلغاز في هيكلة جديدة لزيادة الكفاءة والتحسين المستمر لأدائه، وقد نتج عن الهيكلة الجديدة للمجمع إنشاء 33 شركة فرعية و6 شركات بالشراكة المباشرة، مع افتتاح معهد تكوين الكهرباء والغاز (IFEG) سنة 2007، فضلا عن إنشاء شركات للهندسة وأنظمة المعلومات وإدارة العقارات (SOPIEG، ELIT، CEEG)، ودمج شركة الرويبة للإضاءة في 2009، وهذا لاستكمال تحولها إلى شركة قابضة، مصممة على تطوير وتعزيز البنى التحتية للكهرباء والغاز.

سنة 2011: سونلغاز شركة قابضة:

بتاريخ 2 ماي 2011، تم تعديل النظام الأساسي لشركة سونلغاز، المعتمد في عام 2002 من قبل مجلس الوزراء، ليصبح متماشيا وفقا لأحكام القانون رقم 02-01 المؤرخ في 5 فيفري 2002، والمتعلق بتوزيع الكهرباء والغاز عن طريق الأنابيب.

منذ ذلك التاريخ أصبحت سونلغاز، شركة ذات أسهم في شكل شركة قابضة دون انشاء شركة معنوية جديدة، كما تشكل الشركة القابضة سونلغاز وشركاتها الفرعية مجموعة تحت تسمية "مجمع".

سنة 2012: الطاقات المتجددة:

بدأت الطاقات المتجددة، لا سيما الطاقة الكهروضوئية تتطور في الجزائر منذ عقدين، سونلغاز الرائدة في هذا المجال قامت بتزويد 18 بلدية نائية في الجنوب الكبير، ما بين 1998 و2001، حيث تم إضافة فرع للطاقة الشمسية، وحرصا منها على المساهمة في الحفاظ على البيئة من خلال الحد من تأثير انبعاثات غازات الاحتباس الحراري من محطات التوليد التي تعمل على الوقود الأحفوري، شرعت سونلغاز بإنجاز برنامج تطوير الطاقات المتجددة، بقدرة تصل الى 343 ميغاواط من الطاقة الكهروضوئية بمواقع في الجنوب الكبير والهضاب العليا.

تم تطوير نوع آخر من الطاقات المتجددة ويتعلق الأمر بطاقة الرياح، حيث تم انجاز محطة بطاقة 10 ميغاواط بكابرتين بولاية أدرار، وتم إنشاء شركة كهرباء وطاقات متجددة، مكلفة باستغلال شبكة الطاقة الكهربائية المعزولة بالجنوب الكبير والطاقات المتجددة في كافة التراب الوطني.

سنة 2015/2014: سونلغاز في قلب التنمية:

في عام 2014، وبالشراكة مع "جنرال إلكتريك"، تم إنشاء شركة جديدة أطلقت عليها تسمية "توربينات جنرال إلكتريك الجزائر (GEAT)، والتي أصبحت مسؤولة عن إنشاء وتشغيل مجمع صناعي يقع في عين ياقوت (ولاية باتنة)، موجه لإنتاج توربينات الغاز وتوربينات البخار.

وكذا شراكة أخرى مع شركتي "هونداي ودايو"، حيث تم إنشاء شركة تسمى (HYENCO)، المسؤولة عن توفير خدمات (الهندسة والمشتريات والبناء) للمنشآت الطاقوية الصناعية.

سنة 2017: تنظيم جديد في مجال التوزيع:

شهدت سنة 2017 هيكلة جديدة، سمحت بتطوير وتحسين كفاءة شركات المجمع، وكذا تجميع خبراتها وتنسيق معارفها، لذلك فإن مهن التوزيع تندرج ضمن كيان واحد تحت تسمية الشركة الجزائرية لتوزيع الكهرباء والغاز (SDC)، والتي هي نتيجة لإدماج واستيعاب هذه الأخيرة لشركات التوزيع (SDE) (SDO) (SDA).

المطلب الثاني: مهام وأهداف وأفاق شركة سونلغاز

من خلال المادة 6 من الجريدة الرسمية رقم 54 وفي سبتمبر 1995 وفي إطار الأهداف المسطرة والخدمات العمومية تقوم سونلغاز بمهام عديدة، وحددت أهداف تسعى للوصول إليها.

الفرع الأول: مهام الشركة

تقوم شركة سونلغاز بعدة مهام نذكر منها:

– ضمان نوعية إنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية وكذا ضمان توزيع الغاز في إطار احترام شروط الحماية والأمن وبأقل التكاليف؛

– تركيب، تصليح، صيانة وإعادة تجديد مراكز الإنتاج ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية بالإضافة إلى مراكز التوزيع العمومي للغاز؛

– التخطيط ووضع البرامج السنوية وكذا المراكز المعدة لسنوات؛

– ضمان التمويل اللازم لتحقيق وتنفيذ البرامج المسطرة؛

– توفير المنشآت الضرورية (التجهيزات الهياكل البنائية) لضمان سير مهمتها؛

– التحديد والتعريف بالكيفيات والإمكانيات المتعلقة بالتطبيق (التجهيزات والتركيبات الكهربائية الغازية) وكذا المتعلقة بأجهزة القياس والحساب؛

– ضمان التحكم في السير الحسن للبرامج.

الفرع الثاني: أهداف شركة سونلغاز

لقد حددت شركة سونلغاز أهداف تسعى إلى بلوغها وهي كما يلي:

– التحكم مع الاستعمال الأمثل للوسائل والتقنيات بهدف الترقية والتحسن الدائم لصورة علامتها؛

– تلبية الحاجات الوطنية المتزايدة؛

– توصيل التكامل الوطني بتقوية الدعم للقواعد الصناعية وتنويع منتجاتها؛

– المشاركة في الانجازات الصناعية والتجارية في الخارج حتى تكون أقرب من الزبون النهائي؛

– استقلالية التسيير وإدخال قواعد ذات طابع تجاري؛

– الحصول على حصة السوق العالمي.

وعموما فان هدفها هو أن تصبح أكثر تنافسية، والتمكن من مواجهة المنافسة المحتملة في الآجال المقبلة، حيث تعتبر شركة سونلغاز من أحسن خمس مؤسسات الكهرباء والغاز في حوض البحر الأبيض المتوسط.

ومن أهداف شركة سونلغاز ذات أسهم هي:

- إنتاج الكهرباء سواء في الجزائر أو في الخارج ونقلها وتوزيعها وتسويقها؛

- نقل الغاز لتلبية حاجيات السوق الوطنية؛

- توزيع الغاز عن طريق القنوات سواء في الجزائر أو في الخارج وتسويقه؛

- تطوير وتقديم الخدمات الطاقوية وترقيتها وتنميتها؛

- تطوير كل شكل من العمالة المشتركة في الجزائر أو في الخارج مع كل الشركات الجزائرية أو الأجنبية؛

- إنشاء فروع وأخذ مساهمات وحيازة كل حقيبة أسهم وغيرها من القيم المنقولة في كل شركة موجودة أو يتم إنشائها في الجزائر أو في الخارج؛

- تطوير كل نشاط له علاقة مباشرة أو غير مباشرة بالصناعات الكهربائية والغازية وكل نشاط يمكن أن تترتب عنه فائدة لسونلغاز (ش ذ أ)؛

وبصفة عامة كل عملية مهما كانت طبيعية ترتبط بصفة مباشرة أو غير مباشرة بهدف الشركة لاسيما البحث عن المحروقات واستكشافها وإنتاجها وتوزيعها؛[1]

الفرع الثالث: أفاق الشركة

بهدف رفع قدراته في تلبية الطلب المتزايد على الطاقة، وحرصا على تحسين مستوى خدمة الزبائن (أفراد ومؤسسات)، سطر مجمع سونلغاز مخططا شاملا هو مخطط التنمية (التطوير) 2030/2021 الذي يهدف إلى تعزيز البنى التحتية للبلاد في مجالي الكهرباء والغاز، كما يشمل هذا المخطط تطوير أداء شركات المجمع، خاصة فيما يتعلق بإنتاج، نقل وتوزيع الكهرباء، وكذلك نقل وتوزيع الغاز، ويتضمن البرنامج ما يلي:

[1] المؤسسة المستقبلة.

أولا: إنتاج الكهرباء

تبلغ الطاقة الإنتاجية الوطنية "الإضافية" المخطط لها لآفاق 2030، ما يعادل 12 ألف و252 ميغاواط (RIN + PIAT) وتشمل:

- 11980 ميغاواط تم رصدها لشبكة ربط الشمال.

-تحويل RIN لستة عشر (16) توربينة غازية متنقلة بسعة إجمالية تبلغ 272 ميغاواط مخصصة لقطب عين صالح، أدرار، تيميمون.

وبخصوص شبكة الجنوب الكبير، فإنه من المرتقب وخلال نفس الفترة تعزيز منشآت الإنتاج من خلال:

-تحويل RIN إلى RGS بقدرة 140 ميغاواط للتوربينات الغازية.

- 50 ميغاواط من الطاقة الكهروضوئية لتهجين المواقع التي تعمل بالديزل.

ثانيا: آفاق تطوير الطاقات المتجددة

تهدف سونلغاز في رؤيتها إلى الحفاظ على مكانتها الرائدة في مجال إنتاج الكهرباء، وبالتالي، امتلاك قدرات إنتاج متجددة تتماشى مع أهدافها الاستراتيجية.

تتعلق آفاق تطوير الطاقات المتجددة بشكل أساسي بإنجاز ما يقارب 30% من البرنامج الوطني الذي أعلنته السلطات العمومية (أي 4000 ميغاوات) عن طريق المحطات الكهروضوئية.

ثالثا: نقل الكهرباء

يبلغ الطول الإجمالي لشبكة نقل الكهرباء التي سيتم مدها ضمن مخطط التنمية المقرر لذات الفترة (2021-2030)، حوالي 20296 كيلومتر، يضاف إليها 12744 كيلومتر مسجلة في المشروع.

وفي هذا السياق فإنه وفي آفاق 2030، سيبلغ الطول الإجمالي لشبكة نقل الكهرباء 64204 كيلومتر، من بينها 15628 كيلومتر مخصصة لـ 400 كيلو فولط، و25516 كيلومتر مخصصة لـ 220 كيلو فولط، وكذا 22442 كيلومتر مخصصة لـ 60 كيلو فولط، بطاقة تصل إلى 98540 ميغا فولط أمبير.

رابعا: نقل الغاز

بحلول آفاق 2030، تخطط الشركة الجزائرية للكهرباء والغاز نقل الغاز، لاستثمار 200 مليار دينار جزائري، لمد 2734 كيلومتر من خطوط الأنابيب الجديدة التي ستسمح بنقل كمية إضافية من الغاز تصل إلى 58.9 مليار متر مكعب.

خامسا: توزيع الكهرباء والغاز

يندرج مخطط تطوير شبكات توزيع الكهرباء والغاز، ضمن البرنامج العام الذي أطلقته السلطات العليا في البلاد فيما يتعلق ببرامجها الخاصة بربط الزبائن الجدد، بالإضافة إلى تعزيز معدات الصيانة والتشغيل ومشاريع عصرنة تسيير استغلال الطاقة.

وعليه فإن مخطط تطوير الشبكات والبنى التحتية للشركة الجزائرية لتوزيع الكهرباء والغاز للفترة 2021-2030، يتوقع تطوير شبكة الكهرباء بـ 101960 كلم و38864 محطة فرعية، لتزويد 4.4 مليون زبون إضافي بالطاقة، فيما سيمتد طول شبكة توصيل الغاز إلى 56792 كلم بقدرة تزويد 4.3 مليون زبون إضافي.[1]

المطلب الثالث: الهيكل التنظيمي لشركة سونلغاز

لقد تم إنشاء شركة توزيع الكهرباء والغاز بالوسط بعد وضع لتطبيق وضعيات قانون رقم 02-01 المؤرخ في 22 ذي القعدة عام 1422 الموافق لـ 2002/02/05 المتعلق بالكهرباء وتوزيع الغاز بواسطة القنوات. إن التحولات التي جاء بها القانون السالف الذكر مكنت من تحويل شركة سونلغاز إلى مجمع يتكون من عدة شركات من بينها مديرية التوزيع بالبويرة وهذه الأخيرة تتكون من عدة أقسام ومصالح:[2]

- ✓ **مدير التوزيع**

يعتبر المدير المسؤول الأول في المديرية وتتمثل مهمته فيما يلي:

- تنظيم وتسيير ومراقبة كل الإمكانيات الموضوعة تحت تصرفه من أجل خدمة المواطن، فيما يتعلق بتوزيع الكهرباء والغاز في أحسن الظروف، وللمدير عدة مهام من بينها ما يلي:

[1] https://www.sonelgaz.dz/ar/4003/20202030 consulter le: 08/04/2024, 13:34.

[2] أنظر الملحق (1).

– يوجه ويقود أعمال انجاز المخططات والبرامج والميزانيات في المديرية الخاصة بتوزيع الكهرباء والغاز عبر اختصاص ولاية البويرة؛

– يشارك في مختلف العقود؛

– يسهر على أمن المديرية كما انه يشرف على حسن سير كل مصالح المديرية.

✓ **أمانة المدير (الأمانة التنسيقية):**

تكون تحت إشراف المدير، وهي تتكلف بالمهام التالية:

– المراسلات والبريد (الموارد والمصالح):

– تنظيم الملفات والوثائق واستقبال الزبائن؛

– تسجيل المكالمات الهاتفية وضبط المواعيد للمدير؛

– طباعة الرسائل والوثائق السرية وهي مكلفة بمختلف الأعمال الرقمية وكتابة البرقيات.

✓ **المكلفة بالشؤون القانونية:**

وهي تتكلف بالشؤون القانونية للمؤسسة وتتمثل مهامها فيما يلي:

– التكفل بالشؤون القانونية لهياكل المديرية؛

– متابعة قرارات المحكمة؛

– ترسيم ومراقبة الملفات المعقدة؛

– تمثيل سونلغاز ببعثة المديرية أمام الهيئات القانونية وأخذ الإجراءات الودية لصالح المجموعة؛

– تقييم ونشر المعلومة القانونية في نطاق الحاجة.

✓ **المكلفة بالاتصالات:**

وهي تتكلف بالاتصالات الداخلية والخارجية للمؤسسة وتتمثل مهامها فيما يلي:

– تصميم وتنظيم المعلومة الموجهة للعامة وللزبون خاصة باستعمال الوسائل المناسبة للإذاعة المحلية؛

– المساهمة مع المديرية العامة في الأنشطة التجارية؛

- اقتراح مواضيع حول الإعلان والإعلام نحو الزبون وفق المعطيات المحلية.

✓ **المكلف بالأمن المحلي:**

يسهر دائما على أمن المؤسسة وتتمثل مهامه فيما يلي:

- القيام بالزيارات مع برمجة عمليات التوعية؛
- تحضير اجتماعات لصالح المديرية؛
- القيام بتحضير حوادث محاكية للحوادث الحقيقية وهذا بالتعاون مع المصالح التقنية؛
- تطبيق كل التوجيهات والتعليمات المتوقعة بالصحة والسلامة.

✓ **قسم الموارد البشرية:**

يهتم هذا القسم بتزويد المديرية بالموارد البشرية، وبتسيير شؤون العمال، وينقسم بدوره إلى مصلحتين، مصلحة المستخدمين ومصلحة التطوير وهو مكلف بتطوير الموارد البشرية وكل النشاطات المتعلقة بها منها:

- التخطيط؛
- التوظيف؛
- دفع الأجور؛
- حساب مبالغ التقاعد؛
- الترقية؛
- المسار المهني.

✓ **شعبة الأشغال العامة:**

يهتم بكل ما يخص بنايات المصلحة وضمان تأثيرها وتموينها بالتجهيزات والوسائل المختلفة للسير الحسن.

✓ **قسم المحاسبة والمالية:**

يسهر على استعمال أفضل التقنيات لمتابعة مختلف النشاطات في المؤسسة، ويسجل كل الكتابات المحاسبية انطلاقا من التقدم النقدي للتحركات المالية، وهذه المعلومات تسمح بتقدير انجازات المؤسسة.

ويتكون من ثلاث مصالح وهي:

- مصلحة الميزانية ومراقبة التسيير؛
- مصلحة المالية؛
- مصلحة الاستغلال.

✓ **قسم تسيير نظام المعلوماتية:**

يتكفل بتسيير الشبكة المعلوماتية، وتتمثل مهامه فيما يلي:

- إنشاء بنك المعلومات؛
- حفظ المعلومات المتعلقة بتاريخ الزبائن؛
- تسيير جميع تجهيزات الإعلام الآلي؛
- صيانة أنظمة الإعلام الآلي.

✓ **قسم العلاقات التجارية:**

هو قسم يتكفل بتسيير المصالح التجارية المتواجدة بالمصلحة الجارية بالبويرة، عين بسام، الاخضرية، مشدالة، بشلول، سور الغزلان، برج أخريص. وينقسم إلى مصلحتين:

أ- مصلحة تقني تجاري:

توجد فيه مجموعة ربط الزبائن الجدد التي تهتم بالزبائن الجدد وتتمثل مهامها فيما يلي:

- استقبال زبائن الكهرباء، والغاز وتسجيلها؛
- وضع فاتورة الدفع.

ب- مصلحة الزبائن:

- تهتم بمراقبة ورصد فواتير العداد؛
- تهتم بوضع فواتير التغطية.

✓ **قسم استغلال الكهرباء:**

يسير شبكة الكهرباء والخطوط الرئيسية، وكل ما يتعلق بشبكة الكهرباء وينقسم إلى مصلحة تطوير شبكة الغاز وشعبة الأعمال تحت الضغط المنخفض وله مصالح تقنية للكهرباء في كل من: البويرة، الاخضرية، مشدالة وسور الغزلان.

✓ **قسم تنفيذ أشغال الكهرباء والغاز:**

يهتم بكل ما يتعلق بأشغال الكهرباء والغاز وينقسم إلى أربع مصالح وهي:

- مصلحة دراسة أشغال الكهرباء؛
- مصلحة دراسة أشغال الغاز؛
- شعبة الاستغلال (الاستثمار)؛
- شعبة التسويق.

✓ **قسم استغلال الغاز:**

هو قسم يهتم بشبكة الغاز، وينقسم إلى ثلاثة مصالح هي:

- مصلحة مراقبة واستغلال الغاز؛
- مصلحة صيانة الغاز؛
- مصلحة تطوير شبكة الغاز.

وله مصالح تقنية للغاز تابعة له في كل من الأخضرية، البويرة، مشدالة وسور الغزلان.[1]

[1] المؤسسة المستقبلة.

المبحث الثاني: التنبؤ باستهلاك الكهرباء في دائرة برج أخريص

المطلب الأول: دراسة وتحليل سلسلة استهلاك الكهرباء لدائرة برج أخريص

لدينا سلسلة استهلاك الكهرباء الخاصة بقطاع العائلات لدائرة برج أخريص المقدرة والمبوبة شهريا من جانفي 2018 إلى غاية ديسمبر 2023، بمجموع 72 مشاهدة، والتي سوف نعطيها اسم ELEC، وهي موضحة في الجدول التالي:

الجدول رقم (03): الاستهلاك الشهري للكهرباء في قطاع العائلات لدائرة برج أخريص ELEC

السنة / الشهر	2018	2019	2020	2021	2022	2023
جانفي	589572	1414619	1329400	1366546	1285165	1203093
فيفري	1345915	1275274	1246213	1270913	1198270	1169720
مارس	1632622	1540622	1693063	1602224	1755589	1802766
أفريل	1312018	1365411	1261021	1253505	1279911	1380161
ماي	1273323	1326635	1122179	1275116	1333892	1383015
جوان	1458166	1536405	1436701	1524057	1746886	1593211
جويلية	1696906	1754711	1775572	1806991	2110833	2173773
أوت	1729885	2020721	2083713	2001371	2266653	2469277
سبتمبر	1577033	1762405	1768065	1779146	1927188	2281689
أكتوبر	1915912	2128350	2003663	2192440	2158022	2125199
نوفمبر	1509717	1483919	1613971	1625043	1565373	1567766
ديسمبر	1571884	1771936	1647158	1748428	1825027	1985759

المصدر: المؤسسة المستقبلة.

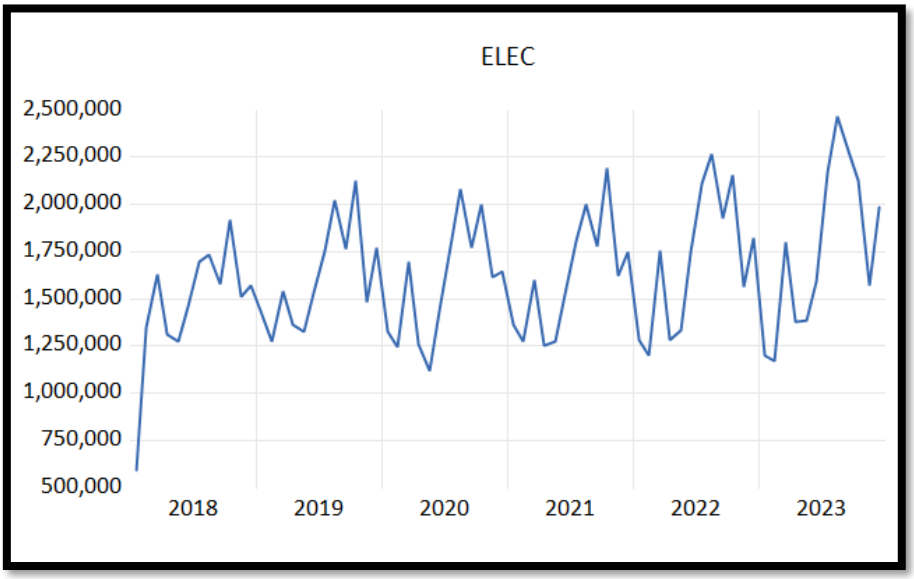
أولا: دراسة وصفية لبيانات السلسلة

السلسلة الموجودة لدينا تتمثل في الاستهلاك الشهري للكهرباء الموجهة للقطاع العائلي الخاص بدائرة برج أخريص، المقدرة بالكيلو واط، والمحددة بـ 72 مشاهدة ممتدة من جانفي 2018 إلى غاية ديسمبر 2023 بمتوسط يساوي 1625120.8. حيث كانت أدنى قيمة هي (589572) سجلت في جانفي 2018

وذلك راجع لكون الوكالة حديثة النشأة وارتباطها بوكالة أخرى (وكالة سور غزلان)، وأقصى قيمة (2469277) سجلت في أوت 2023 وهذا بسبب التوسيعات الكبيرة التي قامت بها الوكالة حيث تم ربط معظم المناطق النائية بالكهرباء وأيضا الصيف الشديد الحرارة التي شهدته تلك السنة. كما تتشتت قيم هذه السلسلة عن متوسطها بانحراف معياري قدره 343183.4.

ويمكن تمثيل بيانات هذه السلسلة في منحنى بياني كما يلي:

الشكل رقم (19): التمثيل البياني للسلسلة ELEC



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

من خلال المنحنى البياني يمكننا أن نلاحظ وجود اتجاه عام موجب وذلك راجع للتوسيعات التي قامت بها المؤسسة من ربط المناطق الريفية بالكهرباء وكذلك التطور التكنولوجي حيث أصبحت العديد من المعدات تعتمد على الكهرباء.

ويمكننا أيضا أن نلاحظ وجود تذبذبات على طول السلسلة، ولو دققنا النظر فنسجد أن هذه التذبذبات تتكرر بشكل منتظم وبنفس النسق كل عام وذلك راجع إلى اختلاف الفصول حيث يزداد استهلاك الكهرباء في فصل الصيف نظرا الى ارتفاع درجة الحرارة (كثرة استعمال المراوح والمكيفات)، ويقل في فصل الشتاء لانخفاضها (استعمال الغاز بدل الكهرباء للتدفئة).

ثانيا: تحديد شكل السلسلة ELEC

بما أنه يصعب تحديد شكل السلسلة بيانيا فإننا ننتقل مباشرة إلى الطريقة الإحصائية:

1- الكشف الإحصائي:

يعتبر الأسلوب الانحداري من أنجع الطرق الإحصائية لتحديد الشكل النظري الذي تخضع له السلسلة الزمنية، حيث أن مبدؤه الأساسي يتمثل في تقدير المعلمة $\hat{b}$ من المعادلة:

$$\delta_i = a + b\bar{X}_i \quad i = 1, \dots, m$$

وبتطبيق طريقة المربعات الصغرى العادية نحصل على $\hat{b}$ كما يلي:

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \delta_i \bar{X}_i - m\bar{\delta}\bar{\bar{X}}}{\sum_{i=1}^{m} \bar{X}_i^2 - m\bar{\bar{X}}^2}$$

حيث:

δ_i : يمثل الانحراف المعياري لكل سنة $\quad \delta_i = \sqrt{\frac{1}{p}\sum_{j=1}^{p}\left(X_{ij} - \bar{X}_j\right)^2}$

$\bar{X}_i$: يمثل المتوسط الحسابي لكل سنة $\quad \bar{X}_i = \frac{1}{p}\sum_{j=1}^{p} X_{ij}$

$\bar{\bar{X}}$: يمثل المتوسط الحسابي الإجمالي (لكل السنوات) $\quad \bar{\bar{X}} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \bar{X}_i$

$\bar{\delta}$: يمثل متوسط الانحراف المعياري $\quad \bar{\delta} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \delta_i$

m : يمثل عدد السنوات.

p : يمثل عدد أجزاء السنة (مثلا عدد الأشهر).

ومنه تكون السلسلة الزمنية:

- تجميعية إذا كان: $\hat{b} < 0.05$.
- جدائية إذا كان: $\hat{b} > 0.1$.
- مختلطة إذا كان: $0.05 \leq \hat{b} \leq 0.1$.[1]

[1] Regis Bourbonnais et Michel Terraza, **Analyse des séries temporelles,** 3e édition, DUNOD, Paris, 2010, P: 21.

لتقدير المعلمة b نستعين ببرمجية EViews في تقدير النموذج $\delta_i = a + b\bar{X}_i$ حيث:

الجدول رقم (04): المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لسنوات السلسلة ELEC

2023	2022	2021	2020	2019	2018	
441313.29	372268.36	301334.33	306199.89	273682.10	333302.16	δ_i
1761285.75	1704400.75	1620481.67	1581726.58	1615084	1467746.08	$\bar{X}_i$

المصدر: من إعداد الطالب.

بعد تقدير النموذج[1] كانت النتائج $\delta_i = 1262126 + 0.382170\bar{X}_i$ أي: $\hat{b} = 0.382170$ وعليه فإن شكل السلسلة ELEC هو جدائي لأن $\hat{b} > 0.1$.

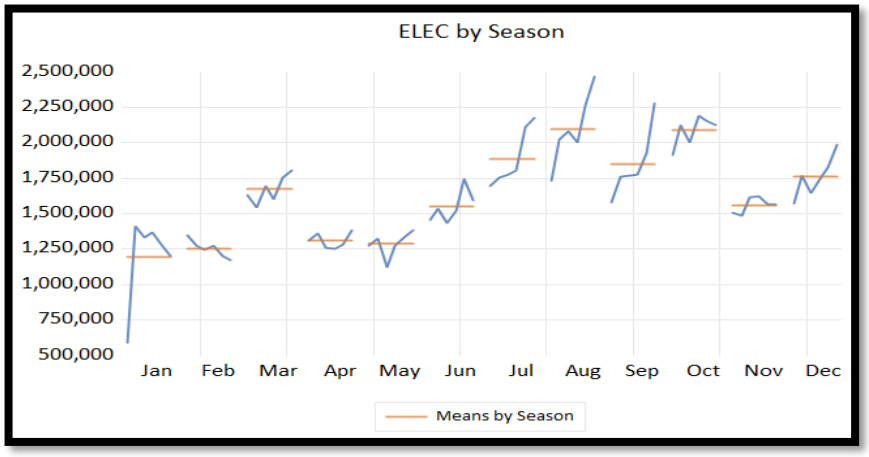
ثالثا: الكشف عن مركبات السلسلة الزمنية ELEC

1- الكشف البياني

أ- الاتجاه العام: من خلال الشكل رقم (19) يبدو لنا أن قيم السلسلة تزداد بوتيرة بطيئة من عام لأخر ما يعني احتمال وجود مركبة الاتجاه العام.

ب- الموسمية: حتى نختبر وجود الموسمية بيانيا يجب رسم منحنى كل شهر على حدة وذلك كما يلي:

الشكل رقم (20): منحنى كل شهر على حدة للسلسلة ELEC



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

[1] أنظر الملحق (3).

نلاحظ من خلال الشكل عدم تساوي متوسطات الأشهر مما يؤكد على احتمال وجود المركبة الفصلية في السلسلة.

2- الكشف الاحصائي: سوف نستخدم في الكشف الاحصائي اختبار تحليل التباين أو ما يسمى اختبار فيشر، وهو اختبار يسمح بالكشف عن المركبة الفصلية والاتجاه العام معا.

ويقوم هذا الاختبار على الفرضية التالية:

H_0 : عدم وجود المركبة الفصلية (تأثير الشهر والسنة).

H_1 : وجود تأثير الشهر والسنة

وكل ملاحظة أو مشاهدة لـ X_t لها علاقة بالسنة والشهر ونضع $X_t = X_{ij}$

حيث: المعامل السنوي $i = 1, \dots \dots n$، المعامل الفصلي(الشهري) $j = 1, \dots \dots m$

ومنه العدد الإجمالي للملاحظات $n \times m = T$

حيث:

$\bar{X}$: المتوسط الحسابي لـ T حيث: $\bar{X} = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} X_{ij}$

$\bar{X}_j$: المتوسط الحسابي للفصل j حيث: $\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_{ij}$

$\bar{X}_i$: المتوسط الحسابي للسنة i حيث: $\bar{X}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} X_{ij}$

V_T: التباين الإجمالي لـ X_j حيث: $V_T = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left(X_{ij} - \bar{X}\right)^2$

حيث: n تمثل المعامل السنوي $i = 1,2, \dots, n$، و m تمثل المعامل الفصلي (الشهري) $j = 1,2, \dots, m$، و T تمثل العدد الإجمالي للمشاهدات حيث $T = n \times m$.[1]

[1] Regis Bourbonnais et Michel Terraza, Op. Cit. P: 11-14.

والجدول التالي يوضح مختلف القيم التي يتطرق لها هذا الاختبار:

الجدول رقم (05): تحليل التباين للكشف عن الفصلية و/أو الاتجاه العام

التباين		درجة الحرية	مربع المجموع
$V_m = S_m/(m-1)$	تباين الفصل	$m-1$	$S_m = n\sum_{j}^{m}(\bar{X}_j - \bar{X})^2$
$V_A = S_A/(n-1)$	تباين السنة	$n-1$	$S_A = m\sum_{i}^{n}(\bar{X}_i - \bar{X})^2$
$V_r = S_r/(m-1)(n-1)$	تباين البواقي	$(m-1)(n-1)$	$S_r = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + \bar{X})^2$
$V_T = S_T/(n.m-1)$	التباين الكلي	$n.m-1$	$S_T = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(\bar{X}_{ij} - \bar{X})^2$

المصدر: Regis Bourbonnais et Michel Terraza, Op. Cit. P:13

وانطلاقا من هذا الجدول يمكن تكوين اختبارات الفرضيتين:

اختبار عدم وجود الفصلية (الشهر أو الفصلية)

نقوم بحساب فيشر المحسوبة $F_c = V_m \,/\, V_r$ ومقارنتها بفيشر المجدولة $F^{\alpha}_{(m-1);(n-1)(m-1)}$. إذا كانت $F_c > F_{Tab}$ نرفض فرضية العدم H_0، ومنه وجود الفصلية في السلسلة.

اختبار عدم وجود الاتجاه العام

نقوم بحساب فيشر المحسوبة $F_c = V_A \,/\, V_r$ ومقارنتها بفيشر المجدولة $F^{\alpha}_{(n-1);(n-1)(m-1)}$. إذا كانت $F_c > F_{Tab}$ نرفض فرضية العدم H_0، ومنه وجود الاتجاه العام في السلسلة.

بتطبيق هذا الاختبار على السلسلة ELEC[1] وبالاستعانة ببرمجية EXCEL وجدنا ما يلي:

الجدول رقم (06): اختبار تحليل التباين على السلسلة ELEC

التباين		درجة الحرية	مربع المجموع
$V_m = 611212186377.328$	تباين الفصل	11	$S_m = 6723334050150.61$
$V_A = 123835973949.255$	تباين السنة	5	$S_A = 619179869746.277$
$V_r = 18536386077.2434$	تباين البواقي	55	$S_r = 1019501234248.39$
$V_T = 117774861325.99$	التباين الكلي	71	$S_T = 8362015154145.28$

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية Excel.

أ- اختبار عدم وجود الاتجاه العام:

نحسب قيمة فيشر $F_c = V_A / V_r = \frac{123835973949.255}{18536386077.2434} = 6.68$ ونقارنها مع $F_{5;71}^{0,05} = 2.38$ ومنه $F_c > F_{Tab}$ أي نرفض الفرضية الصفرية H_0 معناه توجد مركبة الاتجاه العام في السلسلة ELEC.

ب- اختبار عدم وجود المركبة الفصلية:

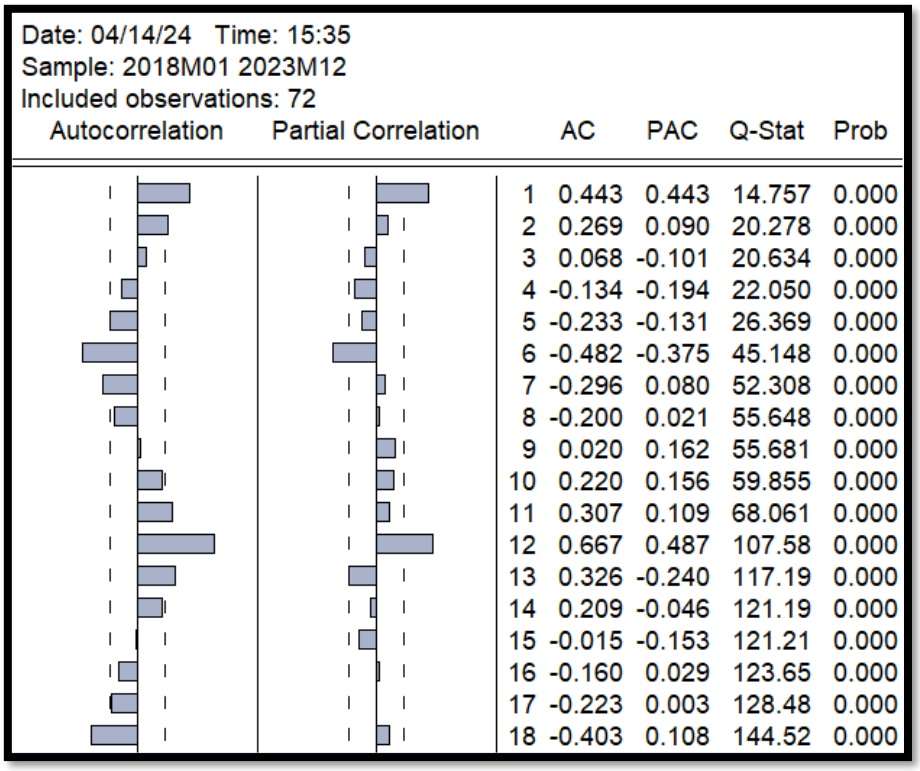
نحسب قيمة فيشر $F_c = V_m / V_r = \frac{611212186377.328}{18536386077.2434} = 32.97$ ونقارنها مع $F_{11;71}^{0,05} = 1.97$ ومنه $F_c > F_{Tab}$ أي نرفض الفرضية الصفرية H_0 معناه توجد المركبة الفصلية في السلسلة ELEC.

رابعا: دراسة استقرارية السلسلة ELEC

1- الاختبار البياني: قبل المرور إلى الاختبارات الإحصائية نقوم أولا بملاحظة منحنى تطور السلسلة وشكل دالة الارتباط الذاتي correlogram لأخذ نظرة مسبقة حول استقرارية السلسلة ELEC.

[1] أنظر الملحق (4).

الشكل رقم (21): correlogram السلسلة ELEC



	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.443	0.443	14.757	0.000
2	0.269	0.090	20.278	0.000
3	0.068	-0.101	20.634	0.000
4	-0.134	-0.194	22.050	0.000
5	-0.233	-0.131	26.369	0.000
6	-0.482	-0.375	45.148	0.000
7	-0.296	0.080	52.308	0.000
8	-0.200	0.021	55.648	0.000
9	0.020	0.162	55.681	0.000
10	0.220	0.156	59.855	0.000
11	0.307	0.109	68.061	0.000
12	0.667	0.487	107.58	0.000
13	0.326	-0.240	117.19	0.000
14	0.209	-0.046	121.19	0.000
15	-0.015	-0.153	121.21	0.000
16	-0.160	0.029	123.65	0.000
17	-0.223	0.003	128.48	0.000
18	-0.403	0.108	144.52	0.000

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

نلاحظ من خلال الشكل رقم (19) أنه لا يمكننا الجزم بوجود اتجاه عام في السلسلة من عدمه، ولكننا نلاحظ وجود نمط من الارتفاعات يتكرر كل 12 شهر، هذا ما يعطينا فكرة مسبقة على إمكانية وجود الفصلية في السلسلة، ومن خلال الشكل رقم (21) نلاحظ أيضا تذبذب دالة الارتباط الذاتي، ذلك ما يدل على عدم استقرارية السلسلة، ولكن التحليل البياني لا يكفي للجزم لذلك ننتقل الى الاختبار الاحصائي.

2- الاختبار الاحصائي: سنستخدم اختبار Dickey-Fuller والذي يعتبر من أهم اختبارات جذر الوحدة لدراسة الاستقرارية.

اختبار Dickey-Fuller:

يمكننا هذا الاختبار من الكشف عن مركبة الاتجاه العام كما يعتمد هذا الاختبار على 6 نماذج في الدراسة وهذا على حساب درجة التأخير p حيث:

عندما يكون $p = 0$ فإن النماذج تكون:[1]

[1] Regis Bourbonnais et Michel Terraza, Op. Cit. P: 249.

النموذج الأول: $X_t = \phi_1 X_{t-1} + \varepsilon_t$

النموذج الثاني: $X_t = \phi_1 X_{t-1} + c + \varepsilon_t$

النموذج الثالث: $X_t = \phi_1 X_{t-1} + c + bt + \varepsilon_t$

وعندما يكون $p \geq 1$ فإن تسميته تصبح اختبار Augmented Dickey-Fuller وتصبح النماذج كما يلي:[1]

النموذج الرابع: $X_t = \phi_1 X_{t-1} - \sum_{j=2}^{p} \phi_j \Delta X_{t-j+1} + \varepsilon_t$

النموذج الخامس: $X_t = \phi_1 X_{t-1} - \sum_{j=2}^{p} \phi_j \Delta X_{t-j+1} + c + \varepsilon_t$

النموذج السادس: $X_t = \phi_1 X_{t-1} - \sum_{j=2}^{p} \phi_j \Delta X_{t-j+1}\, c + bt + \varepsilon_t$

ويمكننا هذا الاختبار أيضا من معرفة نوع السلسلة الغير المستقرة، وهناك نوعان:

سيرورة من نوع DS: عبارة عن سلسلة غير مستقرة ذات طبيعة عشوائية.

سيرورة من نوع TS: عبارة عن سلسلة غير مستقرة ذات طبيعة تحديدية.

والآن سوف نقوم بتطبيق هذا الاختبار على السلسلة ELEC. حيث تم الاعتماد في تحديد درجة التأخير الأنسب على الاختيار التلقائي على أساس معيار Akaike، وكان التأخير الأمثل لهذه السلسلة هو 11 ما يعني أننا سنستعمل اختبار ADF، حيث كانت النتائج كما يلي[2]:

[1] Regis Bourbonnais et Michel Terraza, Op. Cit. P: 250.

[2] أنظر الملحق (5).

الجدول رقم (07): اختبار Augmented Dickey-Fuller على السلسلة ELEC

	النموذج 6	النموذج 5	النموذج 4
إحصائية الجذر الأحادي (ϕ_1) (الاحتمالية Prob)	−2.12 (0.5242)	−1.08 (0.7175)	2.47 (0.9964)
قيمتها الحرجة (%5)	−3.49	−2.91	−1.95
إحصائية الثابت (C)	2.17	1.18	−
قيمتها الحرجة (%5)	3.42	2.86	−
إحصائية الاتجاه العام (Trend)	1.83	−	−
قيمتها الحرجة (%5)	3.14	−	−

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13..

اختبار الاتجاه العام (النموذج 6):

نقوم باختبار الفرضية التالية:

$$\left.\begin{array}{l} H_0: b=0 \\ H_1: b\neq 0 \end{array}\right\}$$

حيث نلاحظ من نتائج الجدول أن القيمة المحسوبة لمعلمة الاتجاه العام أصغر من قيمتها الحرجة عند مستوى المعنوية 5% (1.83 < 3.14)، وعليه فإننا نقبل فرضية العدم H_0 أي أن الاتجاه العام غير معنوي وننتقل إلى النموذج 5.

اختبار الثابت (النموذج 5):

نلاحظ من نتائج الجدول أن القيمة المحسوبة للثابت أصغر من قيمتها الحرجة عند مستوى المعنوية 5% (1.18 < 2.86)، وعليه فإننا نقبل فرضية العدم H_0 أي أن الثابت غير معنوي، ومنه ننتقل إلى النموذج 4.

اختبار الجذر الأحادي (النموذج 4):

نقوم باختبار الفرضية التالية:

$$\left.\begin{array}{l} H_0: \phi_1 = 1 \\ H_1: |\phi_1| < 1 \end{array}\right\}$$

حيث نلاحظ من نتائج الجدول وجود جذر أحادي لأن احتمالية اختبار ADF أكبر من مستوى المعنوية 5% (0.9964 > 0.05)، أي نقبل الفرضية الصفرية H_0 التي تنص على وجود جذر أحادي.

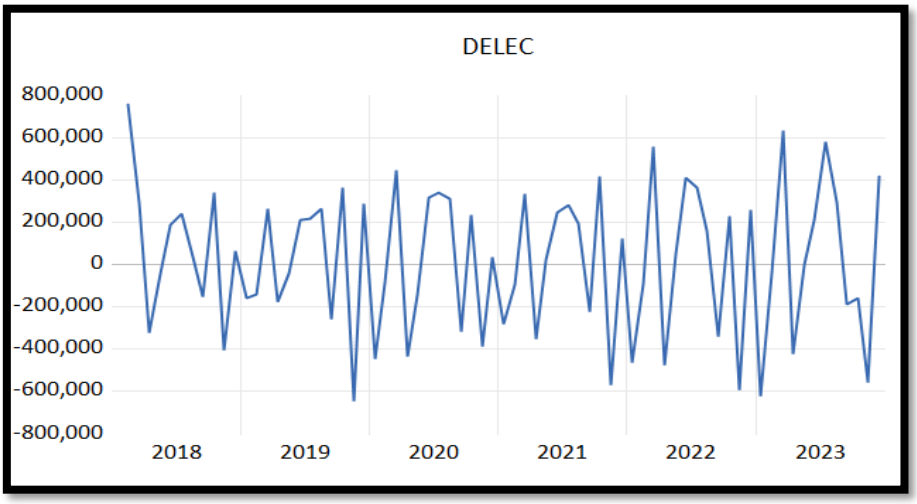
ومما سبق يمكننا القول إن السلسلة ELEC غير مستقرة من نوع DS. وأفضل طريقة لجعلها مستقرة هي بإجراء الفروقات.

إجراء الفرق الأول:

نقوم بإجراء الفرق الأول للسلسلة ELEC. وبالاستعانة ببرمجية EViews أصبح لدينا سلسلة جديدة DELEC حيث: $DELEC = ELEC_t - ELEC_{t-1}$

وتمثيلها البياني موضح كما يلي:

الشكل رقم (22): المنحنى البياني للسلسلة DELEC



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13..

نلاحظ من التمثيل البياني أن السلسلة أصبحت مستقرة ولكن للتأكد نقوم بإجراء اختبار Dickey-Fuller مرة أخرى على السلسلة DELEC.

والآن سوف نقوم بتطبيق هذا الاختبار على السلسلة DELEC. حيث تم الاعتماد في تحديد درجة التأخير الأنسب على الاختيار التلقائي على أساس معيار Akaike، وكان التأخير الأمثل لهذه السلسلة هو 10 ما يعني أننا سنستعمل اختبار ADF، حيث كانت النتائج كما يلي[1]:

الجدول رقم (08): اختبار Augmented Dickey-Fuller على السلسلة DELEC

	النموذج 6	النموذج 5	النموذج 4
إحصائية الجذر الأحادي (ϕ_1) (الاحتمالية Prob)	−13.18 (5.37e−12)	−13.31 (1.10e−12)	−12.41 (6.38e−58)
قيمتها الحرجة (%5)	−3.49	−2.91	−1.95
إحصائية الثابت (C)	1.19	2.52	−
قيمتها الحرجة (%5)	3.42	2.86	−
إحصائية الاتجاه العام (Trend)	−0.25	−	−
قيمتها الحرجة (%5)	3.14	−	−

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13..

اختبار الاتجاه العام (النموذج 6):

نقوم باختبار الفرضية التالية:

$$\left.\begin{array}{l} H_0: b=0 \\ H_1: b\neq 0 \end{array}\right\}$$

حيث نلاحظ من نتائج الجدول أن القيمة المحسوبة لمعلمة الاتجاه العام أصغر من قيمتها الحرجة عند مستوى المعنوية 5% ($-0.25 < 3.14$)، وعليه فإننا نقبل فرضية العدم H_0 أي أن الاتجاه العام غير معنوي وننتقل إلى النموذج 5.

اختبار الثابت (النموذج 5):

نلاحظ من نتائج الجدول أن القيمة المحسوبة للثابت أصغر من قيمتها الحرجة عند مستوى المعنوية 5% ($2.52 < 2.86$)، وعليه فإننا نقبل فرضية العدم H_0 أي أن الثابت غير معنوي، ومنه ننتقل إلى النموذج 4.

[1] أنظر الملحق (6).

اختبار الجذر الأحادي (النموذج 4):

نقوم باختبار الفرضية التالية:

$$\left.\begin{array}{l} H_0: \phi_1 = 1 \\ H_1: |\phi_1| < 1 \end{array}\right\}$$

حيث نلاحظ من نتائج الجدول عدم وجود جذر أحادي لأن احتمالية اختبار ADF أصغر من مستوى المعنوية 5% $(0.05 > 6.38e-58)$، أي نرفض الفرضية الصفرية H_0 معناه السلسلة لا تحتوي على جذر أحادي.

ومما سبق يمكننا القول إن السلسلة DELEC مستقرة.

المطلب الثاني: تطبيق طرق التمهيد الأسي للتنبؤ على سلسلة استهلاك الكهرباء

بما أن طرق التمهيد الأسي تعتمد على الموسمية والاتجاه العام فإننا سوف نقوم بتطبيقها على السلسلة الأصلية ELEC.

مما سبق وجدنا أن السلسلة ELEC ذات شكل جدائي وتحتوي على مركبة الاتجاه العام والمركبة الفصلية، ومنه الطريقة الأمثل للتنبؤ بقيم هذه السلسلة هي طريقة تمهيد Holt-Winters الجدائية، بالإضافة إلى تمهيد ETS.

أولا: التنبؤ باستخدام طريقة تمهيد Holt-Winters الجدائية

1- تقدير مختلف معلمات النموذج

لاستعمال هذه الطريقة نستعين ببرنامج EViews، حيث كانت النتائج كما يلي:

الشكل رقم (23): تطبيق طريقة Holt-Winters الجدائية على السلسلة ELEC

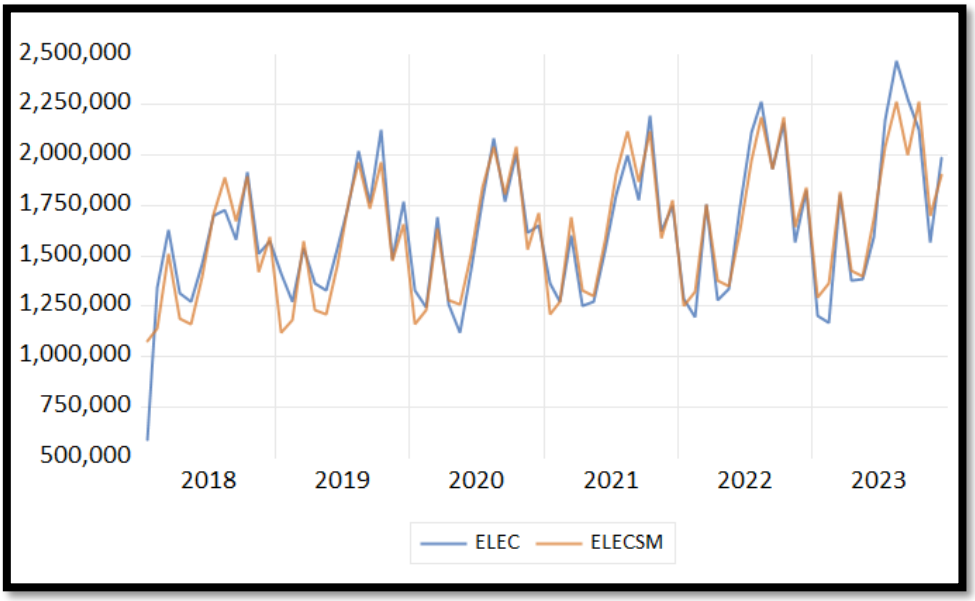
Date: 03/31/24 Time: 11:37
Sample: 2018M01 2023M12
Included observations: 72
Method: Holt-Winters Multiplicative Seasonal
Original Series: ELEC
Forecast Series: ELEC_SM

Parameters:	Alpha		0.0000
	Beta		0.0000
	Gamma		0.0000
Sum of Squared Residuals			1.02E+12
Root Mean Squared Error			118818.1
End of Period Levels:	Mean		1788194.
	Trend		4892.328
	Seasonals:	2023M01	0.746297
		2023M02	0.786026
		2023M03	1.042129
		2023M04	0.814607
		2023M05	0.796781
		2023M06	0.956468
		2023M07	1.158499
		2023M08	1.281469
		2023M09	1.127508
		2023M10	1.274040
		2023M11	0.951412
		2023M12	1.064764

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13..

من خلال الشكل أعلاه نلاحظ أن القيم المثلى لمعلمات التمهيد α وβ وγ هي: 0، 0، 0 والتي تعطينا أقل قيمة ممكنة لمجموع مربعات البواقي (SSR) والجذر التربيعي لمتوسط مربعات الأخطاء (RMSE) والتي هي على التوالي 1016477927309.69، 118818.13 والتي تعتبر من مقاييس دقة التنبؤ، وبما أن البيانات شهرية فقد تم عرض القيم الممهدة لآخر 12 شهر، وفيما يلي عرض للسلسلة الممهدة (ELECSM) مع السلسلة الأصلية:

الشكل رقم (24): منحنى يوضح السلسلة الممهدة ELECSM مع السلسلة الأصلية ELEC



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13..

من الشكل نلاحظ الشبه الكبير بين قيم السلسلة الممهدة والسلسلة الأصلية أي يمكن الاعتماد عليها في عملية التنبؤ.

2- التنبؤ

من خلال النتائج السابقة سوف نقوم بمحاولة التنبؤ بقيم شهر جانفي وفيفري ومارس لسنة 2024. حيث كانت النتائج كما يلي:

الجدول رقم (09): مقارنة بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بها بطريقة Holt-Winters

	القيم الأصلية	القيم المتنبأ بها	نسبة الخطأ
شهر جانفي	1268915	1338174	%5.46
شهر فيفري	1262588	1413257	%11.93
شهر مارس	1944480	1878824	%3.38

المصدر: من إعداد الطالب.

ثانيا: التنبؤ باستخدام طريقة تمهيد ETS

1- تحديد النموذج الأمثل وتقدير مختلف معلماته

لاستعمال هذه الطريقة نستعين ببرنامج EViews، حيث كانت النتائج كما يلي:

الشكل رقم (25): تطبيق طريقة تمهيد ETS على السلسلة ELEC

Initial Parameters	
Initial level:	-8375048.
Initial trend:	92487214
Initial state 1:	1.067541
Initial state 2:	0.953167
Initial state 3:	1.275576
Initial state 4:	1.119911
Initial state 5:	1.274071
Initial state 6:	1.149065
Initial state 7:	0.945808
Initial state 8:	0.786254
Initial state 9:	0.801884
Initial state 10:	1.030381
Initial state 11:	0.774246
Initial state 12:	0.822098
Compact Log-likelihood	-982.6296
Log-likelihood	-930.8332
Akaike Information Criterion	1999.259
Schwarz Criterion	2037.963
Hannan-Quinn Criterion	2014.667
Sum of Squared Residuals	0.284042
Root Mean Squared Error	0.062809

ETS Smoothing
Original series: ELEC
Date: 03/31/24 Time: 14:20
Sample: 2018M01 2023M12
Included observations: 72
Model: M,AD,M - Multiplicative Error, Additive
-Dampened Trend, Multiplicative Season
(Auto E=*, T=*, S=*), Cycle=12
Model selection: Akaike Information Criterion
Failure to improve objective (non-zero gradients) after 0 iterations

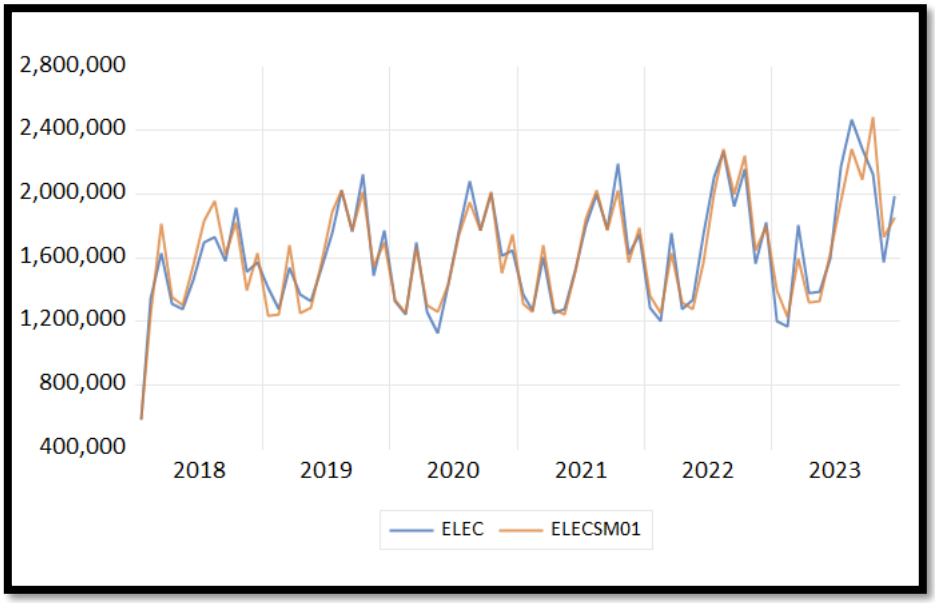
Parameters	
Alpha:	0.443131
Beta:	0.443131
Gamma:	0.000000
Phi:	0.098283

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

نلاحظ من المخرجات السابقة أن النموذج الأمثل الذي اختاره البرنامج تلقائيا هو النموذج ETS(M,Ad,M) أي نموذج يحتوي على مركبة عشوائية جدائية ومركبة اتجاه عام تجميعية متخامدة ومركبة فصلية جدائية، وذلك بالاعتماد على أدنى قيمة لمعيار Akaike، حيث كانت القيم المثلى للمعلمات α وβ وγ وϕ هي: 0.44، 0.44، 0، 0.098 على التوالي، والتي أعطت أقل قيم ممكنة لـ SSR وRMSE حيث: SSR=0.28 وRMSE=0.06 وبما أن البيانات شهرية فقد تم عرض القيم الممهدة لآخر 12 شهر.

كما تعرض لنا المخرجات مختلف معايير المعلومات من معيار Akaike ومعيار Schwarz معيار Hannan-Quinn بالإضافة إلى قيمة لوغاريتم المعقولية التي تكون مفيدة في عملية المفاضلة بين النماذج. وفيما يلي عرض للسلسلة الممهدة مع السلسلة الأصلية:

الشكل رقم (26): منحنى يوضح السلسلة الممهدة ELECSM01 مع السلسلة الأصلية ELEC.



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

من الشكل نلاحظ شبه التطابق بين قيم السلسلة الممهدة والسلسلة الأصلية أي يمكن الاعتماد عليها في عملية التنبؤ.

2- التنبؤ

من خلال النموذج الذي تحصلنا عليه والنتائج السابقة، سوف نقوم بمحاولة التنبؤ بقيم شهر جانفي وفيفري ومارس لسنة 2024. حيث كانت النتائج كما يلي:

الجدول رقم (10): مقارنة بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بها بطريقة تمهيد ETS

	القيم الأصلية	القيم المتنبأ بها	نسبة الخطأ
شهر جانفي	1268915	1473506	%16.12
شهر فيفري	1262588	1391491	%10.21
شهر مارس	1944480	1852313	%4.74

المصدر: من إعداد الطالب.

المطلب الثالث: تطبيق طريقة Box-Jenkins للتنبؤ على سلسلة استهلاك الكهرباء

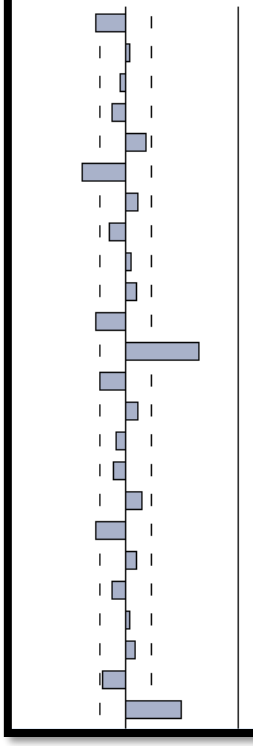
قبل البدء في تطبيق منهجية Box-Jenkins يجب أولا التأكد من استقرارية السلسلة المراد التنبؤ بقيمها، ومما سبق فقد وجدنا أن السلسلة DELEC مستقرة، لذا نباشر في تطبيق مراحل هذه المنهجية حسب ما تم ذكره سابقا.

أولا: مرحلة التعرف على النموذج

تكمن هذه المرحلة في تحديد النموذج الأمثل الذي سوف نعتمد عليه في مرحلة التنبؤ وذلك من خلال تحديد قيمة التأخير p للانحدار الذاتي وقيمة التأخير q للمتوسط المتحرك وبما أن السلسلة تحتوي على المركبة الموسمية فإننا نقوم بتحديد الرتب الموسمية أيضا قيمة P للانحدار الذاتي الموسمي وقيمة Q للمتوسط المتحرك الموسمي وذلك من خلال التمثيل البياني لدالة الارتباط الذاتي الجزئي (PACF) ودالة الارتباط الذاتي (ACF) على التوالي، من خلال ملاحظة الأعمدة الخارجة عن مجال الثقة.

الشكل رقم (27): correlogram السلسلة المستقرة DELEC

Date: 04/14/24 Time: 20:36
Sample (adjusted): 2018M02 2023M12
Included observations: 71 after adjustments



	Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1			-0.281	-0.281	5.8403	0.016
2			0.039	-0.043	5.9535	0.051
3			-0.050	-0.055	6.1413	0.105
4			-0.124	-0.165	7.3270	0.120
5			0.191	0.120	10.187	0.070
6			-0.395	-0.357	22.620	0.001
7			0.109	-0.119	23.580	0.001
8			-0.149	-0.222	25.400	0.001
9			0.045	-0.110	25.567	0.002
10			0.095	-0.077	26.333	0.003
11			-0.277	-0.330	32.974	0.001
12			0.677	0.520	73.184	0.000
13			-0.239	-0.025	78.269	0.000
14			0.114	0.085	79.460	0.000
15			-0.094	-0.037	80.281	0.000
16			-0.109	0.017	81.403	0.000
17			0.153	-0.123	83.641	0.000
18			-0.285	0.078	91.582	0.000
19			0.100	-0.026	92.580	0.000
20			-0.128	0.086	94.239	0.000
21			0.037	-0.083	94.381	0.000
22			0.085	-0.034	95.143	0.000
23			-0.218	-0.047	100.26	0.000
24			0.511	0.086	129.03	0.000

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

من خلال دالة الارتباط الذاتي نلاحظ نتوء عند التأخير 1 و6 إذن هي القيم المحتملة لـ q، ومن خلال دالة الارتباط الذاتي الجزئي نلاحظ أيضا نتوء عند التأخير 1 و6 إذن هي القيم المحتملة لـ p، أما بالنسبة للمعلمات الموسمية نلاحظ نتوء عند التأخير 12 لدالة الارتباط الذاتي الجزئي أي أن P يمكن أن يأخذ القيمة 1، أما من خلال دالة الارتباط الذاتي نلاحظ نتوء في التأخير 12 و24 أي أن Q يمكن أن يأخذ القيمة 1 أو 2. ومن خلال هذه التوليفة تم تقدير ما يصل إلى 144 نموذج وذلك باستعمال طريقة أعظم احتمال، ويبين الجدول الموالي أفضل النماذج المقدرة التي كانت ملائمة للسلسلة محل الدراسة.

الجدول رقم (11): أفضل النماذج المقدرة للسلسلة DELEC

النموذج	LogL	AIC	BIC	HQ
ARIMA (0,1,1) $(0,0,2)_{12}$ c	-974.51316	27.59192	27.75126	27.65528
ARIMA (0,1,1) $(0,0,2)_{12}$	-974.77874	27.57123	27.69870	27.62192
ARIMA (1,1,6) $(0,0,2)_{12}$ c	-973.88010	27.60225	27.79346	27.67829
ARIMA (1,1,6) $(0,0,2)_{12}$	-974.02860	27.57827	27.73761	27.64163
ARIMA (6,1,1) $(1,0,0)_{12}$	-959.03881	27.12785	27.25532	27.17854

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

ملاحظة: الحرف c يرمز إلى وجود الثابت في النموذج.

نلاحظ من الجدول السابق أن النموذج الأمثل هو النموذج ARIMA (6,1,1) $(1,0,0)_{12}$ الذي أعطى أقل قيمة لمعيار AIC وBIC ومعيار HQ.

ثانيا: مرحلة التقدير

بعد تحديد النموذج الأمثل نمر إلى مرحلة تقدير معالم هذا النموذج وبالاستعانة ببرمجية EViews كان تقدير النموذج الأمثل كما يلي:[1]

الجدول رقم (12): تقدير معلمات النموذج ARIMA (6,1,1) $(1,0,0)_{12}$

المعلمة	القيمة	الانحراف المعياري	إحصائية ستيودنت	الاحتمالية
AR (6)	−0.323539	0.125476	−2.578483	0.012126
SAR (12)	0.862644	0.049974	17.261873	2.33e−26
MA (1)	−0.841458	0.034566	−24.343062	5.46e−35

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على مخرجات EViews 13.

[1] أنظر الملحق (7).

نلاحظ من الجدول السابق أن جميع المعلمات المقدرة للنموذج معنوية لأن قيمها الاحتمالية (Prob) أقل من مستوى المعنوية 0.05.

يتم صياغة نماذج ARIMA الموسمية على النحو التالي:

$$(1-\phi_1 B-\cdots-\phi_p B^p)(1-\Phi_1 B^s-\cdots-\Phi_P B^{Ps})(1-B)(1-B^s)y_t = (1+\theta_1 B+\cdots+\theta_q \beta^q)(1+\Theta_1 B^s+\cdots+\Theta_Q B^{Qs})\varepsilon_t$$

وفي حالة نموذجنا فتصبح الصياغة كما يلي:

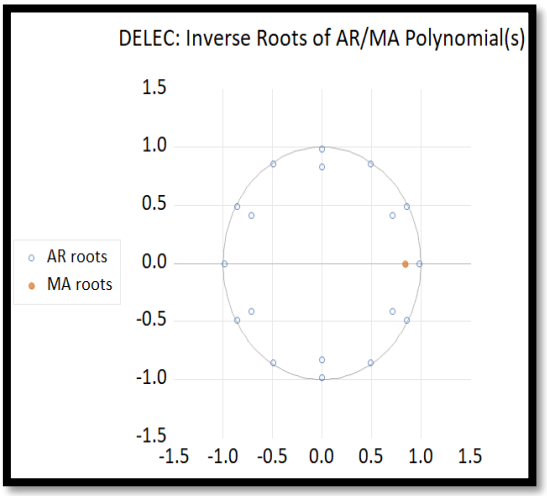
$$(1-\phi_6 B^6)(1-\Phi_1 B^{12})(1-B)ELEC = (1+\theta_1 B)\varepsilon_t$$

ومن خلال النتائج السابقة فيمكن صياغة النموذج ARIMA $(6,1,1)\ (1,0,0)_{12}$ كما يلي:

$$DELEC_t = -0.32DELEC_{t-6} + 0.86DELEC_{t-12} + 0.28DELEC_{t-18} + \varepsilon_t - 0.84\varepsilon_{t-1}$$

تحليل جذور النموذج:

الشكل رقم (28): الدائرة الأحادية لمعكوس جذور AR وMA



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

الشكل رقم (29): قيم معكوس جذور AR وMA

AR Root(s)	Modulus	Cycle
-0.987763	0.987763	
0.855428 ± 0.493881i	0.987763	12.00000
0.987763	0.987763	
0.493881 ± 0.855428i	0.987763	6.000000
-0.855428 ± 0.493881i	0.987763	2.400000
-3.05e-16 ± 0.987763i	0.987763	4.000000
-0.493881 ± 0.855428i	0.987763	3.000000
6.94e-18 ± 0.828555i	0.828555	4.000000
-0.717549 ± 0.414277i	0.828555	2.400000
0.717549 ± 0.414277i	0.828555	12.00000
No root lies outside the unit circle. ARMA model is stationary.		
MA Root(s)	Modulus	Cycle
0.841459	0.841459	
No root lies outside the unit circle. ARMA model is invertible.		

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

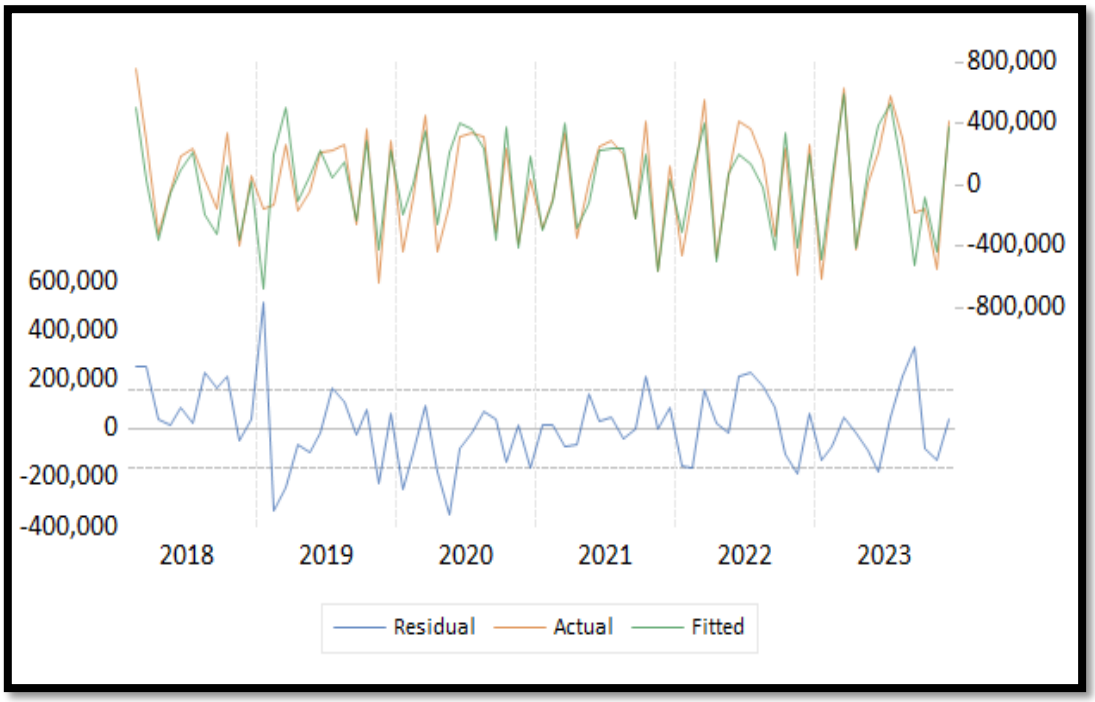
نلاحظ من خلال الشكل (28) أن معكوس جميع الجذور لـ AR وMA داخل الدائرة الأحادية، وذلك ما يؤكده الشكل (29) حيث نلاحظ أن جميع قيم معكوس جذور AR وMA أقل من 1 وذلك ما يعني أن جميع جذور AR وMA أكبر من 1 وهذا ما يدل على أن النموذج $ARIMA\ (6,1,1)\ (1,0,0)_{12}$ مستقر وقابل للعكس.

ثالثا: مرحلة التشخيص

بعد تقدير معلمات النموذج المختار ننتقل إلى مرحلة فحصه وتشخيصه، وذلك للتأكد من أنه مناسب ويمكن الاعتماد عليه في مرحلة التنبؤ، وتتم هذه الخطوة بدراسة بواقي هذا النموذج من حيث الارتباط والتجانس والتوزيع الطبيعي لمعرفة مدى تطابق المشاهدات مع القيم المقدرة.

1- مقارنة بين منحنى السلسلة الأصلية والسلسلة المقدرة: قبل المرور الى اختبار البواقي نقارن بين القيم الحقيقية وبين القيم المقدرة الناتجة عن النموذج المختار، وذلك كما يلي:

الشكل رقم (30): منحنى يوضح السلسلة المقدرة مع السلسلة الأصلية DELEC



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

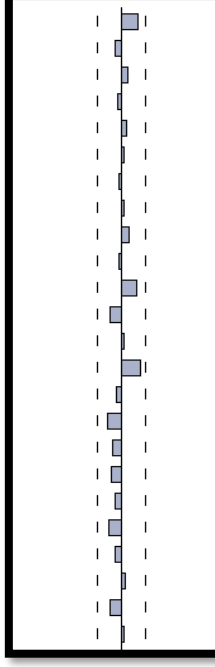
نلاحظ من خلال الشكل السابق التشابه الكبير بين منحنى السلسلة الأصلية (Actual) ومنحنى السلسلة المقدرة (Fitted) وهذا ما يعطينا نظرة مسبقة على صلاحية النموذج للتنبؤ.

2- فحص سلسلة البواقي

أ- **اختبار الارتباط الذاتي:** للتحقق من غياب الارتباط الذاتي بين أخطاء النموذج نقوم باستعمال اختبار Q-stat والذي يعتمد على تمثيل الـ correlogram للأخطاء حيث:

الشكل رقم (31): اختبار Q-stat لسلسلة البواقي

Date: 05/07/24 Time: 20:35
Sample (adjusted): 2018M02 2023M12
Q-statistic probabilities adjusted for 3 ARMA terms



	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.167	0.167	2.0529	
2	-0.059	-0.089	2.3103	
3	0.058	0.086	2.5658	
4	-0.039	-0.074	2.6843	0.101
5	0.055	0.092	2.9217	0.232
6	0.032	-0.011	3.0041	0.391
7	-0.018	-0.000	3.0297	0.553
8	0.018	0.011	3.0569	0.691
9	0.082	0.085	3.6185	0.728
10	-0.022	-0.056	3.6610	0.818
11	0.148	0.186	5.5642	0.696
12	-0.113	-0.221	6.6852	0.670
13	0.026	0.178	6.7454	0.749
14	0.181	0.051	9.7194	0.556
15	-0.053	-0.037	9.9823	0.618
16	-0.136	-0.172	11.729	0.550
17	-0.096	-0.024	12.623	0.556
18	-0.103	-0.124	13.654	0.552
19	-0.062	-0.006	14.035	0.596
20	-0.131	-0.234	15.770	0.540
21	-0.063	0.134	16.175	0.580
22	0.036	-0.126	16.315	0.636
23	-0.110	0.012	17.631	0.612
24	0.018	-0.034	17.667	0.670

المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

نلاحظ من خلال الشكل السابق أن جميع معاملات دالة الارتباط الذاتي ودالة الارتباط الذاتي الجزئي غير معنوية (داخل مجال الثقة)، وأيضا نلاحظ أن احتمالية الاختبار (Q-stat) عند التأخير 18 (T/4=18) التي تساوي 0.552 أكبر من مستوى المعنوية 5% مما يعني قبول فرضية العدم، أي لا يوجد ارتباط ذاتي بين الأخطاء.

ب- اختبار عدم ثبات التباين: اعتمدنا في اختبار ثبات تباين الخطأ على اختبار ARCH حيث كانت نتائجه كما يلي:

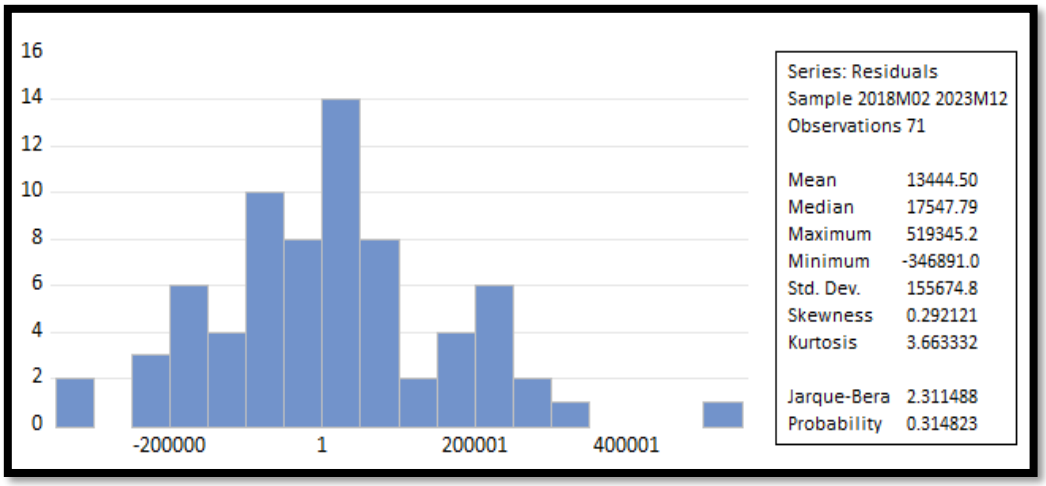
Heteroskedasticity Test: ARCH

F-statistic	3.171045	Prob. F(1,68)	0.0794
Obs*R-squared	3.118868	Prob. Chi-Square(1)	0.0774

نلاحظ أن احتمالية F-statistic أكبر من 0.05 وبالتالي نقبل فرضية ثبات أو تجانس تباين الأخطاء.

ج- اختبار التوزيع الطبيعي: للتحقق من التوزيع الطبيعي للأخطاء نستعمل اختبار Jarque-Bera حيث:

الشكل رقم (32): اختبار Jarque-Bera على سلسلة البواقي



المصدر: من إعداد الطالب بالاعتماد على برمجية EViews 13.

نلاحظ أن احتمالية الاختبار أكبر من 0.05 أي نقبل فرضية التوزيع الطبيعي للأخطاء. وحتى نتأكد من ذلك نقوم بإجراء اختبارات أخرى منها اختبار Lilliefors، اختبار Cramer-von Mises، اختبار Watson واختبار Anderson-Darling والتي كانت نتائجها كما يلي:

Empirical Distribution Test for RESID14
Hypothesis: Normal
Date: 05/07/24 Time: 20:47
Sample (adjusted): 2018M02 2023M12
Included observations: 71 after adjustments

Method	Value	Adj. Value	Probability
Lilliefors (D)	0.069434	NA	> 0.1
Cramer-von Mises (W2)	0.045972	0.046295	0.5676
Watson (U2)	0.044360	0.044672	0.5430
Anderson-Darling (A2)	0.287795	0.290963	0.6095

حيث نلاحظ أن القيم الاحتمالية لجميع الاختبارات السابقة أكبر من مستوى المعنوية 5% وعليه نقبل الفرضية الصفرية التي تنص على أن سلسلة البواقي تتبع التوزيع الطبيعي.

ومنه فإنه يمكننا القول بأن سلسلة البواقي تتبع التوزيع الطبيعي.

رابعا: مرحلة التنبؤ

بعد تحديد النموذج الأمثل ARIMA $(6,1,1)\ (1,0,0)_{12}$ واختبار صلاحيته للتنبؤ، ننتقل إلى أهم مرحلة في دراستنا وهي التنبؤ المستقبلي خارج العينة، أين سنستخدم النموذج المختار في التنبؤ بقيم استهلاك قطاع العائلات للكهرباء في دائرة برج أخريص لشهر جانفي وفيفري ومارس لسنة 2024. وتتم عملية التنبؤ كما يلي:

$$DELEC_t = -0.32DELEC_{t-6} + 0.86DELEC_{t-12} + 0.28DELEC_{t-18} + \varepsilon_t$$
$$-0.84\varepsilon_{t-1}$$

$$DELEC_{01/2024} = -0.32(580562) + 0.86(-621934) + 0.28(363947) + 0$$
$$-0.84(41982.8)$$

$$DELEC_{01/2024} = -658092.15$$

قمنا هنا بالتنبؤ بسلسلة الفرق الأول وهدفنا هو السلسلة الأصلية لذا يتم التنبؤ بالسلسلة الأصلية كما يلي:

$$DELEC_t = ELEC_t - ELEC_{t-1}$$

$$ELEC_t = DELEC_t + ELEC_{t-1}$$

$$ELEC_{01/2024} = -658092.15 + 1985759 = 1327666.85$$

بنفس الطريقة يتم حساب قيمة شهر فيفري ومارس، وتم تلخيص النتائج في الجدول الموالي:

الجدول رقم (13): مقارنة بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بها بطريقة Box-Jenkins

	القيم الأصلية	القيم المتنبأ بها	نسبة الخطأ
شهر جانفي 2024	1268915	1327667	%4.63
شهر فيفري 2024	1262588	1246760	%1.25
شهر مارس 2024	194440	1758801	%9.55

المصدر: من اعداد الطالب.

المبحث الثالث: المقارنة والمفاضلة بين الطريقتين

بعد قيامنا بعملية التنبؤ بالاستهلاك الشهري لقطاع العائلات للكهرباء الخاص بدائرة برج أخريص بطريقتي التمهيد الأسي وBox-Jenkins، ننتقل الان الى أهم نقطة في دراستنا وهي المقارنة والمفاضلة بين هاتين الطريقتين لمعرفة أيهما أفضل في عملية التنبؤ على المدى القصير.

المطلب الأول: المقارنة بين الطريقتين على أساس القيم

سنقوم هنا بعمل مقارنة بين الطريقتين على أساس القيم المتنبأ بها لاستهلاك الكهرباء وذلك بالاعتماد على القيم الحقيقية لنفس الفترة المتنبأ بها. والجدول التالي يبين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بها باستعمال الطريقتين السابقتين:

الجدول رقم (14): مقارنة بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بها بطرق التمهيد الأسي وطريقة Box-Jenkins

	القيم الأصلية	القيم المتنبأ بها		
		Holt-Winters	ETS	Box-Jenkins
شهر جانفي 2024	1268915	1338174	1473506	1327667
شهر فيفري 2024	1262588	1413257	1391491	1246760
شهر مارس 2024	194440	1878824	1852313	1758801

المصدر: من إعداد الطالب.

نلاحظ من الجدول أن القيم المتنبأ بها بكل الطرق قريبة من القيم الحقيقية ولكنه من الواضح بأن القيم المتنبأ بها بواسطة طريقة Box-Jenkins أقرب منها الى القيم الحقيقية من طرق التمهيد الأسي، حيث كان متوسط نسبة الخطأ لهذه التنبؤات بطريقة Box-Jenkins 5.15% بينما كان في تمهيد Holt-Winters وتمهيد ETS 6.92% و10.36% على التوالي.

المطلب الثاني: المفاضلة بين الطريقتين على أساس المعايير الإحصائية

بعد المقارنة بين الطريقتين من خلال القيم المتنبأ بها والقيم الحقيقية، ننتقل إلى المقارنة الإحصائية أين سنعتمد في هذه المقارنة على معايير دقة التنبؤ والتي تتمثل في: متوسط الانحرافات المطلقة (MAD)، متوسط مربعات الأخطاء (MSE)، متوسط الأخطاء النسبية المطلقة (MAPE) بالإضافة الى جذر متوسط مربعات الأخطاء (RMSE) والتي تم ذكرها في الفصل السابق، حيث كلما كانت أقل ما يمكن كان النموذج أفضل من ناحية التنبؤ. بالاستعانة ببرمجية EViews تحصلنا على ما يلي:[1]

الجدول رقم (15): مقارنة بين طرق التمهيد الأسي وطريقة Box-Jenkins على أساس معايير دقة التنبؤ

مؤشرات دقة التنبؤ	Holt-Winters	ETS	Box-Jenkins
MAD	89689.88	83301.50	119660.87
MSE	14117748990	11734502844	24074079271
MAPE	6.055409	5.016929	7.817483
RMSE	118818.13	108325.91	155158.24

المصدر: من إعداد الطالب.

نلاحظ من خلال الجدول أن نموذج تمهيد ETS لديه أقل قيمة من معايير دقة التنبؤ يليه نموذج تمهيد Holt-Winters، وفي الأخير نموذج Box-Jenkins.

المطلب الثالث: تحليل ومناقشة النتائج.

من خلال ما تم التطرق اليه في الجانب التطبيقي تم التوصل الى النتائج التالية:

– نموذج تمهيد ETS هو أفضل نموذج حسب معايير دقة التنبؤ ولكنه أعطى أبعد قيم تنبؤية مقارنة بالقيم الحقيقية لشهر جانفي وفيفري ومارس لسنة 2024.

– نموذج تمهيد Holt-Winters كان ثاني أحسن نموذج حسب معايير دقة التنبؤ ولكنه هو الأخر أعطى قيم بعيدة نوعا ما عن القيم الحقيقية.

[1] أنظر الملاحق (8) (9) (10).

– نموذج Box-Jenkins جاء في المرتبة الأخيرة حسب معايير دقة التنبؤ ولكنه أعطى أقرب قيم تنبؤية بالمقارنة مع الحقيقية.

– سلسلة الاستهلاك الشهري لقطاع العائلات في دائرة برج أخريص من شهر جانفي 2018 إلى شهر ديسمبر 2023 (ELEC) تمثل سلسلة زمنية غير مستقرة، تحتوي على مركبة الاتجاه العام والفصلية. تم أخذ الفرق الأول لها من أجل جعلها مستقرة.

– استهلاك الكهرباء يزداد من عام الى آخر وبوتيرة تتكرر كل عام.

– النموذج $ARIMA\ (6,1,1)\ (1,0,0)_{12}$ هو النموذج الأنسب الذي يمكن الاعتماد عليه في اجراء التنبؤات بالاستهلاك الشهري للعائلات في دائرة برج أخريص من أجل رسم الخطط المستقبلية واتخاذ القرارات الرشيدة.

– طريقة Box-Jenkins تعتبر أفضل في التنبؤ على المدى القصير وهذا ما أظهرته القيم المتنبأ بها لشهر جانفي وفيفري ومارس لسنة 2024، أما طرق التمهيد الأسي فتعتبر أفضل في التنبؤ على المدى البعيد وهذا ما أظهرته منحنيات السلاسل الممهدة بالمقارنة مع منحنى السلسلة الأصلية.

خلاصة الفصل:

تطرقنا أولا في هذا الفصل إلى تقديم عام لشركة نقل وتوزيع الكهرباء والغاز سونلغاز أين رأينا أنها مرت بالعديد من المراحل حتى أصبحت ما هي عليه الان، ثم انتقلنا إلى الجزء التطبيقي الذي اعتمدنا فيه على المعطيات المقدمة من طرف المؤسسة والمتمثلة في الاستهلاك الشهري من الكهرباء لقطاع العائلات في دائرة برج أخريص لست سنوات، من شهر جانفي 2018 الى شهر ديسمبر 2023 التي أعطيناها اسم ELEC، أين قمنا أولا بدراسة تحليلية للسلسلة فوجدنا انها تحتوي على مركبة الاتجاه العام والمركبة الفصلية وأنها ذات شكل جدائي، ثم انتقلنا إلى دراسة استقرارية السلسلة التي هي شرط من أجل تطبيق طريقة Box-Jenkins والتي باستخدام اختبار Dickey-Fuller وجدنا أنها غير مستقرة من نوع DS، فكان يجب إجراء الفرق من الدرجة الأولى حتى أصبحت سلسلة مستقرة باسم DELEC.

بعد الانتهاء من الدراسة التحليلية للسلسلة بدأنا في عملية التنبؤ، حيث بدأنا أولا بتطبيق طرق التمهيد الأسي التي تتوافق مع خصائص السلسلة ELEC وهي طريقة تمهيد Holt-Winters المضاعفة وتمهيد ETS أين وجدنا أن السلاسل الممهدة الناتجة عنهما تتشابه الى حد كبير مع السلسلة الأصلية، والقيم المتنبأ بها لاستهلاك العائلات للكهرباء لأول ثلاث شهور من سنة 2024 قريبة من القيم الواقعية. ثم انتقلنا إلى التنبؤ بطريقة Box-Jenkins ومن خلال السلسلة المستقرة DELEC قمنا بالتعرف على النموذج الأمثل للتنبؤ باستهلاك الكهرباء وهو ARIMA (6,1,1) $(1,0,0)_{12}$، الذي عبر العديد من الاختبارات وجدنا أنه النموذج الأنسب والذي قمنا به بالتنبؤ باستهلاك العائلات للكهرباء لأول ثلاث شهور من سنة 2024، وكانت النتائج جد مرضية.

في الأخير قمنا بعمل مقارنة بين الطرق السابقة، فمن حيث القيم وجدنا أن طريقة Box-Jenkins هي الأفضل، أما من حيث معايير دقة التنبؤ فوجدنا أن طرق التمهيد الأسي هي الأفضل.

خاتمة

الخاتمة:

من خلال استخدام الطاقة الكهربائية، نجحت البشرية في تحقيق تقدم كبير في مجالات متعددة مثل الصناعة، والنقل، والاتصالات، والطب، والترفيه. وقد أدت هذه التطورات إلى تحسين جودة الحياة وزيادة الإنتاجية والرفاهية على الصعيدين الشخصي والاقتصادي.

مع ذلك، فإن استخدام الطاقة الكهربائية يواجه تحديات بيئية واقتصادية، مثل التلوث الناتج عن استخدام مصادر الطاقة التقليدية مثل الفحم والنفط والغاز الطبيعي، بالإضافة إلى التحديات التكنولوجية والتنظيمية في توسيع استخدام الطاقة النظيفة والمستدامة مثل الطاقة الشمسية والرياح.

لذا، يتطلب مستقبل الطاقة الكهربائية تكامل جهود الحكومات والشركات والمجتمعات لتطوير واعتماد حلول جديدة ومستدامة، بما في ذلك تعزيز البحث والتطوير في مجال الطاقة النظيفة، وتحسين كفاءة استخدام الطاقة، وتشجيع التوجه نحو الاقتصادات الخضراء.

والجزائر تعد من الدول التي تسعى إلى تحقيق أكبر كفاءة فيما يتعلق بالطاقة الكهربائية، ولكن تحقيق ذلك ليس بالأمر السهل حيث تواجه الجزائر في هذا الصدد تحديات متعددة، منها النمو السكاني المتزايد والتطور الصناعي والاقتصادي، وهذا يضع ضغطا على البنية التحتية ويزيد من الحاجة إلى المزيد من الطاقة الكهربائية لكنها تمتلك موارد طبيعية غنية مثل الطاقة الشمسية والرياح والطاقة الهيدروكربونية. واستغلال هذه الموارد بشكل فعال يمكن أن يسهم في تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء بطريقة مستدامة.

لذا يستوجب على المؤسسة المعنية في الجزائر والمتمثلة في المؤسسة الوطنية للكهرباء والغاز سونلغاز تكثيف الجهود فيما يتعلق بعملية انتاج، نقل وتوزيع الكهرباء وذلك بتحسين شبكات الكهرباء وتحديثها والاستثمار المستدام في التقنيات الحديثة مثل التنبؤ والتخطيط، لتلبية مستلزمات المواطنين من الكهرباء وتحقيق أكبر ربح ممكن.

وللتعمق أكثر في هذا المجال قمنا باختيار شركة نقل وتوزيع الكهرباء والغاز فرع برج أخريص وذلك في محاولة منا أن نطبق أشهر طريقتين للتنبؤ وهي طرق التمهيد الأسي وBox-Jenkins، حيث قمنا بإجراء دراسة تنبؤية على سلسلة الاستهلاك الشهري للكهرباء لقطاع العائلات في دائرة برج أخريص والتي اعطيناها اسم السلسلة ELEC من أجل التنبؤ باستهلاك الكهرباء لشهر جانفي، فيفري ومارس لسنة 2024. حيث كان الهدف من هذه الدراسة معرفة أي الطريقتين أفضل للتنبؤ باستهلاك العائلات للكهرباء.

1- نتائج الدراسة:

من خلال كل ما سبق والاستنتاجات التي تم التوصل اليها في الجانب التطبيقي، تم الوصول إلى النتائج التالية:

- التنبؤ هو عملية بالغة الأهمية في المؤسسة، فهو بمثابة الهيكل المستقبلي الذي يبني عليه المسؤولون ومتخذي القرار خططهم وقراراتهم.

- تتطلب طرق التمهيد الأسي وطريقة Box-Jenkins كفاءة الباحث في اتخاذ القرار والالمام بمختلف البرمجيات التي تعتمد عليها هاته الطرق.

- طريقة Box-Jenkins كانت أحسن من حيث القيم من طرق التمهيد الأسي.

- طرق التمهيد الأسي كانت أحسن من طريقة Box-Jenkins من حيث مؤشرات دقة التنبؤ.

- استهلاك العائلات للكهرباء في دائرة برج أخريص يزداد من عام الى آخر.

2- اختبار فرضيات الدراسة:

انطلاقا مما تم تناوله في هذه الدراسة، وما تم التوصل إليه من نتائج، تظهر نتائج اختبار الفرضيات المطروحة سابقا فيما يلي:

a) **اختبار الفرضية الأولى:** القيم التنبؤية الناتجة عن طريقة Box-Jenkins كانت أقرب الى الواقع من القيم التنبؤية الناتجة عن طرق التمهيد الأسي هذا ما يثبت صحة الفرضية الأولى.
b) **اختبار الفرضية الثانية:** تطبيق طرق التمهيد الأسي كان أسهل بكثير من تطبيق طريقة Box-Jenkins في برمجية EViews وهذا ما يثبت صحة الفرضية الثانية.
c) **اختبار الفرضية الثالثة:** وجدنا أن طرق التمهيد الأسي كان لها أقل قيمة لمؤشرات دقة التنبؤ ولكن قيمها التنبؤية لم تكن الأقرب الى الواقع، هذا ما يدل على عدم صحة الفرضية الثالثة.

3- اقتراحات الدراسة:

انطلاقا من النتائج المتوصل إليها من خلال الدراسة الحالية، يمكن تقديم جملة من الاقتراحات والتوصيات كما يلي:

- إقامة قسم داخل المؤسسة يهتم بالدراسات التنبؤية لاستهلاك الكهرباء من مختلف القطاعات وكذا التنبؤ بالمبيعات المتوقعة.

- الاهتمام بالجانب الاحصائي فيما يتعلق بتحليل مختلف البيانات المتعلقة بالمؤسسة للمساعدة في معرفة مختلف التغيرات الطارئة التي تساعد فيما بعد في عملية تحديد مناطق سرقة الكهرباء.

- تكوين مختلف العمال في الأساليب الإحصائية حتى تكون المؤسسة مرنة في التعامل مع البيانات.

- الاطلاع المستمر على أحدث الأساليب المتعلقة بالتخطيط والتنبؤ.

4- آفاق الدراسة:

ومن هذا المنطلق يمكن اقتراح بعض الدراسات التي قد تكون بمثابة نقطة الانطلاق للمهتمين والباحثين في هذا المجال مستقبلا، منها:

- مقارنة بين طريقة Box-Jenkins والذكاء الاصطناعي في التنبؤ.

- مقارنة بين طرق التمهيد الأسي والذكاء الاصطناعي في التنبؤ.

- التنبؤ باستهلاك العائلات للكهرباء مع متغيرات تفسيرية أخرى.

- كفاءة ترشيد استهلاك الكهرباء في الجزائر.

وفي الختام أرجو انني وفقت الى دراسة جميع جوانب الموضوع، وانني استطعت تقديمه بطريقة تسهل إيصال الفكرة الى المهتم بهذا الموضوع. وشكرا.

قائمة المراجع

المراجع باللغة العربية

أولا: الكتب

1. جمال حامد، **أساليب التنبؤ**، العدد الرابع عشر، المعهد العربي للتخطيط، الكويت، 2003.
2. جوادي علي، عدلي إبراهيم، **الاقتصاد القياسي طرق وتطبيقات باستخدام برمجية EViews**، الطبعة الأولى، دار الباحث، الجزائر، 2023.
3. حسين علي بخيت، سحر فتح الله، **الاقتصاد القياسي**، دار اليازوري للنشر والتوزيع، الأردن، 2010.
4. دامودار جوجاراتي، ترجمة مها محمد زكي، **الاقتصاد القياسي بالأمثلة**، الطبعة الأولى، دار حميثرا للنشر، مصر، 2019.
5. دامودار جوجاراتي، ترجمة هند عبد الغفار عودة، **الاقتصاد القياسي الجزء الثاني**، دار المريخ للنشر، السعودية، 2015.
6. سعيد خليفة الحموي، **أساسيات إنتاج الطاقة (البترول-الكهرباء-الغاز)**، الطبعة الأولى، الأكاديميون للنشر والتوزيع، الأردن، 2016.
7. شيخي محمد، **طرق الاقتصاد القياسي محاضرات وتطبيقات**، الطبعة الأولى، دار الحامد للنشر والتوزيع، عمان، الأردن، 2011.
8. عبد القادر محمد عبد القادر عطية، **الحديث في الاقتصاد القياسي بين النظرية والتطبيق**، الطبعة الرابعة، الدار الجامعية، الإسكندرية، مصر، 2014.
9. عبد المطلب النقرش، **الطاقة، مفاهيمها، أنواعها، مصادرها**، وزارة الطاقة والثروة المعدنية، الأردن، 2005.
10. عمر خليل احمد الجبوري، احمد حسن احمد الجبوري، **مبادئ الطاقات المتجددة**، المعهد التقني الحويجة، العراق، 2010.
11. مجد الدين محمد بن يعقوب الفيروز آبادي، **القاموس المحيط**، الطبعة الثامنة، مؤسسة الرسالة، بيروت، لبنان، 2005.
12. مصطفى سمير شعراوي، **مقدمة في التحليل الحديث للسلاسل الزمنية**، الطبعة الأولى، دار النشر العلمي جامعة الملك عبد العزيز، السعودية، 2005.
13. مكيد علي، **الاقتصاد القياسي دروس ومسائل محلولة**، الطبعة الثانية، ديوان المطبوعات الجامعية، الجزائر، 2011.

14. مولود حشمان، **السلاسل الزمنية وتقنيات التنبؤ قصيرة المدى**، الطبعة الثالثة، ديوان المطبوعات الجامعية، الجزائر، 2010.
15. والتر فاندل، ترجمة عبد المرضي حامد عزام، **السلاسل الزمنية من الوجهة التطبيقية ونماذج بوكس–جنكنز**، دار المريخ للنشر، السعودية، 1993.

ثانيا: أطروحات دكتوراه

1. بوعشة إسمهان، **جدوى استغلال الطاقة الشمسية كطاقة متجددة وإمكانية استخدامها في التبادلات التجارية الخارجية (دراسة حالة الجزائر)**، أطروحة دكتوراه، جامعة محمد خيضر بسكرة، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، الجزائر، 2019.
2. بوهنة كلثوم، **التنبؤ باحتياجات القطاع العائلي من الطاقة الكهربائية بالجزائر للفترة 2013–2017**، أطروحة دكتوراه، جامعة أبي بكر بلقايد، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير والعلوم التجارية، الجزائر، 2014.
3. زهرة روايقية، **تحسين كفاءة استخدام الطاقة من أجل تحقيق التنمية المستدامة في الاقتصاديات العربية**، أطروحة دكتوراه، جامعة 8 ماي 1945 قالمة، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، الجزائر، 2019.

ثالثا: رسائل الماجيستر

1. بن أحمد أحمد، **النمذجة القياسية للاستهلاك الوطني للطاقة الكهربائية في الجزائر خلال الفترة (1988:10 – 2007:03)**، رسالة ماجستير، جامعة الجزائر، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، الجزائر، 2008.
2. سمير بن محاد، **استهلاك الطاقة في الجزائر دراسة تحليلية وقياسية**، رسالة ماجستير، جامعة الجزائر، كلية العلوم الاقتصادية وعلوم التسيير، الجزائر، 2009.

رابعا: المقالات العلمية

1. إبراهيم عبد الله عبد الرؤوف محمد، **الطاقة المتجددة والتنمية المستدامة (دراسة تحليلية وتطبيقية على الطاقة الشمسية في مصر)**، مجلة البحوث القانونية والاقتصادية، المجلد 3، العدد 54، جامعة المنصورة، مصر، 2013.
2. أحمد نصير، يونس زين، **محاولة اقتراح نموذج SARIMA للتنبؤ بمبيعات الكهرباء الموجهة لزبائن التوتر المتوسط في الجزائر حالة: مديرية التوزيع ورقلة**، مجلة أبحاث اقتصادية وإدارية، العدد 24، جامعة محمد خيضر بسكرة، 2018.

3. حسام الدين بن سيف، **الطاقة الكهربائية**، مجلة العلوم التقنية، العدد 95، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم التقنية، الرياض، 2010.

خامسا: الملتقيات العلمية

1. دراج عفيفة، دراج نبيلة صالحة، **الطحالب البحرية، مستقبل واعد لطاقة متجددة آمنة –أبحاث وتجارب دولية رائدة–**، الملتقى العلمي الدولي حول: استراتيجيات الطاقات المتجددة ودورها في تحقيق التنمية المستدامة –دراسة تجارب بعض الدول–، جامعة البليدة 2، بتاريخ 23 أفريل 2018.
2. الشريف بوفاس، **تفعيل استخدام الطاقة المتجددة كاستراتيجية للتنويع الطاقوي في الجزائر**، الملتقى الوطني حول: المؤسسات الاقتصادية الجزائرية واستراتيجيات التنويع الاقتصادي في ظل انهيار أسعار المحروقات، جامعة 8 ماي 1945 قالمة، يومي 25 و26 أفريل 2017.
3. بوغازي فريدة وآخرون، **فعالية استخدام التنبؤ في الجهاز الإداري**، الملتقى الوطني السادس حول: استخدام التقنيات الكمية في اتخاذ القرارات الإدارية بالمؤسسات الاقتصادية الجزائرية، جامعة سكيكدة، يومي 27 و28 جانفي 2009.

سادسا: المحاضرات والمطبوعات الجامعية

1. بن معزو محمد زكريا، **مطبوعة في نماذج النمو**، جامعة باجي مختار عنابة، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، الجزائر، 2022.
2. فريد بختي، **دروس وتمارين محلولة في: مبادئ نظرية القياس الاقتصادي – مفاهيم نظرية وتطبيقات على حزمة EViews 7.0 –**، جامعة البويرة، كلية العلوم الاقتصادية، التجارية وعلوم التسيير، الجزائر، 2016.
3. فريد بختي، **محاضرات وتطبيقات على الحاسوب في: السلاسل الزمنية الخطية باستعمال حزمة EViews 7.0**، جامعة البويرة، كلية العلوم الاقتصادية، التجارية وعلوم التسيير، الجزائر، 2015.
4. محمد حاشم أبو الخير، ياسر دياب، **تخزين الطاقة الكهربائية**، جامعة دمشق، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، سوريا، 2015.

سابعا: المواقع الإلكترونية

1. https://almohandes.org
2. https://ar.wikipedia.org/wiki
3. https://ar.wikipedia.org/wiki
4. https://ar.wikipedia.org/wiki
5. https://electricity-encyclopedia.blogspot.com
6. https://esi.edu.sa

7. https://mawdoo3.com
8. https://mawdoo3.com
9. https://muhandes.net
10. https://nasainarabic.net
11. https://sotor.com
12. https://www.arabrena.com
13. https://www.bp.co
14. https://www.sonelgaz.dz
15. https://www.voltiat.com
16. https://www.voltiat.com
17. https://www.voltiat.com/electrical-energy

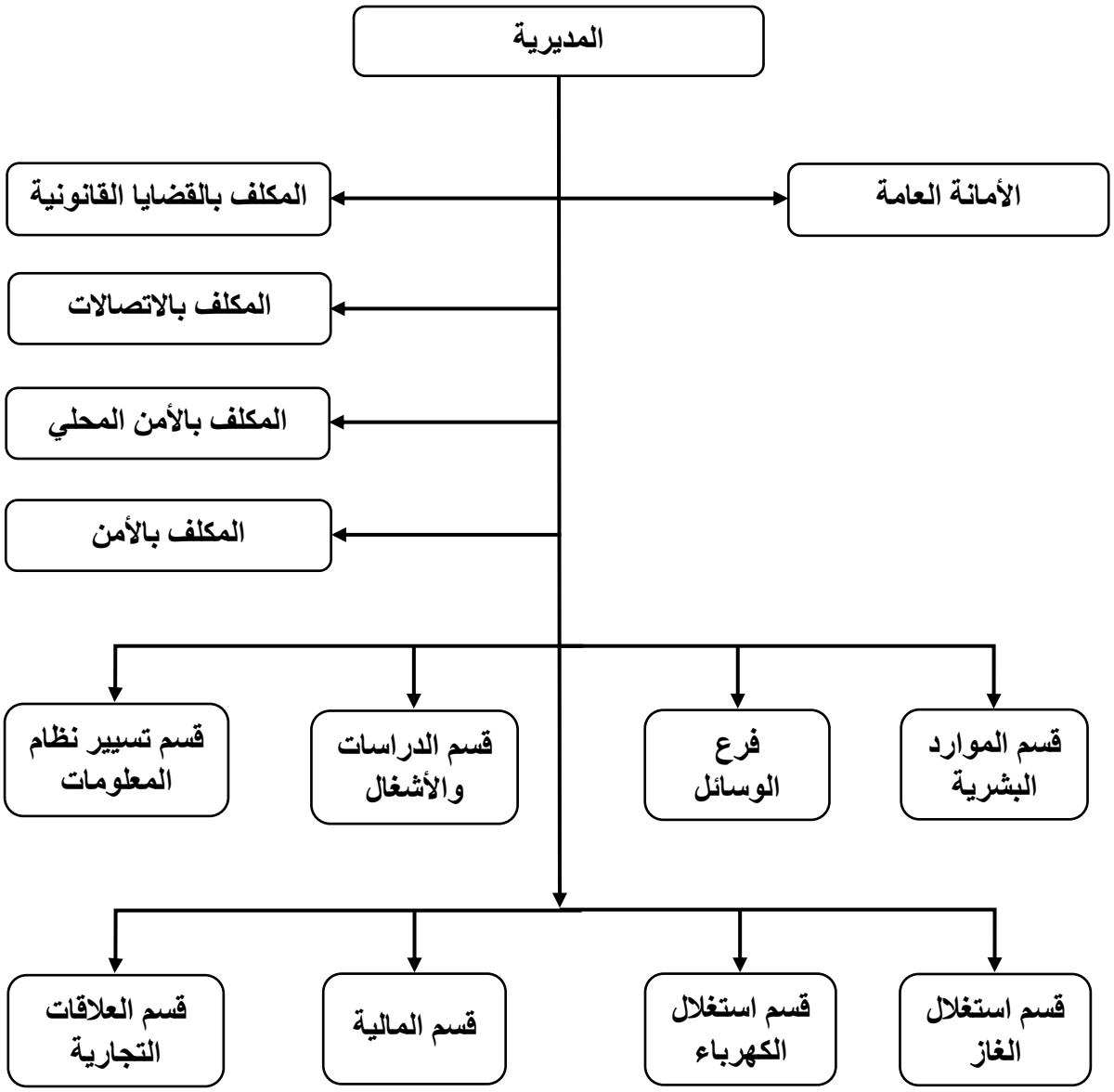
المراجع باللغة الأجنبية

أولا: الكتب

1. Regis Bourbonnais et Michel Terraza, Analyse des séries temporelles, 3e édition, DUNOD, Paris, 2010.
2. Régis Bourbonnais, **Économétrie Cours et exercices corrigés**, 9e édition, Dunod, Paris, 2015.
3. Robert M. Ferguson, James Blyth, Electricity, W.&R. Chambers, London and Edinburgh, 1882.

الملاحق

الملحق رقم (1): الهيكل التنظيمي لشركة سونلغاز فرع البويرة.



الملحق رقم (2): المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لسنوات السلسلة ELEC بواسطة برمجية EViews

Descriptive Statistics for ELEC
Categorized by values of YEAR
Date: 04/18/24 Time: 14:49
Sample: 2018M01 2023M12
Included observations: 72

YEAR	Mean	Std. Dev.	Obs.
1	1467746.	333302.2	12
2	1615084.	273682.1	12
3	1581727.	306199.9	12
4	1620482.	301334.3	12
5	1704401.	372268.4	12
6	1761286.	441313.3	12
All	1625121.	343183.4	72

الملحق رقم (3): تقدير النموذج $\delta_i = a + b\bar{X}_i$

Dependent Variable: STDDEV
Method: Least Squares
Date: 05/18/24 Time: 20:44
Sample: 2018 2023
Included observations: 6

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
MEAN	0.382170	0.229030	1.668649	0.1705
C	-283056.3	372806.6	-0.759258	0.4900

الملحق رقم (4): اختبار تحليل التباين للسلسلة ELEC

ANOVA						
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Rows	6.1918E+11	5	1.23836E+11	6.680696735	6.30034E-05	2.382823311
Columns	6.72333E+12	11	6.11212E+11	32.9736435	2.905E-20	1.967546647
Error	1.0195E+12	55	18536386077			
Total	8.36202E+12	71				

الملحق رقم (5): اختبار Dickey-Fuller على السلسلة ELEC

النموذج (6)

Augmented Dickey-Fuller test statistic		-2.120121	0.5242
Test critical values:	1% level	-4.118444	
	5% level	-3.486509	
	10% level	-3.171541	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(ELEC)
Method: Least Squares
Date: 04/18/24 Time: 14:15
Sample (adjusted): 2019M01 2023M12
Included observations: 60 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ELEC(-1)	-1.691452	0.797810	-2.120121	0.0394
D(ELEC(-1))	0.659819	0.737792	0.894316	0.3758
D(ELEC(-2))	0.537055	0.684451	0.784652	0.4367
D(ELEC(-3))	0.428952	0.621646	0.690026	0.4936
D(ELEC(-4))	0.243668	0.556290	0.438023	0.6634
D(ELEC(-5))	0.199884	0.483123	0.413733	0.6810
D(ELEC(-6))	-0.046088	0.416350	-0.110696	0.9123
D(ELEC(-7))	-0.252775	0.354484	-0.713080	0.4794
D(ELEC(-8))	-0.468649	0.297402	-1.575812	0.1219
D(ELEC(-9))	-0.475343	0.237998	-1.997260	0.0517
D(ELEC(-10))	-0.587323	0.172162	-3.411467	0.0014
D(ELEC(-11))	-0.677515	0.102434	-6.614140	0.0000
C	2576678.	1185967.	2.172639	0.0350
@TREND("2018M01")	5207.547	2851.620	1.826172	0.0743

R-squared	0.845090	Mean dependent var	6897.917
Adjusted R-squared	0.801310	S.D. dependent var	343083.4
S.E. of regression	152928.1	Akaike info criterion	26.91429
Sum squared resid	1.08E+12	Schwarz criterion	27.40297
Log likelihood	-793.4286	Hannan-Quinn criter.	27.10544
F-statistic	19.30352	Durbin-Watson stat	1.524149
Prob(F-statistic)	0.000000		

النموذج (5)

Augmented Dickey-Fuller test statistic		-1.081867	0.7175
Test critical values:	1% level	-3.544063	
	5% level	-2.910860	
	10% level	-2.593090	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(ELEC)
Method: Least Squares
Date: 04/18/24 Time: 14:23
Sample (adjusted): 2019M01 2023M12
Included observations: 60 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ELEC(-1)	-0.362706	0.335260	-1.081867	0.2848
D(ELEC(-1))	-0.560694	0.320161	-1.751291	0.0864
D(ELEC(-2))	-0.585623	0.308262	-1.899754	0.0636
D(ELEC(-3))	-0.585442	0.285937	-2.047455	0.0462
D(ELEC(-4))	-0.662001	0.258183	-2.564079	0.0136
D(ELEC(-5))	-0.587328	0.223491	-2.627975	0.0116
D(ELEC(-6))	-0.727649	0.189070	-3.848566	0.0004
D(ELEC(-7))	-0.824669	0.170167	-4.846218	0.0000
D(ELEC(-8))	-0.930626	0.160206	-5.808944	0.0000
D(ELEC(-9))	-0.815938	0.151472	-5.386720	0.0000
D(ELEC(-10))	-0.807735	0.125781	-6.421765	0.0000
D(ELEC(-11))	-0.777631	0.088652	-8.771714	0.0000
C	639636.1	543496.3	1.176891	0.2452

R-squared	0.833859	Mean dependent var	6897.917
Adjusted R-squared	0.791440	S.D. dependent var	343083.4
S.E. of regression	156680.7	Akaike info criterion	26.95094
Sum squared resid	1.15E+12	Schwarz criterion	27.40472
Log likelihood	-795.5283	Hannan-Quinn criter.	27.12844
F-statistic	19.65767	Durbin-Watson stat	1.630826
Prob(F-statistic)	0.000000		

النموذج (4)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		2.473679	0.9964
Test critical values:	1% level	-2.604073	
	5% level	-1.946348	
	10% level	-1.613293	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(ELEC)
Method: Least Squares
Date: 04/18/24 Time: 14:33
Sample (adjusted): 2019M01 2023M12
Included observations: 60 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
ELEC(-1)	0.031574	0.012764	2.473679	0.0170
D(ELEC(-1))	-0.922371	0.090137	-10.23297	0.0000
D(ELEC(-2))	-0.926187	0.106667	-8.682968	0.0000
D(ELEC(-3))	-0.896490	0.109558	-8.182820	0.0000
D(ELEC(-4))	-0.939607	0.105391	-8.915443	0.0000
D(ELEC(-5))	-0.823176	0.099333	-8.286990	0.0000
D(ELEC(-6))	-0.927954	0.082672	-11.22457	0.0000
D(ELEC(-7))	-0.986279	0.100903	-9.774535	0.0000
D(ELEC(-8))	-1.066463	0.111549	-9.560497	0.0000
D(ELEC(-9))	-0.921808	0.122355	-7.533894	0.0000
D(ELEC(-10))	-0.869825	0.114639	-7.587536	0.0000
D(ELEC(-11))	-0.796099	0.087602	-9.087724	0.0000

R-squared	0.828963	Mean dependent var	6897.917
Adjusted R-squared	0.789767	S.D. dependent var	343083.4
S.E. of regression	157307.9	Akaike info criterion	26.94665
Sum squared resid	1.19E+12	Schwarz criterion	27.36552
Log likelihood	-796.3996	Hannan-Quinn criter.	27.11050
Durbin-Watson stat	1.671390		

الملحق رقم (6): اختبار Dickey-Fuller على السلسلة DELEC

النموذج (6)

Augmented Dickey-Fuller test statistic		-13.17953	0.0000
Test critical values:	1% level	-4.118444	
	5% level	-3.486509	
	10% level	-3.171541	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(DELEC)
Method: Least Squares
Date: 04/18/24 Time: 15:24
Sample (adjusted): 2019M01 2023M12
Included observations: 60 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DELEC(-1)	-10.90262	0.827239	-13.17953	0.0000
D(DELEC(-1))	9.008820	0.771587	11.67570	0.0000
D(DELEC(-2))	8.110923	0.692659	11.70984	0.0000
D(DELEC(-3))	7.240775	0.610307	11.86415	0.0000
D(DELEC(-4))	6.324623	0.532686	11.87307	0.0000
D(DELEC(-5))	5.520316	0.463137	11.91940	0.0000
D(DELEC(-6))	4.607779	0.419058	10.99556	0.0000
D(DELEC(-7))	3.632481	0.353944	10.26288	0.0000
D(DELEC(-8))	2.576198	0.274596	9.381767	0.0000
D(DELEC(-9))	1.663243	0.180596	9.209756	0.0000
D(DELEC(-10))	0.797224	0.088588	8.999218	0.0000
C	64741.20	54321.72	1.191811	0.2393
@TREND("2018M01")	-306.2824	1212.329	-0.252640	0.8016

R-squared	0.935024	Mean dependent var	5930.433
Adjusted R-squared	0.918435	S.D. dependent var	555020.8
S.E. of regression	158512.0	Akaike info criterion	26.97418
Sum squared resid	1.18E+12	Schwarz criterion	27.42796
Log likelihood	-796.2255	Hannan-Quinn criter.	27.15168
F-statistic	56.36221	Durbin-Watson stat	1.668540
Prob(F-statistic)	0.000000		

النموذج (5)

Augmented Dickey-Fuller test statistic		-13.31444	0.0000
Test critical values:	1% level	-3.544063	
	5% level	-2.910860	
	10% level	-2.593090	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(DELEC)
Method: Least Squares
Date: 04/18/24 Time: 15:34
Sample (adjusted): 2019M01 2023M12
Included observations: 60 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DELEC(-1)	-10.90535	0.819062	-13.31444	0.0000
D(DELEC(-1))	9.011565	0.763950	11.79601	0.0000
D(DELEC(-2))	8.112070	0.685856	11.82766	0.0000
D(DELEC(-3))	7.239778	0.604314	11.98016	0.0000
D(DELEC(-4))	6.321722	0.527344	11.98786	0.0000
D(DELEC(-5))	5.516840	0.458396	12.03510	0.0000
D(DELEC(-6))	4.604621	0.414767	11.10171	0.0000
D(DELEC(-7))	3.630828	0.350415	10.36150	0.0000
D(DELEC(-8))	2.574668	0.271839	9.471293	0.0000
D(DELEC(-9))	1.660602	0.178526	9.301732	0.0000
D(DELEC(-10))	0.795099	0.087324	9.105177	0.0000
C	52068.59	20646.16	2.521950	0.0150

R-squared	0.934936	Mean dependent var	5930.433
Adjusted R-squared	0.920025	S.D. dependent var	555020.8
S.E. of regression	156958.6	Akaike info criterion	26.94221
Sum squared resid	1.18E+12	Schwarz criterion	27.36108
Log likelihood	-796.2662	Hannan-Quinn criter.	27.10605
F-statistic	62.70318	Durbin-Watson stat	1.670631
Prob(F-statistic)	0.000000		

النموذج (4)

		t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic		-12.41239	0.0000
Test critical values:	1% level	-2.604073	
	5% level	-1.946348	
	10% level	-1.613293	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
Dependent Variable: D(DELEC)
Method: Least Squares
Date: 04/18/24 Time: 15:39
Sample (adjusted): 2019M01 2023M12
Included observations: 60 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
DELEC(-1)	-10.52715	0.848116	-12.41239	0.0000
D(DELEC(-1))	8.656658	0.790881	10.94559	0.0000
D(DELEC(-2))	7.792884	0.709990	10.97604	0.0000
D(DELEC(-3))	6.964301	0.626026	11.12463	0.0000
D(DELEC(-4))	6.088070	0.546800	11.13401	0.0000
D(DELEC(-5))	5.319732	0.475748	11.18182	0.0000
D(DELEC(-6))	4.426346	0.430473	10.28252	0.0000
D(DELEC(-7))	3.480621	0.363714	9.569667	0.0000
D(DELEC(-8))	2.459845	0.282277	8.714282	0.0000
D(DELEC(-9))	1.591136	0.185786	8.564356	0.0000
D(DELEC(-10))	0.765581	0.091146	8.399477	0.0000

R-squared	0.926315	Mean dependent var	5930.433
Adjusted R-squared	0.911277	S.D. dependent var	555020.8
S.E. of regression	165320.9	Akaike info criterion	27.03331
Sum squared resid	1.34E+12	Schwarz criterion	27.41727
Log likelihood	-799.9992	Hannan-Quinn criter.	27.18350
Durbin-Watson stat	1.533421		

الملحق رقم (7): تقدير معلمات النموذج ARIMA $(6,1,1)\ (1,0,0)_{12}$

Dependent Variable: DELEC
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 04/24/24 Time: 11:57
Sample: 2018M02 2023M12
Included observations: 71
Convergence achieved after 264 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(6)	-0.323539	0.125477	-2.578484	0.0121
SAR(12)	0.862645	0.049974	17.26187	0.0000
MA(1)	-0.841459	0.034567	-24.34306	0.0000
SIGMASQ	2.41E+10	3.92E+09	6.140903	0.0000

R-squared	0.788404	Mean dependent var	19664.61
Adjusted R-squared	0.778929	S.D. dependent var	339704.1
S.E. of regression	159722.7	Akaike info criterion	27.12785
Sum squared resid	1.71E+12	Schwarz criterion	27.25533
Log likelihood	-959.0388	Hannan-Quinn criter.	27.17855
Durbin-Watson stat	1.620414		

Inverted AR Roots	.99	.86-.49i	.86+.49i	.72-.41i
	.72+.41i	.49+.86i	.49-.86i	.00+.83i
	-.00-.99i	-.00+.99i	-.00-.83i	-.49-.86i
	-.49+.86i	-.72-.41i	-.72+.41i	-.86+.49i
	-.86-.49i	-.99		
Inverted MA Roots	.84			

الملحق رقم (8): معايير دقة التنبؤ لنموذج طريقة Holt-Winters الجدائية

Forecast Evaluation
Date: 04/18/24 Time: 15:51
Sample: 2018M01 2023M12
Included observations: 72
Evaluation sample: 2018M01 2023M12
Number of forecasts: 1

Evaluation statistics

Forecast	RMSE	MAE	MAPE	SMAPE	Theil U1	Theil U2
ELEC	118818.1	89689.88	6.055409	6.136751	0.035916	0.351476

الملحق رقم (9): معايير دقة التنبؤ لنموذج طريقة تمهيد ETS

Forecast Evaluation
Date: 04/18/24 Time: 15:55
Sample: 2018M01 2023M12
Included observations: 72
Evaluation sample: 2018M01 2023M12
Number of forecasts: 1

Evaluation statistics

Forecast	RMSE	MAE	MAPE	SMAPE	Theil U1	Theil U2
ELEC	108325.9	83301.50	5.016929	5.010844	0.032659	0.295869

الملحق رقم (10): معايير دقة التنبؤ لنموذج طريقة Box-Jenkins

Forecast Evaluation
Date: 05/08/24 Time: 22:14
Sample: 2018M01 2024M03
Included observations: 75
Evaluation sample: 2018M01 2024M03
Number of forecasts: 1

Evaluation statistics

Forecast	RMSE	MAE	MAPE	SMAPE	Theil U1	Theil U2
ELEC	155158.2	119660.9	7.817483	7.646054	0.046704	0.530902