

**التنبؤ بالمتوسطات الشهرية لكمية الأمطار  
باستخدام الانحدار التوافقي (Harmonic Regression)  
مع التطبيق على جمهورية مصر العربية**

د/ماجي أحمد محمد خليل الحلواني  
قسم الإحصاء والرياضة  
كلية التجارة - جامعة عين شمس

**١- مقدمة:**

يعتبر التنبؤ بالسلوك المستقبلي من الأهداف الأساسية للعلوم الإحصائية وذلك بسبب الحاجة الماسة إليه في جميع مجالات الحياة، ومن بينها الظواهر والمتغيرات، التي يعتبر التخطيط لها ذو أهمية كبيرة باعتبار أنه المفتاح لعملية اتخاذ القرار الصائب. وتعد دراسة السلاسل الزمنية من الطرق الإحصائية المهمة، والمطبقة في التنبؤ بالقيم المستقبلية بناء على بيانات الماضي والحاضر، وذلك لمنطقية النتائج التي يتم الحصول عليها، إذا ما تحققت الشروط الخاصة ببعض البيانات ونماذج السلاسل الزمنية. ومع تزايد الاهتمام بموضوع السلاسل الزمنية ظهرت أساليب حديثة تستخدم في عملية تحليل هذه السلاسل الزمنية. من أهمها استخدام الانحدار التوافقي (Harmonic Regression) الذي يعتبر من أهم الطرق الحديثة للتنبؤ، ومن أهم البدائل للطرق الإحصائية التقليدية؛ لأنه يتمتع بقدرة آلية في إيجاد الحلول لمختلف المجالات، ولأنه لا يقتضي توفر الشروط الواجبة لاستخدام النماذج التقليدية التي يصعب توفيرها في معظم الحالات. لذا يتم في هذا البحث التنبؤ باستخدام طريقتين في السلاسل الزمنية، وهما طريقة معادلة الاتجاه العام من الدرجة الثانية (الانحدار غير الخطي بين المتغير والزمن)، وطريقة الانحدار التوافقي (Harmonic Regression)، ويتم ذلك من خلال دراسة سلوك المتوسطات الشهرية لكمية الأمطار لجمهورية مصر العربية عبر سلسلة زمنية طويلة متمثلة في ١٨٠ شهراً، تمتد من يناير ٢٠٠٠ إلى ديسمبر ٢٠١٤، وذلك بهدف الوصول إلى نموذج انحدار غير خطي توافقي لتقدير المتوسطات الشهرية لكمية الأمطار لجمهورية مصر العربية.

## ٢- أهمية البحث:

من المعروف أن المطر ضروري للحياة؛ لأنه يمد الإنسان والحيوان والنبات بالماء، ومن ثم تكاد مظاهر الحياة أن تنعدم في المناطق التي تعاني قلة الماء، أو قلة سقوط الأمطار عليها. وتساعد الأمطار على منع فقدان التربة السطحية لقدرتها على إيقاف العواصف الرملية، أو قدرتها على تنظيف الهواء من الغبار والملوثات الكيميائية.

### وهناك ثلاثة أنواع من المطر وهي:

- **أمطار تصاعدية:** وهي التي تحدث بسبب تمدد الهواء الرطب القريب من سطح الأرض كما في مناطق الرهو الاستوائية، حيث تشتد الحرارة وتتصاعد التيارات الهوائية إلى طبقات الجو العليا، فتبرد ويتكثف ما بها من بخار الماء فيسقط في شكل مطر، ويكثر هذا النوع من الأمطار في المناطق الاستوائية والمدارية، حيث يسقط بصورة منتظمة في جميع فصول السنة.

- **أمطار تضاريسية:** وتحدث بسبب التقاء الرياح المحملة ببخار الماء وإرتفاعها إلى أعلى قمم المرتفعات، فتبرد ويتكثف ما بها من البخار، ويتحول إلى مطر. ويكثر هذا النوع من المطر في كل المناطق الجبلية مثل جبل اسكندناوه في شمال غرب أوروبا، ومرتفعات روكي والأنديز في غرب الأمريكتين، وجبال شبه جزيرة الهند، وخاصة المنحدرات الجنوبية لجبال الهملايا.

- **أمطار إعصارية:** وتكون بسبب التقاء رياح مختلفة في درجة حرارتها ورطوبتها، ومن ثم تعرف بإسم أمطار الرياح العكسية، التي تكثر بها الانخفاضات الجوية المسماة بالأعاصير ومن أمثلتها: أمطار البحر المتوسط، وأمطار غرب أوروبا، التي تسقط بسبب مرور الأعاصير أو الانخفاضات الجوية. إذ يجذب الإعصار في هذه الحالة تيارين هوائيين مختلفي المصدر، من حيث درجة الحرارة، كأن يأتي تيار من الشمال البارد وآخر من الجنوب الدافئ أو الحار. وحينما يتقابلان تحدث ظاهرة تصاعد الهواء الدافئ؛ لأنه أخف وزناً، وحينما يعلو، يبرد ويتكثف ما به من بخار الماء فيسقط المطر. ويكثر المطر حينما يكون الهواء الصاعد غزير الرطوبة.

عند سقوط مياه الأمطار في فصل الشتاء، تتدفق على سطح الأرض وتتخذ شكل أنهار تصب في البحار والمحيطات، ويتسرب ويتغلغل جزء من هذه المياه إلى أعماق الأرض، ويتجمع على شكل مياه جوفية. ويتبخر الجزء الآخر بفعل حرارة

الجو، ليعود ويكرر دورة المياه في الطبيعة، وهي تبخر الماء من البحار والمحيطات والأنهار، وصعوده إلى طبقات الجو العليا حيث يتعرض لدرجات حرارة منخفضة، مما يؤدي إلى تكاثفه، ومن ثم تساقطه على شكل أمطار وتلوج وبرد، وندى، وضباب. تُعد مياه الأمطار المصدر الرئيسي الذي يعتمد عليه العديد من الدول في الشرب، وري المزروعات، خاصة تلك الدول التي تعاني من شح مصادر المياه البديلة كالأنهار، والبحار، والمحيطات. ونظراً لأن موسم تساقط الأمطار محدود ومقتصر على فصل الشتاء، أصبح يتعين على الدول العمل بشكل جاد للاستفادة من كل قطره من مياه الأمطار وعدم فقدها. ولكي نستفيد من مياه الأمطار بالشكل المناسب، ونحميها من الضياع، يجب أن نعمل على استغلالها بالشكل الصحيح من جانب الدولة والأفراد على حد سواء. لكن العبء الأكبر يقع على الدولة؛ لما تمتلكه من إمكانيات تسهل هذه العملية. فعليها أن تجهز خزانات ضخمة لتجميع مياه الأمطار في الشتاء والقيام بمعالجتها، ثم توصيلها إلى المنازل لاستخدامها في الأغراض المختلفة. ويتعين على الدولة أن تعمل على حفر الآبار الارتوازية لتجميع المياه واستخدامها عند الحاجة، وتشجيع المزارعين على حفر آبار خاصة لاستخدامها في فصل الصيف في أغراض الري حين تتشح المياه، ويزيد الطلب عليها. وقد قامت بعض الدول ببناء السدود والحواجز في أماكن السيول الناتجة عن مياه الأمطار، وتجميعها للاستفادة منها في الري ومنع تدفقها إلى البحار وبالتالي ضياعها دون أي فائدة تُذكر.

### ٣- مشكلة البحث:

إن الأمطار تعد من النعم الكبرى في العالم كله، وهي أساس الزراعة عالمياً، حيث تمثل الزراعات المطرية ٨٣% من زراعات العالم، بينما لا تمثل الزراعات المروية إلا ١٧% فقط في المناطق الجافة قليلة المطر. وتشكل الزراعة المطرية بالسواحل الشمالية لجمهورية مصر العربية جزءاً هاماً من الأنشطة الاقتصادية القائمة، مثل: مجالى السياحة والبتترول، حيث يعمل بالزراعة المطرية بهذه المناطق ما يقرب من ٣٠٠ ألف نسمة من السكان المحليين، بالإضافة إلى الوافدين إلى المنطقة الذين يعتمدون على منتجات الزراعة المطرية إلى حد كبير. والأمر اللافت أنه في ظل أزمة الموارد المائية التي نعاني منها حالياً، والاحتياجات المائية خلال السنوات المقبلة، لا توجد خطط واستراتيجيات للاستفادة من مصادر المياه الأخرى، إلى جانب نهر النيل. فمصر تعتمد على نهر النيل بنسبة

٩٧% من مواردها المائية، وتعاني من صعوبات لتوفير احتياجاتها من المياه في ظل قلة مواردها المائية، وانخفاض نصيب المواطن المصري سنويا من المياه إلى أقل من ٦٥٠ متر مكعب، بينما يبلغ المتوسط السنوي العالمي ١٠٠٠ متر مكعب. فالنيل هو المصدر الرئيسي للمياه في مصر، حيث تبلغ حصة مصر من مياهه ٥٥,٥ مليار متر مكعب، وتمثل ٧٩,٣% من الموارد المائية، وتغطي ٩٥% من الاحتياجات المائية الراهنة، وبالتالي نحن في أشد الحاجة لكل قطرة مياه والاستفادة منها. إذ أن منسوب الأمطار المقدر سنويًا في مصر يبلغ ١,٦ مليار متر مكعب، ويجب العمل على الاستفادة منها، مثلما فعلت دول عربية وإسلامية، حتى لو كانت كمياتها قليلة.

ورغم أن تقارير منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة الصادرة منذ عامين، تشير إلى أن كمية الأمطار الساقطة على مصر، خاصة في السواحل الشمالية، تقارب حصتها من مياه النيل، حيث تبلغ ٥١ مليار متر مكعب في السنة، فإنها تُهدر جميعها للأسف بسبب هطولها على المناطق الصحراوية، من غرب الإسكندرية وحتى مطروح والسلوم، وفي الساحل الشمالي الشرقي من القنطرة غرب، وحتى العريش ورفح. ولاتستفيد مصر من هذا الكم الهائل من الأمطار إلا بما يقدر بنحو ١,٣ مليار متر مكعب فقط من الأمطار، التي تهطل فوق أراضي الدلتا، والتي يستفاد منها في الزراعة مرة واحدة فقط. وهناك فشل أيضًا فيما يتعلق بإعادة استخدام مياه الصرف الزراعي، وهي من المصادر المائية التي لا يستهان بها، حيث يبلغ المتوسط السنوي لمياه الصرف الزراعي نحو ١٢ مليار متر مكعب، يُعاد استخدام حوالي ٥,٧ مليار متر مكعب منها حاليًا فقط. ربما نعاني حاليًا من أزمة مياه، ولكن الإدارة السليمة للموارد المائية المتاحة قد تنجينا من هذه المعاناه.

وجاء في تقرير أعده قطاع المياه الجوفية بوزارة الموارد المائية والري، وعرض خلال اجتماع مجلس الوزراء برئاسة الرئيس عبد الفتاح السيسي، أنه يجري حاليًا تنفيذ ١٧ مشروعًا صناعيًا، تشمل إقامة سدود إعاقه، وبحيرات صناعية، وخزانات أرضية، لحصاد الأمطار والسيول، والاستفادة منها في تنفيذ مشروعات تلبى الاحتياجات من مياه الشرب والزراعة.

وأوضح التقرير أن هذه المشروعات تشمل إقامة ٢٠ سدًا في محافظات جنوب وشمال سيناء، ومحافظة البحر الأحمر، ومحافظة مرسى مطروح بالإضافة إلى إقامة ١٥ بحيرة صناعية، و ٢٥٠ خزان في المحافظات الأربع، وأشار إلى أنه تم الانتهاء

من تنفيذ مشروع لحصاد مياه الأمطار، وتغذية الخزان الجوفي، وحماية مدينة دهب من السيول بمحافظة جنوب سيناء. وأشار التقرير أيضا إلى أنه تم تنفيذ مشروع لتوجيه مياه الأمطار والسيول إلى خليج العقبة بالبحر الأحمر لحماية منطقة عرب حمدان بمدينة نويبع بمحافظة جنوب سيناء، فضلا عن مشروع لحماية مدينة القصير بمحافظة البحر الأحمر من مخاطر السيول. ويجري حاليا تنفيذ مشروع لحماية طريق طابا - نويبع، وتجميع مياه السيول في نفس هذه المنطقة.

وأكد التقرير أنه يجري حاليا الإعداد لتنفيذ مشروعات لحماية مناطق رأس سدر، ودهب ومرسى علم، ومطروح من الأمطار والسيول، تشمل إنشاء ٥ بحيرات وسد على وادي غرنديل برأس سدر بمحافظة البحر الأحمر، بالإضافة إلى دراسة إنشاء ٤ سدود وبحيرتين بمنطقة وادي دهب، بالإضافة إلى إنشاء ٣ بحيرات صناعية و ١٥٠ خزان للمياه في محافظتي البحر الأحمر ومرسى مطروح.

#### ٤- الهدف من البحث:

إن التنبؤات الجوية، ومن ضمنها تقدير متوسط كمية الأمطار الشهرية في أي مكان في العالم، مهمة جدًا للمخططين وصانعي القرار في العديد من المجالات، مثل المجالات الزراعية، والسياحية والصناعية والعسكرية وغيرها من المجالات. لذلك يهدف هذا البحث إلى بناء نموذج رياضي لتوقع متوسطات كمية الأمطار لكل شهر من أشهر السنة في جمهورية مصر العربية، اعتمادًا على بيانات متوسطات كمية الأمطار الشهرية لفترة زمنية تمتد من يناير ٢٠٠٠ إلى ديسمبر ٢٠١٤، ويمكن تقسيم هذا الهدف إلى أهداف رئيسية ثلاثة هي:

- ١- كشف النمط الدوري الممكن لسلوك متوسط كمية الأمطار الشهرية لجمهورية مصر العربية عبر الزمن.
- ٢- بناء نموذج رياضي إحصائي يجعل من الممكن التنبؤ بمتوسط كمية الأمطار في جمهورية مصر العربية، لكل شهر من أشهر السنة، في ضوء النمط الدوري الممكن لسلوك متوسط كمية الأمطار.
- ٣- التحقق من جودة ذلك النموذج، وذلك من خلال تطبيقه على فترة زمنية مستقلة لا تشمل فترة بنائه. ويتم بناء على ذلك التنبؤ بالقيم المستقبلية للمعدلات الشهرية لمتوسط كمية الأمطار خلال فترة "١٢" شهرًا في عام ٢٠١٥ وبالاعتماد على النموذج المقترح.

## ٥- فرضيات البحث:

- ١- أن استخدام الانحدار التوافقي في تحليل السلاسل الزمنية للتنبؤ بالمتوسطات الشهرية لكمية الأمطار يعطي نتائج أفضل من استخدام طريقة السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية.
- ٢- أنه لا توجد فروق ذات دلالة إحصائية بين الفعلي والمقدّر من الانحدار التوافقي.
- ٣- هناك العديد من المتغيرات التي تؤثر على كمية الأمطار. ولكن لتحقيق هدف الدراسة وهو تحليل السلسلة الزمنية لمتوسط كمية الأمطار، سوف نعتد في التحليل على متوسط كمية الأمطار (مم/شهر) كمتغير تابع والزمن كمتغير مستقل.

## ٦- حدود البحث:

- ١- سوف يتحدد الإطار الزمني لهذه الدراسة طبقاً للبيانات المتاحة، باستخدام البيانات الشهرية للفترة من سنة ٢٠٠٠ إلى ٢٠١٤ (١٨٠ شهر) كفترة بناء النموذج، واستخدام فترة (١٢) شهراً من عام ٢٠١٥ كفترة اختبار للقدرة التنبؤية للنموذج المقترح، مع ملاحظة أنه ليس هناك محدد أساسي لهذه الفترة الزمنية سوى توفر البيانات.
- ٢- اقتصرت الدراسة على متغيرين هما: متوسط كمية الأمطار الشهرية، والزمن، وذلك لإتاحة الحصول على البيانات وفقاً لمتطلبات الدراسة.

## ٧- منهجية البحث:

استخدم المنهج الوصفي التحليلي بوصفه أنسب المناهج لتناول موضوع هذه الدراسة ومعالجته؛ وذلك لأن موضوع الدراسة راهن وعصري، فضلاً عن أن هذا المنهج مرتبط ارتباطاً وثيقاً بطبيعة الموضوع، من حيث جمع البيانات، أو تحليلها، أو تفسيرها، وصولاً إلى مؤشرات وتوجهات لها قيمتها النظرية، ودلالاتها العملية. كما تم الإعتماد، في استخدام المنهج الوصفي التحليلي في إنجاز هذا البحث، على عدد من المراجع (باللغتين العربية والإنجليزية)، التي تناولت الانحدار التوافقي ( Harmonic Regression). ومن ثم تم الحصول على بيانات السلسلة الزمنية للمعدلات الشهرية لكمية الأمطار (مم/شهر)، وفقاً لسجلات محطات الأرصاد الجوية بجمهورية مصر العربية، من الكتاب الإحصائي السنوي (الأعداد الصادرة من ٢٠٠٠ حتى ٢٠١٦) للجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، وكذلك نفس الأعداد من كتاب "مصر في

أرقام"، وتم التطبيق علي أساسها، كما تم استخدام البرنامج الجاهز "NCSS 11" في تحليل هذه البيانات.

## ٨- الدراسات السابقة :

تنقسم الدراسات السابقة إلى قسمين:

- دراسات تناولت الأسلوب الإحصائي الانحدار التوافقي (Harmonic Regression).
- دراسات تناولت عناصر المناخ.

### ٨-١- الدراسات التي تناولت الأسلوب الإحصائي:

**الدراسة الأولى عام ٢٠٠٣:** لبناء نموذج لتوقع متوسط درجة الحرارة الشهرية لمدينة الرياض، وذلك باستخدام التحليل التوافقي (Harmonic Analysis) (فهد بن عبد الله الكليبي "توقع متوسط درجة الحرارة الشهرية لمدينة الرياض باستخدام التحليل التوافقي" ونشر هذا البحث في مجلة جامعة الملك سعود ٢٠٠٣م).

وكان الهدف من استخدام التحليل التوافقي هو الكشف عن طبيعة النمط الدوري لسلوك متوسطات درجات الحرارة الشهرية عبر سلسلة زمنية طويلة متمثلة في ٣٨٤ شهراً تمتد من يناير ١٩٦١ إلى ديسمبر ١٩٩٢م. ومن ثم توظيف ذلك للخروج بنموذج انحدار غير خطي توافقي لتوقع متوسطات درجة الحرارة الشهرية لمدينة الرياض. وأوضح تطبيق النموذج لتوقع متوسطات درجة الحرارة لفترة السابقة الذكر، والداخلية في بناء النموذج، جودة هذا النموذج، وتم التأكد من إمكانية الاستعانة به عند توقع المتوسطات الشهرية لدرجة الحرارة في مدينة الرياض. وقد أوصى الباحث بالآتي:

- ١- الاستعانة بنموذج التوقع الوارد في هذا البحث عند بناء توقعات متوسطات درجة الحرارة الفصلية والشهرية لمدينة الرياض.
- ٢- تطبيق تلك الدراسة على المتوسطات الشهرية لمناطق المملكة الأخرى.
- ٣- تطبيق تلك الدراسات على عناصر المناخ الأخرى.

### **الدراسة الثانية عام ٢٠١٠:** لإيجاد الصفات الإحصائية (العزوم) للنموذج

التوافقي مضافاً له حد الخطأ العشوائي "Harmonic Model with Additive noise" كما تم إيجاد الاستقرارية لنماذج الطيف المختلط (Mixed Spectra Models) (الخطية وغير الخطية) وفي حالات خاصة، برتب دنيا، باستخدام طريقة التقريب الخطية

للباحث أوزاكي (Ozaki) (عبد الغفور جاسم العبيدي، رعد عواد الحمداني "دراسة استقرارية بعض النماذج التوافقية مع تطبيق"، بحث منشور في مجلة الرافدين لعلوم الحاسبات والرياضيات ٢٠١٠).

وكانت السلسلة الزمنية للمعدلات الشهرية لدرجات الحرارة العظمى لمدينة بجي تمثل الجانب التطبيقي في هذه الدراسة.

وقد توصل الباحث إلى أن النموذج الموسمي المضاعف من الرتبة SARIMA  $(1,0,0)$   $(2,0,0)_{12}$  هو النموذج الملائم للسلسلة الزمنية لدرجات الحرارة العظمى في مدينة بجي وقد أعطى تقديرات جيدة للتنبؤ بالقيم المستقبلية، وقريبة من قيم الواقع الفعلي. ويوصي الباحث بإجراء دراسة متكاملة لنماذج طيف مختلط غير خطي، بحيث يكون الجزء غير الخطي هو نموذج أسّي أو نموذج عتبة وبرتب عليا.

#### ٨-٢- الدراسات التي تناولت عناصر المناخ:

الدراسة الأولى عام ٢٠١٠: لتوفيق عدة نماذج لفضاء الحالة State Space Models (هيام عبد المجيد حياي) "تقدير نماذج فضاء الحالة باستخدام أسلوب انحدار الحرف مع التطبيق"، ونشر هذا البحث في المجلة العراقية للعلوم الإحصائية ٢٠١٠. وتم اختيار أفضل نموذج فيه باستخدام المعايير الإحصائية ومن ثم قدرت معلماته باستخدام طريقة انحدار الحرف بعد الكشف عن مشكلة التعدد الخطي بين المتغيرات التوضيحية للبيانات التي تم استخدامها والتي تمثل متغير الاستجابة وهو الحرارة وعدة متغيرات توضيحية مثل السطوع والرياح والإشعاع الشمسي والتبخر. أوصى الباحث باستخدام أسلوب انحدار الحرف في تقدير قيم معلمات نماذج الصندوق الأسود وهي نماذج ديناميكية أو حركية وتتضمن مدخلات ومخرجات، ومقارنة النتائج مع طرق التقدير الأخرى، كالمربعات الصغرى، وطريقة الإمكان الأكبر.

الدراسة الثانية عام ٢٠١١: لتوضيح كيفية استخدام الانحدار الحصين (Robust Regression) وتطبيقاته لتقدير معلمات الانحدار في ظل وجود المشاهدات الشاذة في البيانات، بحيث يتم الكشف عنها بطريقة إحصائية (تارا أحمد حسن، مهدي صابر رضا: "استخدام الانحدار الحصين لإيجاد أنسب نموذج لتمثيل بيانات الأنواء الجوية في مدينة أربيل خلال الفترة (١٩٩٨-٢٠١٠)", ونشر هذا البحث في مجلة الإدارة والاقتصاد، العدد التاسع والثمانون ٢٠١١).

وقام الباحثان في هذا البحث بدراسة أهم العوامل المؤثرة في الرطوبة النسبية، والمتمثلة في درجات الحرارة العظمى والصغرى، والضغط الجوي، وكمية الأمطار المتساقطة، وسرعة الرياح. واختبارها للكشف عن وجود القيم الشاذة فيها، وأخيراً لاختيار أفضل طريقة لتمثيل النموذج الملائم لتلك العلاقة من بين الطرق المستخدمة، وهي طريقة مربعات الوسيط الصغرى (LMS)، وطريقة المربعات المشرذمة الصغرى (LTS) مقارنة بطريقة المربعات الصغرى الاعتيادية (OLS) قام الباحثان باستخدام إحصائية متوسط مربعات الخطأ (MSE) للمقارنة بين القيم المقدرة للطرق الثلاثة. وأوصى الباحث بالآتي:

- 1- استخدام طرق أخرى للكشف عن القيم الشاذة في دراسات مستقبلية.
- 2- أخذ تأثير بعض العوامل الإضافية كمتغيرات مستقلة لمعرفة تأثيرها في الرطوبة النسبية مثل نسبة التلوث في الجو.
- 3- تطبيق الطرق الحصينة في مثل هذه الدراسات؛ لأن هذا النوع من العلاقات لا يخلو من القيم الشاذة في بياناتها ويؤثر بصورة مباشرة وغير مباشرة في نتيجة العلاقة.

**الدراسة الثالثة عام ٢٠١٤:** تناولت هذه الدراسة استخدام أسلوب تحليل المسار (The Path Analysis) لدراسة العوامل المناخية المؤثرة على كمية الأمطار في محافظة رام الله (شادي إسماعيل التلبناني، إبراهيم سالم أبو عمرة: "استخدام أسلوب تحليل المسار لدراسة التأثيرات المباشرة وغير المباشرة على كمية الأمطار في محافظة رام الله" رسالة ماجستير، جامعة الأزهر - غزة - برنامج ماجستير إحصاء ١٤٣٥هـ - ٢٠١٤م).

وفيها يتم تجزئة معاملات الارتباط إلى تأثيرات مباشرة وغير مباشرة باستخدام أسلوب تحليل المسار، وتم أيضاً حساب معاملات المسار باستخدام طريقة الانحدار. وقد توصلت الدراسة إلى أن معاملات المسار المحسوبة بالطريقتين متطابقة، حيث استخدمت الدراسة برنامج "R" الإحصائي، وبرنامج "SPSS / AMOS"، وتوصلت إلى أن أكثر المتغيرات تأثيراً مباشراً على كمية الأمطار هو معدل درجة الحرارة، كما أن أكثر المتغيرات تأثيراً غير مباشر على كمية الأمطار هو معدل سطوع الشمس. وأوصى الباحث باستخدام أسلوب تحليل المسار في مجالات عديدة مثل مجال الزراعة، والتربية، والصحة لما له من أهمية كبيرة في تفسير تباين المتغير التابع.

وتقترح الدراسة إجراء دراسات مشابهة في محافظة الضفة الغربية وقطاع غزة من أجل إضافة متغيرات أخرى مثل التضاريس والتي لها تأثير في كمية الأمطار. **بناء على ما سبق:** تتميز هذه الدراسة عن غيرها من الدراسات في نقاط مختلفة هي:

- ١- تناولت هذه الدراسة أسلوب الانحدار التوافقي (Harmonic Regression) بشيء من التفصيل في الجانب النظري.
- ٢- طبقت الدراسة استخدام الانحدار التوافقي في التنبؤ بالمتوسطات الشهرية لكمية الأمطار مع التطبيق على جمهورية مصر العربية.
- ٣- لم يتمكن الباحث من الوصول إلى أية دراسة سابقة تناولت موضوع استخدام الانحدار التوافقي (Harmonic Regression) في التنبؤ بالمتوسطات الشهرية لكمية الأمطار.

## **٩- الجانب النظري للبحث:**

البيانات المستخدمة في هذا البحث توضح متوسط كمية الأمطار الشهرية الذي سجلته محطات الأرصاد الجوية في جمهورية مصر العربية (الإسكندرية، مطروح، دمنهور، دمياط، بورسعيد، العريش)، خلال الفترة من يناير ٢٠٠٠ إلى ديسمبر ٢٠١٤، وتم الحصول على هذه البيانات من "الكتاب الإحصائي السنوي"، للسنوات من ٢٠٠٠ حتى ٢٠١٦، الصادر من الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء.

وتم من أجل تحقيق أهداف هذا البحث، تقسيم تلك البيانات إلى قسمين هما:

**القسم الأول:** ويضم متوسطات كمية الأمطار الشهرية طبقاً، لإحصاءات محطات الأرصاد الجوية السابقة، التي تمثل ١٨٠ شهر تبدأ من شهر يناير ٢٠٠٠ وحتى شهر ديسمبر ٢٠١٤. وقد تم استخدام بيانات هذا الجزء لبناء نموذج التوقع الشهري لمتوسطات كميات الأمطار في جمهورية مصر العربية.

**أما القسم الثاني:** فيتضمن بيانات مستقلة لم تدخل في بناء نموذج التوقع، وهي تمثل ١٢ شهراً من عام ٢٠١٥. وقد تم التنبؤ بمتوسط كمية الأمطار الشهرية لتلك السنة بواسطة نموذج التنبؤ المقترح في هذا البحث، ثم تمت مقارنة نتائج التنبؤ بتلك البيانات الحقيقية، بهدف التحقق من جودة تطبيق نموذج التنبؤ المقترح.

أما أسلوب البحث الرئيسي المتبع فهو أسلوب الانحدار التوافقي (Harmonic Regression)، الذي يعد أحد طرق السلاسل الزمنية؛ لأنه يبحث عن وجود أى ذبذبات

أودورات منتظمة في ظاهرة معينة عبر الزمن، أي أنه يبحث عن أى محتوى دوري في السلسلة الزمنية للظاهرة المدروسة. ويتم الكشف عن النمط الدوري المنتظم في البيانات المدروسة في الانحدار التوافقي، بواسطة سلسلة من تطبيقات الجيوب وجيوب التمام (Series of sine and cosine functions) وهي المصطلحات المستخدمة في حساب المثلثات.

وفي هذا البحث تمثل موجات جيوب وجيوب التمام الصعود والهبوط في قيم متوسط كمية الأمطار عبر الزمن خلال الفترة الزمنية المدروسة، وهي ١٨٠ شهر، وتمتد هنا من يناير ٢٠٠٠ إلى ديسمبر ٢٠١٤. ومن ثم فإن الغرض من استخدام الانحدار التوافقي في هذا البحث هو تقصي وجود دورات وذبذبات منتظمة أو شبه منتظمة في سلوك متوسطات كمية الأمطار الشهرية في جمهورية مصر العربية، عبر فترة زمنية طويلة، وذلك بهدف بناء توقعات إحصائية لمتوسطات كمية الأمطار الشهرية لهذا البلد، اعتمادًا على تلك الدورات المنتظمة. ويتمثل توظيف الانحدار التوافقي في هذا البحث في بناء معادلة توقع، وهي عبارة عن معادلة انحدار غير خطية توافقية، تمر بمراحل ويمكن توضيحها كالآتي:

سبق أن ذكرنا أن الكشف عن النمط الدوري المنتظم في البيانات المدروسة في الانحدار التوافقي يتم بواسطة سلسلة من تطبيقات الجيوب وجيوب التمام. وإذا فرض أردنا أن نمثل كامل السلسلة الزمنية بموجة واحدة، فإن ذلك يكون على النحو التالي:

$$Y_t = b_1 \sin \left[ \left( \frac{ft}{s} \right) 2\pi \right] + b_2 \cos \left[ \frac{ft}{s} 2\pi \right] \quad \dots (1)$$

وهنا

$$b_1 = A \cos \Phi \quad \dots (2)$$

$$b_2 = A \sin \Phi \quad \dots (3)$$

**والرموز في المعادلات الثلاثة هي:**

$Y_t$  : القيمة المتوقعة للمتغير المدروس في زمن معين.

$t$  : مؤشر الزمن.

$b_1, b_2$  : معاملات الانحدار الجزئية (Partial Regression Coefficients).

$s$  : الفصلية.

$f$  : عدد الذبذبات في كل تحليل توافقي.

A : سعة التوافق

$\Phi$  : زاوية الطور التوافقي (Phase Angle).

وتمثل القيمة  $\text{Sin}\left[\left(\frac{ft}{s}\right)2\pi\right]$  هنا المتغير المستقل الأول في معادلة الانحدار غير الخطية، وتمثل القيمة  $\text{Cos}\left[\left(\frac{ft}{s}\right)2\pi\right]$  المتغير المستقل الثاني في المعادلة. وهكذا بالنسبة لبقية التوافقات التي تعتبر المتغيرات المستقلة في المعادلة عناصرها، ويعطي حل المعادلتين (2)، (3) بطريقة المربعات الصغرى المعروفة معاملات الانحدار الجزئية  $b_1, \dots, b_n$  لمعادلة الانحدار غير الخطية، أما الحصول على السعات وزوايا الطور للتوافقات فيتم على النحو التالي:

$$\begin{aligned}b_1^2 + b_2^2 &= (A \text{Cos } \Phi)^2 + (A \text{Sin } \Phi)^2 \\ &= A^2 \left[ (\text{Cos}^2 \Phi) + (\text{Sin}^2 \Phi) \right] \\ &= A^2\end{aligned}$$

إذاً السعة تساوي

$$A = \sqrt{b_1^2 + b_2^2} \quad \dots (4)$$

وزاوية الطور

$$\text{Cos } \Phi = b_1 / \sqrt{b_1^2 + b_2^2} \quad \dots (5)$$

$$\text{Sin } \Phi = b_2 / \sqrt{b_1^2 + b_2^2} \quad \dots (6)$$

وهكذا يمكن الحصول على السعة من المعادلة (4) وزاوية الطور من المعادلتين (5)، (6). ولوضع تلك المعادلة في صيغة أسهل نستخدم خاصية حساب المثلثات التالية:

$$(\text{Sin } U)(\text{Cos } V) + (\text{Cos } U)(\text{Sin } V) = \text{Sin}(U + V) \quad \dots (7)$$

ولو جعلنا  $U$  تساوي  $2\pi\left(\frac{ft}{s}\right)$  وجعلنا  $V = \Phi$  فإن المعادلة (1) يمكن كتابتها

على النحو التالي:

$$Y_t = a \text{Sin} \left[ \left( \frac{ft}{s} \right) 2\pi + \Phi \right] \quad \dots (8)$$

حيث إن:

a : هي سعة التوافق.

- s : هي الفصلية.  
f : هي عدد الذبذبات في كل تحليل توافقي (التكرارات).  
Φ : هي زاوية الطور للتوافق.

وهذه المعادلة تمثل سلسلة زمنية من البيانات بموجة توافقية واحدة ويمكن تمثيل تلك السلسلة الزمنية بموجات عديدة وبسعات وترددات عديدة، وذلك للكشف عن النمط الدوري لتلك السلسلة الزمنية، وهنا تؤخذ الفصلية للبيانات في الاعتبار ويمكن التعبير عن تلك الموجات التوافقية بالمعادلة التالية:

$$Y_t = \sum_{i=1}^k a_i \text{Sin} \left[ \left( \frac{f_i t_i}{s} \right) 2\pi + \Phi_i \right] \quad \dots (9)$$

و يعتمد التوقع في هذا البحث على كشف النمط الدوري لسلسلة زمنية من البيانات تمتد لفترة ١٥ سنة، أي ١٨٠ شهر، وذلك عن طريق اعتماد ثلاثة توافقات كمتغيرات مستقلة في معادلة الانحدار غير الخطية التوافقية، والتي يمكن كتابتها على النحو التالي:

$$T_t = A + B_t + a_1 \text{Sin} \left[ \left( \frac{f_1 t_1}{s} \right) 2\pi + \Phi_1 \right] + a_2 \text{Sin} \left[ \left( \frac{f_2 t_2}{s} \right) 2\pi + \Phi_2 \right] + \dots \\ \dots + a_k \text{Sin} \left[ \left( \frac{f_k t_k}{s} \right) 2\pi + \Phi_k \right] \quad \dots (10)$$

**حيث إن:**

- $T_t$  : متوسط كمية الأمطار في أي شهر.  
t : رقم الشهر في منظومة ترتيب الشهور التي تبدأ من ١ الممثل لشهر يناير سنة ٢٠٠٠ وتنتهي بـ ١٨٠ لشهر ديسمبر ٢٠١٤.  
A : ثابت يمثل التقاطع.  
B : ميل خط الانحدار Slope في النموذج.  
 $a_1 \dots a_k$  : سعة التحليل للتوافق الأول حتى التوافق الثالث.  
s : الفصلية وهي هنا ١٢ والممثلة لشهور السنة.  
f : عدد الموجات في الانحدار التوافقي وهي هنا ثلاث موجات توافقية.  
Φ : زاوية الطور (Phase Angle) لكل توافق.  
وهذه هي المعادلة التي استخدمت للتوقع في هذا البحث.

## ١٠- الجانب التطبيقي للبحث:

تم عملياً تطبيق ما تمت دراسته نظرياً في الفقرات السابقة على بيانات حقيقية لسلسلة زمنية تمثل المعدلات الشهرية لكمية الأمطار (مم/ شهر) في جمهورية مصر العربية (جدول (١) بيانات البحث) وتضم ١٩٢ مشاهدة تمتد من عام ٢٠٠٠ إلى عام ٢٠١٥ تم الحصول عليها من الكتاب الإحصائي السنوي، ومن "مصر في أرقام" إصدارات من ٢٠٠٠ إلى ٢٠١٦ (الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء).

جدول (١): بيانات البحث

متوسط المعدلات الشهرية لمحطات الأرصاد الجوية كمية المطر (مم/ شهر)												السنة
يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيه	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	
25.66	17.48	13.18	4.08	1.58	0.68	0.6	0.38	0.46	7.14	13.32	23.1	2000
25.66	17.58	15.14	4.24	1.58	0.86	0.8	0.44	0.44	7.32	12.48	21.6	2001
25.66	17.58	15.14	4.24	1.58	0.86	0.8	0.44	0.44	7.32	12.48	21.6	2002
25.66	17.58	15.14	4.24	1.58	0.86	0.8	0.44	0.44	7.32	12.48	21.6	2003
26.22	17	12.7	4.12	1.54	0.32	0.08	0.26	0.44	7.66	12.18	22	2004
26.22	17	12.7	4.12	1.54	0.32	0.08	0.26	0.44	7.66	12.18	22	2005
26.22	17	12.7	4.12	1.54	0.32	0.08	0.26	0.44	7.66	12.38	22	2006
26.18	17.24	12.62	3.9	1.44	0.84	0.8	0.42	0.62	7.22	12.1	21.76	2007
26.18	17.24	12.62	3.9	1.44	0.84	0.8	0.42	0.62	7.22	12.1	21.76	2008
26.15	17	12.7	4.12	1.54	0.86	0.8	0.44	0.44	7.6	12.18	22	2009
1.06	18.48	3.8	0.14	0.02	0.02	0	0	0	7.8	1.86	8.98	2010
10.94	15.42	2.5	0.04	0.06	0	0	0	0.14	3.66	1.68	19.58	2011
10.94	15.42	2.5	0.04	0.06	0	0	0	0.14	3.66	1.68	19.58	2012
26	13.9	15.8	5.1	0.5	0.01	0	0	0.004	4.4	10.6	20.1	2013
27.75	13.5	15.8	5.1	0.5	0.01	0	0	0.004	4.4	10.6	20.1	2014
29.33	18.27	2.37	2.73	0.8	0	0	0	5.3	22.13	10.43	21.6	2015

ثم تم بعد ذلك تطبيق الأساليب المستخدمة في هذا البحث في تحليل السلاسل الزمنية وهي سلاسل زمنية من الدرجة الثانية والملائمة للبيانات، واستخدام الانحدار التوافقي (Harmonic Regression). وتم إيجاد نماذج مختلفة لهذه السلسلة بالاعتماد على المراحل الأساسية الثلاثة بطريقة (Box-Jenkins) في التحليل والنمذجة، والمتمثلة في التشخيص (التحديد) (Identification)، والتقدير (Estimation)، واختبار ملائمة النموذج المشخص (المحدد) (Diagnostic Checking). وقد تم بناء نماذج مختلفة للسلسلة أعلاه، والنماذج التي حصلنا عليها كالآتي:

أولاً: استخدام السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية للتنبؤ بالمعدلات الشهرية لكمية الأمطار:

سوف يتم استخدام نموذج السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية الملائم للبيانات والذي يأخذ الشكل:

$$\text{Rain} = A + B_1t + B_2t^2 + \varepsilon$$

**Estimated Model:**

$$\text{Rain} = 7.64637947780381 + 0.00656511412426758 * t - 5.52590703817101E-05 * t^2$$

**جدول (٢): ملخص النتائج**

Run Summary Section			
Parameter	Value	Parameter	Value
Dependent Variable	RAIN	Rows Processed	192
Number Ind. Variables	2	Rows Filtered Out	0
Weight Variable	None	Rows with X's Missing	0
R2	0.0001	Rows with Weight Missing	0
Adj R2	0.0000	Rows with Y Missing	12
Coefficient of Variation	2.8260	Rows Used in Estimation	180
Mean Square Error	33.96883	Sum of Weights	179.000
Square Root of MSE	5.828278	Completion Status	Normal Completion
Ave Abs Pct Error	4189.045	Autocorrelation (Rho)	0.7297

يلاحظ من جدول (٢) أن "R-squared=0.0001"، قد شجعت كثيراً على مواصلة البحث، لأنها تشير إلى أن التغير الثابت عبر الزمن في المتوسط الشهري لكمية الأمطار صغير، وهذا يجعل الكشف عن النمط الدوري للتغير في كمية الأمطار، بواسطة تحليل الانحدار غير الخطي التوافقي، أسهل، وهذا هو الهدف الرئيسي في هذا البحث.

**جدول (٣): جدول تحليل التباين للسلاسل الزمنية من الدرجة الثانية**

Analysis of Variance Section						
Source	DF	R2	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level
Intercept	1		761.3805	761.3805		
Model	2	0.0001	0.7295296	0.3647648	0.011	0.9893
Error	176	0.9999	5978.513	33.96883		
Total(Adjusted)	178	1.0000	5979.243	33.59125		

يلاحظ من جدول (٣) أن مجموع مربعات الخطأ لطريقة السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية يساوي 5978.513 وأن متوسط مربعات الخطأ " Mean square " = "33.96883" وأن "Square root" = "5.82828".

## ثانياً: استخدام الانحدار التوافقي (Harmonic Regression) للتنبؤ بالمعدلات

### الشهرية لكمية الأمطار:

تمت، بالاعتماد على البرنامج الجاهز "NCSS 11"، نمذجة السلسلة بالنموذج التوافقي الآتي:

$$T_t = A + B_t + a_1 \sin \left[ \left( \frac{f_1 t_1}{s} \right) 2\pi + \Phi_1 \right] + a_2 \sin \left[ \left( \frac{f_2 t_2}{s} \right) 2\pi + \Phi_2 \right] + \dots$$
$$\dots + a_k \sin \left[ \left( \frac{f_k t_k}{s} \right) 2\pi + \Phi_k \right]$$

#### Estimated Model:

$$\text{Rain} = (5.53194052465655 - (0.234984850672197) * \text{SIN}((1.25663706143592 * t)) - (0.00537264641436372) * \text{COS}((1.25663706143592 * t)) + (0.485519408050854) * \text{SIN}((0.628318530717958 * t)) + (0.131985363873936) * \text{COS}((0.628318530717958 * t)) + (4.17313748342304) * \text{SIN}((0.523598775598298 * t)) - (0.746382027183524) * \text{COS}((0.523598775598298 * t)))$$

وتمت تجربة كل أطوال الموجه (Wavelengths) الموجودة بالبرنامج وهي:

9.4	9.9	10.6	77.2	57	91
5	10	12			
5	8	10			
10	100	(10)			
1	10				

وجدير بالذكر أن الاختيار الثاني وهو "5 10 12" هو الذي أعطى أفضل نتائج.

تمت كذلك تجربة كل التحويلات (Transformation) المتاحة بالبرنامج وهي:

- 1-  $Y' = 1 / (Y^2) = 1 / (Y * Y)$
- 2-  $Y' = 1 / Y$
- 3-  $Y' = 1 / \text{SQRT}(Y)$
- 4-  $Y' = \text{LN}(Y)$
- 5-  $Y' = \text{SQRT}(Y)$
- 6-  $Y' = Y(\text{None})$
- 7-  $Y' = Y^2 = Y * Y$

ونجد أن الاختيار رقم (6) وهو  $Y' = Y(\text{None})$  هو الذي أعطى أفضل نتائج.

وتم التوصل إلى "Estimated Model" من خلال الجداول الآتية:

جدول (٤): معاملات الانحدار التوافقي

Regression Coefficients Section						
Independent Variable	Regression Coefficient b(i)	Standard Error sb(i)	T-Statistic to Test H0: $\beta(i)=0$	Prob Level	Lower 95% Conf. Limit of $\beta(i)$	Upper 95% Conf. Limit of $\beta(i)$
Intercept	5.53194	0.31187	17.74	0.0000	4.91638	6.14750
Sin(5)	-0.23498	0.21840	-1.08	0.8583	-0.66605	0.19608
Cos(5)	-0.00537	0.21809	-0.02	0.5098	-0.43584	0.42510
Sin(10)	-0.48552	0.21939	-2.21	0.9859	-0.91854	-0.05250
Cos(10)	0.13199	0.21819	0.60	0.2730	-0.29867	0.56264
Sin(12)	4.17314	0.31376	13.30	0.0000	3.55384	4.79244
Cos(12)	-0.74638	0.01945	-38.38	1.0000	-0.78477	-0.70800

جدول (٥): معاملات Sin ، Cos للنموذج المقدر

Harmonic Analysis Section					
Wave Length	Frequency	Amplitude	Phase	Sine Term Coefficient	Cosine Term Coefficient
5.000	1.2566	0.23505	1.59366	-0.23498	-0.00537
10.000	0.6283	0.50314	1.30537	-0.48552	0.13199
12.000	0.5236	4.23936	-1.74778	4.17314	-0.74638

وأمكن باستخدام معادلة الانحدار التوافقية السابقة، التنبؤ بمتوسط كمية الأمطار في جمهورية مصر العربية، على سبيل المثال، متوسط كمية الأمطار المقدرة لشهر نوفمبر من عام ٢٠١٥، وهو الشهر رقم (١٩١) في مؤشر الزمن t ويمكن حسابها بواسطة المعادلة السابقة بناء على مخرجات التحليل التوافقي الواردة في جدول (٤)، (٥) على النحو التالي:

$$T_t = 5.5319... - (0.23498...) * \sin((1.2566... * 191)) - (0.00537...) * \cos((1.25663... * 191)) + 4.17314 * \sin((0.5235... * 191)) - (0.74638) * \cos((0.5235... * 191))$$

$$= 8.6016$$

مع العلم بأن متوسط كمية الأمطار لذلك الشهر كانت 10.43 (مم/شهر). وأظهرت نتائج التحليل التوافقي للمعلومات الشهرية الممتدة من ٢٠٠٠ إلى ٢٠١٤ أنها تفسر حوالى 81% من تباين المتوسطات الشهرية لكمية الأمطار في جمهورية مصر العربية خلال فترة الدراسة وذلك وفقاً لقيمة R<sup>2</sup> الموضحة بجدول رقم (٦).

جدول (٦): ملخص النتائج

Run Summary Section			
Item	Value	Item	Value
Dependent Variable	Y	Total Rows	192
Time Variable	X	Rows with Missing Values	12
R <sup>2</sup>	0.8088	Rows Used	180
Maximum Iterations	1000		
Iterations Used	6		

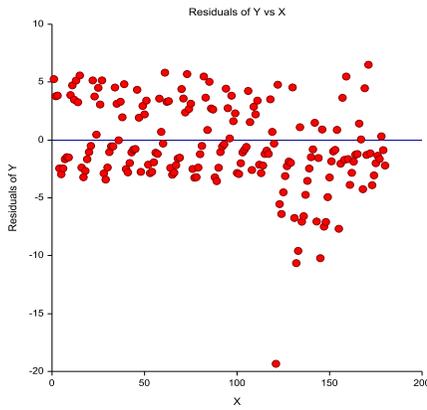
وتوضح المقارنة بين متوسط كمية الأمطار المتوقعة ومتوسط كمية الأمطار الفعلية للفترة المدروسة (٢٠٠٠ - ٢٠١٤) أن الفرق بين القيم الحقيقية والقيم المتوقعة خلال فترة الدراسة قليل، مقارناً بطريقة السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية، حيث بلغ مجموع مربعات الخطأ (Sum of Squares) 2515.4142، وأن متوسط مربعات الخطأ (MSE) بلغ 14.54 كما هو واضح من جدول رقم (٧).  
حيث بلغت هذه القيم في السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية 5978.513،  
33.96883 على الترتيب كما هو واضح من جدول رقم (٣).

جدول (٧): جدول تحليل التباين للانحدار التوافقي (Harmonic)

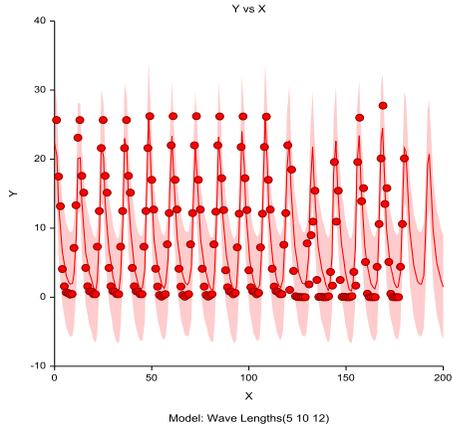
Analysis of Variance Table			
	DF	Sum of Squares	Mean Squares
Intercept	1	10987.5469	10987.5469
Model	7	21624.6462	23780.7155
Model (Adjusted)	6	10637.0993	1772.8499
Error	173	2515.4142	14.5400
Total (Adjusted)	179	13152.5135	
Total	180	24140.0604	

جدول (٨): مصفوفة الارتباط بين معاملات الانحدار التوافقي

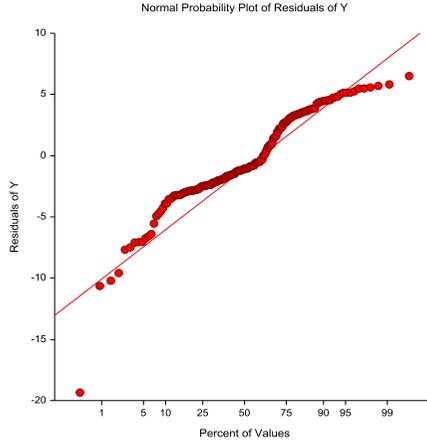
Correlation Matrix of Regression Coefficients							
	Intercept	Sin(5)	Cos(5)	Sin(10)	Cos(10)	Sin(12)	Cos(12)
Intercept	1.000000	-0.045826	-0.001049	-0.094257	0.025764	0.257872	0.869184
Sin(5)	-0.045826	1.000000	0.000064	0.005717	-0.001563	-0.015642	-0.052723
Cos(5)	-0.001049	0.000064	1.000000	0.000131	-0.000036	-0.000358	-0.001207
Sin(10)	-0.094257	0.005717	0.000131	1.000000	-0.003214	-0.032173	-0.108443
Cos(10)	0.025764	-0.001563	-0.000036	-0.003214	1.000000	0.008794	0.029641
Sin(12)	0.257872	-0.015642	-0.000358	-0.032173	0.008794	1.000000	0.296682
Cos(12)	0.869184	-0.052723	-0.001207	-0.108443	0.029641	0.296682	1.000000



شكل (٢): البواقي عبر الزمن



شكل (١): السلسلة الزمنية كنقاط والمنطقة المظلمة توضح حدود التنبؤ



شكل (٣): طبيعية البواقي

وللتأكد من جودة النموذج، تم تطبيق أسلوب الانحدار البسيط بين القيم الحقيقية والقيم المتوقعة، وأوضحت النتائج الإحصائية التي تم الحصول عليها جودة نموذج التوقع التوافقي، حيث أظهرت نتائج تحليل الانحدار بين القيم الحقيقية والمتوقعة (جدول رقم ٩)، أن معامل التحديد  $R^2 = 0.8168$  وأن معامل الارتباط "0.9038" ومتوسط مربعات الخطأ "MSE=13.53506" وقيمة معنوية F في تحليل التباين جدول رقم (١٠) في نموذج الانحدار = 0.000 أي أن F معنوية.

جدول (٩): ملخص نتائج الانحدار البسيط بين  $Y$  ،  $\hat{Y}$  لأمطار مصر من ٢٠٠٠-٢٠١٤

Run Summary Section			
Parameter	Value	Parameter	Value
Dependent Variable	Y	Rows Processed	180
Independent Variable	Y_hat	Rows Used in Estimation	180
Frequency Variable	None	Rows with X Missing	0
Weight Variable	None	Rows with Freq Missing	0
Intercept	-1.1785	Rows Prediction Only	0
Slope	1.0816	Sum of Frequencies	180
R-Squared	0.8168	Sum of Weights	180.0000
Correlation	0.9038	Coefficient of Variation	0.4709
Mean Square Error	13.53506	Square Root of MSE	3.679003

جدول (١٠): جدول تحليل التباين

Analysis of Variance Section						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (5%)
Intercept	1	10987.55	10987.55			
Slope	1	10743.27	10743.27	793.7366	0.0000	1.0000
Error	178	2409.241	13.53506			
Lack of Fit	58	979.1671	16.88219	1.4166	0.0560	
Pure Error	120	1430.074	11.91728			
Adj. Total	179	13152.51	73.47773			
Total	180	24140.06				

وللمزيد من الموضوعية والتأكد من جودة نموذج التوقع، تم تطبيق هذا النموذج للتنبؤ بمتوسطات كمية الأمطار الشهرية في جمهورية مصر العربية لفترة زمنية لم تدخل في بناء نموذج التوقع التوافقي، وهذه البيانات المستقلة ممثلة في الفترة ما بين يناير ٢٠١٥ إلى ديسمبر ٢٠١٥ (١٢ شهراً). وتم تطبيق أسلوب الانحدار البسيط بين القيم الحقيقية كمتغير مستقل والقيم المتوقعة كمتغير تابع، وأظهرت النتائج الإحصائية لذلك أن معامل التحديد  $R^2 = 0.577$  وأن معامل الارتباط = "0.7596"، وأن متوسط مربعات الخطأ "MSE = 52.35042" (جدول رقم ١١)، وقيمة F في تحليل التباين في نموذج الانحدار تساوي "0.0042" وهي معنوية (جدول رقم ١٢).

جدول (١١): ملخص نتائج الانحدار البسيط بين  $Y$  ،  $\hat{Y}$  لسنة التنبؤ ٢٠١٥

Run Summary Section			
Parameter	Value	Parameter	Value
Dependent Variable	Y2015	Rows Processed	12
Independent Variable	Yhat	Rows Used in Estimation	12
Frequency Variable	None	Rows with X Missing	0
Weight Variable	None	Rows with Freq Missing	0
Intercept	-0.1648	Rows Prediction Only	0
Slope	1.2064	Sum of Frequencies	12
R-Squared	0.5770	Sum of Weights	12.0000
Correlation	0.7596	Coefficient of Variation	0.7686
Mean Square Error	52.35042	Square Root of MSE	7.235359

جدول (١٢): تحليل التباين بين  $Y$  ،  $\hat{Y}$  لسنة التنبؤ ٢٠١٥

Analysis of Variance Section						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (5%)
Intercept	1	1063.33	1063.33			
Slope	1	714.0891	714.0891	13.6406	0.0042	0.9133
Error	10	523.5042	52.35042			
Adj. Total	11	1237.593	112.5085			
Total	12	2300.923				

توضح هذه النتائج الإحصائية جودة النموذج وتؤكد إمكانية الاستعانة به عند التنبؤ بمتوسط كمية الأمطار الشهرية لجمهورية مصر العربية.

#### ١٠-١- المقارنة بين طرق التنبؤ:

تم في النهاية مقارنة الأساليب المختلفة من طرق التنبؤ، التي استخدمت في هذا البحث والمتمثلة في الانحدار التوافقي (Harmonic Regression)، بالإضافة إلى السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية، وذلك باستخدام سلسلة متوسط كمية الأمطار الشهرية في الفترة من سنة ٢٠٠٠ إلى سنة ٢٠١٤ (١٨٠ شهر)، وتم تشغيل هذه السلسلة على كل أسلوب من أجل التنبؤ بالقيم المستقبلية.

ولقياس دقة التنبؤات تمت مقارنة القيم المقدرة والقيم الفعلية لكل طريقة للفترة من ٢٠٠٠ إلى ٢٠١٤ (١٨٠ شهر)، وتم حساب دقة تنبؤات الأسلوبين المستخدمين وهما: السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية، والانحدار التوافقي (Harmonic Regression) وذلك باستخدام معايير الجودة لنماذج السلاسل الزمنية المتمثلة في مجموع مربعات الخطأ، ومتوسط مربعات الخطأ (MSE)(Mean Square Error) ومقياس جذر متوسط مربعات الخطأ (RMSE) واتضح أن الأفضل هو الذي له أقل قيمة RMSE.

جدول (١٣): مقاييس دقة التنبؤ لطرق التنبؤ

طريقة التقدير	R <sup>2</sup>	MSE	Square Root of MSE
السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية	0.0001	33.96883	5.82828
Harmonic Model	0.8088	14.54	3.813135

يتضح لنا من الجدول السابق ما يلي:

- مقارنة مقياس متوسط مربعات الخطأ (MSE) لكل طريقة من طرق التنبؤ وجد أن قيمة طريقة السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية = 33.96883، وقيمة طريقة

الانحدار التوافقي 14.54 مما يوضح أن طريقة الانحدار التوافقي تحقق نتائج أفضل من طريقة التنبؤ الأخرى.

- مقارنة مقياس "RMSE" لكل طريقة من طرق التنبؤ، وجد أن قيمة طريقة السلاسل الزمنية العادية = 5.82828، وقيمة طريقة الانحدار التوافقي = 3.813135 مما يوضح أن طريقة الانحدار التوافقي تحقق نتائج أفضل.
- مقارنة معامل التحديد  $R^2$  لكل طريقة من طرق التنبؤ، نجد أن قيمته بالنسبة لطريقة السلاسل الزمنية العادية = 0.01% وبالنسبة لطريقة الانحدار التوافقي = 80.88% مما يوضح أن طريقة الانحدار التوافقي تحقق نتائج أفضل.

ويتضح من الجدول السابق تفوق أسلوب الانحدار التوافقي (Harmonic Regression) على طريقة السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية وفق المعايير الإحصائية السابقة، إذ تم الحصول به على النتائج ذات القيم الأقل للمعايير الإحصائية المستخدمة لحساب أخطاء التقدير (MAE , RMAE) وقيمة أعلى لمعامل التحديد  $R^2$ ، لذلك يعتبر الانحدار التوافقي بمثابة الطريقة الأفضل والأكثر دقة للتنبؤ بالقيم المستقبلية للسلسلة الزمنية قيد الدراسة، مما يشجع على استخدامه كأسلوب للتنبؤ بالسلاسل الزمنية المختلفة.

#### ١٠-٢- التنبؤ باستخدام النموذج المختار:

يتضح مما سبق أن الانحدار التوافقي هو الطريقة الأفضل والأكثر دقة للتنبؤ بالقيم المستقبلية للسلسلة الزمنية قيد الدراسة، وذلك وفقاً للمعايير الإحصائية المختلفة. لذلك سيتم التنبؤ بالقيم المستقبلية للمعدلات الشهرية لكمية الأمطار لسنة التنبؤ ٢٠١٥، لفترة (١٢) شهراً والخاصة باستخدام طريقة السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية، بالاعتماد على النموذج المقترح "Harmonic Regression".

والجدول الآتي جدول رقم (١٤) يمثل مقارنة بين القيم الحقيقية والقيم المُتنبأ بها بطريقتي التقدير (السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية و Harmonic).

جدول (١٤): تقدير متوسط كمية المطر الشهري لسنة ٢٠١٥

بطريقتي السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية و HARMONIC

مسلسل	2015	Y	Ŷ HARM	من الدرجة الثانية Ŷ	(Y- Ŷ HARM) <sup>2</sup>	(الدرجة الثانية (Y- Ŷ)) <sup>2</sup>
181	يناير	29.33	20.40292	16.556	79.69275733	163.175076
182	فبراير	18.27	13.70631	13.966	20.82726642	18.524416
183	مارس	2.37	9.345003	12.072	48.65066685	94.128804
184	ابريل	2.73	6.536343	10.686	14.48824703	63.297936
185	مايو	0.8	4.543984	9.672	14.01741619	78.712384
186	يونية	0	3.141008	8.927	9.865931256	79.691329
187	يولية	0	2.267129	8.38	5.139873903	70.2244
188	اغسطس	0	1.866388	7.977	3.483404167	63.632529
189	سبتمبر	5.3	1.972786	7.679	11.070353	5.659641
190	أكتوبر	22.13	3.261775	7.458	356.0099147	215.267584
191	نوفمبر	10.43	8.601535	7.292	3.343284256	9.847044
192	ديسمبر	21.6	19.62477	7.167	3.901533553	208.311489
			<b>SUM of Squares</b>		<b>570.4906486</b>	<b>1070.472632</b>
			<b>MSE</b>		<b>51.86279</b>	<b>97.31569</b>

وللتأكد تم حساب مجموع مربعات الخطأ لطريقتي التنبؤ، ووجد أن قيمة طريقة السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية هي "1070.472632"، وقيمة طريقة الانحدار التوافقي 570.490649، وأن مقياس متوسط مربعات الخطأ (MSE) كان لطريقة السلاسل الزمنية من الدرجة الثانية 97.31569 وأن جذر متوسط مربعات الخطأ (RMSE) كان 9.864872، بينما كانت قيم طريقة الانحدار التوافقي 51.86279، 7.20158 على الترتيب، مما يشير إلى كفاءة النموذج المقترح (Harmonic Model) الذي يمثل النموذج الملائم لسلسلة متوسط المعدلات الشهرية لكمية الأمطار لجمهورية مصر العربية.

## ١١- النتائج والتوصيات:

### ١١-١- النتائج:

- ١- توضح نتائج هذا البحث أن السلوك الزمني لمتوسطات كمية الأمطار لجمهورية مصر العربية يتبع نمطاً شبه دوري وشبه منتظم. لم تكن ملاحظة ذلك النمط وكشفه بالأمر السهل، إلا أن استخدام الانحدار التوافقي في هذا البحث مكن من الكشف عن هذا النمط الدوري.
- ٢- أوضحت هذه الدراسة أن أكثر من 80.88% من التباين في سلوك كمية الأمطار الشهرية لجمهورية مصر العربية أمكن تفسيره بواسطة ثلاث توافقات (موجات)؛ لذلك تم استخدام معطيات تلك التوافقات لبناء نموذج انحدار توافقي غير خطي واحد، يتيح توقع متوسطات كمية الأمطار الشهرية لجمهورية مصر العربية.

- ٣- أثبتت المقارنة بين القيم الحقيقية لمتوسطات كمية الأمطار الشهرية لجمهورية مصر العربية للفترة ما بين ٢٠٠٠ ، ٢٠١٤م وبين القيم المتوقعة لنفس الفترة المستخلصة من تطبيق نموذج التوقع، جودة ذلك النموذج، وذلك بناء على المعايير الإحصائية لجودة نماذج السلاسل الزمنية والمتمثلة في "MSE , RMSE , R<sup>2</sup>".
- ٤- يؤكد تطبيق النموذج على (١٢ شهرا) من عام ٢٠١٥، وهي فترة مستقلة لم تدخل بياناتها في بناء النموذج، جودة هذا النموذج وإمكانية الاستعانة به للتنبؤ بمتوسطات كمية الأمطار الشهرية والفصلية لجمهورية مصر العربية.

#### ١١-٢- التوصيات:

- ١- توصي هذه الدراسة بالاستعانة بنموذج التنبؤ المقترح (Harmonic Model) الذي تم التوصل إليه في هذا البحث في بناء توقعات متوسطات كمية الأمطار الفصلية والشهرية لجمهورية مصر العربية.
- ٢- يرجى أن تؤخذ المعلومات المكتسبة في هذه الدراسة بعين الاعتبار، والاستفادة منها في أي دراسة مستقبلية.
- ٣- تتصح هذه الدراسة المسؤولين واضعي السياسات في شتى المجالات بالاستعانة بالأساليب العلمية في التنبؤ، التي تمكنهم من التخطيط بصورة علمية.
- ٤- توافر قواعد البيانات على المستوى القومي مع توخي الدقة في نشر البيانات. فكلما كانت البيانات المستخدمة في التحليل دقيقة، أدى ذلك إلى الحصول على نتائج أفضل، وساعد متخذي القرار على وضع سياساتهم بصورة صحيحة.
- ٥- يجب أن نشير، في ختام هذا البحث، إلى نقطة مهمة، وهي أن نموذج التوقع التوافقي قد بني على بيانات ١٥ سنة، تمتد ما بين ٢٠٠٠ ، و٢٠١٤، وتشمل ١٨٠ شهر. ويبدأ التسلسل الشهري من شهر ١ فصاعداً (مؤشر الزمن) ويدخل في بناء التوقع ويؤثر على النتيجة. ويفضل ألا تتعدى قيمة مؤشر الزمن ٥٠٠ عند تطبيق معادلة التوقع التوافقي، نظراً لأن بلوغ مؤشر الزمن أرقاماً كبيرة جداً يجعل النتائج المتحصل عليها، عند تطبيق النموذج، كبيرة أيضاً، وبعيدة عن الواقع. وحيث أن التوقع مبني على النمط الدوري في البيانات لمدة ١٥ سنة، يصبح من الأفضل إعادة بناء النموذج كل عشر سنوات تقريباً، بناء على بيانات جديدة. فمثلاً يجب من أجل التنبؤ بكمية الأمطار للفترة ما بين ٢٠٢٠ ، ٢٠٣٠ إعادة بناء النموذج بناء على البيانات الممتدة للفترة ما بين ٢٠١٠ إلى ٢٠١٩ ... وهكذا.

٦- السرعة في تنفيذ المشروعات الصناعية التي ذكرت في التقرير، الذي أعده قطاع المياه الجوفية بوزارة الموارد المائية والري، والتي تشمل إقامة سدود إعاققة، وبحيرات صناعية وخزانات أرضية لحصاد الأمطار والسيول، والاستفادة منها في تنفيذ المشروعات التي تهدف لتلبية الإحتياجات من مياه الشرب والري، وذلك للخروج من أزمة الموارد المائية التي نعاني منها حالياً، فيما يتعلق بالاحتياجات المائية خلال السنوات المقبلة، والاستفادة من مصادر مياه أخرى إلى جانب نهر النيل.

### ١٢- المراجع:

#### ١٢-١- المراجع العربية:

- ١- "الكتاب الإحصائي السنوي"، الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء إصدارات من ٢٠٠٠ حتى ٢٠١٦.
- ٢- المصرى اليوم، تقرير "الرى" لـ "السيسى" ١٧ مشروعا لحصاد الأمطار والاستفادة منها الثلاثاء ٢٧\١٠\٢٠١٥.
- ٣- أميرة عبيدو، فواز الموسيقى، إياد الحمادة: "التحليل التوافقي لمعدلات درجات الحرارة الشهرية في حلب"، مجلة بحوث جامعة حلب سلسلة العلوم الاقتصادية والقانونية، العدد ٨٠ لعام ٢٠١٢م
- ٤- عبد الغفور جاسم العبيدي، أحمد عواد الحمداني: "دراسة استقرارية بعض النماذج التوافقية مع تطبيق"، مجلة الرافدين لعلوم الأسبات والرياضيات المجلد ٧ العدد ٢، ٢٠١٠م.
- ٥- فهد بن محمد بن عبد الله الكليبي: "توقع متوسط درجة الحرارة الشهرية لمدينة الرياض باستخدام التحليل التوافقي"، مجلة جامعة الملك سعود ١٤٢٣هـ-٢٠٠٣م.

#### ١٢-٢- المراجع الأجنبية:

- 6- Imre BARTFAI "An Illustration of Harmonic Regression Based on the Results of the Fourier Transformation", Yugaslan Journal of Operations Research, 12 (2002), Number 2, 185-201.
- 7- Michael Artis, José G. Clavel, Mathias Hoffmann and DilipNachane. "Harmonic Regression Models: A Comparative Review with Applications", University of Zurich, September 2007.
- 8- NCSS Statistical Software, NCSS, LLC. All Rights reserved Harmonic Regression(Chapter 460).2016