



بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم و التكنولوجيا

كلية العلوم - قسم الإحصاء التطبيقي



مشروع تخرج لنيل درجة بكالوريوس الشرف في الإحصاء التطبيقي

بعنوان:

إستخدام نماذج بوكس - جنكنز في تحليل السلاسل الزمنية لبناء نموذج توليد

الطاقة الكهرومائية في الفترة (2010-2014)

Using Box-Jenkins Models in Time Series Analysis to

build Constructing Hydro Generation Model in Period

(2010-2014)

إشراف:

د/ اشرف حسن ادريس

إعداد الطلاب:

عبد الرحمن علي حسن

علا محمد الحافظ

نعمة شاذلي حامد

سبتمبر 2016 م

الآية

{اللَّهُ نُورٌ نُورٌ تَلْهِمَ أَوْ اتَّ وَتَالَى نُورٌ كَمَا شَكَاهُ فِيهِ أَمْ صَدُّ بِالْحِصْدِ بَاحٌ فِي
بُ دُرِّيُّ يَزُوقُ أَجْرَ الشُّجَارَةِ كَبَّارِ كَةِ زِيْتُونَةٍ لَأَشْرَقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ دِيرِيَّتُهُ
سَيِّءٌ وَ لَوْ لَمْ تَمَسَّ سَنَهُ نَلُورٌ عَلَيْهِ الَّذِي لِلَّهِ لِنُورِهِ مَوْنٌ يَبْضُؤُوبُ اللَّهُ الْأَمْ تَالِ
وَ اللَّافُاسِيكُلُ شَيْءٌ عَالِيمٌ }

صدق الله العظيم

سورة النور (35)

الإهداء

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة .. ونصح الأمة .. إلى نبي الرحمة

سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار .. ألى من علمني العطاء بدون انتظار ..

إلى من أحمل إسمه بكل افتخار ..

والدي العزيز

ألى ملاكي في الحياة .. إلى معنى الحب واإلى معنى الحنان والتفاني ..

إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي أمي الحبيبة

أمي الحبيبة

إلى من بهم أكبر وعليهم أعتمد .. إلى من عرفت معهم معنى الحياة

إخوتي

إلى الأخوان الذين لم تلدهم أمي .. إلى من تحلو بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء إلى

ينابيع الصدق الصافي إلى من عرفت كيف أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم

اصدقائي

الشكر والتقدير

الحمد لله ، والصلاة والسلام على نبينا محمد صلى الله عليه وسلم

الشكر أولا واخيرا لله سبحانه وتعالى الذي وفقني وأعانني لإنجاز

وإتمام هذا البحث ومن ثم شكري وتقديري لجامعة السودان للعلوم

والتكنولوجيا واتقدم بأوفر الشكر والتقدير إلى

د. أشرف حسن إدريس المشرف على هذا البحث لما قدمه لنا من عون

ومساعدة بتتبعه لهذا البحث مشرفا ومرشدا فكانت له المساهمة

الفعالة في إخراج هذا البحث من مهده إلى حيز الوجود .

كما أخص بالشكر جميع الأساتذة بقسم الإحصاء التطبيقي والشكر أيضا

إلى زملائنا وزميلاتنا وإلى كل من ساهم معي في إخراج هذا البحث

الباحثون

المستخلص

يعتبر موضوع تحليل السلاسل الزمنية من المواضيع الإحصائية المهمة في تفسير الظواهر التي تحدث خلال فترة زمنية محددة ويهدف تحليل السلسلة الزمنية إلى الحصول على وصف دقيق للسلسلة وبناء نموذج مناسب لتفسير سلوكها واستخدام النتائج للتنبؤ بسلوك السلسلة الزمنية في المستقبل .

تكمن مشكلة البحث في ان الطاقه الكهرباية هي عنصر اساسي في تنمية الاقتصاد ومعظم المشاريع الزراعية تعتمد كليا عليها للتنبؤ بإستهلاك التوليد المائي للطاقة الكهوبائية يحقق العديد من الاجابيات عليه فإن بناء نموذج علي أساس المعلومات لأعوام سابقة يعين الجهات المختصة لتقادي الكثير من الأضرار التي قد تحدث مستقبلا، تكمن أهمية البحث في تطوير وتوليد الطاقة الكهريائية لمواكبة التوسع ومواكبة القطاعات الزراعية والصناعية وذلك لمواكبة الزيادة في السكان وإتخاذ الإحتياطات اللازمة لتقادي ندرة الطاقة الكهريائية بالإضافة لإيجاد معادلة إحصائية تساعد في التنبؤ بكميات الطاقة المستهلكة في المستقبل، ثم توصلنا إلي أهم النتائج هي ان السلسلة الزمنية لبيانات الشركة السودانية للتوليد المائي هي سلسلة غير مستقرة مما تطلب تحويلها إلى سلسلة مستقرة،النموذج المقترح صالح لأن يستخدم من قبل الجهات التخطيطية لمعرفة الإتجاهات المستقبلية،النموذج الإحصائي للسلسلة الزمنية لبيانات التوليد المائي هو $ARIMA(1,1,3)$ ،إن موضوع البحث بجانبه النظري والتطبيقي يفتح مجالات وافاق للباحثين وخاصة في جوانب استخدام تحليل السلاسل الزمنية متعددة المتغيرات .

Abstract

The topic of time series analysis is considered one of the important statistical topics in illustrating the phenomena which occur during specific period of time. It aims to the obtaining a precise description of the series and constructing a suitable model for interpreting its conduct, and then using the results for forecasting the conduct of the series in the future.

The research problem in electric power is main source of development of the economic and agriculture projects which depending totally on conduct of series of future to deliver electric power from water which achieve a lot off positive sense and help to prevent a lot off harmful which occurs in future ,

The research important appear in development and deliver of electric power to convoy growth and scoters of the agricultural and industrial , convoy with increasing of number the population and prevent decreasing in releasing of electric power and help to find statistical equation using the results for forecasting the amount of power consumes in the future, The important results and recommendations which achieved are:

The time series of the research are un-stationary which require to be transferred to stationary series ,The models suggested are good for the planning authorities for dominating the Thermal Generation in future ,The statistical model for a series of the Hydro Generation is ARIMA(1,1,3) ,The topic of the research – by its parts the theoretical and application – is of the interest of the researchers , especially in the sides of using multivariate time series analysis .

الفهرست

رقم البند	المحتوي	الصفحة
1	الاية	أ
2	الاهداء	ب
3	الشكر والتقدير	ج
4	المستخلص	د
5	Abstract	هـ
6	الفهرست	ي
	الفصل الاول خطة البحث	
1-1	تمهيد	1
2-1	مشكلة البحث	1
3-1	أهداف البحث	2
4-1	أهمية البحث	2
5-1	فروض البحث	2
6-1	منهجية البحث	2
7-1	حدود البحث	3

3	هيكلية البحث	8-1
3	الدراسات السابقة	9-1
	الفصل الثاني الكهرباء في السودان	
10	تمهيد	1-2
12	صناعة الكهرباء في السودان	2-2
16	المولدات الكهربائية	3-2
16	طرق توليد الطاقة الكهربائية	4-2
17	أنواع محطات التوليد	5-2
17	محطات التوليد المائي	6-2
19	مكونات محطات التوليد المائي	7-2
	الفصل الثالث الاطار النظري	
21	تمهيد	1-3
21	مفهوم السلسلة وأنواعها	2-3
24	أهداف تحليل السلاسل الزمنية	3-3
24	تحليل السلاسل الزمنية	4-3
27	معالجة عدم الإستقرارية في السلسلة الزمنية	5-3
34	نماذج تحليل السلاسل الزمنية باتجاه الزمن	6-3
44	مراحل تحليل السلاسل الزمنية	7-3
53	دوال التنبؤ باستخدام نماذج تحليل السلاسل الزمنية	8-3
62	إتجاهات تأخر في تحليل السلاسل الزمنية	9-3
	الفصل الرابع الجانب التطبيقي	
67	تمهيد	1-4
67	وصف البيانات	2-4
67	التحليل	3-4

	الفصل الخامس النتائج والتوصيات	
82	النتائج	1-5
83	التوصيات	2-5
84	المصادر والمراجع	3-5
85	الملاحق	4-5

فهرس الجداول

رقم الصفحة	الجدول	رقم الجدول
	تحويلات القوة	1-3
38	خصائص ال ACF و PACF لبعض النماذج	2-3
57	وصف البيانات	1-4
60	نتائج تطبيق معيار أكايكي على مجموعة من النماذج	2-4
61	تقدير معالم النموذج	3-4
62	ملائمة النموذج للبيانات	4-4
63	التنبؤ	5-4

فهرس الأشكال

رقم الصفحة	الشكل	رقم الشكل
58	رسم السلسلة الزمنية	1-4
58	سكون السلسلة الزمنية	2-4
59	الإرتباط الذاتي للسلسلة الزمنية بعد أخذ الفرق لأول	3-4
62	اختبار طبيعة البواقي	4- 4

(0-1) تمهيد:

يمثل تحليل السلاسل الزمنية واحدا من الأساليب الإحصائية المهمة ، لأنه يقوم بوصف وشرح سلوك الظواهر عبر فترات زمنية محددة ويوفر وصف دقيق للملامح الخاصة بالعملية التي تتولد منها السلسلة وبناء نموذج لتفسير سلوك السلسلة الزمنية ومن ثم إستخدام النموذج للتنبؤ بالقيم المستقبلية إضافة إلى التحكم في العملية التي تتولد منها السلسلة الزمنية وذلك بفحص ما يمكن حدوثه عند تغيير بعض معالم النموذج ، ولتحقيق ذلك لا بد من دراسة لنماذج تحليل السلاسل الزمنية حيث تعتبر نماذج بوكس-جنكنز من أهم النماذج المستخدمة في تحليل السلاسل الزمنية لأنها توفر إستراتيجيات التحليل للسلاسل الزمنية عبر مراحلها المختلفة ونتناول في بحثنا هذا موضوع تحليل السلاسل الزمنية متعددة المتغيرات (Time series Analysis Multivariate) مركزين علي السلسلة الزمنية متعددة المتغيرات (Time series Bivariate), بالتطبيق علي بيانات إنتاج الكهرباء في السودان ، مع متغير منسوب النيل وذلك لما للطاقة المنتجة من أهمية كبيرة في النمو الإقتصادي من حيث إستخدامها الصناعي والتجاري والزراعي ووضع إستراتيجيات التخطيط المستقبلي.

(1-1) مشكلة البحث:

الطاقة الكهربائية هي عنصر أساسي في تنمية الإقتصاد ومعظم المشاريع الزراعية تعتمد كليا عليها للتنبؤ بإستهلاك التوليد المائي للطاقة الكهربائية يحقق العديد من الايجابيات عليه فإن بناء نموذج على أساس المعلومات لأعوام سابقة يعين الجهات المختصة لتفادي الكثير من الأضرار التي قد تحدث مستقبلا .

(2-1) أهداف البحث:

- تعريف وتقدير نموذج أريما وتطبيقه للتنبؤ بتوليد الطاقة الكهربائية.
- استخدام النموذج المعرف والمقدر للتنبؤ بتوليد الطاقة الكهربائية.

(3-1) أهمية البحث:

تكمُن أهمية البحث في تطوير وتوليد الطاقة الكهربائية لمواكبة التوسع ومواكبة القطاعات الزراعية والصناعية وذلك لمواكبة الزيادة في السكان ولتخاذ الإحتياطات اللازمة لتفادي ندرة الطاقة الكهربائية بالإضافة إلى إيجاد معادلة إحصائية تساعد في التنبؤ بكميات الطاقة المستهلكة في المستقبل.

(4-1) حدود البحث:

الحد الزمني : تم إجراء هذا البحث بالإعتماد على البيانات الشهرية للتوليد المائي بالهيئة القومية للكهرباء للأعوام 2010-2014 .

الحد المكاني : اقتصر هذا البحث على بيانات مأخوذة من قسم التوليد المائي بالهيئة القومية للكهرباء.

(5-1) فروض البحث:

- توليد الطاقة الكهربائية يمثل سلسلة ساكنة .

- وجود تأثير معنوي من قيم التوليد في السنة السابقة والسنة قبل السابقة علي أخطاء السنة السابقة والسنة قبل السابقة .

(6-1) منهجية البحث:

سيستخدم في البحث المنهج الوصفي والاستدلالي وتم أخذ بيانات عن التوليد المائي المستهلك بالهيئة القومية للكهرباء في الفترة من (2010-2014) وتم تحليل بيانات الدراسة بإستخدام برنامج Minitab .

(7-1) الدراسات السابقة:

- في عام 2005 أعد الطالب آدم أحمد آدم بحث لنيل درجة الماجستير في الأحصاء التطبيقي من جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا بعنوان): تقدير منسوب النيل عند محطة الخرطوم في الفترة من 1992-2004م وقد توصل البحث إلي أن النموذج المناسب لتقدير منسوب النيل عند محطة الخرطوم هو نموذج الإنحدار الذاتي من الرتبة (2) AR.

وقد أشار البحث إلي أن السودان لم يستغل حصته الكاملة من مياه النيل .

أوصت الدراسة بالآتي :-

- دعم وتعزيز البرامج والمجهود الحكومي للتوسع في شبكات المياه لمد المواطنين بمياه النيل العذبة بدلا من مياه الابار المالحة.
- إعداد برامج ووضع تشريعات للإستفادة من مياه النيل.

• دعم الدراسات والبحوث المتعلقة بمياه النيل .

- في العام 2005م أعد الطالب بدوي عبد الله النور بحث لنيل درجة الماجستير في الإحصاء التطبيقي من جامعه السودان للعلوم والتكنولوجيا بعنوان (تقدير دالة إستهلاك المواد البترولية في السودان في الفترة 1950-2005م وقد توصل البحث الى أن النموذج المناسب لتقدير استهلاك المواد البترولية في السودان هو نموذج المتوسط

المتحرك من الدرجة الاولى(1) MA

وقد تم تقدير النموذج بدون ثابت ذلك بسبب عدم معنوية الثابت المقدر .

أهم ماجاء بتوصيات البحث الاتي:-

- الإهتمام بحفظ ورصد البيانات الشهرية والسنوية لإستهلاك المواد البترولية وذلك ليساعد الدارسين في هذا المجال في الحصول على البيانات والمعلومات اللازمة لإجراء الدراسات والبحوث .
- إنشاء مصافي كبيرة كمصفاة الخرطوم التي تنتج جميع أنواع المحروقات لتفادي الشح في الوقود عند وقوع أعطال أو صيانة بعض المصافي .
- عدم الاعتماد علي البترول كركن أساسي للدخل القومي للدولها ، همال القطاعات الاخرى وذلك نسبة للتذبذب الذي تواجهه الأسعار في النفط وأيضا يعتبر النفط ثروة ناضبه بالإضافة الي التطورات والتحولات المستقبلية المتوقعة التي تحولات علميه وتقنية سريعة الايقاع والتي تجعل الاعتماد علي هذا المورد فقط عرضة لمخاطر كبيرة
- الاستفادة من المواد البترولية استفادة مثلى .

- في عام 2006 أعد الطالب Ablert Kuany Jok بحث لنيل درجة الماجستير في الأحصاء التطبيقي من جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا عن الأمطار في ولاية القضارف وقد هدف البحث إلى إيجاد نموذج مناسب لتقدير كمية المطار الشهرية في ولاية القضارف وتوصل إلى أن النموذج الموسمي المضاعف $ARIMA(6,11,1) \times (5,1,0)$

- في العام 2006م أعد الطالب أحمد عبد الرحمن بشير بحث لنيل درجة الماجستير في الإحصاء من جامعة الجزيرة عن مياه نهر النيل . وهدف البحث الي دراسة مستويات نهر النيل عند محطة دنقلا وقد جمعت البيانات في الفترة من 1964-2000م وتوصل البحث الي أن البيانات خلال الفتره المذكوره تمثل سلسله زمنية ساكنة , كما توصل البحث إلي أن النموذج الملائم لتقدير منسوب النيل عند محطة دنقلا هو النموذج الموسمي المضاعف $ARIMA(0,1,1) \times (1,0,1)$.

- دراسة ماجستير بعنوان : تطبيق نماذج بوكس جنكينز للسلاسل الزمنية علي إصابات مرض السرطان بالسودان في الفترة (يناير 2002 م ديسمبر - 2004 م) إعداد الطالب أكرم عبد الدائم محمد في العام 2006م ، حيث هدفت الدراسة الي إيجاد نموذج قياسي مقترح يحدد العلاقة بين متغيرات الدراسة ومعرفة أهميتها ومدى تأثيرها علي إصابات السرطان في السودان وتشمل هذه المتغيرات نوع المصاب ، عمره ، القبيلة التي ينتمي اليها ، ومن أجل تحقيق الاهداف ووضعت الفرضيات التالية :

- ينتشر مرض السرطان في بعض القبائل دون غيرها.
- ينتشر المرض وسط الاناث أكثر من الذكور.

- يتركز المرض في بعض الفئات العمرية دون غيرها.

وتوصلت الدراسة الي العديد من النتائج أهمها:

- ينتشر مرض السرطان وسط الاناث أكثر من الذكور.
- تعتبر قبيلة الجعلين أكبر القبائل السودانية إصابة بمرض السرطان .
- النموذج الملائم لإصابات مرض السرطان بالسودان خلال فترة الدراسة هو نموذج المتوسطات المتحركة من الرتبة الاولى (1)MA.

- دراسة ماجستير بعنوان : تطبيق نماذج ARIMA على بيانات التضخم في السودان في الفترة من 1975-2005م إعداد الطالبة هادية حسن ابراهيم الطيب في العام 2006 حيث هدفت الدراسة الى معرفة الاتجاه العام للتضخم في السودان واكتشاف التغيرات التي تطرأ علي السلسله محل الدراسة من ثم التوصل الى نموذج يمكن من خلال التنبؤ بالتضخم في المستقبل.

وتوصلت الدراسة للنتائج التالية :-

- السلسلة الزمنية لظاهرة التضخم في السودان للفترة 1975-2005م غير ساكنة مع وجود قيم شاذة للتضخم في بعض مناطق السودان.
- نموذج (1,1,0)ARIMA. هو أفضل نموذج يلائم ظاهرة التضخم في السودان في لفترة الدراسة .

- في عام 2007 م أعد الطالب الشيخ إدريس الطيب بحث لنيل درجة الماجستير في الاحصاء التطبيقي من جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا بعنوان : دراسة النماذج الاحصائية لإنتاج الطاقة الكهربائية في السودان.

- وتوصل إلى النموذج المناسب هو $ARIMA(1,1,1)$.
- وأوصى الباحث بأن تقوم الجهات المستفيدة ذات الصلة بالكهرباء بتطبيق نماذج السلاسل الزمنية للتنبؤ بالطاقة الكهربائية المستهلكة مستقبلا مما يساعد للتخطيط في المستقبل.

- دراسة ماجستير بعنوان : تطبيق نماذج بوكس-جنكنز للتنبؤ بتكلفة الحالات المحولة بالتأمين الصحي يناير 2005-2008م إعداد الطالبة رشا شمس الدين محجوب حيث هدف البحث الى معرفة إتجاهات تكاليف الخدمة الطبية للحالات المحولة من الولايات بالتأمين الصحي من خلال بناء نموذج للإعتماد على بيانات الظاهرة لفترة طويلة يمكن من خلاله التنبؤ بتكلفة الحالات المحولة من الولايات بالتأمين الصحي مما يساعد على وضع الخطط المناسبة لاستخراج النتائج التي تساعد علي إتخاذ القرار الصائب.

وتوصلت الدراسة للنتائج التالية:-

- بيانات تكلفة الحالات المحولة من الولايات بالتأمين الصحي يمكن تحليلها بواسطة السلاسل الزمنية باستخدام نموذج بوكس-جنكنز.
- بيانات تكلفة الحالات المحولة من الولايات بالتأمين غير ساكنة حيث تحوي إتجاه عام أصبحت ساكنة بعد أخذ الفرق الأول.

- أفضل نموذج لتمثيل بيانات تكلفة الحالات المحولة من الولايات بالتأمين الصحي هو

. ARIMA(1,1,3)

- دراسة ماجستير بعنوان : استخدام تحليل السلاسل الزمنية للتنبؤ بكميات الأمطار السنوية في ولاية كسلا إعداد الطالب منتصر أحمد عثمان ، يهدف البحث إلى اقتراح نموذج يمكن من خلاله التنبؤ بكميات الأمطار السنوية في ولاية كسلا حتى تتمكن الجهات المختلفة من توظيف مياه الأمطار بصورة مثلى وتجنب الخسائر التي قد تحدث جراء الفيضانات من تدمير المنازل والمزارع وانتشار الامراض وغيرها.

وتوصلت الدراسة للنتائج التالية:-

- كميات الامطار السنوية في ولاية كسلا خلال الفترة من 1960-2007متمثل سلسلة زمنية خطية ساكنة.
- النموذج المناسب للإستخدام في التنبؤ بكميات الأمطار السنوية في ولاية كسلا هو نموذج ARMA(2,1).
- يمكن استخدام النموذج الذي تم تقديره في التنبؤ بكميات الأمطار السنوية في ولاية كسلا لكونه النموذج الأنسبوا إن الأخطاء الناتجة من تطبيقه تتبع التوزيع الطبيعي ومستقلة.

(8-1) هيكلة البحث:

يتكون هذا البحث من خمسة فصول ، ويشمل كل فصل عدة مباحث ، فالفصل الأول يضم الاطار العام للبحث من مقدمة ، ومشكلة ، وأهداف ، وأهمية ، وفروض ، منهجية بالإضافة إلى حدود البحث .

أما الفصل الثاني فيتناول نبذة عن الكهرباء نشأتها وأهميتها بالإضافة الى التوليد المائي .
والفصل الثالث يتناول تحليل السلاسل الزمنية ، مفهومها ، استخداماتها ، أهدافها ، أنواعها ، مراحلها ، مكوناتها ، ويحتوي الفصل الرابع على الجانب العملي للبحث . أما الفصل الخامس والأخير فقد إهتم بالنتائج والتوصيات .

(0-2) تمهيد: ¹

حتى نهاية القرن الثامن عشر كانت كلمة كهرباء تعني ظاهرة التجاذب والتنافر ما بين أجسام محكومة، وهو ما نطق عليه الآن علم الكهرباء الساكنة. وقد كان معلوما منذ القدم تجاذب الاجسام الخفيفة التي قد تمت كهربتها عن طريق الاحتكاك الا ان دراستها لم تأخذ الشكل الجدي سوي في نهاية القرن السادس عشر علي ايدي العالم الانجليزي "ليم جيلبير" الذي انجز اول دراسة متعلقة بهذا الموضوع والصادرة في عام 1600 كما انه يرجع اليه الفضل في ابتكار صفة "كهربى" لتعريف خواص التجاذب الغامضة (كلمة كهرباء قد اشتقت من كلمة الكترون اليونانية وهي تعني كهربان وهي أحد اول الاجسام التي تمت كهربتها بالاحتكاك).

وقد استأنف العالم الالمانى "اوتو فان جيوريك" تجارب جيلبير في اواسط القرن السادس عشر مما اسفر عن ابتكاره لآلة تفريغ الهواء (فتجاذب الاجسام المكهربة يكون اوضح عند افراغ الهواء الحائل اثناء التقارب).

واول آلة للكهرباء الساكنه عباره عن كرة ارضية من الكبريت يقوم الباحث بشحنها بيده حتي تضئ .وقد سمحت هذه المعدات البدائية بكتشاف ظاهرة التوصيل الكهربى مما يعنى القدره الغامضه لانتقال الشحنات الكهربائيه خلال بعض الاجسام ،وظاهرة قوة الاجسام المدببة ، وهو ميل الاجسام الحادة والمدببة لاطهار خواص كهربيه .الا ان هذا التأثير لم يتم الاستفاده منه سوي بعد اكتشافه بقرن عندما اثبت "بنيامين فرانكلين" في عام 1752 م ان الصواعق هي ظاهرة ذات طبيعة كهربائية ، وابتكر مانعة الصواعق من الاجسام المدببة . وهكذا اصبحت قطعة

¹ كتاب اسس الكهرباء أ.احمد الحديدي 2012

المعدن المدببة التي تعلقو اسطح المنازل ومتصله بالارض اداة لامتصاص الشحنات الهابطة من السماء².

وفي القرن الثامن عشر توالى الاعمال التجريبية بمعدل سريع ، وظهرت تاثيرات ومعدلات اخري ، كما اخذت الافكار تكوين صورة لظواهر الكهرباء الساكنة . ويرجع الفضل الي العالم الانجليزي "ستيفان جري" الذي اكتشف ظاهرة التكهرب غير المباشر ، وهي امكانية كهربية الاجسام عن بعد دون احتكاك مباشر ، وايضا استطاع التميز بين الاجسام الموصلة للتيار الكهربي والاجسام العازله للتيار الكهربي . كما استطاع العالم الفرنسي "شارل دي فاي " عام 1733 م التميز بين نوعين من الشحنات (الاولى اسماها بالشحنات الزجاجية لوقعها عن طريق احتكاك الزجاج والاخرى بالشحنات الخشبية حيث تنتج عن احتكاك جسمان خشنان ومن بعد ، فالاجسام ذات الشحنات الكهربية المختلفة تتجاذب . ولهذا فقد اسماهم بنيامين فرانكلين بعد عدة سنوات بالكهربية الموجبة والكهربية السالبة . وبهذا يكون هو اول من قام بتفسير ظاهرة التكهرب مستندا علي وجود نوعين من الشحنات الكهربية وقاعدة واحدة اساسية، وهي الحفاظ الكلي للشحنات الكهربية فالتكهرب ينتج عنه شحنات موجبة وسالبة في داخل جسم خامل ، وهذا الذي كان قد تم ايضاحه من عدة سنين من قبل بيد الفيزيائي الانجليزي "ويليم واتسن".

شملت المرحلة التالية استكشاف التأثير الكهربي للأجسام ذات الشحنات الكهربية علي الأجسام الاخرى . ولم يذهب الفيزيائيون ببحثهم بعيدا فقد استوحوا افكارهم من قانون الجاذبية لنيوتن الموضوع منذ قرن ، وافترضو وجود قوة نسبية في الشحنات الكهربية في داخل كل جسم متكهرب اثناء التفاعل تتناسب عكسيا مع مربع المسافة التي تفصلها ، وقد تم التحقق العملي من هذا القانون عام 1785 م علي ايدي العالم "شارل اغسطين دي كولومب الوحدة الدولية للشحنة

² كتاب اسس الكهرباء أ.احمد الحديدي 2012

الكهرية تحمل اسمه كما انه قد وضعت آخر نقاط نظرية التفاعلات بين الشحنات الكهرية
الثابتة في الأعوام التالية .

وقانون الجاذبية بالاضافة الي افكار علم الميكانيكا لينقلوا الي مجال الكهراء الساكنة . ومن هنا
ولاول مرة يظهر مصطلح كهراء الوضع في عام 1772 للجاذبية :جوزيف لويس وبستانف بيير
سيمون دي لابلاس هذا المصطلح في عام 1784 لوصف الحالة الكهرية.

إن من أعجب وأعظم الأبواب التي فتحها الله على البشر في القرنين الماضيين هو باب الطاقة
الكهرائية حيث أن هذا الباب قد فتح أبواب كثيرة ماكان لها ان تفتح بدونه . فبدون الكهراء
ماكان للمصاييح الكهرائية أن تظهر حيث مكنت هذه المصاييح البشر من إضاءة بيوتهم
ومكاتبهم ومصانعهم . بدون الكهراء ماكان للمحركات الكهرائية ان تظهر حيث مكنت هذه
المحركات البشر من استخدام الثلجات والغسالات والمكيفات والمراوح ومضخات الماء .

لقد بدأ عصر الكهراء باختراع البطارية كمصدر مستمر للطاقة الكهرائية علي يد الفيزيائي
الايطالي اليساندرو فولتا وذلك في عام 1800م . وعلى الرغم من انخفاض كمية الطاقة
الكهرائية التي تنتجها البطارية الا انه تم استخدامها في أعظم تطبيق عرفته البشرية وهو نقل
المعلومات بسرعة الضوء بين الناس باستخدام التلغراف .

(1-2) صناعة الكهراء في السودان :³

عرف السودان صناعة الكهراء منذ عام 1908م عندما تم تركيب اول مولد بسعة 100 كيلواط
بمنطقة بري ورفعت لاحقا الي 500 كيلواط . عندما زاد الطلب على الكهراء من قبل الافراد

³ منتدي البرونزية محمد حسن 2010

بالإضافة الى الحاجة الماسة لخدمات المياه بمدن العاصمة الثلاث للكهرباء تعاقدت حكومة السودان في عام 1925م مع مجموعة من الشركات البريطانية لتطوير خدمات الكهرباء والمواصلات والمياه معا .⁴

في عام 1952م إشترت حكومة السودان جميع اسهم شركة النور والطاقة مع إستمرار الشركة في إدارة المرفق ومن ثم وضعت خطة لتطوير محطة بري وتم التعاقد على تركيب اربعة مولدات بخارية سعة 2*5+2*10 ميكاواط وبسعة إجمالية قدرها 30 ميكاواط شغل أولها عام 1956م والثاني عام 1958م والثالث والرابع عام 1961م.

في عام 1960م أصدرت الحكومة الوطنية قانون الادارة المركزية للكهرباء والمياه تحت اشراف وزارة الاشغال كما بدأت الحكومة في تقديم خدمات الكهرباء والمياه الى المدن الكبرى في البلاد في شبكات محلية تحت الاشراف المباشر لوزارة الاشغال . في عام 1962م تم تشغيل اول محطة مائية لتوليد الكهرباء من الخزان القائم بمدينة سنار بسعة 15 ميكاواط كما بدأت الخطوة الاولى في انشاء شبكة النيل الازرق للربط بين سنار ومدني والخرطوم بتشديد خط ناقل فئة 110 كيلوفولت بدائرة واحدة من سنار الى كيلو 10 بالخرطوم مروراً بمارنجان لتغذية مدينة ود مدني والعاصمة بحلول عام 1963م وصلت الطاقة المتاحة بالادارة المركزية للكهرباء والمياه الى 42 ميكاواط وطاقة محطات وزارة الاشغال الى 14 ميكاواط. في عام 1966م صدر قانون الهيئة المركزية للكهرباء والمياه لتحل محل سلطات تنفيذية وإدارية ومالية وبرئاسة مدير عام يعين من راس الدولة بتوصية من وزير الاشغال .

⁴ منتدي البرونزية محمد حسن 2010

في عام 1971م تم ضبط المرافق التابعة لوزارة الاشغال للهيئة المركزية للكهرباء والمياه لادارة خدمات الكهرباء والمياه على نطاق القطر تحت اشراف وزير الطاقة والتعدين .

في عام 1982م صدر قانون الهيئة القومية للكهرباء والذي ترتب عليه :-⁵

فصل خدمات المياه عن الكهرباء وتحويل مسؤولية الاشراف على المحطات خارج الشبكة القومية للحكومات الاقليمية على ان تقوم الهيئة بالاشراف على الشبكة القومية .

في عام 2001م صدر قانون الكهرباء الذي بموجبه فتح مجال الاستثمار لأي جهة أو شخص محليا او اجنبيا في مجال الطاقة الكهربائية ومن اغراض قانون الهيئة القومية للكهرباء استغلال مصادر الطاقة المتاحة اقتصاديا لتوفير إحتياجات البلاد من الطاقة الكهربائية للاغراض المختلفة وتحقيق النمو في اعمالها بما يتناسب مع معدلات نمو تلك الإحتياجات والاستفادة من التطور العالمي في مجال صناعة وخدمات الكهرباء بالفقر الذي تسمح به ظروف وبيئة السودان لتطوير صناعة وخدمات الكهرباء في البلاد، والعمل على توليد الكهرباء وتطويرها ، الدخول في الاستثمارات التي تمكنها من ادارة اعمالها وتصنيع المعدات المساهمة في زيادة الدخل القومي وتحسين ادارة الخدمات التي تقدمها ، ادارة اعمالها على اساس يمكنها من تحقيق عائدات سنوية من استثماراتها بمعدلات يحددها المجلس لتوفير الاموال اللازمة لتنفيذ خططها الإنمائية ، وأي اغراض تتطلبها طبيعة نشاطها .

إعتمدت الهيئة القومية للكهرباء ومنذ عهد الهيئة المركزية للكهرباء والمياه في العام 1966م خطة طموحة لمقابلة الطلب المتنامي على خدماتها حيث نجحت الدولة والهيئة لاستقطاب التمويل اللازم لزيادة مواعينها في التوليد والنقل والتوزيع كما تمكنت الهيئة من صياغة

⁵ منتهي البرونزية محمد حسن 2010

احتياجاتها في شكل خطط عرفت بمشروعات الطاقة من الاول (1967) وحتى مشروع الطاقة الرابع في (1994) حيث أضافت هذه المشروعات للشبكة القومية 280 ميغاواط توليد مائي بالروصيرص مع 255 ميغاواط حراري بمحطة الشهيد وبري وكذلك 90 ميغاواط للشبكات المحلية بمدن الأقاليم خارج الشبكة القومية ، هذا بالإضافة الى الاف الكيلومترات من خطوط النقل ذات الضغط العالي والمنخفض وامتداد وتحسينات في شبكات التوزيع وإعادة تعميم وحدات التوليد العاملة وقطارات لنقل الوقود لمحطات التوليد .⁶

تم تمويل مشروعات الطاقة بمنح وقروض ميسرة من البنوك ووكالات التنمية الاقليمية والعالمية مثل (البنك الدولي / وكالة التنمية الدولية / منظمة التنمية لما وراء البحار البريطانية / بنك التنمية الافريقي / صناديق التنمية العربية) .

ومنذ تلك الفترة فقد تناقص التمويل المقدم للهيئة وبدات الفجوة تزداد مابين الطلب المتاح من الطاقة الكهربائية ولذلك سعت الهيئة جاهدة لوضع خطط لسد هذا العجز ولإستقطاب التمويل اللازم لتنفيذ هذه الخطط والتي إنتهجت الهيئة القومية للكهرباء منهاجاً علمياً في وضعها مما مكنها من الحصول على التمويل اللازم لتنفيذ هذه الخطط ، وأخيراً تم تحويل الهيئة القومية للكهرباء الى وزارة الكهرباء والسدود .

ومن ميزات الطاقة الكهربائية أيضاً إمكانية إنشاء المحطات الكهربائية حيث تتوفر مصادر الطاقة المختلفة وخاصة تلك التي لا يمكن نقل طاقتها الى أماكن استخدامها كالطاقة الحركية في مياه الأنهار وطاقة المد والجزر والطاقة الحرارية في جوف الأرض وطاقة الرياح . وحتى في الأنواع التي يمكن نقلها كالفحم الحجري والبتروول والغاز فإن كلفة نقلها بعد تحويلها الى طاقة كهربائية

⁶ منندي البرونزية محمد حسن 2010

قد تكوم أقل من كلفة نقلها بشكلها الأصلي ، كما أنها توفر أعداد كبيرة من القطارات والشاحنات ومحطات الضخ الى جانب توفير مستودعات ضخمة لتخزينها ، ومن ميزاتنا أيضا أنها لا تولد الطاقة إلا بالقدر الذي يحتاجه المستخدمون .

(2-2) المولدات الكهربائية (Electric Generators):⁷

يعود الفضل في استغلال الكهرباء لصالح البشر للفيزيائي والكيميائي الانجليزي ميشيل فاراداي (1791-1867م) الذي قام باختراع المولد الكهربائي في عام 1831م والذي يقوم بتحويل الطاقة الحركية الى طاقة كهربائية . فقبل اختراع المولد الكهربائي كانت البطارية التي اخترعها فولتا في عام 1800م هي المصدر الوحيد للطاقة الكهربائية المستمرة حيث تقوم بتحويل الطاقة الكيميائية الى طاقة كهربائية ولكن بكميات قليلة . أما المولد الكهربائي فإن بإمكانه توليد كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية بسبب توفر الطاقة الميكانيكية بكثرة في الطبيعة كما في طاقة المياه والرياح أو من خلال المحركات الميكانيكية التي تعمل بثتى أنواع الوقود .

(3-2) طرق توليد الطاقة الكهربائية:

إن عملية توليد أو انتاج الطاقة الكهربائية هي في الحقيقة عملية تحويل من شكل الي آخر حسب مصادر الطاقة المتوفرة في مراكز الطلب علي الطاقة الكهربائية وحسب الكميات المطلوبة لهذه الطاقة ، الامر الذي يحدد أنواع الأستهلاك وأنواع الوقود ومصادره كلها تؤثر في تحديد نوع المحطة ومكانها وطاقتها .

⁷محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

(2-4) أنواع محطات التوليد:⁸

- 1-محطات التولد البخارية .
- 2-محطات التوليد النووية .
- 3-محطات التوليد المائية .
- 4-محطات التوليد من المد والجزر .
- 5-محطات التوليد ذات الأحتراق الداخلي (ديزل-غازية) .
- 6-محطات التوليد بواسطة الرياح .
- 7-محطات التوليد بالطاقة الشمسية .

(2-5) محطات التوليد المائي:

تعد الطاقة الكهربائية أحد المصادر المتجددة،وقد بدء الاتجاه نحوها في سبيل البحث المتواصل عن مصادر بديلة للطاقة الغير متجددة نسبة للطلب المتجدد للطاقة في نفس الوقت .

ويعتمد انتاج الطاقة الكهرومائية على قوة سقوط المياه واِنحدارها الشديد في إدارة التوربينات التي بدورها تدير المولدات فتتولد القوة الكهربائية التي توزع بعد ذلك ليتم استخدامها بمختلف الاغراض .

⁸ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أخصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

وتقام المحطات الكهرومائية عند المساقط الطبيعية او السدود التي تنشأ على مجاري الانهار او الشلالات ، او قرب منابع المجاري المائية في المناطق الجبلية . أو عند المجاري المائية التي تتصرف من البحيرات بعد ان تصبح البحيرة عبارة عن خزان لتجميع المياه التي تم تصريفها عن طريق المجاري المائية⁹.

وليست كل الانهار متشابهة في امكان توليد الطاقة ، فالأنهار موسمية الجريان لا يستفاد منها الا في حدود معينة وقت الفيضان ، او بعد انشاء سدود عليها لتكوين بحيرات صناعية على مجرى النهر ، بحيث تكون ثابتة التصريف لضمان إستقرار واستمرار توليد الطاقة .

عندما يكون الخزان مرتفعا عبر المجرى المائي فإن ذلك من شأنه تكوين سقوط مائي كبير وبالتالي زيادة القدرة الكهربائية المولدة ، كما إنها تقلل من مخاطر التغيرات الموسمية لمعدلات تدفق المياه وهذا من شأنه ضمان مصدر مستقر لتخزين المياه لأغراض الكهرباء .

تعد مضخات الضخ والتخزين مصدرا رخيصا لتوليد الطاقة اللازمة لمجابهة ذروات الاحمال بالمقارنة مع المحطات الأخرى ، كما يعد العمر الإفتراضي لهذه المحطات طويلا بالمقارنة مع محطات مجابهة ذروة الأعمال .

وتساعد محطات الضخ في إستقرار الشبكة الكهربائية الموحدة ، كما تتمتع هذه المحطات باستجابة لمجابهة ذروة الاحمال ويتطلب إنشاء هذا النوع من المحطات وجود خزان علوي على إرتفاع مناسب ، أو خزان سفلي كبحر أو نهر أو بحيرة ، وتبنى محطة التوليد الكهرومائية قرب هذا الموقع .

⁹ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أخصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

وعادة يتم إعداد الخزان لإستقبال المياه الى منسوب معين وتحدد كمية السحب عن الخزان في إطار حدود لا تزيد ولا تنقص عنها حتى يضمن إستمرار وثبات معدل توليد الكهرباء ، وحتى لا يتعرض مجرى النهر للنحت إذا زاد معدل تدفق المياه ، أو توقف الملاحة إذا انخفض معدل تدفق المياه .

وتقع محطات توليد الكهرباء حسب تدفق المياه ، وتذبذب الكهرباء المولدة تبعاً لتذبذب تصريف المياه عبر محطات التوليد ، حيث يلعب الفرد في المنسوب أمام أو خلف السد أو الخزان أو الشلال دوراً كبيراً في حجم الطاقة المولدة . ويلاحظ ذلك بوضوح في الفرق بين الطاقة المولدة من خزان أسوان والسد العالي في مصر فالفرق كبير بين منسوب المياه خلف وأمام السد العالي ومنسوب المياه خلف وأمام خزان أسوان .

ويمكن الحصول على الطاقة المائية من خلال محطات للضخ والتخزين وذلك بفتح المياه من منسوب " خزان " منخفض الى منسوب خزان علوي ثم الإستفادة من فرق المنسوب والتحكم في تدفق المياه من الخزان العلوي إلى المنسوب المنخفض .

Components Of Hydro Electric : (6-2) مكونات محطات التوليد المائي:

Station¹⁰

1-مساقط المياه Penstock:

هو عبارة عن أنبوبة كبيرة يكون في أسفل السد أو من أعلى الشلال الى مدخل التوربينة ، وتسيل فيه المياه بسرعة كبيرة ، ويوجد في أوله وخره بوابه للتحكم في كمية المياه التي تدور بالتوربينة .

¹⁰ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أخصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

2- التوربين Turbine:

تكون التوربينة والمولد عادة في مكان واحد مركبين على محور رأسي واحد ، يركب المولد فوق التوربينة ، وعند فتح البوابة في أسفل الأنابيب المائية تتدفق المياه بسرعة كبيرة في تجاويف مقعرة فتدور بسرعه وتدير معها العضو الدوار في المولد حيث تتولد الطاقة الكهربائية على أطراف المولد .

3- أنبوب السحب Draft tube :

بعد أن تعمل المياه المتدفقة على تدوير التوربين فلا بد من سحبها للخارج بسرعة ويسر حتى لا تعوق الدوران لذا توضع أنابيب بأشكال خاصة بسحبها للخارج بالسرعة اللازمة .

4-المعدات المساعدة Auxiliaries:

تحتاج محطات التوليد المائية إلى العديد من الآلات المساعدة مثل المضخات - البوابات - المفاتيح ومعدات تنظيم سرعة الدوران.¹¹

¹¹ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أخصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

(0-3) تمهيد: 12

يتضمن هذا الفصل الاطار النظري للبحث حيث تم التطرق الى تعريف السلسلة الزمنية وأنواعها والى الاستقرارية ومعالجتها والى نماذج تحليل السلاسل باتجاه الزمن وباتجاه التكرار ومراحل تحليل السلسلة الزمنية والتركيز على التنبؤ لمختلف النماذج الرياضية بإعتبار التنبؤ هو عملية تقدير لما يحدث مستقبلا لظاهرة ما اعتمادا على اتجاه الظاهرة في الماضي أو بعبارة أخرى معرفة سلوك ظاهرة ما في المستقبل انطلاقا من سلوكها في الفترة الماضية واتخاذ القرار المناسب .

يعتبر التنبؤ وسيلة لتحقيق عملية التخطيط للمستقبل على الوجه الأكمل حيث تعمل التنبؤات الدقيقة على رسم السياسات المستقبلية في كافة المجالات ، إذ أنها تعمل على تقدير وتوقع أكثر الاحتمالات دقة وموضوعية لمسار الظاهرة محل الدراسة في المستقبل وبيان الاتجاهات الرئيسية لتطورها ونموها والتغيرات المصاحبة لها قبل إتخاذ أي قرار بشأنها .

(1-3) مفهوم السلسلة الزمنية وأنواعها :

السلسلة الزمنية Time series هي مجموعة من المشاهدات أو القيم لظاهرة معينة مرتبة وفق حدوثها في الزمن كالسنين أو الفصول أو الأشهر أو الأيام أو أي وحدة زمنية ، وهي بذلك سجل تاريخي لهذه الظاهرة وأن هذه المشاهدات المتتالية عادة ماتكون غير مستقلة أي تعتمد على بعضها البعض . ومن الأمثلة على ذلك حجم المبيعات الشهرية من سلعة معينة أو كمية الأمطار الساقطة في شهر معين أو قيمة الواردات السنوية أو التعداد السكاني وغيرها .

¹² بسام يونس - وآخرون مبادئ احصاء - قسم الاحصاء التطبيقي - كلية العلوم - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا (2005)

وتعرف السلسلة الزمنية رياضيا بأنها متتابعة من المتغيرات العشوائية معرفة ضمن فضاء الاحتمال متعدد الغيرات ومؤشرة بالدليل t والذي يؤدي الى مجموعة دليلية T ويرمز للسلسلة الزمنية عادة $\{z(t), t \in T\}$ أو اختصارا $z(t)$.

تقسم السلاسل الزمنية إما حسب نوعية قيم السلسلة إلى سلسلة زمنية متقطعة Time Series Discrete وهي السلاسل التي تقيس فيها قيم ظاهرة متغيرة عند لحظة من الزمن كنسبة الفائدة السنوية أو عدد السكان في مدينة ما في اليوم الأول من كل سنة أو مقدار المحاصيل الزراعية ، أو سلاسل زمنية مستمرة Continuous Time Series وهي السلاسل التي تقيس فيها قيم ظاهرة متغيرة خلال الفترة من الزمن مثل الساعة أو اليوم أو الأسبوع أو الشهر ، ... وغيرها ومن الأمثلة على هذه السلاسل كمية استهلاك الطاقة الكهربائية يوميا أو حجم الاستيراد والتصدير في بلد ما خلال العام أو كمية الأمطار السنوية وغيرها.¹³

ويمكن تقسيم السلاسل الزمنية حسب طبيعة الزمن الذي تحدث فيه قيم السلسلة الزمنية من حيث أن هذا الزمن محدد مسبقا أو غير محدد ، فإذا كانت السلسلة قيمها تقاس في أزمنة غير متوقعة سميت بالسلسلة الزمنية النقطية مثل سلاسل الكوارث وسقوط الطائرات أو حوادث القطارات أو الهزات الأرضية ، وأما إذا كانت السلسلة قيمها تقاس في أزمنة محددة مسبقا سميت بالسلسلة الزمنية غير النقطية مثل سلسلة أرباح شركة ما في منتصف العام أو سلسلة معدل الدخل السنوي للأفراد والتي تقاس في نهاية كت عام .

كذلك يمكن تقسيم السلاسل الزمنية على ضوء عدد القيم التي تأخذها السلسلة عند كل قياس حيث تقسم إلى سلاسل زمنية ثنائية تأخذ قيمتين (صفر أو واحد) أي نجاح أو فشل وتظهر

¹³ بسام يونس - وآخرون مبادئ احصاء - قسم الاحصاء التطبيقي - كلية العلوم - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا (2005)

هذه السلاسل في الهندسة الكهربائية وفي نظرية الاحتمالات ، كما تقسم إلى سلاسل زمنية غير ثنائية والتي تأخذ أكثر من قيمتين كأعداد السكان وغيرها .

السلسلة الزمنية إما أن تحتوي على متغير واحد وتسمى سلسلة زمنية ذات متغير واحد Univariate time series ويمكن التعبير عنها رياضيا :-¹⁴

$$Z = f(t)$$

أو تحتوي على عدة متغيرات مستقلة ويمكن التعبير عنها رياضيا بالصيغة التالية:

$$z = f(t, x_1, x_2, \dots, x_n)$$

وتسمى سلسلة زمنية متعددة المتغيرات (Multivariate time series) وتكون السلسلة الزمنية دورية (Periodic) إذا كان بالإمكان تمثيلها بالصيغة التالية :-

$$z_t = z_{t+n}, t = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

حيث أن بيانات هذه السلسلة تظهر بشكل موجات الجيب وجيب التمام (Sinusoidal Data) . إن الهدف من دراسة اي سلسلة زمنية لظاهرة ما هو الحصول على وصف دقيق للملامح الخاصة للعملية التي تتولد منها السلسلة الزمنية وبناء نموذج رياضي لشرح وتفسير سلوك السلسلة بدلالة متغيرات أخرى تربط القيم المشاهدة ببعض قواعد سلوك السلسلة والتنبؤ عن القيم المستقبلية للظاهرة المدروسة لمعرفة سلوك السلسلة في المستقبل والتحكم في العملية التي تتولد منها السلسلة الزمنية .

¹⁴ بسام يونس - وآخرون مبادئ احصاء - قسم الاحصاء التطبيقي - كلية العلوم - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا (2005)

(2-3) أهداف تحليل السلاسل الزمنية :-¹⁵

- 1- الحصول على وصف دقيق للملامح الخاصة بالعملية التي تتولد منها السلسلة الزمنية .
- 2- تكوين نموذج لتفسير وشرح سلوك السلسلة الزمنية .
- 3- إستخدام النموذج الذي يمثل السلسلة الزمنية في التنبؤ بالقيم المستقبلية للظاهرة قيد الدراسة .
- 4- التحكم أو السيطرة على العملية التي تتولد منها السلسلة الزمنية .

(3-3) تحليل السلسلة الزمنية :-

إن الهدف الأساسي من تحليل السلاسل الزمنية هو الوصول إلى نموذج رياضي أو طريقة مناسبة تربط قيم السلسلة الزمنية بالقيم السابقة لها أو أخطائها للتنبؤ بالقيم المستقبلية لهذه السلسلة ولمعرفة ما يحتمل أن يحدث للظاهرة المدروسة .

هناك اتجاهين لتحليل السلاسل الزمنية هما :-

1- التحليل باتجاه الزمن (Time Domain Analysis) والذي يعتمد على الدالة المولدة للتغاير الذاتي المشترك (Autocovariance generating function) ودوال الارتباط الذاتي (ACF) (Autocorrelation Functions) ودوال الارتباط الجزئي (PACF) (Partial Autocorrelation Functions) .

2- التحليل باتجاه التكرار (Frequency Domain Analysis) ويسمى بالتحليل الطيفي الذي يشير إلى الطريقة المعطاة لتقدير دالة الكثافة الطيفية للسلاسل الزمنية المستقرة والتي

¹⁵ عبيد محمود محسن الزويبي "محاضرات السلاسل الزمنية" جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا (2009)

تدرس تحليل السلاسل في نطاق التكرار أو التردد حيث توصف الدالة للسلسلة الزمنية في حدود سلوك دالة الجيب وجيب التمام ولتكرارات مختلفة من خلال تحويل فورير (Fourier Transform) ويستخدم التحليل الطيفي في معرفة السلوك الذي تسلكه السلاسل الزمنية وبيان تركيبها وتوضيح أهم المركبات التي تساهم في تباين السلسلة عن طريق مساهمة الترددات المختلفة الأطوال في التباين ويكون مفيد في الكثير من المجالات وخاصة في هندسة الإتصالات والعلوم الجيوفيزيائية والعلوم الطبية الحيوية وغيرها .

تحليل السلاسل الزمنية يعتمد على مراحل متسلسلة يتم إتباعها وكما يأتي :-¹⁶

1- مرحلة التشخيص Identification stage

تعتبر مرحلة التشخيص من أهم المراحل في تحليل السلاسل الزمنية حيث يتم وصف البيانات باستخدام الأشكال البيانية وبعض المقاييس الاحصائية لمعرفة الحالة العامة للبيانات وتحديد النموذج الرياضي الذي يلائم بيانات السلسلة قيد الدراسة من بين النماذج المقترحة وتعد هذه المرحلة علما وفنا لكونها تحتاج إلى الخبرة والمهارة .

2- مرحلة التقدير Estimation Stage

يتم في هذه المرحلة تقدير معلمات النموذج أو النماذج المختارة من البيانات المشاهدة للظاهرة قيد الدراسة وذلك باستخدام طرق التقدير الإحصائي الخاصة بالسلاسل الزمنية .

3- مرحلة الفحص والتدقيق : Diagnostic Checking Stage

¹⁶ عبيد محمود محسن الزوبعي "محاضرات السلاسل الزمنية" جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا (2009)

قبل استخدام النماذج المقترحة لحساب التنبؤات المستقبلية يتم إجراء اختبارات تفحصه على النماذج للتأكد من صحتها ومدى كفاءتها من خلال اختبارات على الأخطاء المقدرة للنماذج والنموذج الذي يجتاز هذه الاختبارات نقوم بإعتماده من أجل استخدامه في توليد تنبؤات مستقبلية للسلسلة الزمنية المدروسة وأما إذا لم تجتاز هذه النماذج مرحلة الفحص والتدقيق فإننا نرجع إلى الخطوة الأولى لتعيين نموذج جديد .

4- مرحلة التنبؤ forecasting step¹⁷:

يستخدم النموذج النهائي في إيجاد التنبؤات للقيم المستقبلية للسلسلة المراد دراستها ومن ثم إيجاد اخطاء التنبؤ (forecast error) ومراقبه هذه الاخطاء حيث كلما كانت صغيره جدا كانت دقه التنبؤ اكبر دقه ويمكن توضيح المراحل اعلاه بالشكل ادناه

ج- الاستقرارية (stationairty) للسلسلة الزمنية وكيفية معالجتها .

يقال ان السلسلة الزمنية $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ مستقرة stationairty اذا حققت الشروط التالية :-

- ان يكون الوسط الحسابي كمية ثابتة لا يعتمد على الزمن اي ان :

$$E(z_t) = \mu = \text{cons tant}, \forall t \quad \circ$$

- ان يكون التباين للسلسلة الزمنية كمية ثابتة لا يعتمد على الزمن اي ان :

$$\text{var}(z_t) = \sigma^2 = \text{cons tant}, \forall t \quad \circ$$

- ان يكون التباين المشترك الذاتي بين z_t, z_{t-s} لا يعتمد على الزمن t, s وانما يعتمد علي

الفرق بين الزميين (lag time) z_t, z_{t-s} اي ان :

$$\text{cov}(z_t, z_{t-s}) = E(z_t - \mu)(z_{t-s} - \mu) = \gamma_s, s = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

¹⁷ عبيد محمود محسن الزويبي "محاضرات السلاسل الزمنية" جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا (2009)

يرجع عدم إستقرار السلسلة الزمنية إما لوجود إتجاه عام في بيانات السلسلة أو لوجود تقلبات متكررة أو لعدم إستقرار التباين والوسط الحسابي ويمكن التعرف على كون السلسلة مستقرة أو غير مستقرة من خلال الرسم البياني للظاهرة المدروسة أو من خلال قيم دالة الإرتباط الذاتي (ACF) أو دالة الإرتباط الذاتي الجزئي (PACF)

(3-4) معالجة عدم الإستقرارية في السلسلة الزمنية :-¹⁸

(3-4-1) معالجة الإتجاه العام:

الإتجاه العام يتمثل في وجود تغير منتظم في مستوى السلسلة الزمنية في إتجاه محدد (تصاعديا أو تنازليا) وهناك طرق عديدة لإزالة الإتجاه العام إلا أن التجربة أظهرت أن طريقة الفروق (Differencing) هي طريقة ذات فائدة كبيرة ونقتضي هذه الطريقة طرح قيم مشاهدات السلسلة الزمنية من بعضها البعض ، فإذا كان الفرق الأول لا يكفي لاستقرارية السلسلة فيؤخذ الفرق الثاني ثم الفرق الثالث حتى نحصل على سلسلة زمنية مستقرة وغالبا ما يكون الفرق الأول للسلسلة الزمنية كافيا لتحقيق الإستقرارية وعليه فإن :

$$y_t = z_t - z_{t-1}$$

حيث أن y_t تمثل الفروق الأولى للسلسلة الزمنية الأصلية .

وأن :-

$$w_t = y_t - y_{t-1}$$

¹⁸ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

حيث أن w_t تمثل الفروق الثانية للسلسلة الأصلية .

افترض أن ∇ تمثل عامل الفروق (Differencing operator) وأن B تمثل عامل الإزاحة للخلف (Backshift operator) وأن $\nabla = (1-B)$ وباستخدام B, ∇ يمكن صياغة الفروق كالتالي: ¹⁹

$$y_t = \nabla z_t = z_t - z_{t-1} = z_t - Bz_t = (1-B)z_t$$

وإن:

$$w_t = \nabla^2 z_t = \nabla(\nabla z_t) = \nabla(z_t - z_{t-1})$$

$$= \nabla z_t - \nabla z_{t-1} = z_t - 2z_{t-1} + z_{t-2}$$

$$= z_t - 2Bz_t + B^2 z_t$$

$$= (1-B)^2 z_t$$

فإذا كانت d تمثل عددا من الفروق للسلسلة الزمنية الأصلية فإن :

$$y_t = \nabla^d z_t = (1-B)^d z_t, d = 1, 2, \dots \quad \dots (3-2)$$

¹⁹ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

(3-4-2) معالجة عدم إستقرارية التباين:²⁰

من الوسائل المستخدمة في معالجة عدم إستقرارية التباين هو تحويله اللوغاريتم الطبيعي أو تحويله الجذر التربيعي لبيانات السلسلة الزمنية ، ويفضل إستخدام تحويله اللوغاريتم الطبيعي عندما يكون تباين السلسلة متناسب مع مستوى السلسلة الزمنية ومستوى متوسط السلسلة الزمنية يتزايد أو يتناقص بمعدل ثابت ويمكن تحديد مجموعة من التحويلات للتوصل إلى الإستقرارية في تباين السلسلة الزمنية تسمى تحويلات القوة (power transformation) أو دالة تحليل ومعطاه بالصيغة الرياضية التالية :-

$$z_t = \frac{z_t^\lambda - 1}{\lambda}, -\infty < \lambda < \infty \quad \dots (3-3)$$

حيث أن λ تمثل معلمة التحويل والجدول التالي يبين قيم λ الأكثر إستخداما .

جدول رقم (3-1) يوضح تحويلات القوة

قيم λ	-1.0	-0.05	0.0	0.5	1.0
التحويل	$\frac{1}{z_t}$	$\frac{1}{\sqrt{z_t}}$	$\ln(z_t)$	$\sqrt{z_t}$	z_t

المصدر : التحليل الإحصائي للبيانات (Spss) ، أسامة ربيع أمين سليمان

²⁰ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

(3-4-3) بعض الاختبارات لمعرفة إستقرارية السلسلة الزمنية :²¹

هنالك عدد من الإختبارات الرياضية التي تستخدم في إختبار إستقرارية السلسلة الزمنية ومنها :-

2- دالة الارتباط الذاتي (ACF) :

هي مقياس يقيس قوة الارتباط بين مشاهدات المتغير نفسه عند فترات زمنية مختلفة أي الكشف

عن الارتباطات الداخلية للسلسلة الزمنية حيث أن الصيغة الرياضية لها عند الفجوة k هي :-

$$\rho_k = \frac{\Upsilon_k}{\Upsilon_0} \dots\dots(3-4), \quad k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

حيث أن:

$$= \text{cov}(z_t, z_{t-k}) = \Upsilon_k$$

$$, k = 0, \pm 1, \pm 2 \quad E[(z_t - \mu)(z_{t-k} - \mu)]$$

$$\Upsilon_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (z_i - z)(z_{i+k} - z)}{n-k} \dots\dots\dots(3-5)$$

حيث أن: n=حجم العينة و k=طول الفجوة الزمنية

وأن ρ_k يمتاز بالخصائص التالية :-

$$|\rho_k| \leq 1 \quad -1$$

$$\rho_{-k} = \rho_k \quad -2$$

$$\rho_0 = 1 \quad -3$$

²¹ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

يتطلب إستقرار السلسلة الزمنية أن يكون ρ_k مساوية للصفر أو أنه لا يختلف جوهريا عن الصفر بالنسبة لأي فجوة ($K > 0$) وبعبارة أخرى يجب ان تقع معاملات الارتباط الذاتي داخل حدود فترة ثقة 5% فإذا وقع خارج حدود فترة الثقة لفترة طويلة فإن معاملات الارتباط الذاتي تختلف معنويلا لعدد كبير من الفجوات الزمنية لذا يقال أن السلسلة الزمنية غير مستقرة وعندما تكون السلسلة الزمنية مستقرة فإن معاملات الارتباط الذاتي التي يكون لها توزيع طبيعي بوسط حسابي صفر وتباينه $(\frac{1}{n})$ وعليه فإن حدود الثقة عند مستوى معنوية 5% لعينة كبيرة الحجم هي :²²

$$-\frac{1.96}{\sqrt{n}} \leq \rho_k \leq \frac{1.96}{\sqrt{n}}$$

فإذا كان ρ_k يقع داخل هذه الحدود يتم قبول فرض العدم $H_0 : \rho_k = 0$ أي السلسلة مستقرة وإذا كان خارج هذه الحدود فإننا نقبل الفرض البديل $H_1 : \rho_k \neq 0$ أي السلسلة غير مستقرة ولاختبار معنوية معاملات الارتباط الذاتي ككل يتم إستخدام صيغة اختبار Q والتي تم اقتراحها من قبل (Box-pierce) حيث أن الصيغة الرياضية لها هي :-

$$Q = n \sum_{k=1}^m \rho_k^2$$

حيث أن m تمثل عدد الفجوات

عند استخدام العينات الكبيرة فإن Q لها توزيع مربع كاي χ^2 بدرجة حرية m وعند مستوى احتمال معين ، وتكون السلسلة الزمنية غير مستقرة في حالة أن قيمة Q المحسوبة أكبر من

²² محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

قيمة χ^2 الجدولية بدرجة حرية m وعند مستوى معنوية معين وتكون السلسلة مستقرة عندما تكون قيمة Q المحسوبة أقل أو تساوي قيمة χ^2 الجدولية أي قبول فرضية عدم ورفض الفرضية البديلة أي ان جميع معاملات الارتباط الذاتي مساوية للصفر .

كما أن هناك إحصائية أخرى أفضل تستخدم في حالة العينات الصغيرة تسمى إحصائية (Box-Ljung) حيث أن الصيغة الرياضية لها هي :

$$Q_{L-B} = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{\rho k^2}{n-k} \square \chi^2(m) \quad \dots(3-6)$$

وتعطي نتائج أفضل من اختبار Q في حالة العينات الصغيرة .

2- اختبار جذر الوحدة للاستقرارية The Unit Root Of Stationary²³:

يهدف اختبار جذر الوحدة (Unit Root) الى معرفة هل السلسلة الزمنية المراد دراستها مستقرة أم غير مستقرة وأن من أحد النماذج الرياضية لتقدير العلاقة بين المتغير التابع والمتغير المستقل الذي يمثل المتغير التابع ولكن لفترة زمنية سابقة هو :-

$$Z_t = \rho Z_{t-1} + a_t \quad , \quad t = 1, 2, \dots$$

حيث أن ρ تمثل معلمة النموذج و a_t الخطأ العشوائي حيث أن $a_t \square NID(0, \sigma^2)$

يمكن معرفة استقرارية السلسلة الزمنية من خلال قيمة معلمة النموذج ρ فإذا كانت $\rho = 1$ هذا يعني وجود جذر الوحدة في السلسلة الزمنية وبالتالي فإن السلسلة الزمنية غير مستقرة وأما إذا كانت $\rho = 0$ فإن ذلك يدل على عدم وجود جذر الوحدة وبالتالي فإن السلسلة الزمنية مستقرة

²³ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

ولكن تقدير المعلمة ρ لا يكشف بشكل صحيح عن وجود أو عدم وجود جذر الوحدة بهذه السلسلة حيث لا يتضمن النموذج السابق العديد من المتغيرات المستقلة ولذلك فإن تقدير المعلمة ρ لا يتصف بالكفاية كأحد خصائص طريقة المربعات الصغرى ويرجع ذلك الى زيادة احتمال ظهور الارتباط الذاتي بسلسلة الأخطاء العشوائية لهذا النموذج ولإزالة الارتباط الذاتي يتم استخدام اختبارات أخرى للكشف عن جذر الوحدة ومن أشهر هذه الاختبارات هو اختبار ديكي - فولر الموسع ((ADF)Augmented Dickey-Fuller Test) حيث أن الصيغة الرياضية لهذا الاختبار هي :-²⁴

$$\nabla Z_t = b_0 + b_1 Z_{t-j} + a_t$$

ويتم اختبار الفرضية :-

$$H_0 : b_1 = 0$$

$$H_1 : b_1 \neq 0$$

وأن قيمة τ يتم ايجادها بالصيغة الرياضية التالية :-

$$\tau = \frac{b_1}{S(b_1)} \quad \text{حيث أن} \quad b_1 = \rho - 1 \quad \text{و} \quad S(b_1) \text{ يمثل الخطأ المعياري ل} b_1$$

فإذا كانت قيمة τ المحسوبة أكبر من قيمة τ الجدولية التي اقترحها (Mackinnon) يتم رفض فرضية عدم وجود جذر الوحدة في السلسلة الزمنية وتكون السلسلة الزمنية مستقرة وأما اذا كانت τ المحسوبة أقل من قيمة τ الجدولية فإننا نقبل فرضية عدم وجود جذر الوحدة وتكون السلسلة الزمنية غير مستقرة وبالتالي نقوم باختيار استقرارية الفرق الأول للسلسلة وهكذا .

²⁴ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

(3-5) نماذج تحليل السلاسل الزمنية باتجاه الزمن:-²⁵

تعتبر نماذج بوكس- جنكيز **Box-Jenkins Models** من نماذج تحليل السلاسل الزمنية وهي تلك المنهجية التي طبقها كل من العالمان جورج بوكس George Box وجويلم - جنكيز على السلاسل الزمنية عام 1970 وتعتمد هذه المنهجية على استخراج التغيرات المتوقعة للبيانات المشاهدة إذ تتجزأ السلسلة الزمنية إلى عدة مكونات أو عناصر تسمى مرشحات أو مصافي وهي : مرشح الإستقرارية "السكون" Stationary Filter ومرشح الانحدار الذاتي Autoregressive Filter ومرشح المتوسطات المتحركة Moving average Filter حيث تعمل هذه المرشحات على تقنية السلسلة الزمنية والحصول في النهاية على التغيرات العشوائية البحتة التي لا يمكن التنبؤ بها .

ان نماذج بوكس - جنكيز من الأساليب الاحصائية المهمة في تحليل السلاسل الزمنية ، حيث تستخدم هذه النماذج في التنبؤ بقيم الظاهرة المراد دراستها في المستقبل ولها تطبيقات كثيرة وفي مختلف المجالات وتنقسم هذه النماذج الى :-

(3-5-1) نموذج الانحدار الذاتي (AR(p) Autoregressive Model):-

في نموذج الانحدار الذاتي AR(p) يعبر عن قيمة السلسلة الحالية Z_t بدلالة قيم السلسلة السابقة $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-p}$ وقيمة الخطأ الحالية a_t والصيغة العامة لهذا النموذج من الرتبة p ويرمز لها AR(p) هي :-

$$Z_t = \phi_t + \phi Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \quad \dots(3-7)$$

²⁵ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أخصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \quad \text{أو بصيغة الانحرافات}$$

حيث أن $\phi_0 + \phi_1 + \dots + \phi_p$ تمثل معاملات نموذج الانحدار الذاتي ، p تمثل رتبة الانحدار الذاتي a_t يمثل الخطأ العشوائي الذي يتبع التوزيع الطبيعي بمتوسط حسابي صفر وتباين σ^2 ثابت أي أن $a_t \sim WN(0, \sigma^2)$ وأنها مستقلة عن قيم Z_t وأن :-

$$1 - E(a_t) = 0 \quad 2 - E(a_t^2) = \sigma_a^2 \quad 3 - E(a_t a_s) = 0, t \neq s \quad 4 - E(a_t z_{t-s}) = 0$$

فإذا كانت $p = 1$ يطلق على النموذج نموذج الانحدار الذاتي من الرتبة الأولى $AR(1)$ وأن

$$Z_t = \phi_0 + \phi_1 Z_{t-1} + a_t \quad \text{-: الصيغة الرياضية لهذا النموذج}$$

وعند استخدام عامل الإزاحة للخلف B نحصل على

$$Z_t = \phi_0 + \phi_1 B Z_t + a_t :$$

$$(1 - \phi_1 B) Z_t = \phi_0 + a_t \quad \text{أي أن}$$

ويمتاز هذا النموذج بالخصائص التالية :-²⁶

(1) المتوسط

$$E(Z_t) = \frac{\phi_0}{1 - \phi_1 B} + (1 - \phi_1 B) E(a_t) = \frac{\Phi_0}{1 - \phi_1 B}$$

$$\mu = \phi_0 (1 - \phi_1)^{-1} \quad \dots(3-8)$$

(2) التباين

$$\text{var}(Z_t) = E(Z_t)^2 = \frac{\sigma^2 u}{1 - \phi_1^2}$$

²⁶ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$\gamma_0 = \frac{\sigma^2 u}{1 - \phi_1^2} \dots (3-9)$$

ولكي يكون المتوسط ثابت والتباين ثابت وغير سالب يجب أن تكون قيمة $|\phi_1| < 1$ وهو ما يسمى بشرط الاستقرار في النموذج AR(1) .

(3) التغيرات المشتركة

$$\gamma_k = \text{cov}(Z_t, Z_{t-k}) = E(Z_t, Z_{t-k}) - E(Z_t)E(Z_{t-k})$$

$$\gamma_k = E(Z_t, Z_{t-k}) = \Phi_1 \gamma_k$$

$$= \phi_1^k \gamma_0, k = 1, 2, \dots \dots (3-10)$$

(4) دالة الارتباط الذاتي (ACF)

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \phi_1^k, k = 1, 2, \dots \dots (3-11)$$

أما دالة الارتباط الجزئي (PACF) تكتب بالصيغة التالية لنموذج AR(1) :-²⁷

$$\phi_k = \begin{cases} 1 & , k = 0 \\ \phi_1 & , k = 1 \\ 0 & , k \geq 2 \end{cases} \dots (3-12)$$

أما إذا كانت $p = 2$ يطلق على النموذج بنموذج الانحدار الذاتي من الرتبة الثانية AR(2) والصيغة الرياضية له هي :-

$$Z_t = \phi_0 + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + a_t \dots (3-13)$$

وباستخدام عامل الازاحة للخلف **B** نحصل على

²⁷ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$Z_t = \phi_0 + \phi_1 B Z_t + \phi_2 B^2 Z_t + a_t$$

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2) Z_t = \phi_0 + a_t \quad \text{أي أن}$$

ويمتاز هذا النموذج بالخصائص التالية :-²⁸

1- الوسط

$$E(Z_t) = \frac{\phi_0}{1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2} + \frac{1}{1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2} E(a_t)$$

...(3-14)

2- التباين

$$\text{var}(Z_t) = \gamma_0 = E Z_t^2 = E(a_t + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2})^2$$

$$\gamma_0 = \phi_1 \gamma_1 + \phi_2 \gamma_2 + \sigma u^2$$

وأن :

$$\gamma_k = \phi_1 \gamma_{k-1} + \phi_2 \gamma_{k-2}, k = 1, 2, \dots \dots (3-15)$$

3- دالة الارتباط الذاتي (ACF)

$$\gamma_k = \phi_1 \gamma_{k-1} + \phi_2 \gamma_{k-2} \quad \text{بما أن}$$

$$\rho_k = \phi_1 \rho_{k-1} + \phi_2 \rho_{k-2} \quad \text{وبالقسمة على } \gamma_0 \text{ نحصل على :}$$

$$\rho_1 = \frac{\phi_1}{1 - \phi_2} \quad \text{وعليه فإن}$$

²⁸ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

(2-5-3) نموذج المتوسطات المتحركة (Moving Average Model) :-²⁹

يتم التعبير في نموذج المتوسطات المتحركة عن قيمة السلسلة الكلية Z_t بدلالة القيمة الحالية للأخطاء a_t والأخطاء السابقة $a_{t-1}, a_{t-2}, \dots, a_{t-q}$ وقيم المعلمات وأن الصيغة الرياضية لهذا النموذج من الرتبة θ ويرمز لها بالرمز MA(q) هي :-

$$Z_t = \theta_0 + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \dots (3-16)$$

حيث أن $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ تمثل معلمات نموذج المتوسط المتحرك ، θ_0 ثابت .

$a_t, a_{t-1}, \dots, a_{t-q}$ تمثل الأخطاء العشوائية .

q تمثل عدد قيم الأخطاء العشوائية السابقة المستخدمة في النموذج .

فإذا كانت $q=1$ يطلق على النموذج نموذج المتوسط المتحرك من الرتبة الأولى MA(1)

وصيغته الرياضية هي :-

$$Z_t = \theta_0 + a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

وعند استخدام معامل التأخير B نحصل على :-

$$Z_t = \theta_0 + (1 - \theta_1 B) a_t$$

ويمتاز هذا النموذج بالخصائص التالية :-

(1) الوسط

$$E(Z_t) = \theta_0 + (1 - \theta_1 B) E(a_t)$$

²⁹ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$= \theta_0 = \mu, E(a_t) = 0 \quad \dots(3-17)$$

(2) التباين

$$\text{var}(Z_t) = E(\theta_0 + a_t - \theta_1 a_{t-1})^2$$

$$= E(a_t)^2 + \theta_1^2 E(a_{t-1})^2$$

$$\sigma^2 a + \theta_1^2 \sigma_a^2 = (1 + \theta_1^2) \sigma_a^2 = \gamma_0 \quad \dots(3-18)$$

(3) التغاير المشترك

$$\text{cov}(Z_t, Z_{t-1}) = \text{cov}(\theta_0 + a_t - \theta_1 a_{t-1}, \theta_0 + a_{t-1} - \theta_1 a_{t-2})$$

$$= -\theta_1 E(a_{t-1})^2$$

$$= -\theta_1 \sigma_a^2 = \gamma_1 \quad \dots(3-19)$$

$$\text{cov}(Z_t, Z_{t-k}) = 0, k \geq 2 \quad \text{وأن}$$

(4) دالة الارتباط الذاتي (ACF) تكتب بالصيغة التالية :-³⁰

$$\rho_k = \begin{cases} 1 & , k = 0 \\ \frac{-\theta_1}{1 + \theta_1^2} & , k = 1 \\ 0 & , k \geq 2 \end{cases} \quad \dots(3-20)$$

وأن نموذج MA(1) هو مستقر ولكي يحقق القابلية على الانعكاس يجب أن تكون قيمة $|\theta_1| < 1$

³⁰ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

أما إذا كانت $q = 2$ فيطلق على النموذج بنموذج المتوسط المتحرك من الرتبة الثانية MA

(The second order moving average model) (2) وصيغته الرياضية هي :-³¹

$$Z_t = \theta_0 + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2}$$

أو

$$Z_t = \theta_0 + (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) a_t$$

ويمتاز هذا النموذج بالخصائص التالية :-

(1) الوسط

$$E(Z_t) = E(\theta_0 + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2})$$

$$\mu = \theta_0 \quad \dots(3-21)$$

(2) التباين

$$\text{var}(Z_t) = \text{var}(\theta_0 + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2})$$

$$= \sigma_a^2 + \theta_1^2 \sigma_a^2 + \theta_2^2 \sigma_a^2$$

$$= (1 + \theta_1^2 + \theta_2^2) \sigma_a^2 = \gamma_0 \quad \dots(3-22)$$

(3) التغاير المشترك

$$\text{cov}(Z_t, Z_{t-1}) = (-\theta_1 + \theta_1 \theta_2) \sigma_a^2$$

³¹ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$\text{cov}(Z_t, Z_{t-2}) = \theta_2 \sigma_a^2, k > 2 \quad \dots(3-23)$$

4) دالة الارتباط الذاتي (ACF) تكتب على الصيغة التالية :-³²

$$\rho_k = \begin{pmatrix} 1 & , & k = 0 \\ \frac{-\theta_1 + \theta_1 \theta_2}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2} & , & k = 1 \\ \frac{-\theta_2}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2} & , & k = 2 \\ 0 & , & k \geq 3 \end{pmatrix} \quad \dots(3-24)$$

وعند اعادة كتابة المعادلة باستخدام معامل التأخير B نحصل على :

$$Z_t = \theta_0 + (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$$

$$Z_t = \theta_0 + \theta_q(B) a_t \quad \text{او}$$

حيث ان :

$$\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$$

³² محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

وعليه فان دالة الارتباط الذاتي (ACF) تصبح معادلتها كما يلي :-

$$P_k = \begin{cases} \frac{(\theta_k + \theta_1\theta_{k+1} + \dots + \theta_{q-k}\theta_q)}{1 + \theta_1^2 + \theta_2^2 + \dots + \theta_q^2} , k = 1, 2, 3, \dots, q \\ 0 , k > q \end{cases} \dots(3-25)$$

33 (3-5-3) نموذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة:

(Autoregressive Moving Average Model) ARMA(p, q)

في بعض الظواهر لا يمكن التعبير عن السلسلة الزمنية بصيغة الانحدار الذاتي (AR(p) فقط أو صيغة المتوسطات المتحركة (MA(q) فقط وانما يمكن التعبير عنها بواسطة نموذج يدمج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة وهو نموذج مركب يحتوي على خصائص الانحدار الذاتي وخصائص المتوسطات المتحركة وفي هذا النموذج يعبر عن القيمة الحالية للسلسلة الزمنية Z_t بدلالة القيم المستقبلية للسلسلة الزمنية $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-p}$ والقيمة الحالية للاخطاء a_t والقيم السابقة للاخطاء $a_{t-1}, a_{t-2}, \dots, a_{t-q}$ ومعلمات النموذج ويرمز له بالرمز (p,q) ARMA(, حيث ان P تمثل رتبة الانحدار الذاتي و q تمثل رتبة المتوسط المتحرك وان الصيغة الرياضية لهذا النموذج هي :-

$$Z_t = \delta + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

$$Z_t - \phi_1 B Z_t - \phi_2 B^2 Z_t - \dots - \phi_p B^p Z_t = \delta + a_t - \theta_1 B a_t - \theta_2 B^2 a_t - \dots - \theta_q B^q a_t$$

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) Z_t = \delta + (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) a_t$$

³³ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

حيث ان

$$\phi_p(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

وأن

$$\theta_q(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$$

فاذا كانت $p=q=1$ فاننا نحصل على نموذج الانحدار الذاتي - المتوسط المتحرك من الرتبة

(1,1) اي ARMA(1,1) حيث أن الصيغة الرياضية له تكون كما يلي :-

$$Z_t = \delta + \phi_1 Z_{t-1} + a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

أو

$$(1 - \phi_1 B)Z_t = \delta + (1 - \theta_1 B)a_t$$

حيث أن δ ثابت وان ϕ_1 هي معلمة الانحدار الذاتي ، θ_1 هي معلمة المتوسط المتحرك

a_t متغير عشوائي

ويمتاز هذا النموذج بالخصائص التالية :-³⁴

(1) الوسط

$$Z_t = \frac{\delta}{1 - \phi_1 B} + \frac{1 - \theta_1 B}{1 - \phi_1 B} a_t$$

³⁴ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$\therefore E(\mathbf{Z}_t) = \frac{1 - \theta_1 B}{1 - \phi_1 B} E(a_t)$$

$$\therefore \delta = \mu(1 - \phi_1 B) \quad \dots(3-26)$$

(2) التباين والتغاير المشترك

$$\gamma_0 = \text{var}(\mathbf{Z}_t) = E(\mathbf{Z}_t)^2 = E(\delta + \phi_1 \mathbf{Z}_{t-1} + a_t - \theta_1 a_{t-1})^2$$

$$\gamma_0 = \phi_1^2 \gamma_0 + \sigma_u^2 + \theta_1^2 \sigma_u^2 - 2\theta_1 \phi_1 \sigma_u^2$$

$$\gamma_0 = \frac{(1 + \theta_1^2 - 2\phi_1 \theta_1)}{1 - \phi_1^2} \sigma_u^2$$

$$\gamma_k = \phi_k \gamma_{k-1}, k \geq 2 \quad \dots(3-27)$$

(3) دالة الارتباط الذاتي ACF تعطى بالصيغة الرياضية التالية :-

$$\rho_k = \begin{cases} \frac{(1 - \phi_1 \theta_1)(\phi_1 - \theta_1)}{1 + \theta_1^2 - 2\phi_1 \theta_1}, & k = 1 \\ \phi_k, & k \geq 2 \end{cases} \quad \dots(3-28)$$

(6-3) مراحل تحليل السلاسل الزمنية:³⁵

يتم تحليل السلاسل الزمنية باستخدام نماذج بوكس - جنكنز على مراحل متسلسلة هي :-

³⁵ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

(1-6-3) مرحلة التشخيص (Identification stage) :-³⁶

تعتبر مرحلة التشخيص مرحلة أساسية وهامة في بناء نموذج السلسلة الزمنية حيث يتم تحديد نوع ورتبة النموذج ، أي ان مرحلة التشخيص تشمل على معرفة نوع النموذج ورتبته فيما اذا كان $AR(p)$ أو $MA(q)$ أو $ARMA(p,q)$ وكذلك اختبار رتبة النموذج من خلال تطبيق عدد من الاختبارات المعروفة أي معرفة (p) لنموذج $AR(p)$ و (q) لنموذج $MA(q)$ (p,q) لنموذج $ARMA(p,q)$.

نبدأ أولاً بالرسم البياني للبيانات الأصلية للسلسلة الزمنية والذي يبين طبيعة السلسلة من حيث خصائصها وسلوكها وعدم استقرارها في المتوسط والتباين ، حيث يجب معالجة هذه المشاكل قبل إجراء التحليل للسلسلة ، فإذا كانت السلسلة الزمنية غير مستقرة في متوسطها لوجود اتجاه عام فيجب تحديد رتبة الفروق (d) لكي تصبح السلسلة مستقرة ، أو استخدام تحويل الجزر التربيعي أو التحويلة اللوغاريتمية أو تحويله أخرى مناسبة اذا كان تباين السلسلة غير ثابت .

بعد الحصول على سلسلة مستقرة نقوم بتحديد درجة الانحدار الذاتي p ودرجة المتوسط المتحرك q ويتم ذلك بمقارنة دالة الارتباط الذاتي (ACF) أو دالة الارتباط الذاتي الجزئي $(PACF)$ أو دالة الارتباط الذاتي المعكوس $(LACF)$ الخاصة بتعبئة البيانات المتحاة مع الأشكال النظرية التي تلائم بيانات السلسلة محل قيد الدراسة حيث تختار النموذج المناسب .

ان لخبرة المحل دور كبير في اختيار النموذج بصورة عامة يمكن استخدام دالة الارتباط الذاتي (ACF) في تحديد المتوسط المتحرك $MA(q)$ حيث أن معاملات الارتباط الذاتي ρ_k لا تساوي صفر للقيم $k \leq q$ وصفر غير ذلك ، بينما تستخدم دالة الارتباط الذاتي الجزئي $(PACF)$ في

³⁶ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أخصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

تحديد الانحدار الذاتي $AR(p)$ ، حيث يعتبر اخر تباطؤ قبل أن توول PACF للصفر قيمة مثالية ل p ويبين الجدول أدناه بعض خصائص ACF و PACF لبعض النماذج كمؤشرات على اختيار النموذج .

الجدول رقم (2-3) يبين خصائص ACF و PACF لبعض النماذج .³⁷

النموذج	دالة الارتباط الذاتي (ACF)	دالة الارتباط الذاتي الجزئي (PACF)
AR(1)	تضاؤل تدريجي اسي أو متذبذب	$\rho_k = 0$ لكل قيم $k > 1$
AR(p)	تتضاءل تدريجيا	وجود تنبؤ خلال التنبؤات p و $\rho_k = 0$ لكل قيم $k > 1$
MA(1)	وجود نتوء موجب أو سالب عند التباطؤ الأول و $\rho_k = 0$ لكل قيم $k > 1$	تضاؤل تدريجي أو متذبذب
MA(q)	$\rho_k = 0$ لكل قيم $k > 1$	تضاؤل تدريجي أو متذبذب
ARMA(1,1)	تضاؤل تدريجي أسي أو متذبذب	تضاؤل متذبذب بداية من التباطؤ الأول
ARMA(p,q)	تضاؤل تدريجي ومتذبذب بداية من التباطؤ q	تضاؤل تدريجي أو متذبذب بداية من التباطؤ q

³⁷ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كما أن هناك بعض المعايير التي تستخدم للمقارنة بين النماذج لتحديد رتبة النموذج حيث يمكن استخدام معيار أكايكي (AIC) (Akaike's Information Criterion) وصيغته الرياضية هي :-

$$AIC = n \ln \sigma_a^2 + 2k \quad \dots(3-51)$$

أو معيار شوارتز - بيز (SBS) (Schwartz Bayesian Criterion) وصيغته الرياضية هي :

$$SBC = n \ln \sigma_a^2 + k \ln n \quad \dots(3-52)$$

حيث أن k تمثل عدد المعاملات المقدرة في النموذج .

أو معيار بيز (BIC) (Bayesian Information Criterion) وصيغته الرياضية هي :-

$$BIC = n \ln \sigma_a^2 - (n - m) \ln \left(1 - \frac{n}{m}\right) + \ln(n) + m \ln \left(\frac{\sigma_z^2}{\sigma_a^2} - 1\right) / m \quad \dots(3-53)$$

ويتم اختيار النموذج الذي يقابل أقل قيمة للمعايير اعلاه .

38 - (2-6-3) مرحلة التقدير (Estimation Stage) :-

بعد اتمام التعرف على النموذج أو مجموعة النماذج التي قد تلائم بيانات السلسلة قيد البحث ، نقوم بايجاد قيم تقديرية لمعاملات هذه النماذج والتي تمثل $\phi_i, i = 0, 1, 2, \dots, p$ في AR(p) و $\theta_i, 0, 1, 2, \dots, q$ في نموذج MA(q) و $\theta_i, i = 0, 1, 2, \dots, q$ في نموذج ARMA(p, q) .

³⁸ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

توجد طرق عديدة لتقدير هذه المعلمات ومن أكثر الطرق استخداما هي :-

(1) طريقة المربعات الصغرى (Least Square Method).

(2) طريقة الامكان الاعظم (Maximum Likelihood method).

(3-6-3) مرحلة الفحص والتدقيق (Diagnosis and Checking Stage) :-³⁹

يتم في هذه المرحلة فحص مدى صلاحية النماذج المختارة ، حيث نقوم باخضاع النموذج المختار لعدد من الاختبارات الاحصائية للتأكد من مدى ملائمة النموذج المختار لبيانات السلسلة ، أو بعبارة أخرى للتأكد من أن حد الخطأ لهذا النموذج مطابق لشروط حد التشويش الأبيض (White Noise) وعادة يتم فحص النموذج عن طريق معاملات الارتباط الذاتي ومعاملات الارتباط الذاتي الجزئي للبواقي في النموذج المقدر وليس لبيانات السلسلة الزمنية الأصلية ، حيث أن الصيغة الرياضية لمعامل الارتباط الذاتي للبواقي المقدر هي :-

$$\gamma_k(\hat{a}_t) = \frac{\sum_{t=1}^n \hat{a}_t \hat{a}_{t+k}}{\sum_{t=1}^n \hat{a}_t^2} \dots(3-54)$$

حيث يتم التأكد من استقلالية وعشوائية البواقي فيما بينها وأنها تتبع التوزيع الطبيعي بوسط

$$\gamma_k(\hat{a}_t) \square N \left[0, \frac{1}{n} \right] \text{ ، أي أن } \frac{1}{n} \text{ يساوي صفر وتباين ثابت هو } \frac{1}{n}$$

كذلك يتم استخدام اختبار حدي الثقة الذي ينص على أن معاملات الارتباط الذاتي للبواقي يجب

أن تقع بين حدي الثقة بمستوى احتمال 95% وصيغته الرياضية كالتالي :-

³⁹ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$P_r \left[\frac{-1.96}{\sqrt{n}} \leq \gamma_k(a_k) \leq \frac{1.96}{\sqrt{n}} \right] = 0.95$$

فعندما تتحقق الصيغة المذكورة أعلاه ، فإن ذلك يشير الى عشوائية معاملات الارتباط الذاتي

للبقاوي المقدرة وقد اقترح كلا من بوكس - وبيرس (1970) (Box and Pierce) صيغة

رياضية لمعرفة أن معاملات الارتباط الذاتي للبقاوي تتوزع توزيعا طبيعيا بمتوسط صفر وتباين

$$\frac{1}{n} \text{ وهي :-}$$

$$\chi^2_{L-p} = n \sum_{k=1}^m \gamma_k^2(\hat{a}_t) \chi^2_{(m-f)} \dots(3-55)$$

حيث أن n تمثل حجم العينة أو عدد مشاهدات السلسلة ، m تمثل أكبر تباطؤ ل k وتساوي

$$\left(\frac{n}{4}\right) , f \text{ تمثل عدد المعلمات المقدرة في النموذج. }^{40}$$

وتقارن قيمة χ^2_{L-p} مع قيمة χ^2 الجدولية بدرجة حرية (m-f) ، فاذا كانت قيمة χ^2_{L-p}

أصغر من القيمة الجدولية ، دل ذلك على أن معاملات الارتباط الذاتي للبقاوي لها توزيع

عشوائي وأن النموذج المختار ملائم للبيانات قيد الدراسة .

وقد اقترح (1978) (Box -Ljung) اختبارا أكثر كفاءة وتطورا وصيغته الرياضية هي :-

$$\chi^2_{L-B} = n(n+2) \sum_{k=1}^m \frac{\gamma_k^2(\hat{a}_t)}{n-k} \chi^2(m-f) \dots(3-56)$$

⁴⁰ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

وتقارن قيمة χ^2_{L-B} مع قيمة χ^2 الجدولية بدرجة حرية (m-f) فإذا كانت قيمة χ^2_{L-B} أقل من قيمة χ^2 الجدولية ، دل ذلك على أن معاملات الارتباط الذاتي للبواقي لها توزيع عشوائي وأن النموذج المختار ملائم للبيانات قيد البحث .

ومن الاختبارات الأخرى اختبار مقدم (Mokkadem Test) وهو أسلوب جديد في عملية الاختبار حيث أعتمد على الحقيقة الرياضية المبنية على اساس أن دالة الكثافة الطيفية (Spectral density function) لسلسلة الأخطاء العشوائية المستقلة يكون لها الشكل التالي الذي يتصف بالثبات :⁴¹

$$f(w) = \frac{1}{2\pi}, -\pi < w < \pi$$

وأن اختبار مقدم (Mokkadem) يعتمد على الفرضية التالية :-

$$H_0 : f(w) = \text{constant}$$

$$H_1 : f(w) \neq \text{constant}$$

وأن الصيغة الرياضية للاختبار كالآتي :-

$$\hat{T}_{mok.} = \frac{1}{\gamma_0^2} \sum_{k=1}^m \gamma_k^2 \quad \dots(3-57)$$

حيث تستخدم قيمة T كما يلي :-

$$T = \log \left| \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} p(w) dw \right| - \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log |p(w)| dw$$

⁴¹ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

وتقديرها \hat{T} وكما في الصيغة التالية :-⁴²

$$\hat{T} = \log \left| \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \hat{p}(w) dw \right| - \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log |\hat{p}(w)| dw$$

$$\hat{p}(w) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-n}^n \hat{\gamma}_k e^{-ikw}$$

$$\hat{T} = \log \left(\frac{\hat{\gamma}_0}{2\pi} \right) - \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \log |\hat{p}(w)| dw$$

وتكون الصيغة العملية للمعادلة أعلاه كما في المعادلة (3-57) وهي :-

$$\hat{T} = \frac{1}{\hat{\gamma}_0^2} \sum_{k=1}^m \hat{\gamma}_k^2$$

وتقارن قيمة \hat{T}_{mok} مع قيمة t_a الجدولية ، حيث أن الصيغة الرياضية لها هي :-

$$t_a = \frac{\sqrt{2m(1-a)}}{\Phi_n} + \frac{n}{m} \quad \dots(3-58)$$

علما أن t_a تمثل مستوى الدلالة ، n تمثل أكبر تباطؤ ل n, k عدد المشاهدات و Φ_n تستخرج من جداول التوزيع الطبيعي المعياري .

ولغرض الاختيار اذا كانت قيمة \hat{T}_{mok} أقل من قيمة t_a تقبل فرضية العدم وترفض البديلة أي أن الأخطاء تتوزع توزيعا عشوائيا وأن دالة الكثافة الطيفية الخاصة بالبواقي ثابتة أي أن النموذج المشخص ملائم .

⁴² محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

(3-6-4) مرحلة التنبؤ (Forecasting stage) :-

بعد أن يتم تشخيص النموذج وتقدير معالمته وفحصه وتدقيقه ، يتم استخدامه في التنبؤ بالقيم المستقبلية للسلسلة الزمنية لمعرفة نمط وسلوك السلسلة وذلك عن طريق احلال القيم الحالية والماضية للمتغير التابع (Z_t) والبواقي a_t كقيم تقديرية لحد الخطأ وذلك للحصول على القيمة الأولى المنتبأ بها Z_{t+1} ، وهو مايسمى بالتنبؤ لفترة واحده ويمكن الحصول على القيمة المستقبلية Z_{t+2} باحلال القيمة المستقبلية الأولى Z_{t+1} في معادلة التنبؤ مع افتراض أن حد الخطأ خارج العينة للدالة يساوي صفر ، وهكذا حتى نصل للفترة المطلوبة .⁴³

وتوجد بعض المقاييس لاختبار دقة التنبؤ ، ومنها مقياس متوسط القيم المطلوبة للخطأ (Mean Absolute Error) (MAE) وصيغته الرياضية هي :-

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |a_t|}{n} \dots(3-59)$$

ومقياس متوسط القيم المطلقة لنسب الخطأ (Mean Absolute Percentage Error) (MAPE) وصيغته الرياضية هي :-

...(3-60)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|a_t|}{Z_t}}{n} \times 100$$

وكلما قلت قيمة المقياس كلما زادت دقة التنبؤ .

⁴³ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

(3-7) دوال التنبؤ باستخدام نماذج تحليل السلاسل الزمنية: - 44

إذا كانت لدينا سلسلة زمنية مشاهدة (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) وأن القيم المستقبلية المراد التنبؤ بها هي $(Z_{n+1}, Z_{n+2}, \dots)$ أو بشكل عام $(Z_n(\ell), \ell \geq 1)$ فإن خطأ التنبؤ (Forecast Error) $(e_n(\ell))$ يعرف بالصيغة الرياضية التالية :-

$$e_n(\ell) = Z_{n+\ell} - Z_n(\ell) \quad \dots(3-61)$$

حيث أن $Z_{n+\ell}$ تمثل القيمة المشاهدة ، $Z_n(\ell)$ تمثل القيمة المتنبأ بها .

ان نموذج الانحدار الذاتي والمتوسط المتحرك من الدرجة (p, q) ARMA يمكن كتابته كما يلي :-

$$Z_t - \mu = \sum_{j=0}^{\infty} \Psi_j a_{t-j}, a_t \sim WN(0, \sigma^2)$$

حيث أن $\Psi_0, \Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \dots$ تمثل الأوزان .

$$\Psi_0 = 1, \sum_{j=1}^{\infty} \Psi_j^2 < \infty$$

$$Z_t - \mu = a_{n+\ell} + \Psi_1 a_{n+\ell-1} + \Psi_2 a_{n+\ell-2} + \dots + \Psi_{\ell-1} a_{n+1} + \Psi_{\ell} a_n + \Psi_{\ell+1} a_{n-1} + \dots, \ell \geq 1$$

ويمكن كتابة القيم المشاهدة والمستقبلية لسلسلة زمنية بدلالة نموذج الأوزان كما يلي :-

$$Z_n(\ell) = \xi_0 a_n + \xi_2 a_{n+\ell-2} + \xi_2 a_{n-2} + \dots, \ell \geq 1$$

44 محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

ويمكن تعريف متوسط مربع الخطأ (Mean Square Error) بالصيغة الرياضية التالية :-

$$E [e_n(\ell)]^2 = E [\mathbf{Z}_{n+\ell} - \mathbf{Z}_n(\ell)]^2 \quad \dots(3-62)$$

$$= E [a_{n+\ell} + \Psi_1 a_{n+\ell-1} + \dots + \Psi_{\ell-1} a_{n+\ell} + (\Psi_\ell - \xi_0) a_n + (\Psi_{\ell+1} - \xi_1) a_{n-1} + \dots]$$

$$= (1 + \Psi_1^2 + \Psi_2^2 + \dots + \Psi_{\ell-1}^2) \sigma_a^2 + \sum_{j=0}^{\infty} (\Psi_{\ell+j} - \xi_j)^2 \sigma_a^2 \quad \dots(3-63)$$

وللحصول على متوسط مربع الخطأ الأدنى ينتج ذلك اذا حققت الأوزان ξ_j العلاقة التالية :-

$$\xi_j = \Psi_{\ell+j}, j = 0, 1, 2, \dots, \ell \geq 1$$

وعليه فان التنبؤات ذات متوسط مربع الخطأ الأدنى (MMSEF) (Minimum Mean)

تُعطى بالصيغة التالية :-⁴⁵ (Square Error Forecasts)

$$\dots (Z_n(\ell) = \Psi_\ell a_n + \Psi_{\ell+1} a_{n-\ell} + \Psi_{\ell+2} a_{n-2} + \dots, \ell \geq 1) \quad 3-64$$

نجد أن الصيغة المعطاه بالمعادلة (3-64) أعلاه غير عملية لايجاد التنبؤات للقيم المستقبلية

حيث أن (a_1, a_2, \dots, a_n) قيم لا يمكن قياسها ومشاهدتها لذلك نستخدم قيم السلسلة الزمنية

بدلا عنها ونستخدم الصيغة الشرطية التالية لايجاد قيم التنبؤات ذات متوسط

الخطأ الأدنى وتعطى بالصيغة الرياضية التالية :-

$$\mathbf{Z}_n(\ell) = E(\mathbf{Z}_{n+\ell} / \mathbf{Z}_n, \mathbf{Z}_{n-1}, \dots), \ell \geq 1 \quad \dots(3-65)$$

حيث ان :-

⁴⁵ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أخصاء – جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$E(\mathbf{Z}_{n+j} / \mathbf{Z}_n, \mathbf{Z}_{n-1}, \dots) = \begin{cases} \mathbf{Z}_{n+j} & , j \leq 0 \\ \mathbf{Z}_n(j) & , j > 0 \end{cases}$$

وان :-

$$E(a_{n+j} / a_n, a_{n-1}, \dots) = \begin{cases} a_{n+j} & , j \leq 0 \\ 0 & , j > 0 \end{cases}$$

(3-7-1) دالة التنبؤ لنموذج AR(P) :-⁴⁶

إذا كانت (z_1, z_2, \dots, z_n) تمثل سلسلة زمنية مشاهدة حتى الزمن (n) فإن الصيغة الرياضية للنموذج AR(P) بدلالة الأوزان هي :-

$$z_t = \mu + \phi_1(z_{t-1} - \mu) + \phi_2(z_{t-2} - \mu) + \dots + \phi_p(z_{t-p} - \mu) + a_t$$

وعندما يراد التنبؤ عن القيم المستقبلية $(z_{n+1}, z_{n+2}, \dots)$ أو $(z_{n+\ell}, \ell \geq 1)$ فإن قيم التنبؤات تعطى بالصيغة التالية :-

$$Z_n(\ell) = E(Z_{n+\ell} / Z_n, Z_{n-1}, \dots)$$

$$= \mu + E[\phi_1(Z_{n+\ell-1} - \mu) + \phi_2(Z_{n+\ell-2} - \mu) + \dots + \phi_p(Z_{n+\ell-p} - \mu) + a_{n+\ell} / Z_n, Z_{n-1}, \dots]$$

$$= \mu + \phi_1[Z_n(\ell-1) - \mu] + \phi_2[Z_n(\ell-2) - \mu] + \dots + \phi_p[Z_n(\ell-p) - \mu] \quad \dots(3-66)$$

فعندما تكون $p = 1$ فمن المعادلة السابقة نجد أن دالة التنبؤ ذات متوسط مربع الأخطاء الأدنى للنموذج AR(1) هي :

⁴⁶ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$Z_n(\ell) = \mu + \phi_1[Z_n(\ell-1) - \mu], \ell \geq 1$$

وعندما تكون $p = 2$ فمن المعادلة نجد أن دالة التنبؤ ذات متوسط مربع الأخطاء الأدنى للنموذج AR(2) هي :

$$Z_n(\ell) = \mu + \phi_1[Z_n(\ell-1) - \mu] + \phi_2[Z_n(\ell-2) - \mu], \ell \geq 1$$

(3-7-2) دالة التنبؤ لنموذج MA(q) :-⁴⁷

إذا كانت (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) تمثل سلسلة زمنية مشاهدة حتى الزمن (n) فإن الصيغة الرياضية للنموذج MA(q) بدلالة الأوزان هي :-

$$Z_t = \mu + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

وعندما يراد التنبؤ عن القيم المستقبلية $(Z_{n+1}, Z_{n+2}, \dots)$ أو $Z_{n+\ell}, \ell \geq 1$ فإن قيم التنبؤات تعطى بالصيغة التالية :

$$Z_n(\ell) = E(Z_{n+\ell} / Z_n, Z_{n-1}, \dots)$$

$$= \mu + E(a_{n+\ell} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) - \theta_1 E(a_{n+\ell-1} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) - \theta_2 E(a_{n+\ell-2} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) - \dots - \theta_q E(a_{n+\ell-q} / Z_n, Z_{n-1}, \dots)$$

$$= \begin{cases} \mu - \theta_1 a_n, & \ell = 1 \\ \mu, & \ell \geq 2 \end{cases}$$

(3-7-3) دالة التنبؤ لنموذج ARMA(p,q) :-

إذا كانت (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) تمثل سلسلة زمنية مشاهدة حتى الزمن (n) فإن الصيغة الرياضية للنموذج ARMA(p,q) بدلالة الأوزان تكون كما يلي :-

⁴⁷ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$Z_t = \mu + \phi_1(Z_{t-1} - \mu) + \phi_2(Z_{t-2} - \mu) + \dots + \phi_p(Z_{t-p} - \mu) + a_t + \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

وعندما يراد التنبؤ عن القيم المستقبلية $(Z_{n+1}, Z_{n+2}, \dots)$ أو $Z_{n+\ell}, \ell \geq 1$ ، فإن قيم التنبؤات تعطى

$$Z_n(\ell) = E(Z_{n+\ell} / Z_n, Z_{n-1}, \dots), \ell \geq 1 \quad \text{-: بالصيغة التالية :-}$$

$$\begin{aligned} &= \mu + \phi_1 E[(Z_{n+\ell-1} - \mu) / Z_n, Z_{n-1}, \dots] + \phi_2 E[(Z_{n+\ell-2} - \mu) / Z_n, Z_{n-1}, \dots] + \phi_p E[(Z_{n+\ell-p} - \mu) / Z_n, Z_{n-1}, \dots] + E[(a_{n+\ell} - \mu) / Z_n, Z_{n-1}, \dots] \\ &\quad - \theta_1 E[a_{n+\ell-1} / Z_n, Z_{n-1}, \dots] - \theta_2 E[a_{n+\ell-2} / Z_n, Z_{n-1}, \dots] - \dots - \theta_q E[a_{n+\ell-q} / Z_n, Z_{n-1}, \dots] \end{aligned}$$

....(3-67)

$$= \mu + \phi_1 [Z_n(\ell-1) - \mu] + \phi_2 [Z_n(\ell-2) - \mu] + \dots + \phi_p [Z_n(\ell-p) - \mu] + \theta_1 a_{n+\ell-1} - \theta_2 a_{n+\ell-2} - \dots - \theta_q a_{n+\ell-q}, \ell \geq 1$$

فعندما تكون $p = q = 1$ فمن المعادلة السابقة نجد أن دالة التنبؤ ذات متوسط مربع الأخطاء

الأدنى لنموذج $ARMA(1,1)$ تعطى بالصيغة الرياضية التالية :-⁴⁸

$$Z_n(\ell) = \begin{cases} \mu + \phi_1(Z_n - \mu) - \theta_1 a_n, & \ell = 1 \\ \mu + \phi_1(Z_n(\ell-1) - \mu), & \ell \geq 2 \end{cases}$$

وعندما تكون $p = 2, q = 1$ فمن المعادلة نجد أن دالة التنبؤ ذات متوسط مربع الأخطاء الأدنى

لنموذج $ARMA(2,1)$ تعطى بالصيغة الرياضية الآتية :-

$$Z_n(\ell) = \begin{cases} \mu + \phi_1(Z_n - \mu) - \theta_1 a_n, & \ell = 1 \\ \mu + \phi_1(Z_n(\ell) - \mu) + \phi_2(Z_n - \mu), & \ell = 2 \\ \mu + \phi_1(Z_n(\ell-1) - \mu) + \phi_2(Z_n(\ell-2) - \mu), & \ell \geq 3 \end{cases} \quad \text{.....(3-68)}$$

⁴⁸ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير أحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

(3-7-4) دالة التنبؤ لنموذج $ARIMA(p,d,q)$ -: 49

إن أسلوب التنبؤ في السلاسل الزمنية الساكنة يمكن استخدامه في التنبؤ للسلاسل الزمنية غير الساكنة لإيجاد تنبؤات ذات متوسط مربع الأخطاء الأدنى حيث نستخدم الفروق W_t بدلا من Z_t حيث أن هدفنا هو التنبؤ بقيم Z_{n+l} وليس بالفروق W_{n+l} فإننا نحصل على التنبؤ بقيم Z_{n+l} بدلالة قيم a_t, z_t

نفرض أن Z_1, Z_2, \dots, Z_n تمثل سلسلة زمنية مشاهدة حتى الزمن (n) فإن الصيغة الرياضية لنموذج $ARIMA(p,d,q)$ تكتب بالصيغة الآتية :-

$$\phi_p(B) \nabla_{z_t}^d = \mu + \theta_q(B) a_t$$

فعندما $p=0, d=q=1$ أي نموذج $ARIMA(0,1,1)$ فإن النموذج يكتب بالصيغة الرياضية الآتية :-

$$Z_t = Z_{t-1} + \mu + a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

وأن القيم المستقبلية المتنبأ بها Z_{n+1}, Z_{n+2}, \dots تكتب على الصيغة التالية :-

$$Z_n(\ell) = E(Z_{n+1} / Z_n, Z_{n-1}, \dots), \ell \geq 1$$

$$= \mu + E(Z_{n+\ell-1} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) + E(a_{n+\ell} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) - \theta_1 I(a_{n+\ell-1} / Z_n, Z_{n-1}, \dots)$$

$$= \mu + Z_n(\ell-1) - \theta_1 a_n, \ell \geq 1$$

$$= \begin{cases} \mu + Z_n - \theta_1 a_n, & \ell = 1 \\ Z_n(\ell) + \mu(\ell-1), & \ell \geq 2 \end{cases} \dots (3-69)$$

49 محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

وعندما يكون $p = d = 1, q = 0$ أي نموذج $ARIMA(1,1,0)$ فإن النموذج يكتب بالصيغة الرياضية الآتية :-

$$\phi_1(B)\nabla Z_t = \mu + a_t$$

$$(1 - \phi_1 B)(Z_t - Z_{t-1}) = \mu + a_t$$

$$Z_t = \mu + Z_{t-1} + \phi_1 Z_{t-1} - \phi_2 Z_{t-2} + a_t$$

وأن القيم المستقبلية المتنبأ بها Z_{n+1}, Z_{n+2}, \dots فنكتب على الصيغة التالية :-⁵⁰

$$Z_n(\ell) = E(Z_{n+\ell} / Z_n, Z_{n-1}, \dots)$$

$$\begin{aligned} &= \mu + E(Z_{n+\ell-1} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) + \phi_1 E(Z_{n+\ell-1} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) - \phi_1 E(Z_{n+\ell-2} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) + E(a_{n+\ell} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) \\ &= \mu + Z_n(\ell-1) + \phi_1 Z_n(\ell-2), \ell \geq 1 \end{aligned}$$

$$= \begin{cases} \mu + Z_n + \phi_1 Z_n, & \ell = 1 \\ \mu + (1 + \phi_1) Z_n(\ell-1) - \phi_1 Z_n(\ell-2), & \ell \geq 2 \end{cases} \dots (3-70)$$

وعندما تكون $p = d = q = 1$ أي نموذج $ARIMA(1,1,1)$ فإن النموذج يكتب لى الصيغة الرياضية التالية :-

$$\phi_1(B)\nabla Z_t = \mu + \theta_1(B)a_t$$

$$(1 - \phi_1 B)(Z_t - Z_{t-1}) = \mu + (1 - \theta_1 B)a_t$$

$$Z_t = \mu + Z_{t-1} + \phi_1 Z_{t-1} - \phi_1 Z_{t-2} + a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

⁵⁰ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

وأن القيم المستقبلية المنتبأ بها تكتب على الصيغة التالية :-

$$\begin{aligned}
 Z_n(\ell) &= E(Z_{n+\ell} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) \\
 &= \mu + E(Z_{n+\ell-1} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) + \phi_1 E(Z_{n+\ell-1} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) - \phi_1 E(Z_{n+\ell-2} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) + E(a_{n+\ell} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) - \phi_1 E(a_{n+\ell-1} / Z_n, Z_{n-1}, \dots) \\
 &= \mu + Z_n(\ell-1) + \phi_1 Z_n(\ell-2) - \theta a_{n+\ell-1, \ell \geq 1} \\
 &= \begin{cases} \mu + Z_n + \phi_1 Z_n - \theta_1 a_n & , \ell = 1 \\ \mu + (1 + \phi_1) Z_n(\ell-1) - \phi_1 Z_n(\ell-2) & , \ell \geq 2 \end{cases} \dots (3-71)
 \end{aligned}$$

إن دوال التنبؤ التي تم دراستها $z_n(\ell), \ell \geq 1$ تعطي قيمة واحدة فقط وتسمى بتنبؤ النقطة والذي لا يكفي أو يفيد في اتخاذ قرارات إحصائية عن الظاهرة العشوائية المدروسة لأن $p_r(z_{n+m} = z_n(m)) = 0$ تكون لبعض القيم وهذا يعني احتمال أن القيمة المستقبلية المراد التنبؤ عنها تساوي القيمة المعطاة من دالة التنبؤ تساوي الصفر وبالتالي لا فائدة من التنبؤ وللتغلب على ذلك نقوم بإيجاد ما سمي بتنبؤ الفترة وهي عبارة عن فترة مثل $[a, b]$ على خط الأعداد الحقيقية بحيث أن $p_r(a \leq z_{n+m} \leq b) = 1 - \alpha$ أي أننا حددنا درجة تأكدا من أن القيم المستقبلية المراد التنبؤ عنها تقع بين $[a, b]$ بدرجة احتمال $(1 - \alpha)$.⁵¹

إذا افترضنا أن المتغيرات العشوائية a_t لها توزيع معتدل أي أن $a_t \sim N(0, \sigma^2)$ وأن التوزيع الإحتمالي للتنبؤ عن $z_{n+\ell}$ هو توزيع معتدل وسطه الحسابي $z_n(\ell)$ وتباينه $v(e_n(\ell))$ فإن فترة التنبؤ للعينات الكبيرة عند مستوى ثقة $(1 - \alpha)\%$ للتنبؤ عن $z_{n+\ell}$ هي :-

$$Z_n(\ell) \pm Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{v(e_n(\ell))} \dots (3-72)$$

وبالاعتماد على المعادلة أعلاه يمكن إيجاد فترة التنبؤ لبعض النماذج ومنها :-

⁵¹ محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

1- فترة التنبؤ لنموذج AR(1) وعندما $\alpha = 0.05$ تعطى بالصيغة التالية :-

$$Z_n(\ell) \pm 1.96 \sqrt{\frac{1-\phi^{2\ell}}{1-\phi^2} \sigma_a^2} \dots (3-73)$$

2- فترة التنبؤ لنموذج MA(1) وعندما $\alpha = 0.05$ تعطى بالصيغة التالية :-

$$Z_n(\ell) \pm 1.96 \sqrt{(1+\theta_1^2) \sigma^2} \dots (3-74)$$

3- فترة التنبؤ لنموذج ARIMA(0,1,1) وعندما $\alpha = 0.05$ تعطى بالصيغة التالية :-⁵²

$$Z_n(\ell) \pm 1.96 \sqrt{\sigma^2 (1+(\ell-1)(1-\theta_1)^2)} \dots (3-75)$$

أما التنبؤ باستخدام نماذج الدوال الطيفية وعندما تكون قيم $t, t=1,2,\dots,n$ جوا، إذا كانت القيمة المراد التنبؤ بها أكبر من Z_n فإنه يمكن تمثيلها بالعلاقة التالية :-

$$t_p = kn + t'$$

حيث أن t' هو قيمة ل t ويكون $t' = 1,2,\dots,n$ وأن m عدد صحيح لا يساوي صفر وبما أن

$$\cos(w_i t_p) = \cos[w_i (mn + t')]$$

$$= \cos(w_i mn) \cos(w_i t') - \sin(w_i mn) \sin(w_i t')$$

وحيث أن m عدد صحيح لا يساوي صفر فإن :-

$$\cos(w_i mn) = \cos\left[2\left(\frac{i}{n}\right)mn\right] = 1$$

⁵² محمد عبدالله موسى محمد يونيو 2011 رسالة ماجستير إحصاء - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

$$\cos(w_i mn) = \sin[2(\frac{i}{n})mn] = 0$$

$$\cos(w_i t_p) = \cos(w_i t') = \cos(w_i t) \quad \dots(3-76) \quad \text{إذن :}$$

وهذا يعني عندما يراد التنبؤ لأي قيمة أكبر من n فإن التنبؤ في تلك النقطة $t_p = kn + t'$ سيكون مساويا إلى القيمة في النقطة $t = t'$ لان ذلك ناتج الدورية في النموذج .

(3-8) اتجاهات أخرى في تحليل السلاسل الزمنية :-⁵³

لغرض اعطاء صورة شاملة لتحليل السلاسل الزمنية لا بد من الإشارة الى وجود أساليب أخرى لتحليل السلاسل الزمنية تعتمد على نوعية السلسلة الزمنية سنذكر في الآتي أهمها وبشكل مختصر :-

(3-8-1) السلاسل الزمنية الموسمية (Seasonal time series) :

تعتبر السلسلة الزمنية سلسلة موسمية إذا كانت تعيد نفسها كل فترة زمنية ثابتة أي أن :

$$Z_t = Z_t + S \quad , \quad \text{حيث أن } S \text{ تمثل طول الموسم}$$

ويمكن تمييز السلاسل الزمنية الموسمية من خلال معاملات الارتباط الذاتي التي تكون معنوية عند الفترات الزمنية $S, 2S, 3S, \dots$ وعندما تكون السلسلة الزمنية غير مستقرة ، يجب تحويلها إلى سلسلة زمنية مستقرة وذلك بأخذ الفروق الموسمية وأن رتبة هذه الفروق تساوي طول الدورة الموسمية ومن هذه النماذج ما يلي :-

⁵³ عدنان عبدالرحمن ماجد(2002)، طرق التنبؤ الإحصائي، الجزء الأول ، جامعة الملك سعود - كلية العلوم قسم الإحصاء وبحوث العمليات

(3-8-1-1) نموذج الانحدار الذاتي الموسمي (Seasonal Autoregressive Model)

54:(SAR)

يقال للنموذج أنه نموذج انحدار ذاتي موسمي من الرتبة P إذا كانت المشاهدة Z_t عبارة عن دالة في مشاهدة السلسلة التي حصلنا عليها في نفس الموسم من السنوات السابقة المختلفة (Z_{t-s}) ويرمز له بالرمز $SAR(p)$ ، حيث أن الصيغة الرياضية لهذا النموذج هي :-

$$\phi_p(B^S)\nabla_S^D\nabla^d Z_t = \delta + a_t \dots(3-77)$$

$$\phi_p(B^S) = 1 - \phi_1 B_1^S - \phi_2 B_2^{2S} - \dots - \phi_p B_p^{pS} \quad \text{حيث أن}$$

وأن $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ تمثل معاملات الانحدار الذاتي الموسمي ، D رتبة الفروق الموسمية ، d رتبة الفروق المتتالية ، ∇_S^D مؤثر الفروق الموسمية ، و ∇^d مؤثر الفروق المتتالية . وتمتاز هذه النماذج بأن دالة الارتباط الذاتي ACF لهذه النماذج SAR تشابه دالة الارتباط الذاتي للنماذج اللاموسمية حيث أن الاختلاف الوحيد هو ظهور قيم معاملات الارتباط الذاتي في نماذج SAR عند الفجوات الزمنية $S, 2S, 3S, \dots$ ، أي مضاعفات طول الدورة الموسمية (S) وتكون معنوية وتختلف عن الصفر ، كما أن دالة الارتباط الجزئي $(PACF)$ لنماذج (SAR) تشابه دالة الارتباط الذاتي الجزئي للنماذج اللاموسمية حيث نجد أن معاملات الارتباط الذاتي الجزئي لنماذج SAR تساوي الصفر بعد (SK) .

⁵⁴ عدنان عبدالرحمن ماجد(2002)، طرق التنبؤ الإحصائي، الجزء الأول ، جامعة الملك سعود - كلية العلوم-قسم الإحصاء وبحوث العمليات

(3-8-1-2) Seasonal Moving المتحركة الموسمي

55 - Average Model(SMA)

يقال للنموذج أنه نموذج متوسط متحرك موسمي من الرتبة (Q) إذا أمكن التعبير عن المشاهدة الحالية Z_t كدالة في الخطأ العشوائي الحالي a_t والأخطاء العشوائية السابقة التي حدثت في نفس المواسم من السنوات السابقة ويرمز له بالرمز $SMA(Q)s$ ، حيث أن الصيغة الرياضية لهذا النموذج هي :-

$$\nabla_s^D \nabla^d Z_t = \delta + \Theta_Q (B^S) a_t \quad \dots(3-78)$$

$$\Theta_Q (B^S) = 1 - \Theta_1 B^S - \Theta_2 B^{2S} - \dots - \Theta_Q B^{QS} \quad \text{حيث أن:}$$

$\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_Q$ تمثل معاملات نموذج المتوسط المتحرك الموسمي ، Q تمثل رتبة نموذج

المتوسط المتحرك الموسمي .

كما أن سلوك دالة الارتباط الذاتي والجزئي لنماذج SMA تشبه سلوك دالة الارتباط الذاتي والجزئي للنماذج اللاموسمية عدا ظهور قيم معاملات الارتباط الذاتي عند فجوات زمنية تتساوى مع مضاعفات طول الدورة الموسمية (S) .

⁵⁵ عدنان عبدالرحمن ماجد(2002)، طرق التنبؤ الإحصائي، الجزء الأول ، جامعة الملك سعود - كلية العلوم قسم الإحصاء وبحوث العمليات

(3-1-8-3) Seasonal Autoregressive Moving Average Model (SARMA):-

Autoregressive Moving Average Model (SARMA):-

عند دمج نموذج الانحدار الذاتي الموسمي مع النموذج المتوسط المتحرك الموسمي نحصل على

نموذج مركب يرمز له بالرمز SARMA(P,Q)s والصيغة الرياضية لهذا النموذج هي :-⁵⁶

$$\phi_p(B^s) \nabla_s^D \nabla^d Z_t = \delta + \Theta_q(B^s) a_t \quad \dots (3-79)$$

$$\phi_p(B^s) = 1 - \phi_1 B^s - \phi_2 B^{2s} - \dots - \phi_p B^{ps} \quad \text{حيث أن:}$$

$$\Theta_q(B^s) = 1 - \Theta_1 B^s - \Theta_2 B^{2s} - \dots - \Theta_q B^{qs}$$

(4-1-9-3) Seasonal and Non-seasonal Autoregressive Moving Average Model):-

(Seasonal and Non-seasonal Autoregressive Moving Average Model):-

Model):-

عند دمج النماذج الموسمية مع النماذج غير الموسمية نحصل على النموذج الموسمي

المضاعف (Seasonal Multiplicative Model) حيث أن الصيغة الرياضية لهذا النموذج

هي :-

$$\phi_p(B) \phi_p(B^s) \nabla_s^D \nabla^d Z_t = \delta + \theta_q(B) \Theta_q(B^s) a_t \quad \dots (3-80)$$

⁵⁶ عدنان عبدالرحمن ماجد(2002)، طرق التنبؤ الإحصائي، الجزء الأول ، جامعة الملك سعود - كلية العلوم قسم الإحصاء وبحوث العمليات

ويرمز له بالرمز $SARIM(p,d,q) \times (P,D,Q)_s$ ، حيث P تمثل رتبة الانحدار الذاتي ، d درجة الفروق ، q رتبة المتوسطات المتحركة ، P الانحدار الذاتي الموسمي ، D رتبة المتوسطات المتحركة الموسمية ، و S تمثل طول الفترة الزمنية.⁵⁷

⁵⁷ عدنان عبدالرحمن ماجد(2002)، طرق التنبؤ الإحصائي، الجزء الأول ، جامعة الملك سعود - كلية العلوم قسم الإحصاء وبحوث العمليات

(0-4) تمهيد:

سوف يتم تطبيق جميع الأساليب التي تم التطرق إليها في الإطار النظري في الفصل الثالث للبحث وذلك بهدف بناء النموذج المطلوب والتأكد من الإفتراض الخاص به ثم إيجاد القيم التنبؤية للطاقة الكهربائية من الشركة السودانية للتوليد المائي .

(1-4) وصف البيانات :

جدول رقم (1-4) يوضح وصف الطاقة الكهرومائية:

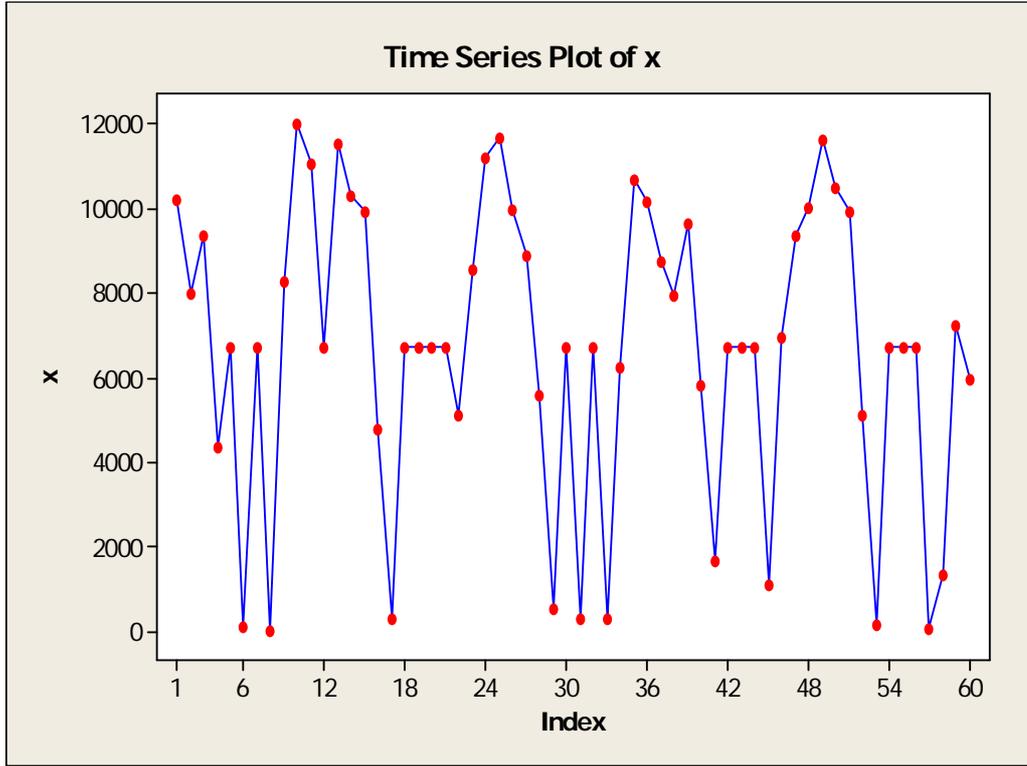
عدد البيانات	أقل قيمة	أعلى قيمة	المتوسط	الانحراف المعياري
60	31	11998	6727	3515

المصدر : إعداد الباحثين برنامج MINITAB

من الجدول رقم (1-4) بلغ متوسط التوليد المائي في الفترة من (2010-2014) م (6727) قيقا واط بانحراف معياري (3515) كما أن أقل قيمة (31) قيقا واط وأعلى قيمة (11998) .

- رسم السلسلة الزمنية :

- الشكل رقم (1-4) يوضح رسم السلسلة :



المصدر إعداد الباحثين برنامج MINITAB

- اختبار كفاية العينة :

وجد أن قيمة ($KMO = 0.50$) مما يدل على أن العينة كافية .

- بما أن حجم العينة أكبر من 30 عليه البيانات تتبع التوزيع الطبيعي .

(2-4) التحليل :-

لبناء نماذج بوكس جنكيز للسلسلة الزمنية المدروسة تم استخدام حزم SPSS و Minitab وفقا

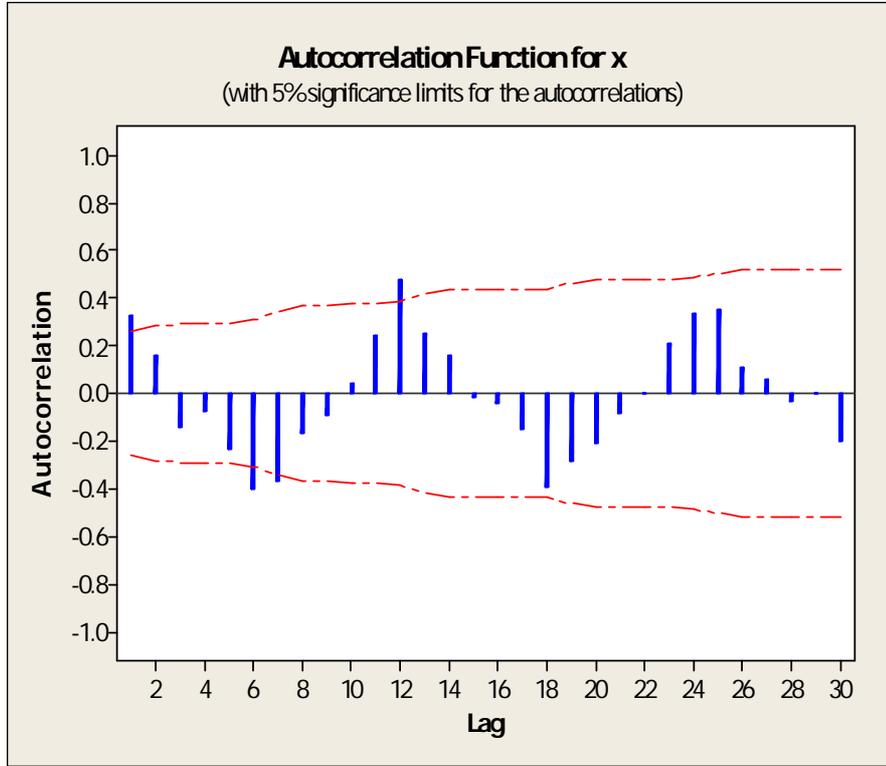
للخطوات التالية :

(1-2-4) اختبار السكون :-

فرض العدم : السلسلة الزمنية ساكنة (مستقرة)

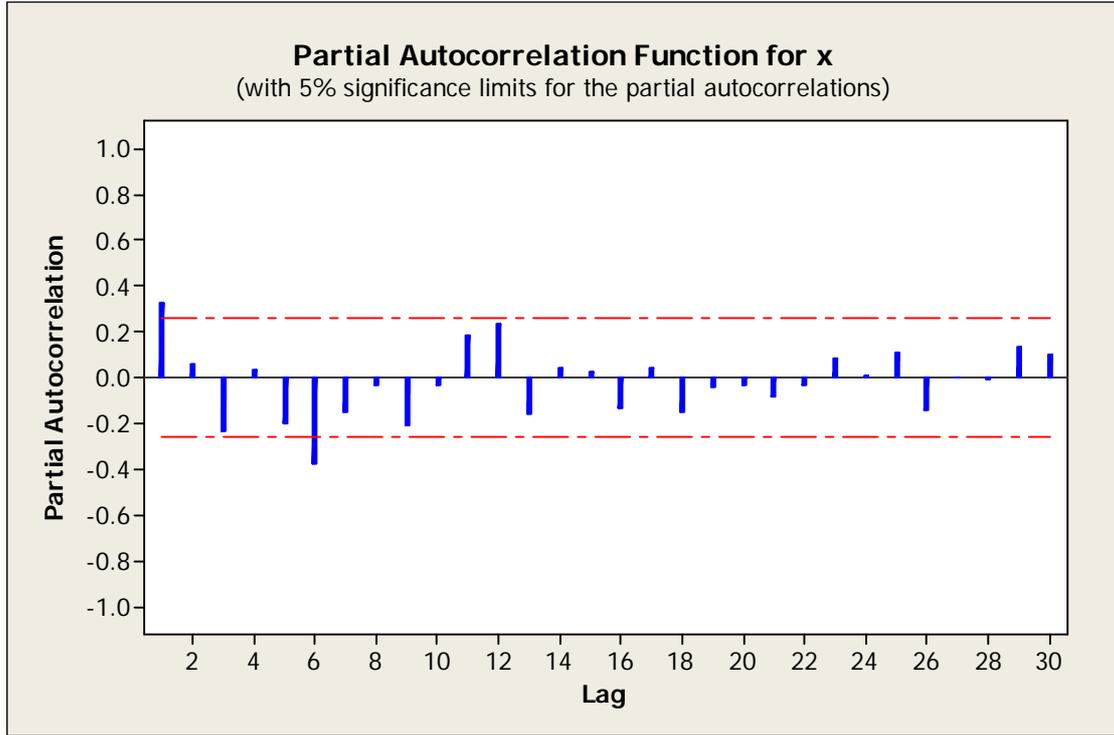
فرض البديل : السلسلة الزمنية غير ساكنة (غير مستقرة)

الشكل رقم (2-4) يوضح الارتباط الذاتي للسلسلة :



المصدر : إعداد الباحثين برنامج MINITAB

الشكل رقم (3-4) يوضح الارتباط الذاتي الجزئي للسلسلة

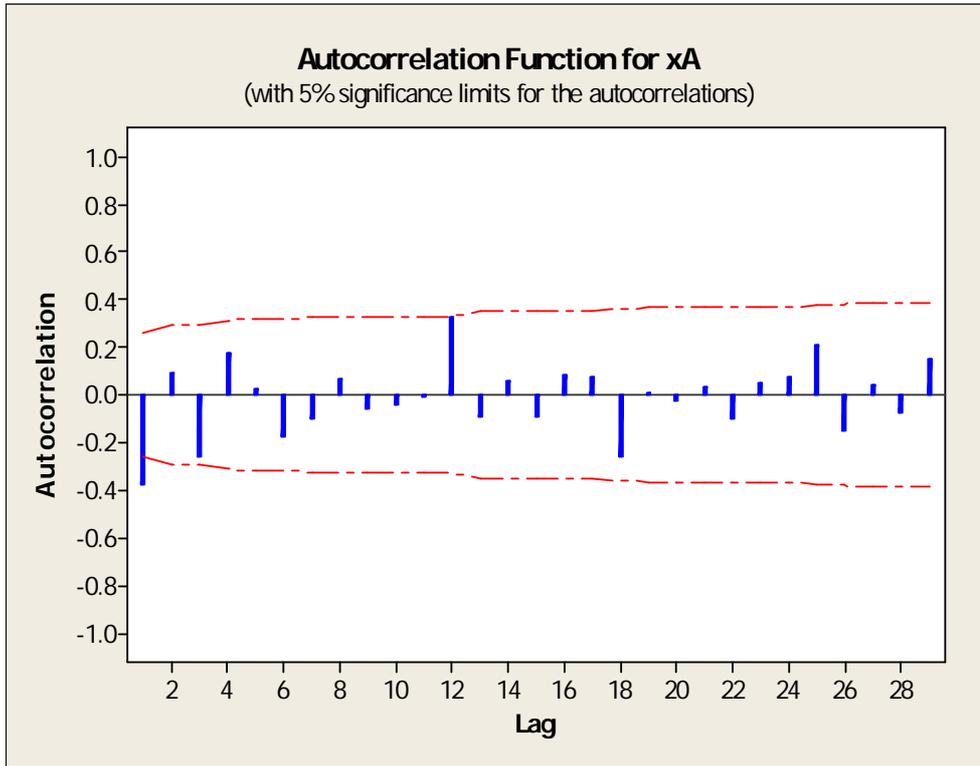


المصدر إعداد الباحثين برنامج MINITAB

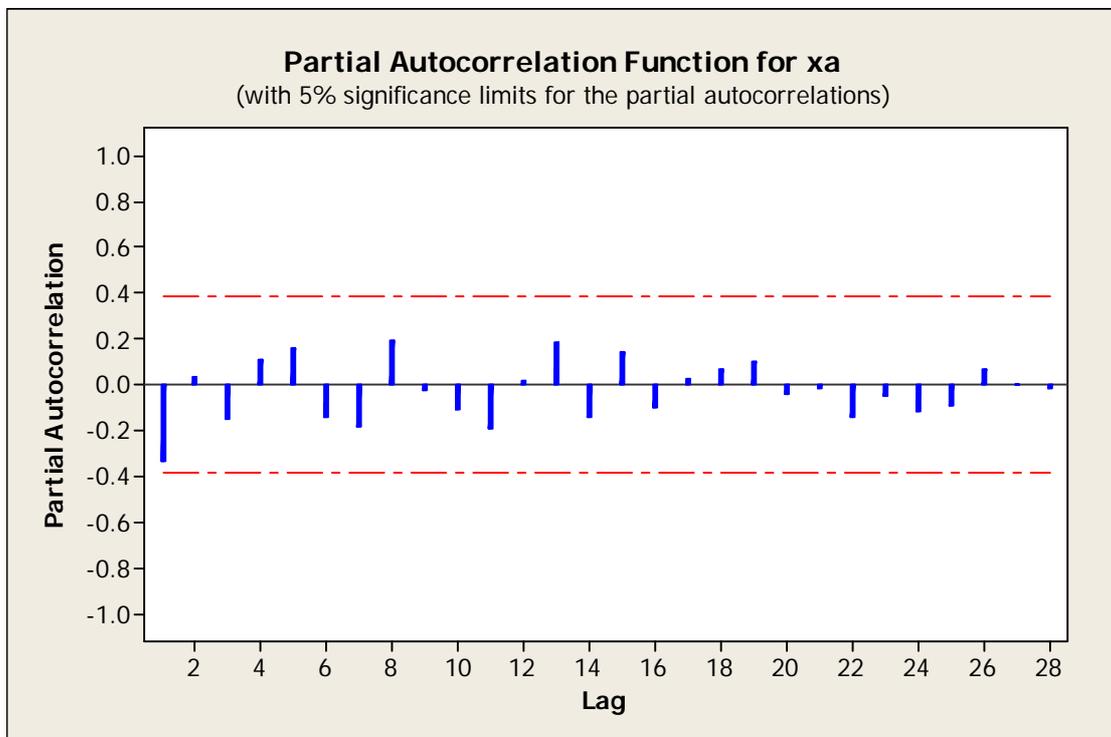
من الشكل (4-2) نلاحظ أن السلسلة الزمنية غير ساكنة لأن الارتباطات الذاتية الأولى والسادس والسابع والثاني عشر من قيم السلسلة تقع خارج حدود الثقة ، لذلك يجب إجراء تحويل مناسب لإزالة عدم الاستقرار وذلك بأخذ الفرق الأمامي لأول ولإعادة اختبار السلسلة من جديد .

إعادة اختبار السلسلة بعد اخذ الفرق الأمامي الأول :-

شكل رقم (4-3) يوضح الارتباط الذاتي للسلسلة الزمنية بعد اخذ الفرق الأول :



المصدر إعداد الباحثين برنامج MINITAB



المصدر إعداد الباحثين برنامج MINITAB

الشكل رقم (4-4) أعلاه يوضح الارتباط الذاتي الجزئي للسلسلة بعد أخذ الفرق الأول .

من الشكل (3-4) و(4-4) نلاحظ أن السلسلة الزمنية ساكنة وذلك لأن جميع الارتباطات

الذاتية للسلسلة تقع داخل حدود الثقة عدا الارتباط الذاتي الأول .

جدول رقم (2-4) يوضح معاملات الارتباط الذاتي والجزئي بعد أخذ الفرق الأول

LAG	ACF	PACF	T	LBO
1	-0.373046	-0.373046	-2.86542	8.63533
2	0.087921	-0.059527	0.09730	9.12341
3	-0.258811	-0.287095	-1.74774	13.4283
4	0.172075	-0.033710	1.10616	15.3658
5	0.025716	0.083871	1.16198	15.4099
6	-0.177131	-0.234163	-1.11526	17.5405
7	-0.102447	-0.275818	-0.63185	18.2669
8	0.068741	-0.090831	0.42113	18.6003
9	-0.056061	-0.275851	-0.34241	18.8266
10	-0.039493	-0.357416	-0.24074	18.9411
11	-0.012264	-0.278241	-0.07468	18.9524
12	0.323693	0.110240	1.97105	26.9756
13	-0.095766	-0.077986	-0.54816	27.6932
14	0.058438	-0.008942	0.33281	27.9663
15	-0.094691	0.094941	-0.53826	28.6997
16	0.080666	-0.076783	0.45630	29.2443
17	0.077649	0.090458	0.43770	29.7610
18	-0.257682	-0.073477	-1.44782	35.5896
19	0.012474	-0.095935	0.06772	35.6036
20	-0.028208	-0.015574	-0.15313	35.6770
21	0.035513	-0.023002	0.19271	35.7965
22	-0.100701	-0.146993	-0.54611	36.7829
23	0.049865	-0.044220	0.26907	37.0315
24	0.076157	-0.109441	0.41043	37.6279
25	0.207770	0.127218	1.11654	42.1974
26	-0.149112	-0.026069	-0.78490	44.6222
27	0.039925	-0.016828	0.20800	44.8015
28	-0.072187	-0.133258	-0.37580	45.4065
29	0.147986	-0.089520	0.768567	48.0338

المصدر إعداد الباحثين برنامج MINITAB

(2-2-4) تشخيص النموذج :-

لمعرفة رتبة النموذج نستخدم معايير تحديد الرتبة باستخدام معيار أكايكي للمعلومات

والجدول رقم (3-4) يوضح نتائج تطبيق معيار أكايكي علي مجموعة من النماذج .

Model	AIC
AR(1,0,0)	1146.4795
AR(2,0,0)	1148.3263
AR(3,0,0)	1147.0642
MA(0,0,1)	1148.0484
MA(0,0,2)	1145.7562
MA(0,0,3)	1144.9749
ARIMA(1,1,1)	1133.5525
ARIMA(1,1,2)	1144.7596
ARIMA(1,1,3)	1132.7307
ARIMA(2,1,1)	1135.2986
ARIMA(2,1,2)	1136.8827
ARIMA(2,1,3)	1134.6464
ARIMA(3,1,1)	1143.8845
ARIMA(3,1,2)	1140.7736
ARIMA(3,1,3)	1138.8718

المصدر إعداد الباحثين برنامج SPSS

اذن النموذج الأفضل بناء على أقل قيمة لمعيار أكايكي هو ARIMA (1,1,3)

(3-2-4) تقدير معاملات النموذج :-

تم تقدير معاملات النموذج باستخدام برنامج Minitab بعد تشخيص نوع النموذج وتحديد رتبته

والجدول رقم (4-4) يوضح تقدير معاملات النموذج:

Type	Coef	SE Coef	T	P
AR 1	-0.3375	0.3202	-1.05	0.296
MA 1	0.2515	0.3180	0.79	0.432
MA 2	0.2174	0.2280	0.95	0.345
MA 3	0.4584	0.1453	3.16	0.003
Constant	-41.75	71.13	-0.59	0.560

المصدر إعداد الباحثين برنامج MINITAB

عليه النموذج المقدر هو :-

$$Z_t = -41.75 - 0.3375Z_{t-1} + 0.2515a_{t-1} + 0.2174a_{t-2} - 0.4584a_{t-3} + a_t \dots(4-1)$$

(4-2-4) الفحص والتدقيق :-

بعد ان تم التوصل الي النموذج المقدر وكم موضح في المعادلة (4-1) تم استخدام احصائية

Ljung-Box والجدول رقم (5-4) يوضح مدى ملاءمة النموذج للبيانات :

Lag	12	24	36	48
Chi-Square	23.7	42.6	59.0	72.5
DF	7	19	31	43
P-Value	0.001	0.001	0.002	0.003

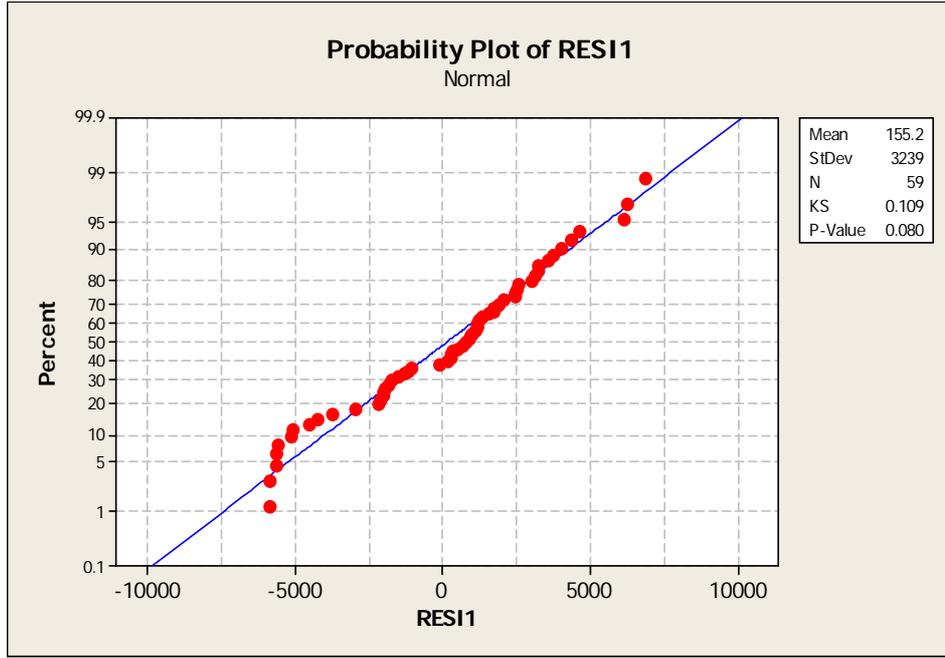
المصدر : إعداد الباحثين من برنامج MINITAB

بما أن قيمة مربع كاي (23.7) أكبر من (0.001) عليه نقبل فرض العدم مما يجعل النموذج كفوً ويمكن الاعتماد عليه .

(5-2-4) اختبار طبيعة البواقي :-

يتم اختبار طبيعة توزيع البواقي اي ان الاخطاء تتوزع توزيع طبيعي .

الشكل رقم (5-4) يوضح رسم الأحتمال الطبيعي.



بما أن قيمة (0.080) P-value أكبر من (0.05) عليه البواقي تتبع التوزيع الطبيعي ،
وقيمة (0.109) KS= إذن النموذج ملائم لوصف البيانات .

(6-2-4) التنبؤ :-

النموذج المقدر هو :

$$Z_t = -41.75 - 0.3375Z_{t-1} + 0.2515a_{t-1} + 0.2174a_{t-2} + 0.4584a_{t-3} + a_t$$

وعند استخدام النموذج المقدر أعلاه في التنبؤ نحصل علي القيم المتنبأة الموضحة في الجدول

رقم (6-4) التالي :

الحد الأعلى	الحد الأدنى	القيمة المتنبأ بها	الشهور	السنة
13318.1	143.1	6730.6	يناير	2015
11944.3	-2299.8	4822.2	فبراير	
13490.8	-1662.5	5914.2	مارس	
13090.6	-2083.0	5503.8	أبريل	
13212.0	-2010.9	5600.6	مايو	
13142.5	-2090.2	5526.2	يونيو	
13135.7	-2116.6	5509.5	يوليو	
13107.5	-2160.7	5473.4	أغسطس	
13086.5	-2198.8	5443.8	سبتمبر	
13063.1	-2239.0	5412.1	أكتوبر	
13040.4	-2278.4	5381.0	نوفمبر	
13017.5	-2318.0	5349.7	ديسمبر	
12994.7	-2357.6	5318.5	يناير	2016
12971.8	-2397.2	5287.3	فبراير	
12949.0	-2436.7	5256.1	مارس	
12926.1	-2476.3	5224.9	أبريل	
12903.2	-2515.8	5193.7	مايو	
12880.3	-2555.4	5162.5	يونيو	
12857.4	-2594.9	5131.2	يوليو	
12834.5	-2634.4	5100.0	أغسطس	

12811.5	-2673.9	5068.8	سبتمبر	2017
12788.6	-2713.4	5037.6	أكتوبر	
12765.6	-2752.9	5006.4	نوفمبر	
12742.7	-2792.4	4975.1	ديسمبر	
12719.7	-2831.9	4943.9	يناير	
12696.8	-2871.3	4912.7	فبراير	
12673.8	-2910.8	4881.5	مارس	
12650.8	-2950.2	4850.3	أبريل	
12627.8	-2989.7	4819.1	مايو	
12604.8	-3029.1	4787.8	يونيو	
12581.8	-3068.5	4756.6	يوليو	
12558.8	-3107.9	4725.4	أغسطس	
12535.7	-3147.3	4694.2	سبتمبر	2018
12512.7	-3186.7	4663.0	أكتوبر	
12489.6	-3226.1	4631.8	نوفمبر	
12466.6	-3265.5	4600.5	ديسمبر	
12443.5	-3304.9	4569.3	يناير	
12420.4	-3344.2	4538.1	فبراير	
12397.4	-3383.6	4506.9	مارس	
12374.3	-3422.9	4475.7	أبريل	
12351.2	-3462.3	4444.5	مايو	
12328.1	-3501.6	4413.2	يونيو	
12304.9	-3540.9	4382.0	يوليو	
12281.8	-3580.2	4350.8	أغسطس	
12258.7	-3619.5	4319.6	سبتمبر	

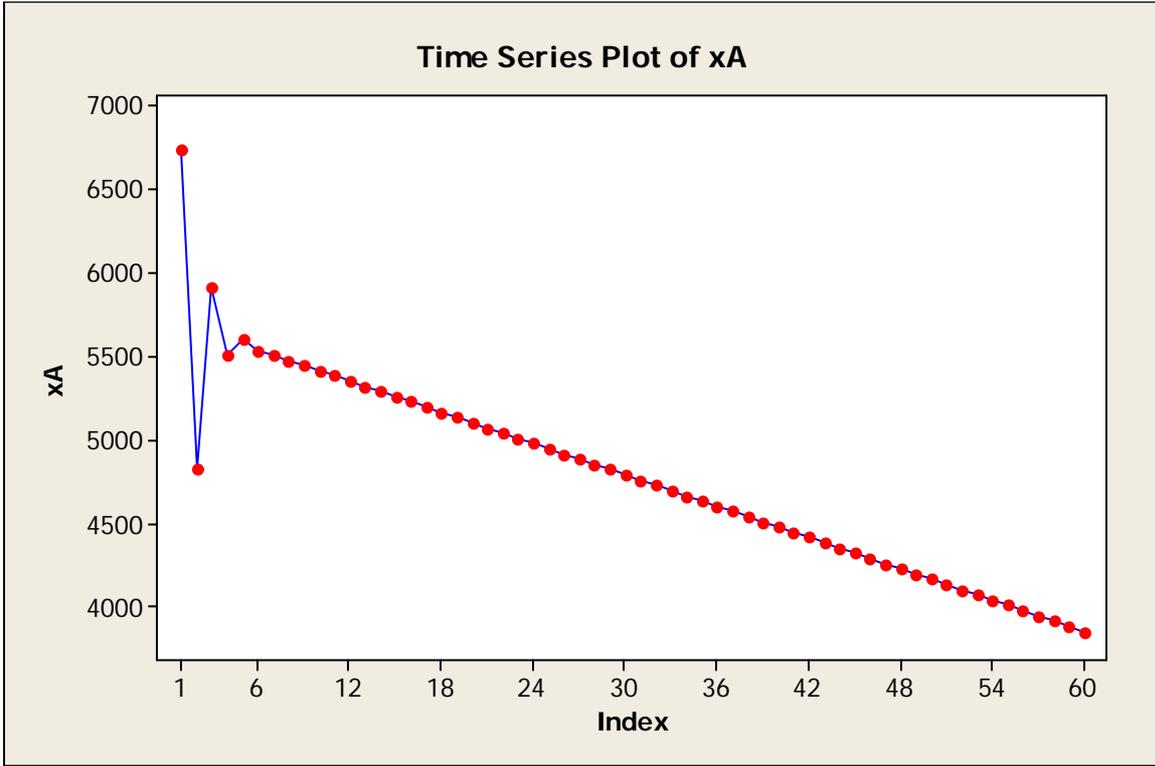
12235.5	-3658.8	4288.4	أكتوبر	2019
12212.4	-3698.1	4257.1	نوفمبر	
12189.2	-3737.4	4225.9	ديسمبر	
12166.1	-3776.7	4194.7	يناير	
12142.9	-3815.9	4163.5	فبراير	
12119.7	-3855.2	4132.3	مارس	
12096.5	-3894.4	4101.1	أبريل	
12073.3	-3933.7	4069.8	مايو	
12050.1	-3972.9	4038.6	يونيو	
12026.9	-4012.1	4007.4	يوليو	
12003.7	-4051.3	3976.2	أغسطس	
11980.5	-4090.5	3945.0	سبتمبر	
11957.2	-4129.7	3913.8	أكتوبر	
11934.0	-4168.9	3882.5	نوفمبر	
11910.7	-4208.1	3851.3	ديسمبر	

المصدر : إعداد الباحثين من برنامج MINITAB

من الجدول رقم (4-6) نلاحظ أن القيم التنبؤية للتوليد المائي الشهرية للعام (2015-2019) م

تتذبذب نحو الزيادة والنقصان .

الشكل رقم (4-5) يوضح القيم المتنبأ بها للعام (2015-2019) م



المصدر: إعداد الباحثين من برنامج MINITAB

نلاحظ من الشكل (4-6) أن القيم التنبؤية تنمو بشكل متذبذب ولكنها تميل إلى النقصان مع

مرور الزمن .

(1-5) النتائج :

أهم النتائج التي توصل اليها البحث ما يلي :-

- (1) إن إستخدام تحليل السلاسل الزمنية مناسب ومفيد في توليد الطاقة المائية المستخدمة في إنتاج الكهرباء .
- (2) السلسلة الزمنية لبيانات الشركة السودانية للتوليد المائي هي سلسلة غير ساكنة وبعد أخذ الفرق الأول أصبحت ساكنة .
- (3) النموذج الإحصائي لسلسلة توليد الطاقة الكهرومائية هو نموذج $ARIM(1,1,3)$
- (4) النموذج الذي تم التوصل اليه نموذج كفو ويمكن الاعتماد عليه .
- (5) يمكن إستخدام النموذج الذي توصل اليه البحث لمعرفة اتجاهات السلسلة لإستخدامها من قبل الجهات التخطيطية والتنفيذية لتحليل ودراسة الظاهرة .

(2-5) التوصيات :

- 1- يمكن إستخدام النموذج الذي توصل اليه الباحث من قبل الجهة المستفيدة (الشركة السودانية للتوليد المائي) لمعرفة الاتجاهات المستقبلية للظاهرة ووضع الخطط اللازمة لها والإستفادة منها في إنتاج الكهرباء وتنمية البلاد .
- 2- يوصي الباحث للقيام بدراسات وبحوث تأخذ بعين الإعتبار تكلفة الطاقة المولدة وكمية الطاقة المولدة لمعرفة الزيادة النسبية الحقيقية في الطاقة المائية لأن بحثنا هذا أخذ واقع التوليد المائي .
- 3- إستخدام السلاسل الزمنية لمتعددة المتغيرات لكي يجعل التنبؤات أكثر دقة .
- 4- الإستفادة من حصة البلاد من مياه النيل لإنشاء محطات وسدود لتوليد الطاقة الكهربائية.
- 5- الإستفادة من تطبيق نموذج $ARIMA(1,1,3)$ في التنبؤ بكمية المياه المنتجة في محطة جبل اولياء في المستقبل .
- 6- الإهتمام بالموارد المائية ومراقبة المحطات التي تستخدم لتوليد المياه بصفة دورية وتزويدها بالمعدات الضرورية وإستخدام أجهزة متطورة .
- 7- تشييد محطات توليد المياه في مختلف الولايات والمشاريع الزراعية من أجل زيادة إنتاج المياه وتوفير إمداد مائي مستقر .

المصادر والمراجع

- 1- الحديدي أحمد ، كتاب أسس الكهرباء ، 2012 م ، www.alarabimag.com
- 2- حسن محمد ، منتدى البرونزية ، 2013 م ، www.shkmbz.com
- 3- عبدالله محمد موسى محمد ، رسالة ماجستير إحصاء ، يونيو 2011 م ، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا .
- 4- يونس بسام وآخرون ، مبادئ إحصاء ، 2005 م ، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا
- 5- محمود عبيد محسن الزوبعي ، محاضرات السلاسل الزمنية ، 2009 م ، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا .
- 6- عبدالرحمن عدنان ماجد ، طرق التنبؤ الإحصائي قسم الإحصاء وبحوث العمليات 2002 م ، جامعة الملك سعود .

الملاحق

2014	2013	2012	2011	2010	الشهور
11633	8736	11665	11532	10192	يناير
10504	7951	9980	10317	8010	فبراير
9910	9641	9802	9922	9385	مارس
5109	5849	5600	2773	4343	أبريل
160	1662	534	310	6727	مايو
6727	6727	6727	6727	134	يونيو
6727	6727	293	6727	6727	يوليو
6727	6727	6727	6727	31	اغسطس
89	1103	304	6727	8261	سبتمبر
1323	6980	6234	5107	11998	اكتوبر
7236	9378	10703	8554	11049	نوفمبر
5949	10043	10155	11185	6727	ديسمبر

المصدر: بيانات مأخوذة من الشركة السودانية للكهرباء لخزان جبل

أولياء بالشهور في الفترة من (2010-2014)م

