



# التنبؤ بالطلب المستقبلي على المياه في مدينة جدة باستخدام تقنيات التنبؤ المختلفة

حامد بن عبدالعليم وردك

بحث مقدم لنيل درجة الماجستير في العلوم (الهندسة الصناعية)

كلية الهندسة

جامعة الملك عبدالعزيز - جدة

شعبان ١٤٤٠هـ - مايو ٢٠١٩م



التنبؤ بالطلب المستقبلي على المياه في مدينة جدة  
باستخدام تقنيات التنبؤ المختلفة

حامد بن عبدالعليم وردك

بحث مقدم لنيل درجة الماجستير في العلوم (الهندسة الصناعية)

إشراف

الأستاذ الدكتور / سراج بن يوسف عابد

الدكتور / نادر السيد

كلية الهندسة

جامعة الملك عبدالعزيز

جدة - المملكة العربية السعودية

شعبان ١٤٤٠هـ - مايو ٢٠١٩م

# التنبؤ بالطلب المستقبلي على المياه في مدينة جدة باستخدام تقنيات التنبؤ المختلفة

حامد بن عبدالعليم وردك

## المستخلص

الطلب على المياه في مدينة جدة مرتفع للغاية على مر السنين، وهذا يتأكد عند النظر إلى بيانات الاستهلاك الخاصة بالمدينة. حيث نجد أن معدل استهلاك المياه في تزايد وفقا لإحصاءات وزارة البيئة والمياه والزراعة. وتحتاج الوزارة إلى التنبؤ المستقبلي باستهلاك المياه لاتخاذ القرارات اللازمة لتلبية الطلب المتزايد. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد العوامل التي تؤثر على استهلاك المياه، والتنبؤ بكميات المياه اللازمة في جدة للسنوات القادمة، وقد تم استخدام تقنيات التنبؤ الإحصائية على بيانات الاستهلاك الشهري من المياه لمدينة جدة في الفترة من (يناير ٢٠٠٩م إلى أكتوبر ٢٠١٨م)، بمجموع ١١٨ شهراً، للوصول إلى تقدير الكميات التي تحتاجها مدينة جدة بنهاية عام ٢٠٢٢م. البيانات الخاصة باستهلاك المياه تم تجميعها من موقع وزارة البيئة والمياه والزراعة (MEWA) في المملكة العربية السعودية. تم استخدام معامل بيرسون للارتباط لتحديد العلاقة بين استهلاك المياه في مدينة جدة ومجموعة من العوامل بشكل منفصل. وتم اختيار العوامل - من خلال المراجعة الأدبية التي تمت- وهي على النحو التالي: عدد سكان مدينة جدة، والعوامل الجوية: درجات الحرارة الشهرية (الكبرى والصغرى والمتوسط) ونسبة الرطوبة الشهرية (أعلى نسبة، وأقل نسبة، والمتوسط)، والعوامل الاقتصادية (الناتج المحلي الإجمالي، ومعدل التضخم الشهري، ونصيب الفرد من الناتج المحلي). بعد إجراء اختبار الارتباط بين استهلاك المياه وبين كل من هذه العوامل، تبين أن أقوى خمسة عوامل ارتباطا هي (على الترتيب): سكان مدينة جدة، الناتج المحلي الإجمالي للمملكة العربية السعودية، معدل التضخم في المملكة العربية السعودية، الناتج المحلي الإجمالي للفرد في المملكة العربية السعودية ومتوسط درجة الحرارة الصغرى شهريا لمدينة جدة. معامل الارتباط لهذه العوامل الخمسة كالتالي: ٠,٨٠٦ ، ٠,٧٢٦ ، -٠,٦٨٣ ، ٠,٤٥٢ ،

و٣٩٦,٠ على التوالي. بالنسبة إلى بيانات العوامل الاقتصادية الأخرى فقد تم الحصول عليها من موقع منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD)، وموقع مؤسسة النقد العربي السعودي.

تم التنبؤ على مرحلتين: الأولى: تنبؤ بتحليل السلاسل الزمنية Time-Series فقط دون أخذ العوامل المؤثرة في الحساب. والثانية كانت باستخدام العوامل المؤثرة في الاستهلاك. في المرحلة الأولى، تم استخدام تقنيات التنبؤ بتحليل الاتجاه (الخطي والأسّي والتربيعي) للحصول على أفضل نموذج مناسب لاستهلاك المياه في جدة وأكثرهم دقة. وقد أظهرت النتائج أن طريقة Holt-Winters توفر أفضل نموذج وأكثر دقة من بين الـ ١٧ طريقة التي تم استخدامها في الدراسة. وباستخدام هذه التقنية، خلصنا إلى أن استهلاك المياه الشهري في مدينة جدة سوف يصل إلى ٤٤,٦ مليون متر مكعب في ديسمبر ٢٠٢٢م من مستواه في أكتوبر ٢٠١٨م، أي بنسبة زيادة تصل إلى ١٣,٥٪ خلال فترة التنبؤ البالغة ٤ سنوات. أما في المرحلة الثانية، فقد تم استخدام طرق وتقنيات تأخذ العوامل المرتبطة بالاستهلاك في الحساب، وهي كالتالي: الانحدار المتعدد (Multiple Regression) ومتوسط الانحدار المتكامل التلقائي (ARIMA) والشبكة العصبية الاصطناعية متعددة الطبقات (MLP-Neural Network).

أظهرت النتائج النهائية في تقنية الانحدار المتعدد، أنه يمكن تفسير ٨٥,٧٢٪ من التباين في التنبؤ في استهلاك المياه (Y) بواسطة نموذج الانحدار الذي توصلنا له. وفي تقنية ARIMA استنتجنا أن دقة النموذج قد تزداد بزيادة عدد العوامل إلى النموذج. وخلصنا إلى أن أفضل نموذج من بين جميع النماذج التي تم اختبارها (من حيث مقاييس الدقة) هو نموذج ARIMA (0,1,12) مع ٥ عوامل. وفي تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية استنتجنا أن إضافة المزيد من الطبقات لا يؤدي بالضرورة إلى تحسين نتائج دقة النموذج. من ناحية أخرى، لا تحتاج بعض النماذج إلى جميع العوامل الخمسة لإعطاء النموذج الأكثر دقة. وهذا يعني إضافة المزيد من العوامل في MLP-NN قد لا تعطي دقة أعلى. بلغ الخطأ النسبي للنموذج الأفضل في الشبكات العصبية (١٧٧,٠ في مجموعة التدريب، و ٠,٠٩٢ في مجموعة الاختبار). كذلك، فقد تم حساب مقاييس الدقة Accuracy Measures (MAE,MAPE,MSE, RMSE) لكل التقنيات المستخدمة في الدراسة. وتم مقارنة نتائج جميع النماذج في التقنيات المختلفة التي تم استخدامها بناءً على أقل الأخطاء في مقاييس الدقة.

# التنبؤ بالطلب المستقبلي على المياه في مدينة جدة باستخدام تقنيات التنبؤ المختلفة

حامد بن عبدالعليم وردك

## الملخص

حاجة الإنسان للمياه ضرورية. بينما تعاني العديد من الدول من نقص في مياه الشرب. تخطط الحكومات لتلبية الطلب المتزايد على المياه. أنشأت المملكة العربية السعودية على طول ساحل البحر الأحمر والخليج العربي العديد من محطات تحلية المياه لتلبية الطلب المتزايد على مياه الشرب. تعتمد منطقة مكة المكرمة بشدة على المياه المحلاة. مدينة جدة هي أكبر محافظة في المنطقة ، وبالتالي ركزت عليها هذه الدراسة. تقع مدينة جدة على الساحل الغربي للمملكة العربية السعودية على البحر الأحمر ، تحديداً عند ٢١ ° ٣٢' ٣٦' شمالاً، 39 ° 22' 10' شرقاً ، وتبعد حوالي ٧٩ كم عن مدينة مكة المكرمة، وعلى ارتفاع ١٢ متراً فوق مستوى سطح البحر. جدة هي أكبر مدينة في منطقة مكة المكرمة وثاني أكبر مدينة في المملكة العربية السعودية. تبلغ مساحتها الإجمالية أكثر من ١٦٠٠ كم مربع.

والسؤال هو: ما كمية المياه التي تستهلكها مدينة جدة؟ كم سيكون في عام ٢٠٢٢م؟ ما هي العوامل التي تؤثر على استهلاك المياه؟ للإجابة على هذه الأسئلة، أجريت هذه الدراسة.

## تعريف مسألة البحث

الماء عنصر أساسي في حياتنا، ولا يمكننا العيش بدون ماء. يستخدم الماء على نطاق واسع حياتنا اليومية: في الزراعة والصناعة والاستخدامات البلدية والمنزلية. على الرغم من أن مياه البحار والمحيطات تغطي حوالي ٧١٪ من سطح الأرض، إلا أن هذه المياه غير صالحة للاستخدام اليومي. تعاني المملكة العربية السعودية من نقص في الموارد المائية بسبب موقعها الجغرافي، ونقص موارد المياه الطبيعية مثل الأنهار والبحيرات وكذلك

انخفاض هطول الأمطار. وفقاً للهيئة العامة للإحصاء [٨]، كان متوسط هطول الأمطار في المملكة العربية السعودية هو ٧٦ ملم في الفترة من ٢٠١٠ إلى ٢٠١٦م، وهذه كمية قليلة جداً مقارنة بالمعدلات العالمية. حاولت المملكة العربية السعودية إيجاد بدائل لتلبية الطلب المتزايد على المياه للاستخدامات البلدية والصناعية. أنشأت العديد من محطات تحلية المياه على طول ساحل البحر الأحمر والخليج العربي. تم تأسيس شركة تحويل المياه المالحة (SWCC) بموجب مرسوم ملكي في عام ١٩٧٤م كشركة حكومية مستقلة. SWCC هي المسؤولة عن تحلية مياه البحر وتزويد مناطق مختلفة في المملكة بالمياه المحلاة. على الرغم من إنشاء العديد من محطات تحلية المياه، لا يزال الطلب مرتفعاً. تساهم المياه المحلاة بأقل من ١٠٪ من الاحتياجات اليومية من المياه. على مر السنين، فإن معدل استهلاك المياه في تزايد كما يلاحظ من الإحصاءات.

في هذه الدراسة، تم استخدام الأدوات والتقنيات لتطوير الطلب على المياه والتنبؤ به في المستقبل. تم استخدام تقنيات التحليل الإحصائي للتنبؤ بالطلب المستقبلي على المياه في مدينة جدة. وتمت الاستعانة ببيانات وزارة البيئة والمياه والزراعة (MEWA) وتحليلها لغرض هذه الدراسة.

### أهمية البحث

سيساعد هذا البحث سلطات المياه على إدراك الحاجة المستقبلية للمياه في جدة، وبالتالي مساعدتهم في عملية صنع القرار لتلبية الطلب المتزايد على المياه. علاوة على ذلك، هذه الدراسة مهمة في تصميم وتشغيل البنية التحتية للمياه ومعدات التوزيع. سوف تستفيد SWCC و NWC أيضاً من خلال تزويدهم بنتائج هذه الدراسة واستنتاجها. أيضاً، سيتعرف سكان مدينة جدة كمية المياه الضخمة التي يستخدمونها ونتمنى أن يحاولوا زيادة وعيهم بمشكلة نقص المياه، حتى يغيروا سلوكهم. سيعمل هذا البحث على تعزيز الاستدامة في الموارد المائية في المملكة العربية السعودية.

## أهداف البحث

أهداف هذه الدراسة هي:

- 1- تحديد وتحليل العوامل المؤثرة على استهلاك المياه في مدينة جدة.
- 2- تطبيق أساليب التنبؤ المختلفة لتوقع كميات المياه اللازمة في جدة للسنوات القادمة.

## منهجية البحث:

تم تنفيذ هذه الخطوات لتحقيق أهداف الدراسة:

- 1- البحث في الإنترنت عن الدراسات ذات الصلة
- 2- تم تحميل وقراءة الكثير من الوثائق والتقارير والمقالات.
- 3- تم كتابة مقترح بحثي.
- 4- تم جمع البيانات من مواقع مختلفة لاستهلاك المياه ولكل عامل من العوامل المحددة في الدراسة. بعض هذه المواقع هي: المواقع الإلكترونية الحكومية والتقارير الواردة من: وزارة البيئة والمياه والزراعة [9] (MEWA) ، الهيئة العامة للإحصاء [8] ، موقع منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية [45]، موقع الوقت والتاريخ [42] للحصول على بيانات درجة الحرارة والرطوبة في مدينة جدة.
- 5- تم تحليل البيانات بالتفصيل.
- 6- تم استطلاع العديد من مواقع الويب والبرامج التعليمية ومقاطع الفيديو على YouTube للتعلم.
- 7- تم تنزيل 3 برامج وتعلمها: برنامج SPSS، (الإصدار 16)، وبرنامج Minitab الإحصائي، (الإصدار 17) ، وبرنامج Microsoft Excel
- 8- تم تعلم الأساليب الإحصائية التحليلية، على سبيل المثال: تقنيات الانحدار، المتوسط المتحرك، والشبكات العصبية.
- 9- تمت مقارنة النتائج وتحليلها.

## هيكل الرسالة:



تتكون هذه الرسالة من ستة فصول: الفصل الأول هو مقدمة الأطروحة. الفصل الثاني يبين الدراسات ذات الصلة في أدوات التنبؤ بالمياه والتقنيات المستخدمة. يتناول الفصل الثالث عملية جمع البيانات وتحليلها، لبيانات استهلاك المياه وكل العوامل المحددة في الدراسة. الفصل الرابع يوضح التنبؤ بالتسلسل الزمني لاستهلاك المياه. الفصل الخامس أيضًا للتنبؤ ولكن مع (عوامل) مع الانحدار، ومتوسط الانحدار المتكامل التلقائي (ARIMA) والشبكة العصبية الاصطناعية (ANN). الفصل السادس يلخص الدراسة في الختام والتوصيات للدراسات المستقبلية. وفيما يلي ملخص لكل فصل من فصول الرسالة.

## الفصل الأول: المقدمة

احتوى الفصل الأول على: المقدمة، ومسألة البحث، أهمية البحث، وأهدافه، والمنهجية المتبعة، وهيكل الرسالة.

## الفصل الثاني: المراجعة الأدبية

احتوى على عدد من الدراسات والأوراق العلمية المنشورة التي اتبعت طرق التنبؤ باستهلاك المياه باستخدام عدة تقنيات مختلفة، عن طريق برمجيات حاسوبية. حيث كان هناك رصد شامل للعوامل التي استخدمها الباحثون في دراساتهم حول هذا الموضوع. وسنستعرض بعضا منها:

دراسة أبو شمالة وياوزير في ٢٠١٧م بعنوان: التنبؤ بالطلب المحلي للمياه في مكة المكرمة، حيث استخدم نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) وباستخدام MATLAB. واختار عوامل مؤثرة مثل: سكان مكة المكرمة، ومساحة المنزل، ومعدل الدخل الشهري للفرد، ومعدل درجة الحرارة العظمى، ومتوسط عدد زوار مكة المكرمة. تم تجميع البيانات في الفترة ما بين ٢٠٠٢م و ٢٠١٢م من مصادر مختلفة.

دراسة أحمد سامي قميص، في ٢٠١٢م بعنوان: الطلب المستقبلي للمياه في مدينة جدة، وقدم ٣ سيناريوهات تمثل: نمو السكان بالحد الأعلى، والحد المتوسط والنمو الأقل. وتحت كل سيناريو، عنوان مشكلة نقص المياه ووضوحها، وأظهرت الدراسة بأنه بدون تخزين المياه ستواجه مدينة جدة مشكلة نقص مياه حقيقية.

دراسة عمر خضر عودة في ٢٠١٣م، بعنوان: نحو تقييم الوعي العام لمشكلة نقص المياه في المملكة العربية السعودية. هذه الدراسة أظهرت - من مسح لقياس الوعي العام حول مشكلة نقص المياه أجراه الباحث بمساعدة آخرين- أن هناك وعي منخفض لهذه المشكلة من بين الشريحة التي تم أخذ آرائها في الاستبيان.

دراسة محمود فرات، ومحمد علي يوردوسيف، ومصطفى إكران توران، في ٢٠٠٨م، بعنوان: تقييم تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية ANN لنمذجة استهلاك المياه البلدية. وتم تطبيق الدراسة في مدينة إزمير بالجمهورية التركية. تم اختيار عوامل عدة منها: فاتورة المياه الشهرية، والسكان، وعدد المنازل، ومعدل التضخم، والناتج الوطني الإجمالي، ومعدل درجة الحرارة الشهرية، ومعدل سقوط الأمطار الشهري، ومعدل نسبة الرطوبة الشهرية. تم تجميع البيانات للفترة ما بين ١٩٩٧م و ٢٠٠٥م، من مصادر مختلفة.

دراسة عبدالخالق ياسار ومحمد بيلجيلي وإردوغان سيمسيك في ٢٠١٢م، بعنوان: التنبؤ بالطلب على المياه بناء على تحليل الانحدار اللاخطي المتعدد، طبقت تقنية التحليل خطوة بخطوة للانحدار المتعدد اللاخطي Stepwise Multiple Nonlinear Regression Analysis. وتم تطبيق الدراسة في مدينة أضنة بالجمهورية التركية. بعض العوامل التي تم اختيارها في الدراسة شملت: متوسط فاتورة المياه الشهرية، وعدد المشتركين الإجمالي، والحرارة، والرطوبة النسبية، والأمطار، ومدة سطوع الشمس، وسرعة الرياح والضغط الجوي. حسب الدراسة، فإنه من المتوقع أن يرتفع الطلب على المياه من ٣,٨٤ مليون م<sup>٣</sup> في ٢٠٠٩م إلى ٤,٩٩ مليون م<sup>٣</sup> بحلول عام ٢٠٢٠م.

دراسة جورج كبادو في ٢٠٠٧م، بعنوان: التنبؤ باستهلاك المياه في إسبانيا باستخدام نماذج السلاسل الزمنية أحادية المتغير، تم تجميع بيانات يومية للفترة من ١ يناير ٢٠٠١م إلى ٣٠ يونيو ٢٠٠٦م، وتم اختبارها باستخدام طرق (التجانس الأسّي Exponential Smoothing، و ARIMA و GARCH).

دراسة بوهان يانغ وويوي زهينغ وإكسينلي كي في ٢٠١٧م بعنوان: التنبؤ بالطلب على المياه في القطاع الصناعي باستخدام المنطق المعتمد على الحالة، دراسة حالة في مدينة زهانغي بجمهورية الصين الشعبية. تم إنشاء ٤٢٠ حالة من ٢٨ مدينة في الصين، واستخلصوا منها ٦ صفات للطلب على المياه في الصناعة. أظهرت النتائج أن الطلب على المياه في القطاع الصناعي في مدينة زهانغي في ٢٠٣٠م سيصل إلى ١١,٩ مليون طن.

دراسة أن جي هوانغ وآخرون في ٢٠١٧م بعنوان: تحليل العوامل وتخمين نموذج لاستهلاك المياه في المعاهد الحكومية في تايوان. تم تصميم مصفوفة معاملات الارتباط بناء على سجلات لكل وحدة استهلاك مياه، وتم استخدام نماذج انحدار خطية وغير خطية بالإضافة إلى الشبكات العصبية الاصطناعية. أظهر تحليل العوامل المؤثرة في استهلاك المياه أن عدد الموظفين ومساحة الدور الواحد لهما الأثر الأكبر لتقدير الاستهلاك.

دراسة لميول كلارك فيلاسكو في ٢٠١٧م بعنوان: التنبؤ باستهلاك المياه متوسط المدى باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية. تم تطبيق الدراسة على مدينة منداناو في الفلبين. كان الغرض من الدراسة إنشاء نموذج يتنبأ باستهلاك المياه الشهري لمدينة متحضرة للغاية في عدة تصنيفات: المحلي، والتجاري، والصناعي، وغيرها. تم تجميع بيانات ١٦ سنة ماضية من ١٩٩٨م إلى ٢٠١٤م، للتنبؤ بالقيم المستقبلية من يناير إلى ديسمبر ٢٠١٥م. خلصت الدراسة إلى أن الشبكات العصبية الاصطناعية هي تقنية تنبؤ قابلة للتطبيق في التنبؤ باستهلاك المياه في الشهر التالي.

دراسة عبدالسلام ألتونياك وآخرون، في عام ٢٠١٧م، بعنوان: التنبؤ باستهلاك المياه الشهري باستخدام خوارزمية موسمية ونماذج قائمة على تحويل الموجات wavelet transform-based. طبق الباحثون خوارزمية Multiplicative Seasonal Algorithm لأول مرة كتقنية بديلة للمعالجة المسبقة للبيانات في مجال الهيدرولوجيا. تم تجميع بيانات شهرية للفترة من (يناير ١٩٩٢م وحتى ديسمبر ٢٠١٤م) بمجموع ٢٣ سنة سابقة من إدارة مياه بلدية إسطنبول الكبرى (ISKI). تم تطوير ثلاثة نماذج للتنبؤ باستهلاك المياه الشهري لمدينة إسطنبول.

دراسة تنغ تنغ فانغ و ريسنو لاهديلما في عام ٢٠١٦م بعنوان: تقييم نموذج الانحدار الخطي المتعدد ونموذج SARIMA للتنبؤ بالطلب على التدفئة لنظام التدفئة الخاص بالحي. في هذه الدراسة تم اقتراح نموذج انحدار بسيط أولي وفيه يتم التنبؤ بالطلب على التدفئة باستخدام درجة الحرارة لكل ساعة في الهواء الطلق وسرعة الرياح. ولتحسين دقة النموذج الأولي قام الباحثان بإضافة الرتم الأسبوعي لاستهلاك التدفئة كمكون اجتماعي. هذه الدراسة هي مثال على أن تطبيق نماذج مثل SARIMA في مجالات غير استهلاك المياه. تم تطبيق الدراسة في مدينة إسبو في فنلندا. وتم تجميع البيانات لآخر ٢٠ أسبوعا من ٢٠١٤م.

دراسة جوهر محمد من جامعة دهوك بالعراق، وحكمت إبراهيم من جامعة السليمانية بالعراق في ٢٠١٣م بعنوان: نموذج الشبكات العصبية الاصطناعية (متعدد الطبقات- متعدد الوظائف) للتنبؤ بالطلب على المياه البلدية. تم استخدام بيانات يومية وشهرية لمدة ١٤ سنة (من ١ يناير ١٩٩٢م وحتى ٣١ ديسمبر ٢٠١٤م) لمدينة تامبا في أمريكا. لاختبار دقة النماذج المطورة، تم استخدام R2 ومقاييس الدقة RMSE و MAPE وبالإضافة إلى اختبار فرضيات. تم استخدام كود برنامج MATLAB لبناء وتمارين النموذج المطور.

وللاطلاع على دراسات أكثر في المجال، يرجى مراجعة الجزء الإنجليزي من هذه الرسالة.

## الفصل الثالث: تجميع البيانات وتحليلها

في هذا الفصل، تم استعراض بيانات استهلاك المياه الشهري لمدينة جدة، وتحليلها وعرضها باستخدام الجداول والرسوم البيانية. وأظهرت التحليلات أن متوسط كمية المياه الشهرية التي تم تزويد مدينة جدة بها في الفترة من يناير ٢٠٠٩م إلى أكتوبر ٢٠١٨م، بلغت حوالي ٣١,٥ مليون م<sup>٣</sup>، والمتوسط السنوي بلغ ٣٧٣,٧ مليون م<sup>٣</sup> لنفس الفترة. وقد بلغ متوسط النمو السنوي في استهلاك المياه حوالي ١٨,٧٨ مليون م<sup>٣</sup> (بنسبة ٥,٧٣٪). إلا أنه في عام ٢٠١٥م، حدث انخفاض كبير في استهلاك المياه، ولم يتم تحديد أسباب انخفاض الاستهلاك في التقارير التي تم استعراضها، لكننا نعتقد أن السبب في ذلك قد يعزى إلى نظام التعرف الجديد المطبق في السنوات الأخيرة، بالإضافة إلى مغادرة العديد من المقيمين في المملكة العربية السعودية بسبب اللوائح الجديدة المطبقة عليهم.

ثم تطرقنا إلى العوامل التي تؤثر في استهلاك المياه والمرتبطة بها. وتم اختيار العوامل - من خلال المراجعة الأدبية التي تمت- وهي على النحو التالي: عدد سكان مدينة جدة، والعوامل الجوية: درجات الحرارة الشهرية (الكبرى والصغرى والمتوسط) ونسبة الرطوبة الشهرية (أعلى نسبة، وأقل نسبة، والمتوسط)، والعوامل الاقتصادية (الناتج المحلي الإجمالي، ومعدل التضخم الشهري، ونصيب الفرد من الناتج المحلي). حيث أظهر تحليل سكان مدينة جدة أن النمو السنوي لسكان جدة في الفترة من (٢٠٠٩م إلى ٢٠١٨م) بلغ حوالي ١١٣,٣٣٠ في السنة (٣,٠٣٪)، وإذا استمر معدل النمو بنفس الوتيرة، فإن عدد سكان جدة سيصل إلى ٥ ملايين نسمة في عام ٢٠٢٣م. وبالنسبة إلى العوامل الجوية فقد تمت دراسة عاملين منها بالتفصيل وهي: درجة الحرارة والرطوبة. وسنذكر بعض الأرقام والنتائج التي حصلنا عليها: أقصى درجة حرارة مسجلة في جدة في الفترة من (يناير ٢٠٠٩م إلى أكتوبر ٢٠١٨م) كانت ٥١ م° في يونيو ٢٠١٠. وأدنى درجة حرارة مسجلة في جدة في نفس الفترة كانت ١٣ م° في يناير ٢٠١٥م، ومتوسط درجة الحرارة للفترة المذكورة أعلاه في جدة هو ٢٩,٤ م°. بالنسبة للرطوبة، فقد بلغت أقصى نسبة رطوبة مسجلة في جدة في الفترة من (يناير ٢٠٠٩م إلى أكتوبر ٢٠١٨م) ١٠٠٪، وحدث ذلك ١٩ مرة خلال الفترة المذكورة أعلاه (لمزيد من التفاصيل يرجى مراجعة صفحة رقم ٥٦، وأدنى نسبة رطوبة سجلت في جدة في الفترة أعلاه هي ٣٪ في يونيو ٢٠١٠م. وكان متوسط الرطوبة في جدة للفترة المبينة أعلاه هو ٥٥,٣٪. وبعد استعراضنا للنتائج والأرقام، تم حساب العلاقة بين متوسط درجة الحرارة الشهري ومتوسط الرطوبة الشهري، حيث كانت قيمة الارتباط بين هذين المتغيرين -٠,٢٣. وبالتالي يمكننا أن نستنتج أن هناك علاقة ضعيفة للغاية بين درجة الحرارة والرطوبة.

انتقلنا بعد ذلك إلى دراسة العوامل الاقتصادية بالتفصيل وهي: التضخم، الناتج المحلي الإجمالي، ونصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي، وسنعرض أهم الأرقام والنتائج التي حصلنا عليها كما فعلنا في العوامل الجوية: بلغ الحد الأقصى لمعدل التضخم الشهري (٧,٩٪) في يناير ٢٠٠٩م. والحد الأدنى لمعدل التضخم الشهري (-١,٧٪) في نوفمبر ٢٠١٧م، وبلغ متوسط معدل التضخم الشهري في المملكة العربية السعودية للفترة من يناير ٢٠٠٩م حتى أكتوبر ٢٠١٨م حوالي ٢,٩٩٪. بالنسبة إلى الناتج المحلي الإجمالي السنوي، فقد بلغ أعلى ناتج محلي إجمالي في المملكة العربية السعودية في الفترة المبينة أعلاه في عام ٢٠١٤م مبلغ ٢,٨ تريليون ريال سعودي. وأقل ناتج محلي إجمالي في نفس الفترة أعلاه كان في عام ٢٠٠٩م مبلغ ١,٦ تريليون ريال سعودي، وبلغ متوسط الناتج المحلي الإجمالي السنوي للمملكة العربية السعودية في الفترة المبينة أعلاه ٢,٤ تريليون ريال سعودي. وبالانتقال إلى نصيب الفرد من الناتج المحلي، فكان أعلى نصيب للفرد من الناتج المحلي الإجمالي في الفترة المبينة أعلاه هو ٢٥,٥٧٠ دولار أمريكي (٩٥,٨٨٧ ريال سعودي) في عام ٢٠١٤م. وأقل نصيب للفرد من الناتج المحلي السنوي للفرد ١٧,٨٨٠ دولار (٦٧,٠٥٠ ريال سعودي) في عام ٢٠٠٩م. وبلغ متوسط الناتج المحلي الإجمالي للفرد في نفس الفترة ٢٢,٠٢٨ دولار (٨٢,٦٠٨ ريال سعودي).

الجزء الأخير من الفصل، يتعلق باختبار معامل الارتباط (بيرسون) بين استهلاك المياه وكل من العوامل المذكورة أعلاه. وأظهر الاختبار أن أقوى العوامل المرتبطة بالاستهلاك (عددها خمسة) مرتبة تنازليا على النحو التالي: سكان مدينة جدة، إجمالي الناتج المحلي السنوي، معدل التضخم في السعودية، نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي، ثم درجة الحرارة الدنيا الشهرية. معامل الارتباط لهذه العوامل الأربعة كالتالي: ٠,٨٠٦ ، ٠,٧٢٦ ، -٠,٦٨٣ ، ٠,٤٥٢ و ٠,٣٩٦ على التوالي. ولمزيد من التفاصيل، يرجى الرجوع إلى الجدول ٣,٢٢ صفحة رقم ٥٦. ونود أن نشير إلى أن الارتباط بين استهلاك المياه ومعدل التضخم هو ارتباط عكسي.

#### الفصل الرابع: التنبؤ باستخدام السلاسل الزمنية

في بداية الفصل ، استعرضنا التقنيات التي ستستخدم في الدراسة، وتحدثنا عنها، وفترات التنبؤ ومقاييس الدقة. واستعرضنا تقنيات (تحليل الاتجاه) المتوفرة في برنامج Minitab: الخطي، والنمو الأسّي والتربيعي. في كل تقنية، قدمنا المعادلة (النموذج)، ومقاييس الدقة بالإضافة إلى الرسم البياني الذي يعرض النموذج. ثم حاولنا

استخدام طريقة التجانس الأسّي باستخدام برنامج Excel وMinitab. في برنامج Minitab كان هناك نوعان لهذه التقنية: مفردة ومزدوجة. جربنا كلا منهما، ووضعنا جميع الأرقام والنماذج التي أظهرها البرنامج. آخر التقنيات المستخدمة في هذا الفصل كانت: طريقة (هولت وينترز الإضافية). لقد أعطتنا هذه الطريقة أفضل دقة بين جميع التقنيات الأخرى المستخدمة في هذه الدراسة. وفيما يلي مقاييس الدقة لهذا النموذج:

#### المقاييس

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	3.361E-02
Mean Absolute Deviation (MAD)	1.046 E+06
Mean Squared Deviation (MSD)	1.944 E+12
Root Mean Squared Error (RMSE)	1.395E+06

تم استخدام هذه التقنية للتنبؤ باستهلاك جدة للمياه لمدة ٤ سنوات قادمة حتى نهاية عام ٢٠٢٢م. أظهرت النتائج باستخدام برنامج Minitab أننا قد نستهلك ما مجموعه ٤٤,٦١٧,٩٨٩ م<sup>٣</sup> من المياه في شهر واحد في ديسمبر ٢٠٢٢م بنسبة تزيد على ١٥٪ مقارنة بشهر أكتوبر ٢٠١٨م. وسيصل إلى الحد الأقصى وهو ٤٥,٤٨٥,٠٥٨ م<sup>٣</sup> في يوليو ٢٠٢٢م.

تم استخدام نفس الأسلوب في برنامج SPSS وأظهرت النتائج أنه في شهر ديسمبر من عام ٢٠٢٢م، قد نستهلك ٤٢,٦٢٧,٦٦٩ م<sup>٣</sup> من المياه في الشهر بنسبة زيادة قدرها ٩,٩٥٪ عن شهر أكتوبر ٢٠١٨م. لكنها ستصل إلى أقصى حد عند ٤٣,٦٦٨,٦١٨ م<sup>٣</sup> في يوليو ٢٠٢٢م. تجدر الإشارة إلى أنه قد ظهر اختلاف بين البرنامجين - لا يمكن تفسيره - يقدر بحوالي ٢ مليون م<sup>٣</sup> بين هذين البرنامجين.

#### الفصل الخامس: التنبؤ باستخدام العوامل المؤثرة في الاستهلاك

في البداية ، تم كتابة مقدمة لاستعراض جميع الأقسام التالية في هذا الفصل. كان القسم الثاني حول تقنية الانحدار، حيث أظهرت النتائج النهائية أنه يمكن تفسير ٨٥,٧٢٪ من التباين في Y بواسطة نموذج الانحدار الذي توصلنا له. يوضح الشكل ١ في الفصل أن العلاقة بين المتغيرات Y و X في نموذجنا كانت ذات دلالة إحصائية (قيمة  $p < 0.001$ ). المعادلة النموذجية كانت:

$$Y = -328361876 + 177.5X_1 - 10.8X_2 + 4544382X_3 - 923X_4 + 770039X_5 - 0.000022X_1^2 + 0.1554 X_4^2 - 1.912 X_1 * X_3 + 11.60 X_2 * X_3 - 70.9 X_4 * X_5$$

كانت هناك ١٢ خطوة تسلسلية لبناء النموذج التي تُظهر الترتيب الذي تمت به إضافة المتغيرات أو إزالتها.

كان القسم التالي حول نموذج ARIMA. لقد جربنا نماذج مختلفة من ARIMA و (0,0,ARIMA (0 و (0,1,ARIMA (0 و (0,1,ARIMA (0 مع خمسة، وأربعة وثلاثة عوامل. بدأنا في كل تجربة بحساب مقاييس الدقة لجميع التجارب. كان أفضل نموذج تجربة (من حيث مقاييس الدقة) هو (0,1,ARIMA (0 مع ٥ عوامل، و R2 عند ٠,٨٤٩ وكانت مقاييس الدقة كالتالي: MAPE = 4.26 ، RMSE = 1.754E6 ، MAE = 1.300E6. حسنت العوامل الخمسة دقة نموذج (0,1,ARIMA (0 أكثر. يظهر من الرسوم البيانية والإحصائيات، أن المعلمة d في نموذج ARIMA هي المعلمة الأكثر أهمية ولها تأثير قوي على التنبؤ ودقة النموذج. استنتجنا أيضاً أن دقة النموذج تزداد مع زيادة عدد العوامل. كانت نتائج النموذج مع ٥ عوامل هي الأفضل بين جميع النماذج الأخرى، وهذا يعني أن العوامل المترابطة (على الرغم من أن بعضها لا يرتبط ارتباطاً كبيراً باستهلاك المياه) له تأثير في دقة النموذج.

Accuracy of ARIMA (0,1,12) model with five factors > Accuracy of ARIMA (0,1,12) model with four factors > Accuracy of ARIMA (0,1,12) model with three factors

القسم التالي من الفصل كان عن MLP-NN، أجريت تجارب عديدة للحصول على دقة نموذج أفضل. تم عرض نتائج التجارب الأكثر دقة في كل عدد من الوحدات (الخاصة بالطبقة المخفية) في الجدول ٥,٢٨. استنتجنا أن إضافة المزيد من الطبقات لا يؤدي بالضرورة إلى تحسين نتائج دقة النموذج. من ناحية أخرى، لا تحتاج بعض النماذج إلى جميع العوامل الخمسة لإعطاء النموذج الأكثر دقة. وهذا يعني إضافة المزيد من العوامل في MLP-NN قد لا تعطي دقة أعلى. بدأنا بنماذج طبقة مخفية واحدة، ثم بطبقتين مخفيتين، وتم تقسيم مجموعة البيانات (ما مجموعه ١٠٨) إلى مجموعتين فرعيتين: تتكون مجموعة تدريب النموذج من أول (٨٣) سجلات شهرية تمثل ٧٦,٩٪ من مجموعة البيانات، بينما غطت مجموعة اختبار النموذج القراءات (٢٥) الباقية، والتي تمثل ٢٣,١٪ من البيانات. كان أفضل نموذج من بين جميع التجارب الأخرى هو MLP-NN

مع ١ طبقة مخفية و٣ عوامل، وكان "الخطأ النسبي" (٠,١٧٧) في مجموعة التدريب ، و ٠,٠٩٢ في مجموعة الاختبار).



## الفصل السادس: الاستنتاجات والتوصيات

### الاستنتاجات:

- كان الهدف من دراستنا هذه، هو تحديد العوامل التي تؤثر على استهلاك المياه في مدينتنا ، ثم بناءً على تلك العوامل ، يتم إجراء عملية تنبؤ باستخدام تقنيات إحصائية مختلفة.
- تم جمع بيانات استهلاك المياه في مدينة جدة لمدة ١١٨ شهرًا من يناير ٢٠٠٩م إلى أكتوبر ٢٠١٨م. وكان مصدر البيانات المستخدمة في الدراسة هو بوابة وزارة البيئة والمياه والزراعة السعودية.
- بلغ متوسط استهلاك المياه لمدينة جدة في الفترة من يناير ٢٠٠٩م حتى أكتوبر ٢٠١٨م حوالي ٣١,١٩ مليون متر مكعب شهريًا، و ٣٧٣,٦٩ مليون متر مكعب سنويًا.
- بلغ متوسط النمو السنوي ١٨,٧٨ مليون متر مكعب من المياه (بنسبة ٥,٧٣٪) ومع ذلك، في عامي ٢٠١٥م و٢٠١٦م ، حدث انخفاض ملحوظ في استهلاك المياه بنسبة تراوحت بين (-٣,١٠٪ و -٠,٦٩٪ على التوالي). لم يتم تحديد أسباب الانخفاض في الاستهلاك ، لكننا نعتقد أن السبب في ذلك قد يعزى إلى نظام التعريف الجديد المطبق في السنوات الأخيرة، لذلك أصبح الناس حذرين بعض الشيء بشأن الفواتير والاستهلاك، بالإضافة إلى مغادرة العديد من المقيمين في المملكة العربية السعودية بسبب الرسوم الجديدة التي تم تطبيقها.
- تم اختيار عوامل قد تكون مؤثرة في الاستهلاك لدراستها وتحليلها، من خلال المراجعة الأدبية التي تمت. وقسمت هذه العوامل إلى ثلاثة أقسام: السكان، والعوامل الجوية، والعوامل الاقتصادية.
- أظهر تحليل سكان مدينة جدة أن النمو السنوي لسكان جدة في الفترة من (٢٠٠٩م إلى ٢٠١٨م) بلغ حوالي ١١٣,٣٣٠ في السنة (٣,٠٣٪). إذا استمر معدل النمو بنفس الوتيرة، فإن عدد سكان جدة سيصل إلى ٥ ملايين نسمة في عام ٢٠٢٣م.
- تمت دراسة عاملين من العوامل الجوية بالتفصيل وهي: درجة الحرارة والرطوبة. أقصى درجة حرارة مسجلة في جدة في الفترة من (يناير ٢٠٠٩م إلى أكتوبر ٢٠١٨م) كانت ٥١ م° في يونيو ٢٠١٠م. وأدنى درجة حرارة مسجلة في جدة في نفس الفترة كانت ١٣ م° في يناير ٢٠١٥م، ومتوسط درجة الحرارة للفترة المذكورة أعلاه في جدة بلغ ٢٩,٤ م°.

- بلغت أقصى نسبة رطوبة مسجلة في جدة في الفترة من (يناير ٢٠٠٩م إلى أكتوبر ٢٠١٨م) ١٠٠٪ ، وحدث ذلك ١٩ مرة خلال الفترة المذكورة أعلاه (لمزيد من التفاصيل يرجى مراجعة صفحة رقم ٤٣ في الرسالة. وأدنى نسبة رطوبة سجلت في جدة في الفترة أعلاه هي ٣٪ في يونيو ٢٠١٠م. وكان متوسط الرطوبة في جدة للفترة المبينة أعلاه هو ٥٥,٣٪.
- تم حساب العلاقة بين متوسط درجة الحرارة الشهري ومتوسط الرطوبة الشهري. كانت قيمة الارتباط بين هذين المتغيرين -٠,٢٣. وبالتالي يمكننا أن نستنتج أن هناك علاقة ضعيفة للغاية بين درجة الحرارة والرطوبة.
- تم دراسة العوامل الاقتصادية بالتفصيل وهي: التضخم، الناتج المحلي الإجمالي، ونصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي.
- كان الحد الأقصى لمعدل التضخم الشهري (٧,٩٪) في يناير ٢٠٠٩م. والحد الأدنى لمعدل التضخم الشهري (-١,٧٪) في نوفمبر ٢٠١٧م، وبلغ متوسط معدل التضخم الشهري في المملكة العربية السعودية للفترة من يناير ٢٠٠٩م حتى أكتوبر ٢٠١٨م حوالي ٢,٩٩٪.
- بلغ أعلى ناتج محلي إجمالي في المملكة العربية السعودية في الفترة المبينة أعلاه في عام ٢٠١٤م مبلغ ٢,٨ تريليون ريال سعودي. وأقل ناتج محلي إجمالي في نفس الفترة أعلاه كان في عام ٢٠٠٩م مبلغ ١,٦ تريليون ريال سعودي. وبلغ متوسط الناتج المحلي الإجمالي السنوي للمملكة العربية السعودية في الفترة المبينة أعلاه ٢,٤ تريليون ريال سعودي.
- بلغ أعلى نصيب للفرد من الناتج المحلي الإجمالي في الفترة المبينة أعلاه ٢٥,٥٧٠ دولار أمريكي (٩٥,٨٨٧ ريال سعودي) في عام ٢٠١٤م، وذلك بسبب زيادة دخل المملكة من البترول. وأقل نصيب للفرد من الناتج المحلي السنوي للفرد ١٧,٨٨٠ دولار (٦٧,٠٥٠ ريال سعودي) في عام ٢٠٠٩م، وذلك بسبب الأزمة الاقتصادية العالمية التي حدثت في عام ٢٠٠٨م وانخفاض الطلب على البترول وكذلك سعره. وبلغ متوسط الناتج المحلي الإجمالي للفرد في نفس الفترة ٢٢,٠٢٨ دولار (٨٢,٦٠٨ ريال سعودي).
- تم استخدام معامل الارتباط بيرسون، لتحديد العوامل الأكثر ارتباطاً مع استهلاك المياه. كان الارتباط - على التوالي - على النحو التالي: سكان مدينة جدة، إجمالي الناتج المحلي السنوي، معدل التضخم في السعودية، نصيب الفرد من الناتج المحلي الإجمالي، ثم درجة الحرارة الدنيا الشهرية. معامل الارتباط لهذه العوامل

الأربعة هي: ٠,٨٠٦ ، ٠,٧٢٦ ، ٠,٦٨٣- ، ٠,٤٥٢ و ٠,٣٩٦ على التوالي. لمزيد من التفاصيل، يرجى الرجوع إلى الجدول ٣٠٢٢ صفحة رقم ٥٦ في الرسالة.

- تم استخدام طريقة Time-Series Analysis للتنبؤ باستخدام البيانات التاريخية لاستهلاك المياه، دون النظر إلى العوامل المؤثرة. وقد تم استخدام تقنيات التنبؤ التالية: تحليل الاتجاه: (الخطي ، الأسّي المزدوج ، الأسّي المزدوج ، التربيعي). وتم حساب مقاييس الدقة (MAPE ، MAD و MSD) لكل تقنية. وقد أظهرت النتائج أن أفضل تقنية بين الكل هي: Holt's and Winters مع العوامل التالية:

$$\delta(\text{seasonal})= 0.001. \quad \gamma (\text{trend})= 0.001 \quad \alpha (\text{level})= 0.386$$

وقد أظهرت النتائج أن الاستهلاك سيرتفع من ١٠ إلى ١٥٪ وفقاً لبيانات شهر أكتوبر ٢٠١٨م. باستخدام برنامج SPSS، وقد بلغ الاستهلاك المتوقع في مدينة جدة في ديسمبر ٢٠٢٢م حوالي ٤٢,٦ مليون م<sup>٣</sup> من المياه، في حين أظهرت نتائج برنامج Minitab استهلاك ٤٤,٦ مليون م<sup>٣</sup> من المياه في ديسمبر ٢٠٢٢م. كما بلغ أعلى معدل استهلاك شهري حوالي ٤٥,٥ مليون متر مكعب في يوليو ٢٠٢٢م.

- كانت مقاييس الدقة لطريقة Holt's and Winters هي كالتالي:

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	3.361E+00
Mean Absolute Deviation (MAD)	1.046 E+06
Mean Squared Deviation (MSD)	1.944 E+12
Root Mean Squared Error (RMSE)	1.395E+06

- وقد تم التنبؤ باستهلاك المياه في مدينة جدة باستخدام العوامل المؤثرة التي تم تحديدها بتحليل الارتباط بين استهلاك المياه وهذه العوامل. تم تحديد تلك العوامل من الفصل الثالث في الرسالة. وتم اختيار أفضل خمسة عوامل مترابطة. وباستخدام ثلاث تقنيات تنبؤ مختلفة: الانحدار المتعدد، ARIMA والشبكة العصبية.
- كما تم التنبؤ باستهلاك المياه في مدينة جدة باستخدام تقنية الانحدار المتعدد. وتم تطوير عدة نماذج بهذه الطريقة، وأظهرت المقارنة بين نتائج هذه النماذج أن أفضل نموذج هو:

$$Y = -328361876 + 177.5X_1 - 10.8X_2 + 4544382X_3 - 923X_4 + 770039X_5 -$$

$$0.000022X_1^2 + 0.1554 X_4^2 - 1.912 X_1 * X_3 + 11.60 X_2 * X_3 - 70.9 X_4 * X_5$$

أين:  $Y =$  استهلاك جدة الشهري للمياه بالمتري المكعب  $X1 =$  سكان جدة ،  $X2 =$  إجمالي الناتج المحلي الشهري (بالمليون ريال) ،  $X3 =$  نسبة التضخم الشهري ،  $X4 =$  إجمالي الناتج المحلي الشهري للفرد (بالريال) ،  $X5 =$  الحد الأدنى لدرجة الحرارة الشهرية في مدينة جدة.

• وقد كانت مقاييس الدقة لهذا النموذج على النحو التالي:

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)	4.25938E-02
Mean Absolute Deviation (MAD)	1.30427E+06
Mean Squared Deviation (MSD)	2.61040E+12
Root Mean Squared Error (RMSE)	1.61567E+06

- في ARIMA ، تم تجربة نماذج متعددة ذات معايير مختلفة، ويوضح الجدول ٥٠١٩ في صفحة رقم ١٠١ في الرسالة، مقاييس الدقة لجميع النماذج. وقد تمت تجربة ARIMA (0,0,0) و (0,1,0) في البداية، ثم اقترح البرنامج ARIMA (0,1,12) لنا، عندما حددنا الخيار (Expert Modeler) من القائمة المتاحة.
- من الملخص الموضح في جدول ٥٠١٩ صفحة رقم ١٠١ في الرسالة، من الواضح أن نماذج ARIMA ذات العوامل (0,1,12) تتمتع بأفضل دقة بين جميع نماذج ARIMA الأخرى. ARIMA (0,1,12) مع ٥ عوامل هو الأفضل بين نماذج ARIMA الأخرى.
- كما تم التنبؤ باستهلاك المياه في مدينة جدة باستخدام تقنية الشبكة العصبية (MLP-NN) وكانت التقنية الأخيرة المستخدمة في هذه الدراسة. وقد تم تطوير عدة نماذج باستخدام هذه التقنية وأجريت تجارب متعددة للوصول إلى أعلى دقة وأفضل نموذج. وقد تم عرض نتائج النماذج الأكثر دقة في كل عدد من الوحدات Units في الجدول ٥٠٣١ صفحة ١١١ في الرسالة.
- وقد أظهرت التجارب التي تم إجراؤها أن إضافة المزيد من الطبقات لا يؤدي بالضرورة إلى تحسين نتائج دقة النموذج. ومن ناحية أخرى، لا تحتاج بعض النماذج إلى جميع العوامل الخمسة ليكون النموذج الأكثر دقة. وهذا يعني إضافة المزيد من العوامل في MLP-NN قد لا تعطي دقة أعلى. وقد تم عمل تجارب على النماذج بطبقة مخفية واحدة وبطبقتين للحصول على مقاييس دقة أفضل. وأظهرت النتائج في التجارب التي أجريناها أن زيادة عدد الطبقات لم تحسن مقاييس الدقة لنفس النموذج.

- تم تقسيم مجموعة البيانات (ما مجموعه ١٠٨) إلى مجموعتين فرعيتين: تتكون مجموعة التدريب من أول (٨٣) سجلات شهرية تمثل ٧٦,٩ ٪ من مجموعة البيانات، بينما غطت مجموعة الاختبار السجلات الشهرية (٢٥) الباقية، والتي تمثل ٢٣,١ ٪ من البيانات. كان أفضل نموذج من بين جميع التجارب الأخرى هو MLP-NN مع ١ طبقة مخفية و٣ عوامل ، وكان "الخطأ النسبي" فيها (٠,١٧٧) في مجموعة التدريب، و (٠,٠٩٢) في مجموعة الاختبار).

## التوصيات:

- يمكن توسيع هذه الدراسة وتطويرها أكثر من خلال محاولة استخدام برمجيات أكثر تخصصًا في الشبكة العصبية.
- يمكن أيضًا إجراء الدراسة باستخدام عوامل أخرى بدلاً من العوامل المحددة في هذه الدراسة، أو بإضافة عوامل أخرى إلى العوامل المحددة في هذه الدراسة. وبعض العوامل الأخرى التي يمكن إضافتها هي: متوسط فاتورة المياه الشهرية، وعدد المنازل ومجموع عدد المشتركين. إذا كانت البيانات الخاصة بهذه العوامل متاحة، فسيكون النموذج أكثر دقة وقد يظهر نتائج أفضل.
- يجب دراسة تأثير سعر الماء على بيانات الاستهلاك. ولم يتم أخذ هذا العامل في الاعتبار في هذه الدراسة بسبب عدم توفر البيانات المطلوبة. وتعتبر دراسة هذا العامل اقتراحاً جيداً للباحثين في الدراسات المستقبلية.
- هناك عاملان مؤثران في تكلفة المياه:
  - أولاً: نقل المياه من محطات تحلية المياه إلى المدن الأخرى بواسطة الأنابيب الضخمة وباستخدام المضخات. يتم بناء محطات التحلية على بعد مئات الكيلومترات من المدن.
  - ثانياً: التسربات الموجودة في شبكة نقل المياه داخل المدن. هذه التسربات تهدر آلاف اللترات من المياه الصالحة للشرب سنوياً. ويؤثر هذا الهدر في بيانات الاستهلاك اليومي للفرد من المياه.
- بالنسبة للدراسات المستقبلية، من الأفضل استخدام بيانات الاستهلاك اليومي للفرد من المياه، بدلاً من كمية المياه المستهلكة شهرياً لمدينة جدة، لأن هذا المقياس مستخدم بكثرة حول العالم.
- فيما يتعلق بشركات المياه، من المهم تقسيم خطة الصيانة إلى عمليات أسبوعية، شهرية وسنوية. هذا الأمر سيساعدهم في جعل النظام ذا كفاءة عالية وينتج نفس الكمية الإنتاجية المتوقعة والمخطط لها. وكذلك سيبقي على مستويات عالية من رضا العملاء.
- ينبغي على وزارة البيئة والمياه والزراعة جمع بيانات مفصلة عن طريق تقسيم المجتمع لشرائح مختلفة مثل: القطاع السكني والتجاري والصناعي. بهذه الطريقة، يمكننا إجراء دراسات على كل شريحة على حدة.
- استهلاك المياه للفرد مرتفع للغاية في جدة (حوالي ٢٨٠ لتر/ يوم). على الرغم من أن نصيب الفرد من الاستهلاك في مدينة جدة هو الثالث في المملكة العربية السعودية. فقد بلغ في المنطقة الشرقية ٣٨١ لترًا في اليوم، وفي الرياض ٣٥٧ لترًا في اليوم) [٩]، ويوصى بشدة تخفيض الاستهلاك إلى المعدل العالمي البالغ ١٥٠ لترًا في اليوم.

- من المهم جدا توصية الجهات ذات العلاقة بإيجاد بدائل وطرق تحلية صديقة للبيئة من تلك المستخدمة حاليا، أو على الأقل تقليل العوادم والمخلفات الناتجة عن التحلية إلى أقل كمية ممكنة.
- الأخطار الناتجة عن محطات التحلية، لها تأثيرات سلبية إما:
  - على الغلاف الجوي وطبقة الأوزون، بسبب أعمدة الدخان الصاعدة من المحطات.
  - أو من المياه الساخنة الناتجة عن تبريد المكائن والتوربينات المستخدمة في المحطات.
  - أو الأملاح العائدة مرة أخرى إلى البحر، وتأثيرات ذلك كله على الكائنات البحرية.
- ضرورة توفير بيانات تفصيلية صحيحة وكاملة للقطاعات المختلفة، وإتاحتها وتوفيرها للباحثين، لإجراء الدراسات والبحوث الحيوية المهمة لتطوير وتحسين هذه القطاعات.



# **Forecasting the Future Demand for Water in Jeddah City Using Different Forecasting Techniques**

**Hamed Abdul Aleem Wardak**

**A thesis submitted for the requirements of the degree  
of Master of Science [Industrial Engineering]**

Faculty of Engineering  
King Abdul Aziz University - Jeddah  
Shaban 1440 H - May 2019 G





# **Forecasting the Future Demand for Water in Jeddah City Using Different Forecasting Techniques**

**Hamed Abdul Aleem Wardak**

**A thesis submitted for the requirements of the degree  
of Master of Science [Industrial Engineering]**

**Supervised by**

**Prof. Dr. Seraj Y. Abed**

**Dr. Nader Al Sayed**

**FACULTY OF ENGINEERING  
KING ABDUL AZIZ UNIVERSITY  
JEDDAH - SAUDI ARABIA  
Shaban 1440 H - May 2019 G**

# **Forecasting the Future Demand for Water in Jeddah City Using Different Forecasting Techniques**

**Hamed Abdul Aleem Wardak**

**This thesis has been approved and accepted in partial fulfillment of the  
requirements for the degree of Master of Science [Industrial Engineering]**

## **EXAMINATION COMMITTEE**

	<b>Name</b>	<b>Rank</b>	<b>Field</b>	<b>Signature</b>
External Examiner	Prof. Omar S. Abu-Rizaiza	Professor	Civil Eng.	
Internal Examiner	Dr.Mohammed Balbaid	Associate Prof.	Industrial Eng.	
Principal Advisor	Prof. Seraj Y. Abed	Professor	Industrial Eng.	

**KING ABDUL AZIZ UNIVERSITY**

**Shaban 1440 H - May 2019 G**

## **Dedicated to**

This work is dedicated to my parents for their unconditional love, efforts and support they provided me. I pray that they live long and happy lives.

Also, I want to dedicate this work to all my good teachers who taught me, starting from the primary school, intermediate and high school. I also don't want to forget my professors in the bachelor and master level.

I also want to dedicate this work to all who knew and loved me sincerely.

## **Acknowledgment**

In the name of Allah, the most gracious, most merciful.

First, I acknowledge my thankful to Almighty Allah, for his help, blessings and all other graces. I would secondly like to convey my appreciation to my supervisor Prof. Dr. Seraj Abed for his effort, guidance and encouragement. Last but not least I would like to acknowledge the support of King Abdul Aziz University for giving me this opportunity to pursue my study.

# **Forecasting the Future Demand for Water in Jeddah City Using Different Forecasting Techniques**

**Hamed Abdul Aleem Wardak**

## **Abstract**

Water demand in Jeddah city is too high over the years, and that is confirmed by looking at the statistics from Ministry of Environment, Water and Agriculture (MEWA); it is clear that the rate of water consumption is increasing. Forecasting for water consumption is important for water authorities for decision making to meet the growing demand. The objective of this study is to identify factors affecting water consumption, and to forecast water quantities needed in Jeddah city for next years. Statistical forecasting techniques were used on monthly water consumption data for Jeddah City from January 2009 to October 2018 with a total of 118 months to reach the estimated quantities needed for Jeddah by the end of 2022.

Factors that influence water consumption were selected based on literature review that was carried out as follows: The population of Jeddah city and the weather factors: Monthly temperature (large, small and medium), monthly humidity (highest percentage, lowest ratio, average); economic factors are: Gross Domestic Product (GDP), monthly inflation rate, per capita GDP. Pearson Correlation Coefficient was used to determine the correlation between water consumption in Jeddah city and each of those factors

separately. Correlation analysis showed that Jeddah city water consumption was significantly correlated with five factors. These factors are: Jeddah population, Saudi Arabia GDP, Saudi Inflation rate, GDP per capita and the monthly average minimum temperature of Jeddah city. The correlation coefficient for these five factors was as follows: 0.806, 0.726, -0.683, 0.452 and 0.396, respectively.

Historical monthly water data of Jeddah city for 118 months was used as a time-series to forecast water demand for Jeddah. Seventeen different forecasting techniques in SPSS were used to forecast Jeddah water demand. Holt and winters' method gave the best and most accurate model among all the other methods used in this part of the study. The forecasted data showed that water demand in Jeddah will jump to 44.6 million m<sup>3</sup> in December 2022, from its current level of 38.7 million m<sup>3</sup> in October 2018; and increase representing about 13.5% by the end of the forecasted period. The highest demand was expected to reach to 45.49 million m<sup>3</sup> in July 2022.

Jeddah water consumption was forecasted by including the five significant factors that were identified. Multiple regression, ARIMA and Neural Network were used in this part of the study. Multiple regression was used to forecast Jeddah water demand with 3,4 and 5 factors. Based on accuracy measures of these models were compared, the best model among these used was model with 5 factors. The R<sup>2</sup> of these models were 76.88, 77.69 and 81.24 respectively

ARIMA forecasting technique was used to forecast Jeddah water demand. Eleven different models were developed by changing different model parameters. The best ARIMA model – based on accuracy measures- was ARIMA (0,1,12) and it was identified

based on a recommendation by SPSS software package used in forecasting. This mode gave the best accuracy measures among all the other eleven models.

Neural Network technique was also used to forecast Jeddah water demand. This technique was used with 3,4 and 5 factors, and with 1 and 2 hidden layers with 4,5 and 6 units in a one hidden layer model, and with 2 and 3 units in two hidden layer model. The best mode among all these developed models was with 3 factors, 1 hidden layer and 5 units.

The forecasting was in two stages: the first: time-series forecasting only without considering the factors. The second was using factors affecting consumption. In the first stage, trend analysis techniques (linear, exponential and quadratic) were used to obtain the best and most accurate model for water consumption in Jeddah. The Holt-Winters method provides the best and most accurate model among all the techniques used in the study. Using this technique, we concluded that while monthly water consumption in Jeddah reached 38.7 million m<sup>3</sup> in October 2018, it is expected to increase by 10-15% to 44.6 million m<sup>3</sup> by December 2022.

In the second stage, methods and techniques that take into account factors related to consumption have been taken into account: multiple regression, ARIMA and MLP-Neural Network.

In the multiple regression technique, the final results showed that 85.72% of the variation in Y can be explained by the regression model we obtained. In ARIMA, the model accuracy may increase by increasing the number of factors to the model. We



concluded that the best model among all models tested (in terms of accuracy measures) is the ARIMA model (0,1,12) with 5 factors.

In Multi-Layer Perceptron Neural Network (MLP-NN) we concluded that adding more layers does not necessarily improve the model's accuracy results. On the other hand, some models do not need all five factors to give the most accurate model. This means adding more factors in MLP-NN may not give higher resolution. The relative error of the best model was in neural networks (0.177 in the training set, and 0.092 in the testing set).

Accuracy Measures (MAE, MAPE, MSE, RMSE) were calculated for all techniques used in the study. The results of all models in different techniques that were used were compared based on the smallest errors in the accuracy measures.

## TABLE OF CONTENTS:

Examination Committee Approval

### **Dedication**

<b>Acknowledgement</b> .....	iv
<b>Abstract</b> .....	v
<b>Table of Contents</b> .....	vii
<b>List of Tables</b> .....	x
<b>List of Figures</b> .....	xii
<b>List of Symbols and Terminology</b> .....	xiv

<b>Chapter I: Introduction</b> .....	1
1.1 Research Problem.....	1
1.2 The Importance of Research.....	2
1.3 Research Objectives.....	3
1.4 Research Methodology .....	3
1.5 Thesis structure.....	4

<b>Chapter II: Literature Review</b> .....	5
2.1 Studies Applied Neural Network Techniques .....	6
2.2 Studies Applied Auto Regression Integrated Moving Average.....	15
2.3 Studies Applied Regression Techniques.....	18
2.4 Other Studies.....	19

<b>Chapter III: Data Collection and Analysis</b> .....	24
3.1 Introduction .....	24

3.2	Water Consumption Data in Jeddah .....	25
3.3	Factors Affecting Water Consumption.....	31
3.3.1	Population of Jeddah City.....	31
3.3.2	Atmospheric Factors.....	36
3.3.2.1	Temperature.....	36
3.3.2.2	Humidity.....	39
3.3.3	Economic Factors.....	44
3.3.3.1	Inflation Rate for Saudi Arabia.....	44
3.3.3.2	Saudi Arabia GDP.....	46
3.3.3.3	GDP Per Capita.....	48
3.4	Correlation between water consumption and different factors.....	51
3.5	Summary.....	57
<b>Chapter IV: Time-Series Forecasting .....</b>		<b>60</b>
4.1	Introduction.....	60
4.2	Forecasting.....	60
4.2.1	Accuracy Measures.....	61
4.2.1.1	Mean Absolute Deviation (MAD).....	61
4.2.1.2	Mean Square Error (MSE).....	61
4.2.1.3	Root Mean Squared Error (MSE).....	62
4.2.1.4	Mean Absolute Percentage Error (MAPE) .....	62
4.2.2	Trend Analysis.....	63
4.2.2.1	Linear.....	63
4.2.2.2	Exponential Growth.....	65
4.2.2.3	Quadratic.....	66
4.2.3	Fitting the model with Exponential Smoothing Function.....	67
4.2.3.1	using Excel.....	67
4.2.3.2	using Minitab.....	70
4.2.3.2.1	Single Exponential Method.....	70
4.2.3.2.2	Double Exponential Method.....	71
4.2.4	Fitting the model with Winters' Method.....	72

4.2.5 Forecasting Using Winters' Method.....	73
4.2.5.1 using Minitab software .....	73
4.2.5.2 using SPSS Software.....	74
4.3 summary.....	76
<b>Chapter V: Forecasting Using Predictors.....</b>	<b>vA</b>
5.1 Introduction .....	vA
5.2 Regression.....	v9
5.2.1 Simple linear regression.....	v9
5.2.2 Multiple linear regression.....	v9
5.3 ARIMA.....	84
5.4 Multilayer Perceptron Neural Network.....	10•
5.4.1 Modelling with one hidden layer.....	101
5.4.2 Modelling with Two hidden layers.....	105
5.5 Summary .....	111
<b>Chapter VI: Conclusion and Recommendation.....</b>	<b>115</b>
6.1 Conclusion.....	115
6.2 Recommendations.....	120
List of References.....	122

## LIST OF TABLES

<b>Table</b>		<b>Page</b>
Table 3.1	Water Quantity Consumed (in m <sup>3</sup> ) in Jeddah City from January 2009 To October2018.....	26
Table 3.2	Annual Growth for Water Quantity Consumed in Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	27
Table 3.3	Annual Growth of Liter per Capita Consumption in Makkah Region from January 2009 To October 2018.....	28
Table 3.4	Liter per Capita Consumption in Makkah Region from January 2009 To October2018.....	29
Table 3.5	Descriptive Statistics for Water Quantity Consumed in Jeddah City from January 2009 To October2018.....	30
Table 3.6	Monthly Population of Jeddah City from January 2009 To October 2018	33
Table 3.7	Descriptive Statistics For Jeddah City Population From January 2009 To October 2018.....	34
Table 3.8	Annual Growth for Jeddah City Population (approx..) From January 2009 to October 2018.....	34
Table 3.9	Liter per Capita from MEWA Data.....	35
Table 3.10	Calculated Liter per Capita for Jeddah City Vs. Liter per Capita from MEWA Data for Makkah Region.....	35
Table 3.11	Descriptive Statistics for Temperature on Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	36
Table 3.12	Highest and Lowest Monthly Temperature in Jeddah City from January 2009 To October 2018.....	39
Table 3.13	Descriptive Statistics for Humidity on Jeddah City from January 2009 to	40

	October 2018.....	
Table 3.14	Highest and Lowest Humidity in Jeddah City from January 2009 To October 2018.....	43
Table 3.15	Monthly Inflation Rate for Saudi Arabia from January 2009 To October 2018.....	44
Table 3.16	Descriptive Statistics of Monthly Inflation Rate for Saudi Arabia from January 2009 To October 2018.....	45
Table 3.17	Saudi Arabia GDP from 2009 to 2017 (quarterly in millions of SAR.)	47
Table 3.18	Descriptive Statistics of Saudi Arabia GDP from January 2009 To December 2017.....	48
Table 3.19	Saudi Arabia GDP per Capita from 2009 to 2017 (yearly in USD.)	49
Table 3.20	Saudi Arabia GDP per Capita from 2009 to 2017 (monthly in USD.)	50
Table 3.21	Descriptive Statistics of GDP per Capita for Saudi Arabia from January 2009 To December 2017.....	50
Table 3.22	Summary of Correlation.....	57
Table 4.1	Water Consumption Forecasting from November 2018 to December 2022 using Minitab 17 software	73
Table 4.2	Water Consumption Forecasting from November 2018 to December 2022 using SPSS software	74
Table 5.1	Multiple Regression Forecasted Values	82
Table 5.2	ARIMA (0,1,0) Without Parameters Model Parameters	86
Table 5.3	ARIMA (0,1,0) Model Statistics	86
Table 5.4	ARIMA (0,0,0) With 5 Predictors Model Statistics	87
Table 5.5	ARIMA (0, 0, 0) With 5 Predictors Model Parameters	88
Table 5.6	ARIMA (0,0,0) With 4 Predictors Model Statistics	89
Table 5.7	ARIMA (0, 0, 0) With 4 Predictors Accuracy Measures	89
Table 5.8	ARIMA (0,0,0) With 3 Predictors Model Statistics	90
Table 5.9	ARIMA (0, 0, 0) With 3 Predictors Accuracy Measures	90
Table 5.10	ARIMA (0,1,0) With 5 Predictors Model Statistics	91
Table 5.11	ARIMA (0,1,0) With 5 Predictors Model Parameters	91
Table 5.12	ARIMA (0,1,0) With 4 Predictors Model Statistics	92

Table 5.13	ARIMA (0,1,0) With 3 Predictors Model Statistics	93
Table 5.14	ARIMA (0,1,12) Model Statistics	94
Table 5.15	ARIMA (0,1,12) With 5 Predictors Model Statistics	95
Table 5.16	ARIMA (0,1,12) With 4 Predictors Model Statistics	96
Table 5.17	ARIMA (0,1,12) With 3 Predictors Model Statistics	97
Table 5.18	Summary of ARIMA Models Statistics	98
Table 5.19	Summary of ARIMA Models Accuracy Measures	99
Table 5.20	Best Neural Network Model Case Processing Summary	101
Table 5.21	Best Neural Network Model Summary	102
Table 5.22	Independent Variable Importance	103
Table 5.23	Network Information	104
Table 5.24	Parameter Estimates	104
Table 5.25	Best Case Processing Summary	105
Table 5.26	Best Model Summary	105
Table 5.27	Independent Variable Importance	105
Table 5.28	Network Information	107
Table 5.29	Parameter Estimates	107
Table 5.30	Best Models and Case Processing Summary	108
Table 5.31	Summary of Independent Variable Importance	110

## LIST OF FIGURES

<b>Figure</b>		<b>Page</b>
Figure 3.1	Water Quantity Consumed (m <sup>3</sup> ) in Jeddah City from January 2009 To October 2018.....	30
Figure 3.2	Population of Jeddah City from January 2009 To October 2018 .....	32
Figure 3.3	Monthly Max., Avg. and Min. Temperature of Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	36
Figure 3.4	Monthly Maximum Temperature of Jeddah City from January 2009 to October 2018 .....	37
Figure 3.5	Minimum temperature of Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	37
Figure 3.6	Average Temperature of Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	38
Figure 3.7	Monthly Max., Avg. and Min. Humidity of Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	39
Figure 3.8	Monthly Maximum Humidity of Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	41
Figure 3.9	Monthly Minimum Humidity of Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	42
Figure 3.10	Average Humidity of Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	42
Figure 3.11	Saudi Arabia Inflation Rate from January 2009 to October 2018.....	45
Figure 3.12	Annual Saudi Arabia GDP (SAR.) (2009 – 2017) .....	47
Figure 3.13	Annual GDP Per Capita in Saudi Arabia (USD \$) (2009 – 2017) .....	49
Figure 4.1	Linear Trend Model for Water Consumption in Jeddah City from January 2009 to October 2018. ....	65
Figure 4.2	Exponential Curve Model for Water Consumption in Jeddah City from January 2009 to October 2018. ....	66
Figure 4.3	Quadratic Trend Model for Water Consumption in Jeddah City from	67



	January 2009 to October 2018. ....	
Figure 4.4	Exponential Smoothing for Water Consumption in Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	70
Figure 4.5	Single Exponential Smoothing for Water Consumption in Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	71
Figure 4.6	Double Exponential Smoothing for Water Consumption in Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	72
Figure 4.7	Winters' Method (Additive Method) for Water Consumption in Jeddah City from January 2009 to October 2018.....	73
Figure 4.8	Winters' Method (Additive Method) Forecasting For Water Consumption in Jeddah City from November 2018 to December 2022 using Minitab.....	76
Figure 4.9	Winters' Method (Additive Method) Forecasting For Water Consumption in Jeddah City from November 2018 to December 2022 Using SPSS.....	76
Figure 5.1	Multiple Regression Summary Report For Water Consumption in Jeddah City.....	80
Figure 5.2	Jeddah Water Consumption Data Vs. X Variables: Population, SA GDP, SA Inflation, SA GDP Per Capita and Monthly Min. Temperature in Jeddah City.....	80
Figure 5.3	Multiple Linear Regression Model Sequence.....	81
Figure 5.4	Incremental Impact of X Variables .....	82
Figure 5.5	Actual and Forecasted Water Consumption Data Using Multiple Regression	84
Figure 5.6	SPSS software output for ARIMA (0, 0, 0) without predictors.....	85
Figure 5.7	SPSS software output for ARIMA (0, 1, 0) without predictors.....	86
Figure 5.8	SPSS software output for ARIMA (0, 0, 0) with 5 predictors.....	87
Figure 5.9	SPSS software output for ARIMA (0, 0, 0) with 4 predictors.....	88
Figure 5.10	SPSS software output for ARIMA (0, 0, 0) with 3 predictors.....	89
Figure 5.11	SPSS software output for ARIMA (0, 1, 0) with 5 predictors.....	90
Figure 5.12	SPSS software output for ARIMA (0,1,0) with 4 predictors.....	92
Figure 5.13	SPSS software output for ARIMA (0,1,0) with 3 predictors.....	93
Figure 5.14	SPSS software output for ARIMA (0,1,12) without predictors.....	94
Figure 5.15	SPSS software output for ARIMA (0, 1, 12) with 5 predictors.....	95

Figure 5.16	SPSS software output for ARIMA (0,1,12) with 4 predictors.....	96
Figure 5.17	SPSS software output for ARIMA (0,1,12) with 3 predictors.....	97
Figure 5.18	Neural Networks with Four Inputs and One Hidden Layer with Three Hidden Neurons.....	100
Figure 5.19	The Best Fit Model of One Layer in Neural Network Hierarchy.....	102
Figure 5.20	Normalized Importance of Factors.....	103
Figure 5.21	The Best Fit Model of Two Layers in Neural Network Hierarchy.....	106
Figure 5.22	Normalized Importance of Factors.....	106

## LIST OF SYMBOLS AND TERMINOLOGY

ANN	Artificial Neural Network
ARIMA	Auto-Regressive Integrated Moving Average
GDP	Gross Domestic Product
MAD	Mean Absolute Deviation
MAE	Mean Absolute Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
Max.	Maximum
MEWA	Ministry of Environment, Water and Agriculture
Min.	Minimum
MLP	Multilayer Perceptron
MLP-NN	Multi-Layer Perceptron Neural Network
MLR	Multiple Linear Regression
MSE	Mean Square Error
NWC	National Water Company
OECD	Organization For Economic Co-Operation and Development
RMSE	Root Mean Square Error
SA	Saudi Arabia
SWCC	Saline Water Conversion Corporation
Temp	Temperature