

## تحديد مستوى جودة الخدمة المرورية ومقارنته في شبكات شوارع المدن السعودية الكبرى باستخدام نموذج المائعين

سعد بن عبدالرحمن القاضي، علي بن سعيد الغامدي، حسين بن صالح الخربوش\*\*

\* أستاذ مشارك، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة الملك سعود، ص.ب. ٨٠٠، الرياض ١١٤٢١

و\*\* محاضر، المعهد الثانوي للمراقبين الفنيين، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني،

الرياض؛ المملكة العربية السعودية

(استلم في ١٨/٠٩/١٩٩٩م، وقُبِلَ للنشر في ٢٩/٠٤/٢٠٠٠م)

ملخص البحث. تركزت الدراسات المرورية النظرية والتجريبية، خلال الأربعين عاما الماضية، على وصف جودة الخدمة المرورية المقدمة على شبكات الطرق في المدن وتمييزها، حيث تم مؤخرا تطوير ما يعرف بنموذج المائعين للمرور داخل المدن، وذلك لوصف الحركة المرورية في شبكة الشوارع الحضرية غير السريعة. ويعطي نموذج المائعين علاقة بسيطة بين متغيرين مروريين، هما زمن الرحلة لكل وحدة مسافة (مقلوب السرعة) وزمن التوقف لكل وحدة مسافة، ينتج من معايرتها على بيانات شبكات الشوارع الفعلية تقدير معلمتين ( $T_m$  و  $n$ ) مفيدتين في مقارنة جودة الخدمة المرورية بين شبكات شوارع المدن. وقد سبق تطبيق منهجية نموذج المائعين بنجاح على مشاهدات ميدانية لزمن الرحلة وزمن التوقف في العديد من المدن حول العالم. وتعرض هذه الورقة نتائج تطبيق نموذج المائعين على أكبر ثلاث مدن في المملكة العربية السعودية، وهي الرياض وجدة والدمام، كما تقارن أيضا بين هذه المدن الثلاث من حيث مستوى جودة الخدمة المرورية فيها، وأيضاً فيما بينها وبين بعض المدن العالمية الأخرى. وقد توصلت الدراسة إلى تفوق مدينة الرياض على مدينتي جدة والدمام وكذلك على كثير من المدن العالمية في جودة الخدمة المرورية، في حين كانت مدينة جدة قريبة جدا من مدينة الرياض في الجودة المرورية. أما مدينة الدمام فكانت أسوأ المدن السعودية الثلاث، خصوصا في أوقات الذروة.

كلمات البحث. نموذج المائعين، جودة الخدمة المرورية، نظرية التدفق المروري

## مقدمة

أصبحت شبكة الطرق اليوم الشريان الأساسي التي ينتقل من خلالها الناس لأعمالهم ومقاصدهم المختلفة. وتزداد أهمية هذه الشبكة إذا كانت تخدم إحدى المدن الكبرى، وذلك بسبب وجود الحركة المرورية العالية عند تقاطعاتها وعلى طرقها الرئيسية. لذا كان لزاما على المهتمين والباحثين في مجال النقل أن يسعوا إلى توفير أفضل الخدمات والتسهيلات لمستخدمي الشبكة للرفع من مستوى جودة الخدمة المرورية المقدمة عليها. ولكن، من الناحية التطبيقية لهندسة المرور، فإن هناك مشكلة لاتزال قائمة تكمن في كيفية تحديد جودة الخدمة المرورية المقدمة لمستخدمي طرق وشوارع المدينة بشكل دقيق، والتي من خلالها يتم تقدير الجودة المرورية للنظام المروري الشامل في المدينة.

ولقد تمكن مهندس المرور من التعامل مع هذه المشكلات بنجاح إلى مدى معين، وذلك في أجزاء محدودة من شبكة الطرق مثل التقاطعات والشوارع الشريانية، وفي بعض الأحيان على شبكات محدودة للمدن عند إجراء دراسات للتحكم المروري الشبكي لها، التي عادة ما تكون باهظة التكلفة. إذ أنه من أجل تقويم مستوى الخدمة المرورية أو جودتها في شبكة الشوارع الحضرية على أساس جزئي تفصيلي (microscopic) لجميع أجزاء الشبكة، فإن ذلك يتطلب جهدا ضخما وموارد بشرية ومالية كبيرة. وعلى أقل تقدير، فإن القيام بمثل ذلك يعني ضرورة معرفة الحركة التفصيلية للمرور على معظم، إن لم يكن جميع، وصلات الشبكة المدروسة وتقاطعاتها وتفرعاتها.

ومع أنه من الممكن تحديد فعالية الأساليب المتنوعة للتحكم المروري لبعض عناصر شبكة الطرق، كلا على حدة، مثل التحكم المروري بالتقاطعات أو بالحركة على طول الشوارع الشريانية، إلا أنه لا يمكن تحقيق ذلك بدرجة النجاح نفسها للتحكم المروري الشبكي، حيث يلعب التفاعل بين التقاطعات دورا حيويا. وعموما، يبدو أن دراسات قبل-وبعد لفعالية تطبيق أسلوب تحكم مروري معين في شبكة مرورية كبيرة لم تؤد إلى الوصول إلى إجابات قاطعة لمدى فعالية تطبيق الاستراتيجية الجديدة للتحكم المروري الشبكي [١]. لذا فالحاجة قائمة لمنهجية عملية يمكن لمهندس المرور توظيفها لتحديد مستوى

جودة الخدمة المرورية المقدمة على شبكات الشوارع القائمة في المدن والمناطق الحضرية، على أن تتم هذه العملية باعتبار الشبكة وحدة واحدة، لتكتمل بذلك الأساليب التقليدية المستخدمة لتقويم مستوى الخدمة على وصلات الشوارع وتقاطعاتها.

وخلال الأربعين عاما الماضية، تركزت الدراسات المرورية النظرية والتجريبية على وصف جودة الخدمة المرورية المقدمة على شبكات الطرق في المدن وتمييزها، حيث تم تطوير ما تعرف بالنظرية الحركية لتدفق المركبات [٢١-٤٤]، والتي تعطي وصفا كليا (macroscopic) لخصائص حركة المرور على طريق متعدد المسارات. كما تم اقتراح ما يسمى بنموذج المائعين للمرور داخل المدن، كامتداد للنظرية الحركية للطرق ذوات المسارات المتعددة، وذلك لوصف الحركة المرورية في شبكة الشوارع الحضرية غير السريعة بالأسلوب نفسه [١٥]. ويعطي نموذج المائعين علاقة بسيطة بين متغيرين مروريين هما زمن الرحلة لكل وحدة مسافة (مقلوب السرعة) وزمن التوقف لكل وحدة مسافة.

وقد طبقت منهجية نموذج المائعين بنجاح على مشاهدات ميدانية لزمن الرحلة وزمن التوقف في العديد من المدن حول العالم [٦١-١١٢]، حيث بينت تلك الدراسات أن معلمات نموذج المائعين لتلك المدن المختلفة تعطي أسلوبا مفيدا لتحديد مستوى جودة الخدمة المرورية في الشبكات الحضرية. وتعرض هذه الورقة نتائج تطبيق نموذج المائعين على أكبر ثلاث مدن في المملكة العربية السعودية، وهي الرياض، جدة والدمام. كما تقارن أيضا بين هذه المدن الثلاث من حيث مستوى جودة الخدمة المرورية فيها، وأيضا فيما بينها وبين بعض المدن العالمية الأخرى. ويعطي الجزء التالي من الورقة خلفية نظرية لنموذج المائعين، فيما يشرح الجزء الثالث أسلوب جمع بيانات الدراسة. ويعرض الجزء الرابع تحليل البيانات، في حين يختتم الجزء الخامس هذه الورقة بالاستنتاجات والتوصيات.

### خلفية نظرية

تشير النظرية الحركية للتدفق المروري على الطرق المتعددة المسارات إلى أنه عند الكثافات العالية للمركبات، التي يتم عندها انتقال حالة المرور من التدفق الفردي إلى التدفق الجماعي، ينقسم منحنى التوزيع الإحصائي للمركبات إلى جزئين، أحدهما خاص

بالمركبات المتحركة والآخر بالمركبات المتوقفة [٢-٤]. وبالمثل، يمكن اعتبار أن الحركة المرورية على شبكة الشوارع غير السريعة داخل المدن مكونة من مائعين مروريين، أحدهما مكون من المركبات المتحركة والآخر من المركبات المتوقفة لأسباب مرورية، كالأزدحام أو بسبب وسائل التحكم المرورية أو الإعاقة الناتجة من أعمال إصلاح الطرق أو الحوادث المرورية ... الخ. أما توقف المركبات برغبة أصحابها، كالوقوف في المواقف الجانبية، فلا يعتد به وتعد هذه المركبات خارج الحركة المرورية وكأنها جزءا من مكونات الشارع. ويتم في نموذج المائعين اتباع الأفكار الواردة في النظرية الحركية للتدفق المروري نفسها من خلال افتراض أن السرعة المتوسطة للمركبات المتحركة،  $V_r$ ، تعتمد على جزء المركبات المتحركة،  $f_r$ ، بالصيغة التالية:

$$(١) \quad V_r = V_m f_r^n = V_m (1 - f_s)^n$$

حيث  $V_m$  هي متوسط أقصى سرعة للحركة على الشبكة، و  $n$  هي معلمة سيتم لاحقا مناقشة أهميتها. لاحظ أن:

$$(٢) \quad f_r + f_s = 1$$

$$(٣) \quad V_m = \frac{1}{T_m}$$

$$(٤) \quad V_r = \frac{1}{T_r}$$

حيث  $f_r$  و  $f_s$  هما جزءا المركبات المتوقفة والمتحركة، على التوالي، و  $T_m$  هي معلمة تمثل متوسط أقل زمن انتقال للرحلة لكل وحدة مسافة، و  $T$  هي زمن الرحلة لكل وحدة مسافة و  $T_r$  هي زمن الحركة لكل وحدة مسافة. وإذا كانت  $T_s$  تمثل زمن التوقف لكل وحدة مسافة فإن:

$$(١٥) \quad f_s = \frac{T_s}{T}$$

(ب)

$$f_r = T_r / T$$

(ج)

$$T = T_s + T_r$$

كما يفترض نموذج المائعين أيضا أن الجزء الزمني لتوقف أية مركبة عاملة على شبكة الشوارع  $(\frac{T_s}{T})_i$  يعادل متوسط جزء مجتمعات المركبات المتوقفة في الشبكة بأكملها،  $\langle f_s \rangle_p <$  ، خلال الفترة ذاتها. أي أن :

(٦)

$$\langle f_s \rangle_p = (\frac{T_s}{T})_i$$

وقد أجريت عدة تجارب ميدانية ثبت من خلالها صحة الفرضيتين الأساسيتين لنموذج المائعين (المعادلتين رقم (١) ورقم (٦)) [٨٧-١٠٠]. ويمكن من هاتين الفرضيتين اشتقاق العلاقة الرياضية لنموذج المائعين بين زمن الرحلة،  $T$ ، وزمن الحركة،  $T_r$ ، أي [٩١]:

(٤٧)

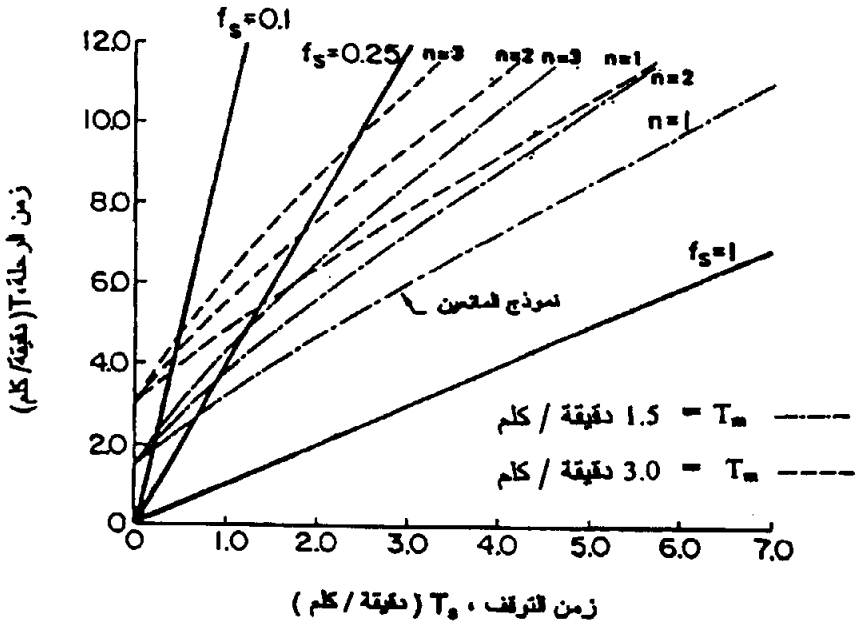
$$T_r = T_m \frac{1}{n+1} T^{\frac{n}{n+1}}$$

مما يعطي العلاقة النهائية التالية :

(ب٧)

$$T_s = T - T_m \frac{1}{n+1} T^{\frac{n}{n+1}}$$

وينتج عن نموذج المائعين الممثل بالمعادلة رقم (ب٧) علاقة خطية-منحنية بين  $T$  و  $T_s$  كما في الشكل رقم (١) لقيمتي  $T_m$  البالغتين ١,٥ و ٣,٠ دقيقة لكل كيلومتر وقيم  $n$  البالغة ١، ٢، ٣، كما يحتوي هذا الشكل على تمثيل بياني للمعادلة رقم (٤٥). ويبدو أن جميع البيانات التي تم اختبارها من مختلف المدن في أنحاء العالم كانت متوافقة مع النموذج، الذي يعطي منحنىً محدباً قليلاً إلى الأعلى للعلاقة بين  $T$  و  $T_s$ . ولكن الانحناء قليل نسبياً في الحالات جميعها، لذا فإنه يمكن تقريب منحنى نموذج المائعين بعلاقة خطية بين  $T$  و  $T_s$ .



شكل رقم (١). علاقة نموذج الماترين بين زمن الرحلة وزمن التوقف مع بيان خطوط جزء المركبات المتوقفة،  $f_s$ .

ويقصد بجودة الخدمة المرورية مدى قدرة منظومة الشوارع على تصريف المرور، حيث توصف الشبكة الجيدة للشوارع بأنها تلك التي تكون قيم  $T_s$  و  $T_r$  لها هي الأقل عند الطلب المروري نفسه. والمعلمتان  $n$  و  $T_m$  مفيدتان في تمثيل جودة الخدمة المرورية على أية شبكة مرورية. ويمكن إيضاح ذلك من خلال مراجعة المعادلة رقم (٧) والتي يمكن إعادة كتابتها بالصيغة التالية:

$$(٨) \quad f_s = 1 - \left( \frac{T_m}{T} \right)^{\frac{1}{n+1}}$$

أو

$$(٩) \quad T = T_m (1 - f_s)^{-(n+1)}$$

ويمكن من المعادلة رقم (٩) أو من الشكل رقم (١) مشاهدة أنه لأية قيمة معطاة لجزء المركبات المتوقفة، المعادلة رقم (١٥)، فإن الشبكة التي تكون قيمة  $n$  أو  $T_m$  لها أعلى هي التي يكون زمن الرحلة لها أكبر أو متوسط السرعة أقل. وبما أن متوسط السرعة في المناطق الحضرية مرتبط ارتباطا مباشرا بمتوسط التأخير واستهلاك الوقود، فإن انخفاض السرعة المتوسطة يدل على تدني مستوى الخدمة المرورية.

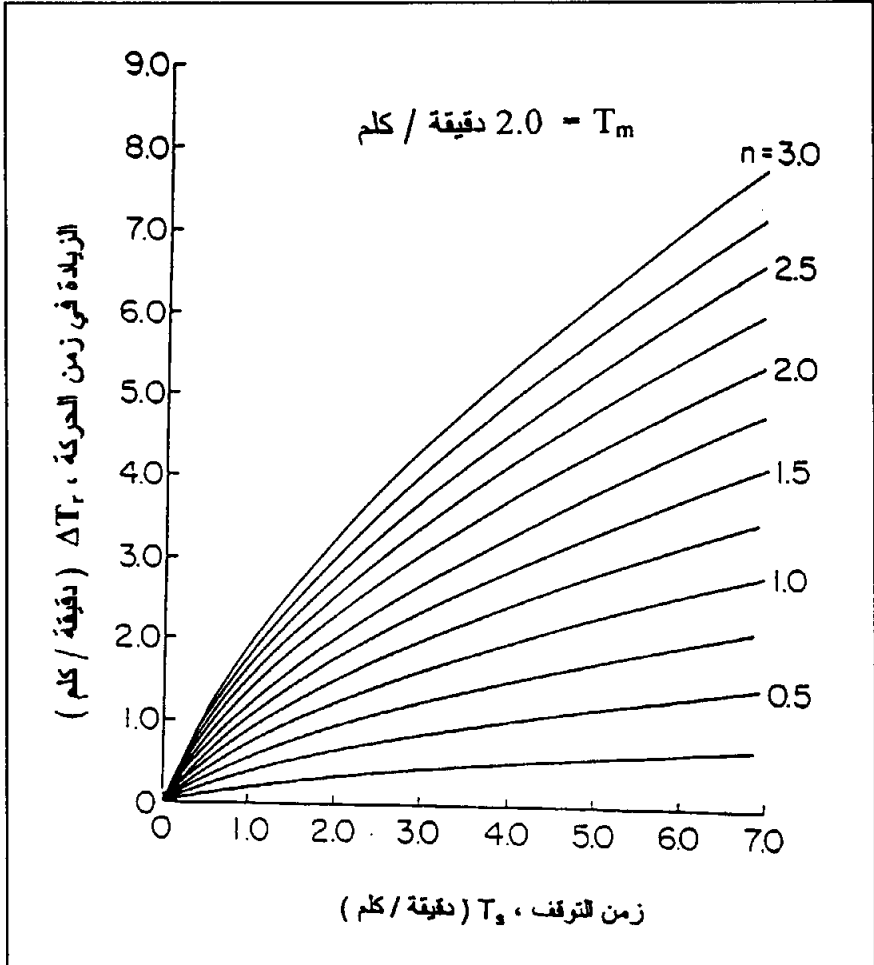
ولمزيد من الإيضاح للدلالة معلمتي نموذج المائعين سيتم تعريف المتغير  $\Delta T_r$  على أنه انحراف زمن الحركة عن متوسط أقل زمن انتقال للرحلة لكل وحدة مسافة،  $T_m$ . لذا، يمكن القول بأن:

$$(10) \quad \Delta T_r = T_r - T_m$$

$$(11) \quad T = T_m + T_s + \Delta T_r$$

والآن يمكن اعتبار منحنيين لنموذج المائعين قيمة  $T_m$  لكل منهما هي ٢,٠ دقيقة/كم، على سبيل المثال، ولكن بقيمتين مختلفتين للمعلمة  $n$  هما ١,٥ و ٢,٥. وكما يظهر من الشكل رقم (٢)، لقيمة  $T_s = ٣,٠$  دقيقة/كم، على سبيل المثال، فإن منحنى نموذج المائعين بقيمتي ١,٥ و ٢,٥ للمعلمة  $n$  يعطيان زيادة في زمن الحركة،  $\Delta T_r$ ، قدرها ٢,٤ و ٣,٨ دقيقة/كم، على التوالي. والقيم المقابلة لـ  $\Delta T_r$  عند قيمة  $T_s = ٦,٠$  دقيقة/كم هي ٣,٩ و ٦,٢ دقيقة/كم، على التوالي. ويجب أولا التنبيه إلى أنه عندما تزيد قيمة  $T_s$  من صفر إلى ٣,٠ دقيقة/كم، فإن زمن الرحلة لا يزداد بمقدار  $T_s = ٣,٠$  دقيقة/كم فقط، بل أيضا بمقدار إضافي هو  $\Delta T_r$ . وأيضا فإن الزيادة الإضافية في زمن الرحلة،  $\Delta T_r$ ، تزداد قيمتها مع زيادة قيم  $n$ . فعلى سبيل المثال، عند قيم  $T_s = ٣,٠$  دقيقة/كم و  $T_m = ٢,٠$  دقيقة/كم، فإن قيمة  $\Delta T_r$  عند  $n = ٢,٥$  أكبر بمقدار ٥٨ بالمائة من قيمتها عند  $n = ١,٥$ . والنسبة المئوية المقابلة للزيادة في  $\Delta T_r$  عند قيمة  $T_s = ٦,٠$  هي ٥٩ بالمائة. وهكذا فالمثال السابق يؤكد أهمية تمتع شبكة الشوارع بقيمة متدنية للمعلمة  $n$ .

والقيمة المنخفضة لـ  $T_m$  في شبكة الشوارع الحضرية مرغوبة أيضا. فالمعلمة  $T_m$  هي تقدير لمتوسط أقل زمن انتقال للرحلة لكل وحدة مسافة أو مقلوب متوسط أقصى سرعة يمكن تحقيقها في شبكة شوارع فيها أقل حركة مرور سائدة. لذا، فالقيمة الأعلى لـ  $T_m$  تعني تدني كفاءة العناصر الهندسية والتحكمية للشبكة. وباختصار، فشبكة الشوارع الحضرية ذات القيم المتدنية للمعلمتين  $T_m$  و  $n$  تقدم خدمة مرورية أعلى جودة.



شكل رقم (٢). العلاقة بين الزيادة في زمن الحركة وزمن التوقف لعدة قيم لـ  $n$  عند قيمة محددة لـ  $T_m$

## جمع البيانات

ينطوي أسلوب جمع البيانات المطلوبة لمعايرة نموذج المائعين على تسجيل زمن الرحلة (T) وزمن التوقف ( $T_s$ ) على شبكات الشوارع المدروسة داخل أكبر ثلاث مدن سعودية من حيث عدد السكان: الرياض، جدة والدمام، وذلك للمركبات الصغيرة العاملة داخلها والتي تقطع مسافات معلومة خلال الرحلة الواحدة.

وقد تم اختيار منطقة الدراسة لمدينة الرياض لتكون في وسط البلد ومركزها التجاري، وهي ما تسمى الآن بمنطقة الديرة والقوطية بالإضافة إلى الجزء الجنوبي من حي المربع، وهي تشمل المنطقة المحصورة بين أربعة شوارع رئيسة هي شارع الوشم شمالاً بطول ١.٧ كم وشارع الملك عبدالعزيز (الطحاء سابقاً) شرقاً بطول ٣.٤ كم وشارع طارق بن زياد جنوباً بطول ١.٤ كم وطريق الملك فهد غرباً (طريق الخدمة) بطول ٣.٣ كم، لتتكون لنا منطقة مساحتها ٥ كم<sup>٢</sup> تقريباً.

أما في مدينة جدة فتتمت الدراسة في منطقة تقع في حيي العزيزية ومشرفة، وهي المنطقة المحصورة بين شارع التحلية شمالاً بطول ٢.٧ كم وشارع الأمير متعب شرقاً بطول ٣.١ كم وشارع فلسطين جنوباً بطول ٢.٧ كم وشارع الأمير فهد غرباً بطول ٣ كم، وبذلك تصبح مساحتها ٨.٢ كم<sup>٢</sup> تقريباً. ومع أن هذه المنطقة لا تمثل وسط البلد إلا أنها تعتبر بديلاً عنه، حيث إن وسط البلد لا يتناسب مع موضوع الدراسة خاصة أنه يفتقد إلى وجود الازدحام المروري ولا يوجد به إلا إشارتين ضوئيتين فقط والشوارع فيه دائرية أحادية الاتجاه ولا تكوّن مع بعضها شبكة من التقاطعات.

وفي مدينة الدمام أجريت الدراسة في منطقة وسط البلد وهي المنطقة المحصورة بين شارع رقم (١٨) غرباً بطول ١.٧ كم وشارع رقم (٩) شرقاً بطول ١.٥ كم ومن شارع الملك عبدالعزيز شمالاً بطول ١.٢ كم إلى شارع الملك فهد جنوباً بطول ١.١ كم، لتبلغ مساحتها ١.٨٣ كم<sup>٢</sup>، وتعتبر هذه المنطقة هي أصغر مناطق الدراسة للمدن الثلاث ربما بسبب صغر مساحة مدينة الدمام مقارنة بمدينتي الرياض وجدة. ويلخص الجدول رقم (١) بعض محتويات خصائص الشبكة المهمة التي جمعت عن مناطق الدراسة للمدن الثلاث.

وقد جمعت بيانات زمن الرحلة وزمن التوقف باستخدام أسلوب المركبة التابعة، ويتمثل هذا الأسلوب في متابعة أقرب مركبة مختارة عشوائيا داخل منطقة الدراسة، ومن ثم متابعتها بدقة وبشكل يحاكي تصرفات المركبة المتبوعة، وذلك من أجل أن يعكس قدر الإمكان الزمن الذي يقضيه السائق المتبوع سواء كان زمن الرحلة (T) أو زمن التوقف ( $T_0$ )، وتستمر هذه المتابعة لمسافة قدرها ١ كم. وبهذا يتم إنهاء أخذ مشاهدة كاملة، وهي ما تسمى بالرحلة. وإذا كانت المركبة المتبوعة مازالت داخل نطاق المنطقة المحددة للدراسة ولم تتوقف نهائيا، فإنه يتم الاستمرار في متابعتها على أنها مشاهدة أخرى جديدة، وهكذا تستمر المتابعة لمسافة ١ كم أخرى مع تسجيل زمن الرحلة وزمن التوقف فتصبح هذه المشاهدة الثانية، وهكذا دواليك. وتستمر المتابعة للمركبات داخل منطقة الدراسة حتى تخرج المركبة المتبوعة من حدود منطقة الدراسة أو تتوقف تماما عن الحركة لأي غرض شخصي. حينها يتم اختيار أقرب مركبة أخرى ويتم متابعتها حتى تكتمل مسافة ١ كم، وهكذا يتم متابعة المركبات بهذا الأسلوب طوال فترة جمع البيانات لكل المدن الثلاث.

جدول (١) : بعض خصائص الشبكة لمناطق الدراسة في المدن السعودية الثلاث

المدنية	المساحة (كم <sup>٢</sup> )	عدد الإشارات الضوئية	كثافة الإشارات (كم <sup>٢</sup> /)	عدد التقاطعات	كثافة التقاطعات (كم <sup>٢</sup> /)	متوسط طول البلكات (كم)	نسبة شوارع الاتجاه الواحد (%)	حدود السرعة القصوى (كم/س)
الرياض	٥,٢	٣٢	٦,١٥	٥٢	١٠	٠,٢٦٥	١٦	٦٠-٤٠
جدة	٨,٢	٢٦	٣,٢	٤٥	٥,٥	٠,٥	٠	٨٥-٦٥
الدمام	١,٨	١٧	٩,٤	٤٨	٢٦,٧	٠,٢٢٥	٤٣,٨	٦٠-٤٠

المصدر: بيانات متفرقة جمعها فريق البحث

وقد استخدمت لمتابعة المركبات أثناء جمع البيانات مركبة من نوع نيسان موديل ٩٣ بمحرك ذي ٤ اسطوانات لتكون هي المركبة التابعة التي تقوم بمتابعة المركبات داخل منطقة الدراسة، وقد كان بها سائق وكتاب حيث كان السائق مسؤولا عن قيادة المركبة داخل

حدود منطقة الدراسة بشكل نظامي ومتابعة المركبة التي أمامه بشكل دقيق، وكان مسؤولاً أيضاً عن إخبار الكاتب عند إتمام مسافة قدرها ١ كم لتعريف كل عينة على حده.

أما الكاتب فكان مسؤولاً عن القيام بتسجيل وقت بداية كل رحلة ووقت نهايتها وعن ضبط وقت زمن التوقف ( $T_s$ ) لكل رحلة، وذلك باستخدام ساعتين رقميتين من نوع كاسيو بهما الأجزاء الثلاثة: الساعات، والدقائق والثواني، وذلك لرصد وقت بداية ونهاية كل رحلة باستخدام أحدهما، أما الأخرى فكانت لحساب زمن التوقف. وقد تم استخدام أسلوب الجمع بسائق وكاتب في كل من جدة والدمام، أما في الرياض، التي كانت المدينة الأولى التي جمعت بياناتها، فقد كان السائق يقوم بتلك المهام جميعها، إلا أن صعوبة العمل أدت إلى الاستعانة بشخص آخر.

وقد تم سحب العينة من المواقع بشكل عشوائي كي تكون جميع المركبات داخل منطقة الدراسة لها نفس فرصة الظهور في العينة، وبالتالي عدم التحيز لأية مركبة دون الأخرى باستثناء المركبات التي تخالف نظام الحركة المرورية وخاصة قطع الإشارة الضوئية فإنها تستبعد من العينة.

وكان حجم العينة لكل مدينة من المدن الثلاث محسوبا عند درجة ثقة  $90\%$  ( $\alpha = 0.1$ ) ومقدار خطأ مسموح به ( $E$ ) مقدراً بـ  $10\%$  من قيمة متوسط زمن الرحلة للعينة ( $T$ ). وبالتالي فإن حجم العينات المطلوب جمعها لتحقيق هذه الدقة يمكن حسابها عن طريقة المعادلة [١٣]:

$$(12) \quad n = \left[ \frac{Z_{\alpha/2} * \sigma}{E} \right]^2$$

حيث  $n$  هي حجم العينة المطلوبة إحصائياً،  $\sigma$  الانحراف المعياري،  $Z$  هو ثابت مستوى المعنوية للتوزيع الطبيعي و  $\alpha$  هو مستوى المعنوية. ويوضح الجدول رقم (٢) أدنى حجم مطلوب للعينة وحجم العينة الفعلي ودرجة الثقة المتحققة وذلك لكل مدينة من مدن الدراسة. كما يلخص الجدول رقم (٣) أحجام العينات التي جمعت فعلياً للمدن الثلاث لمختلف الفترات لمسافة ٣ كم للرحلة الواحدة، وقد تم جمع المشاهدات خلال أيام العمل، من السبت حتى الأربعاء، وذلك في ظروف طبيعية من حيث أحوال الطقس، وتجدر

الإشارة إلى أنه بالرغم من أن جمع البيانات للمدن الثلاث كان في أشهر مختلفة من العام، إلا أن تلك الفترات كانت كلها خلال المواسم الطبيعية، أي لم تكن خلال فترات الصيف أو رمضان أو الإجازات الأخرى. لذا لا يتوقع أن يكون هناك تحيز في البيانات بين المدن بسبب ذلك.

جدول رقم (٢): حجم العينة المطلوب جمعها إحصائياً وحجم العينة الفعلي للمدن السعودية الثلاث

المدنية	متوسط زمن الرحلة (T) دقيقة/كم	الانحراف المعياري	حجم العينة المطلوب جمعها إحصائياً (n)	حجم العينة الفعلي المأخوذة من الموقع*	مقدار الخطأ الحاصل من العينات الفعلية عند درجة ثقة ٩٠٪ (E %)	درجة الثقة المتحققة وعند نسبة خطأ ١٠٪
الرياض	٣,٠٦	٠,٧٠٥	٢١	٦٦	٥,٦	٪٩٩,٩٨
جدة	٣,٠٠	٠,٨٩٤	٣٥	١٠٠	٥,٨	٪٩٩,٩٦
الدمام	٣,٤٥	٠,٦٤٠	١٤	٤٥	٥,٤	٪٩٩,٩٩

\* هذه العينات حسب مسافة ٣ كم للرحلة الواحدة، أي بدمج كل ثلاث رحلات متتالية طول كل منها ١ كم.

جدول رقم (٣): حجم وتاريخ جمع العينات للمدن السعودية الثلاث

المدنية (تاريخ إجراء المسح)	الفترة	الوقت	حجم العينة*	إجمالي العينات*	عدد أيام المسح
الرياض (١٢/٢٧-١٤/٢٥/١٤١٩هـ)	صباحية	١٢:٠٠-١١:٠٠	٣٢	٦٦	٦
	مسائية	٦:٣٠-٥:٣٠	٣٤		
جدة (١٣-١٧/١٧-١٤١٩هـ)	صباحية	٧:٤٥-٦:٤٥	٢٦	١٠٠	٥
	بعد الظهر	٢:٤٥-١٢:٤٥	٤٤		
	مسائية	٨:٣٠-٦:٣٠	٣٠		
الدمام (٢٣-٢٧/١١/١٤١٨هـ)	صباحية	١١:٤٥-١٠:٤٥	١٤	٤٥	٥
	بعد العصر	٦:٠٠-٥:٠٠	١٦		
	مسائية	٧:٣٠-٦:٣٠	١٥		

\* هذه العينات حسب مسافة ٣ كم للرحلة الواحدة، أي بدمج كل ثلاث رحلات متتالية طول كل منها ١ كم.

### تحليل البيانات

يقوم نموذج المائعين بتقدير علاقة خطية بين لوغاريثم زمن الحركة لكل وحدة مسافة ( $\log T_r$ ) ولوغاريثم زمن الرحلة لكل وحدة مسافة ( $\log T$ ) وذلك من العلاقة رقم (١٧) كالتالي:

$$(13) \quad \text{Log } T_r = \frac{1}{n+1} \text{Log } T_m + \frac{n}{n+1} \text{Log } T$$

أو

$$(14) \quad \text{Log } T_r = A + B \text{Log } T$$

وبالتالي يمكن حساب قيمة كل من المعلمتين ( $T_m$ ) و ( $n$ ) عن طريق المعادلتين:

$$(15) \quad n = \frac{B}{1-B}$$

$$(16) \quad \text{Log } T_m = \frac{A}{1-B}$$

علما بأن قيمتي  $A$  و  $B$  يتم تقديرهما من المعادلة رقم (١٤) عن طريق أسلوب تحليل الانحدار الخطي (linear regression analysis). ويلخص الجدول رقم (٤) نتائج تطبيق نموذج المائعين على شبكات شوارع المدن الثلاث الخاضعة للدراسة، حيث يبين قيم معلمتي النموذج  $n$  و  $T_m$  وقيمة معامل التحديد ( $R^2$ ) مع إظهار قيم معاملات العلاقة الخطية ( $T=A+BT_s$ ) لكل مدينة من المدن السعودية الثلاث بالإضافة لعدد من المدن العالمية التي تتوفر لها نتائج منشورة [١، ١١، ١٢].

ومن أجل فهم أفضل لنموذج المائعين وخصائصه وتشعباته، فسيكون من الأجدى دراسة رسم انتشار نقاط بيانات زمن الرحلة وزمن التوقف ومنحنى نموذج المائعين الذي يمر عبرها، وذلك للمدن السعودية الثلاث كلا على حدة قبل إجراء المقارنات. فمن خلال العلاقة رقم (٧ب) وبمعرفة قيم المعلمتين  $n$  و  $T_m$  لكل مدينة، والمقدرة من تحليل الانحدار الخطي (جدول رقم ٤)، فإن العلاقة النظرية لنموذج المائعين بين زمن الرحلة  $T$  لكل وحدة مسافة وزمن التوقف لكل وحدة مسافة  $T_s$  سوف تكون على النحو التالي:

لمدينة الرياض :

$$(أ١٧) \quad T_s = T - 1.08 T^{0.286}$$

ولمدينة جدة :

$$(ب١٧) \quad T_s = T - 0.98 T^{0.333}$$

ولمدينة الدمام :

$$(ج١٧) \quad T_s = T - 0.96 T^{0.503}$$

وقد تم رسم خط النموذج من المعادلات الثلاث السابقة ، مع قيم جزء المركبات المتوقف  $(f_s)$  ، فوق رسم الانتشار لنقاط البيانات التي جمعت لكل مدينة في الأشكال أرقام (٣-٥) . إذ يوضح الشكل رقم (٤) ، مثلاً ، منحنى نموذج المائعين لمدينة جدة موضحة عليه بيانات زمن الرحلة  $T$  وزمن التوقف  $T_s$  ، والخط المنقط يمثل متوسط جزء المركبات المتوقفة  $f_s$  في الشبكة أثناء جمع البيانات ، وقيمتها تعطى بالعلاقة (٥) والتي بلغت ٠.٥٣ .

جدول رقم (٤) : معلمات نموذج المائعين للمدن السعودية الثلاث والعديد من المدن العالمية

معلمات نموذج المائعين			العلاقة الخطية $T = A + B T_s$			حجم العينة لرحلة بطول ٣,٢/١,٦ كم	المدينة
$R^2$	$T_m$ ق/ك	n	$R^2$	B	A ق/ك		
٠,٤	١,١٢	٠,٤	٠,٩٧	١,١٢	١,٣٠	٦٦/-	مركز الرياض (١٩٩٨م)
٠,٤٥	٠,٩٧	٠,٥	٠,٩٦	١,١٣	١,٢٠	١٠٠/-	خارج مركز جدة (١٩٩٨م)
٠,٥٣	٠,٩٢	١,٠١	٠,٩٢	١,٢٤	١,٤٠	٤٥/-	مركز الدمام (١٩٩٨م)
٠,٧٤	١,٥٧	١,٤٥	٠,٨٥	١,٤٤	٢,٠٤	-٣٩	مركز طهران ، إيران (١٩٩٤م)
-	١,٨٠	٠,٥٤	-	-	-	-	مركز رونوك ، فرجينيا (١٩٨٨م)
٠,٨٦	١,٦٢	١,٦٦	٠,٩٤	١,٤٦	١,٩٢	-/١١٠	مركز لندن (١٩٨٤م)
٠,٨٠	١,٢٢	١,٤٨	٠,٨٨	١,٥٠	١,٦١	١٢٤/١٣٦	مركز دالاس ، تكساس (١٩٨٤م)
٠,٨١	١,٢٤	١,٣٣	٠,٩٢	١,٤٣	١,٦٨	-/٥٥	مركز سان أنطونيو ، تكساس (١٩٨٤م)
٠,٤٥	١,٢١	٠,٧٢	٠,٨١	١,١٦	١,٤٠	١٤/٤٢	خارج مركز سان أنطونيو (١٩٨٤م)
٠,٩٢	٠,٧٨	٢,٦٧	٠,٨٧	١,٨٠	١,٣٢	٩٠	مركز بروكسل (١٩٨٣م)
٠,٨٤	١,٠٧	١,٦٣	٠,٩٥	١,٣٤	١,٧٨	-/١٠١	مركز مكسيكو سيتي (١٩٨٣م)
٠,٨٨	٢,١٠	١,٨٥	٠,٨٢	١,٦٢	٢,٦٣	-/٨٨	مركز ماتامورس ، المكسيك (١٩٨٣م)

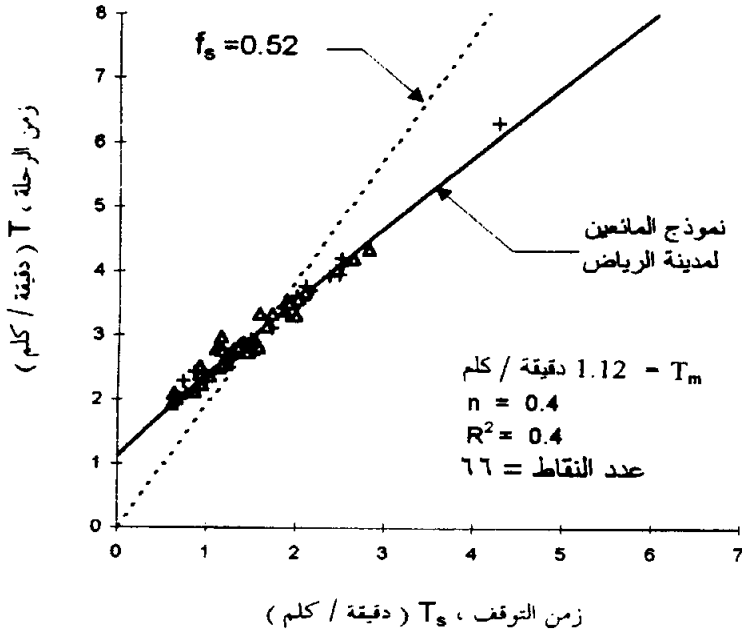
تابع الجدول رقم (٤).

معلمات نموذج المانعين			العلاقة الخطية $T = A + B T_s$			حجم العينة لرحلة بطول ٣,٢/١,٦ كم	المدينة
$R^2$	$T_m$ ق/ك	n	$R^2$	B	A ق/ك		
٠,٨١	٠,٩٨	١,٤١	٠,٨٤	١,٦١	١,١٣	٥٢٤	مركز ملواكي، وسكانسن (١٩٨١م)
٠,٦٣	١,٦٨	٠,٨٠	٠,٩٠	١,٣٠	١,٩١	-/١٥٩	مركز هيوستن، تكساس (١٩٨١م)
٠,٨٨	١,١٥	١,٦٨	٠,٩٢	١,٨١	١,٢٨	٥٩٥	مركز سيدني، استراليا (١٩٧٨م)

(أ) مسافة الرحلة ٣ كم (ب) مسافة الرحلة ١ كم (ج) مسافة الرحلة متغيرة (د) مسافة الرحلة ٢ كم

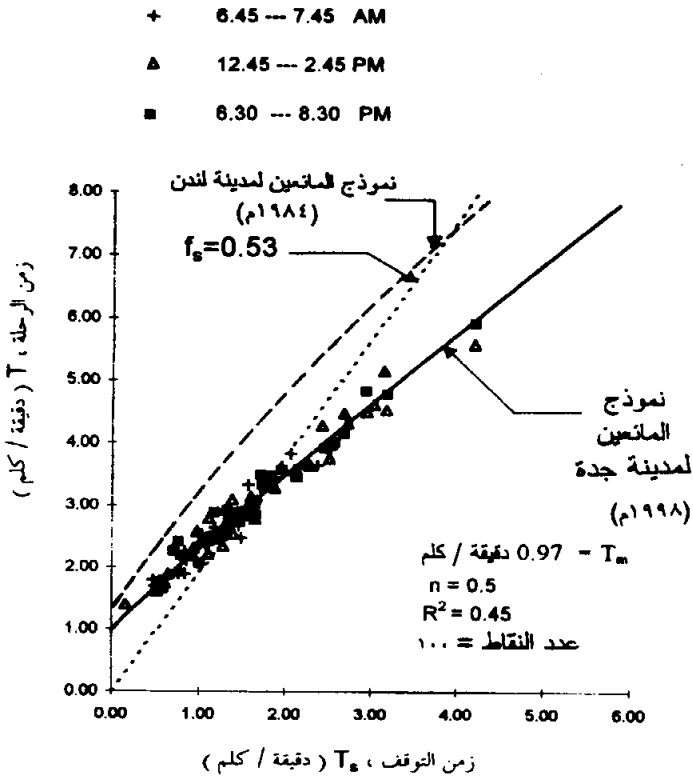
+ 11 — 12 AM

▲ 5.30 --- 6.30 PM



شكل رقم (٣). نتائج نموذج المانعين لمدينة الرياض (صفر ١٤١٩هـ).

وقد صنفت البيانات في الشكل رقم (٤) حسب فترات اليوم، حيث يتبين أن شكل منحنى المائعين لا يعتمد على مستوى الازدحام المروري في الشبكة، ولكن يتم تمثيل التذبذبات في الكثافة المرورية، سواء خلال ساعات اليوم أو أيام الأسبوع أو غيرها، من خلال موقع نقاط البيانات على طول اتجاه المنحنى، حيث تقع نقاط البيانات للكثافات المرورية الأكبر في الجزء من الشكل الذي يقابل القيم الأعلى لزمّن الرحلة و زمّن التوقف.



شكل رقم (٤). نتائج نموذج المائعين لمدينة جدة (جمادى الآخرة ١٤١٩هـ).

وعلى ذلك ، فشبكة الشوارع ذات القيم الأقل للمعلمتين  $n$  و  $T_m$  (أي التي تقدم خدمة مرورية أفضل) قد تحتوي على نقاط بيانات لها قيم مرتفعة لزمن الرحلة وزمن التوقف إذا كان مستوى الكثافة المرورية على الشبكة مرتفعا. ففي مدينة جدة ، على سبيل المثال ، وصل زمن الرحلة ( $T$ ) قرابة ١١ دقيقة/كم وزمن التوقف ( $T_s$ ) ٩ دقيقة/كم لإحدى الفترات بسبب شدة الازدحام ، ومع ذلك فمدينة جدة سجلت قيمة لـ  $n$  أقل من قيمتها لمدينة الدمام ، والتي لم تصل فيها الكثافة المرورية إلى هذا الحد.

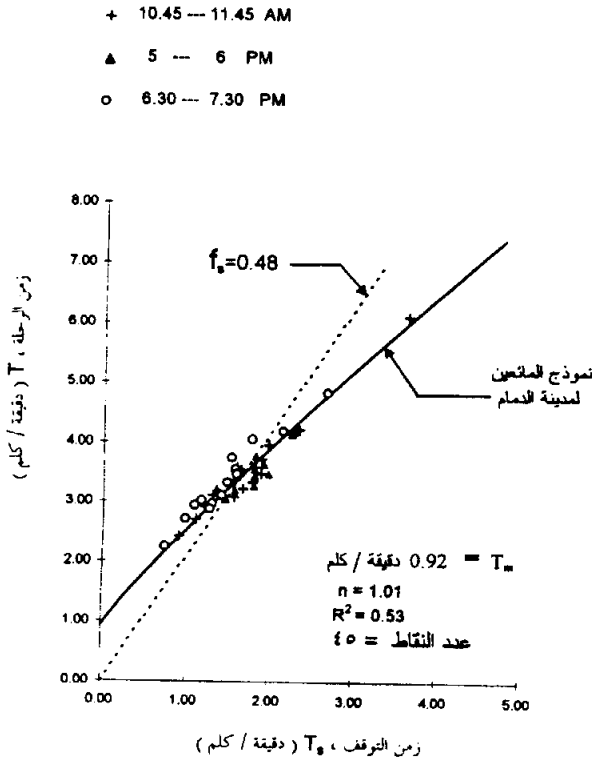
من ناحية أخرى تظهر النتائج عدم تفوق أي من المدن السعودية الثلاث على أي من المدينتين الأخرتين في كلتا قيمتي المعلمتين  $n$  و  $T_m$  ، فمثلا تفوقت مدينة الرياض في قيمة  $n$  في حين تفوقت مدينة الدمام في قيمة  $T_m$ . ومن أجل مقارنة جودة الخدمة المرورية على ضوء نموذج المائعين ، فإن مقدار الميل  $\frac{dT}{dT_s}$  ، بناء على المعادلة رقم (٧ب) ، يعطى بالعلاقة التالية :

$$(١٨) \quad \frac{dT}{dT_s} = [1 - \frac{n}{1+n} (T_m / T)^{n+1}]^{-1}$$

وهذا يعني أن الميل يعبر عن مقدار الزيادة الحاصلة في زمن الرحلة ( $T$ ) لكل وحدة مسافة عند تغير زمن التوقف ( $T_s$ ) بمقدار وحدة مسافة. وعليه فإن متوسط الميل لوسط مدينة الرياض هو قيمة العلاقة (١٨) عند متوسط زمن رحلة ( $T$ ) قدره ٣ دقيقة/كم و  $T_m = ١.١٢$  دقيقة/كم و  $n = ٠.٤$  ، حيث يصبح الميل  $(\frac{dT}{dT_s}) = ١.١٦٥$  وهو قريب جدا من الميل للخط المرسوم للعلاقة الخطية  $T - T_s$  والبالغ ١.١٢ (جدول رقم ٤).

أما ميل منحني نموذج المائعين لوسط مدينة الدمام وعند زمن رحلة ( $T$ ) = ٣ دقيقة/كم فهو ١.٣٩ ، أي أن مقدار الزيادة في زمن الرحلة لمدينة الدمام عند زيادة زمن التوقف بمقدار وحدة واحدة يصبح أكثر من الزيادة في زمن الرحلة لمدينة الرياض بحوالي ١٦٪. وهذا يعني أن الشبكة في وسط مدينة الدمام تتأثر سلبا عند زيادة الحركة والكثافة المرورية عليها أكثر من تأثر الشبكة في وسط مدينة الرياض.

وبالأسلوب نفسه يمكن بيان أن ميل نموذج المائعين لمدينة جدة (حوالي ١.١٩) يزيد قليلا عنه في الرياض ، وعلى هذا فإن مستوى الخدمة المرورية في مدينة الرياض يعتبر أفضل منه لمدينة جدة ، هذا بالرغم من أن البيانات التي جمعت لمدينة الرياض كانت من الوسط التجاري لها ، بينما كانت في مدينة جدة من خارج وسط البلد. وعلى هذا فإن شبكة الطرق بمدينة الرياض تعتبر أفضل الشبكات للمدن السعودية الثلاث تقديما للخدمة المرورية على شوارعها يلي ذلك مدينة جدة ، وذلك بناء على المقارنة حسب ميل منحني نموذج المائعين المبني على المعلمتين  $T_m$  و  $n$ .



شكل رقم (٥). نتائج نموذج المائعين لمدينة الدمام (ذو القعدة ١٤١٨هـ).

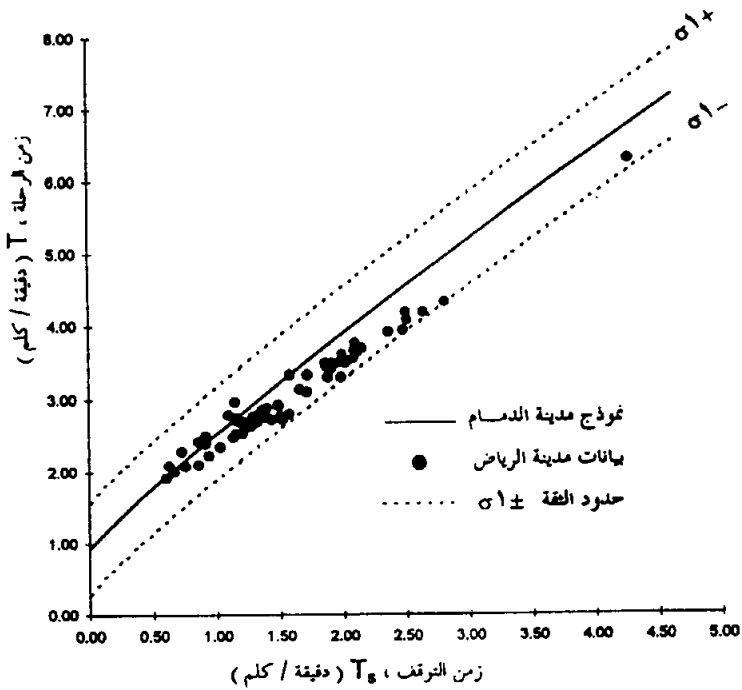
ونجد في مدينة الدمام (الشكل رقم ٥) أن ميل خط النموذج أكثر حدةً منه لمدينتي جدة والرياض، وهذا بسبب ارتفاع قيمة المعلمة ( $n$ ) لها، ولكن جزء المركبات المتوقفة ( $f_s$ ) أقل مما هي عليه في الرياض وجدة حيث بلغ مقداره ٠,٤٨. وهذا يدل على أن الكثافة المرورية في مدينة الدمام كانت، أثناء جمع البيانات، أقل منها لمدينتي جدة والرياض. ومع ذلك، فمدينة الدمام سجلت أعلى قيمة للمعلمة ( $n$ )، وهذا راجع إلى قلة عدد المسارات على شوارعها الرئيسية، حيث إن مساراً بأكمله خصص للمواقف الجانبية، خاصة على الطرق التي على جوانبها المحلات التجارية، مما أدى إلى القصور النسبي للخدمة المقدمة في بعض شوارع الشبكة لمدينة الدمام.

ونجد كذلك من الشكلين رقمي (٣) و (٤) أنه بالرغم من أن قيمة جزء المركبات المتوقفة للرياض وجدة متقاربة، وهي ٠,٥٢ و ٠,٥٣، على التوالي، فقد حققت مدينة الرياض قيمة للمعلمة ( $n$ ) أقل منها لمدينة جدة، مما يعكس أن القدرة على تصريف المركبات في أوقات الذروة لمدينة الرياض أفضل منها لشبكة جدة. ولو افترضنا أن قيمة  $f_s$  هي ٠,٥ أي حوالي ٥٠٪ من المركبات متوقفة، نجد أن متوسط السرعة للحركة لكل من الرياض وجدة هي  $V_r = ٤١$  و  $٤٤$  كم/ساعة، على التوالي، وذلك من خلال العلاقة رقم (١). بينما وصلت قيمة  $V_r$  في مدينة الدمام إلى ٣٢ كم/ساعة فقط عند النسبة نفسها من جزئية المركبات المتوقفة. وهذا يؤكد ما ذكر سابقاً بأن أغلب الشوارع لمركز مدينة الدمام تفقد مساراً كاملاً، وخاصة المسار الأيمن من كل اتجاه، لأنه لم يكن هناك علامة ممنوع الوقوف الجانبي للطرق الرئيسية، بينما يمنع في مركز مدينة الرياض الوقوف الجانبي في أغلب شوارعها الرئيسية، وبشكل حازم، حيث تسحب المركبة مباشرة عند مخالفتها ووقوفها في المسار الأيمن.

كذلك نجد من الجدول رقم (٤) أن مدينة الدمام سجلت متوسط أقل زمن للانتقال  $T_m = ٠,٩٢$  دقيقة، وهو أقل قيمة بالنسبة للمدن الثلاث. هذا يعني أن مدينة الدمام سجلت أعلى متوسط سرعة ممكنة خلال الشبكة، معادلة رقم (٣)، حيث بلغ متوسط أقصى سرعة ٦٥ كم/ساعة. وهذا يعود إلى اختلاف أسلوب تشغيل نظام الإشارات الضوئية لمدينة الدمام في منطقة الدراسة حيث تتحول إلى إشارات ومضية متقطعة في فترات الحركة الخفيفة جداً خاصة في ساعات الليل المتأخرة، بالإضافة إلى وجود نسبة عالية من

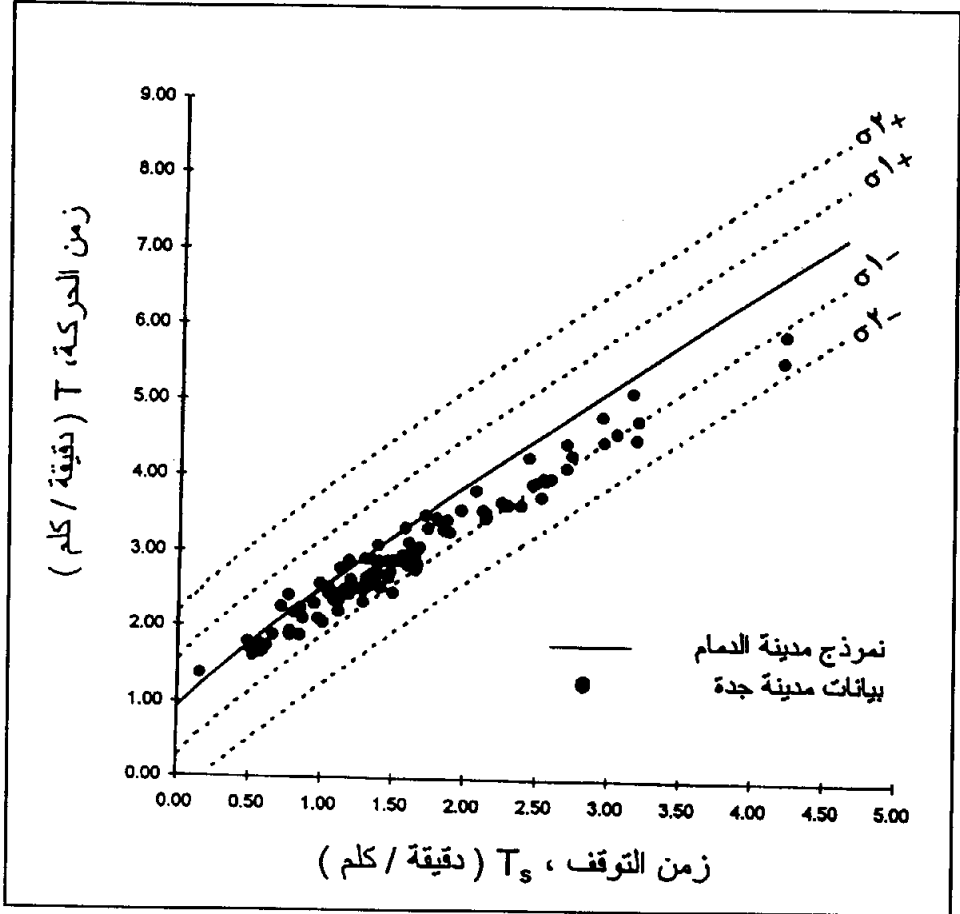
الشوارع ذات الاتجاه الواحد، مما جعل متوسط أقل زمن للانتقال ( $T_m$ ) لمدينة الدمام يكون هو الأقل من بين المدن الثلاث، بينما في مدينتي جدة والرياض فمعظم الإشارات تستمر تعمل حتى ولو في ساعات الليل المتأخرة.

ويوضح الشكل رقم (٦) مستوى الثقة لنموذج المانعين لمدينة الدمام بحدود  $(\pm 1\sigma)$ ، مع وضع نقاط البيانات لمدينة الرياض على الشكل نفسه. نلاحظ أن ٩٥٪ من نقاط بيانات الرياض تقع ضمن حدود مستوى ثقة  $(\pm 1\sigma)$  عند الحركة المرورية الخفيفة. ولكن عند الحركة المرورية العالية تقترب البيانات من خط حد مستوى الثقة  $(-1\sigma)$ . ولهذا بات واضحاً أن شبكة الرياض أفضل من شبكة الدمام خاصة في أوقات الذروة العالية.



شكل رقم (٦). نموذج المانعين لمدينة الدمام بحدود ثقة  $(\pm 1\sigma)$  مع بيانات وسط مدينة الرياض.

أما الشكل رقم (٧) فيوضح مستوى الثقة لنموذج الدمام بحدود  $(\pm 1\sigma, \pm 2\sigma)$  مع توضيح نقاط بيانات مدينة جدة على الشكل نفسه. ومن الشكل يتضح أن قرابة ٢٠٪ من نقاط البيانات تقع خارج حدود مستوى الثقة  $(\pm 1\sigma)$ . كما أنه كلما زاد الازدحام المروري تقترب نقاط بيانات مدينة جدة من حد مستوى الثقة  $(-2\sigma)$  مما يدل على أن مدينة جدة أيضاً تفوق مدينة الدمام في الجودة المرورية المقدمة خاصة في أوقات الذروة العالية.



شكل رقم (٧). نموذج المائعين لمدينة الدمام بحدود ثقة  $(\pm 1\sigma, \pm 2\sigma)$  مع بيانات وسط مدينة جدة.

من جهة أخرى، يلاحظ من الجدول رقم (٤) أن قيم معامل التحديد ( $R^2$ ) لنموذج المائعين للمدن السعودية الثلاث منخفضة نوعا ما مقارنة بقيمها للمدن العالمية، ما عدا مدينة سان أنطونيو. وعند رسم جميع العلاقات بين المتغيرات المرورية  $T$ ،  $T_s$  و  $T_r$  للمدن السعودية الثلاث اتضح أن العلاقة الخطية بين  $T$  و  $T_s$  سجلت قيمة عالية لمعامل التحديد ( $R^2$ ) لجميع المدن الثلاث، حيث كانت القيمة أعلى من ٠.٩٠ لكافة المدن. ولكن عند رسم العلاقة الخطية بين زمن الرحلة ( $T$ ) وزمن الحركة ( $T_r$ ) كان هناك تشتت واضح لنقاط البيانات مما أدى بالتالي إلى انخفاض قيمة معامل التحديد ( $R^2$ ) لنموذج المائعين.

وقد يعود سبب التباين في زمن الحركة ( $T_r$ ) إلى السلوك الخاطئ وغير المنضبط لبعض السائقين أثناء القيادة داخل منطقة الدراسة، وخاصة من حيث السرعة التي ينطلقون بها عند فتح الإشارات، والتي أدت إلى حدوث فرق كبير في قيمة زمن الحركة ( $T_r$ ) عند نفس زمن الرحلة ( $T$ ) لعدد من العينات التي جمعت، حتى للشارع وللفترة نفسيهما.

ولا يخرج سبب تباين قيمة زمن الحركة ( $T_r$ ) بين العينات أثناء الرحلة عن الحالات

التالية:

أولا: أن السائق يقف عند الإشارة الضوئية، في مقدمة المركبات الأخرى، وما أن تضيء الإشارة اللون الأخضر إلا وينطلق مسرعا ومتجاوزا السرعة القصوى مستغلا خلو الطريق من المركبات، بينما تتقيد المركبات الأخرى التي وقفت نفس الزمن ( $T_s$ ) بالسرعة النظامية.

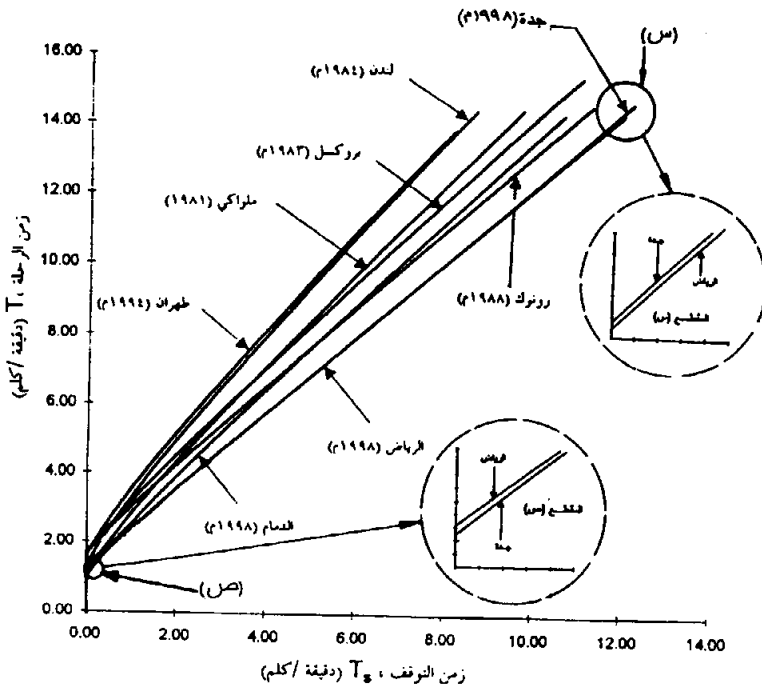
ثانيا: نجد بعض السائقين يحاول جاهدا تقليل زمن التوقف ما أمكنه ذلك ولو ببعض السلوكيات الخاطئة مثل تغيير المسار من حين لآخر، أو الوقوف أمام الإشارة في المسار الأيمن المخصص للانتفاف لليمين، أو الانتفاف إلى اليمين إلى الشارع العرضي عند الإشارة ثم الدوران والعودة إلى الشارع الأصلي مرة أخرى ليتفادى الوقوف عند الإشارة الحمراء.

ثالثا: ربما يجمع بعض السائقين بين السرعة الزائدة عن حدود السرعة القصوى النظامية وبين التخلص من زمن التوقف ما أمكنه ذلك ولو بممارسة بعض السلوكيات الخاطئة في نمط القيادة، مثل عدم الالتزام بالحارات المرورية المحددة بالدهانات الأرضية عند الوقوف في

التقاطعات وعدم احترام الضوء الأصفر للإشارة المرورية. وتلك الأسباب الآتفة الذكر كان لها سبب مباشر في الانخفاض النسبي لقيمة معامل التحديد لنموذج المائعين ( $R^2$ ). وللمقارنة مستوى الخدمة المرورية بين المدن السعودية والمدن العالمية ينبغي التذكير بأن المدن التي تظهر بمستوى أفضل من حيث التحكم المروري والتصميم الهندسي للشبكة يكون لها بشكل عام قيم أقل للمعاملات  $n$  و  $T_m$  ، أنظر الجدول رقم (٤). فعلى سبيل المثال ، عند مقارنة مدينة لندن مع مدينة جدة ، نلاحظ من الشكل رقم (٤) أن جميع بيانات مدينة جدة تقع تحت منحنى نموذج المائعين لمدينة لندن ، أي أنه حتى في الحركة المرورية الخفيفة نجد مدينة جدة تتميز بنظام تحكيمي وخصائص هندسية للشبكة أفضل منها لمدينة لندن. وعند الجزء نفسه من المركبات المتوقفة ( $f_s = ٠,٤$ ) للمدينتين ، نجد أن قيمتي  $T$  و  $T_s$  لمدينة جدة هما ٢,٢٥ و ٠,٩ دقيقة/كم ، على التوالي ، بينما وصلت قيمتهما لمدينة لندن ٥,٠ و ٢,٠ دقيقة/كم ، على التوالي ، أي زيادة بمقدار حوالي ٥٠٪ عن كل من قيمتهما لمدينة جدة. وكذلك فعند زيادة الطلب المروري ، أي في أوقات الذروة العالية ، وعند القيم العالية لـ  $T$  و  $T_s$  ، نجد أن جودة الخدمة المقدمة على شبكة جدة تزداد عنها في مدينة لندن. ويمكن تفسير ذلك بأن شوارع مدينة لندن معروفة بطول دورات إشارات وقصر طول البلكات للقاطعات والشوارع الضيقة ذوات الاتجاهين ووجود إشارات للمشاة بكثرة. وقد أدى هذا إلى ارتفاع قيمة  $n$  لها ، والتي تساوي ١,٦٦ ، أي ما يفوق ثلاثة أضعاف قيمتها لمدينة جدة. في حين تتميز مدينة جدة بوجود الشوارع الواسعة والبلكات الطويلة نوعا ما وكثرة المسارات للشوارع الرئيسية وغيرها من المميزات التي ذكرت لمدينة جدة. وما انطبق على مدينة جدة من التحليل ينطبق على مدينة الرياض ، وذلك لتقارب قيمتي المعلمتين  $n$  و  $T_m$  لمدينتي جدة والرياض ، حيث التشابه الكبير في المميزات التحكومية والهندسية للشوارع.

ويوضح الشكل رقم (٨) منحنيات نموذج المائعين لعدة مدن عالمية ، بالإضافة إلى كل من المدن السعودية الثلاث. فقيما يخص مقارنة المدن السعودية مع بعضها البعض ، يبين الشكل التشابه الكبير بين نموذج المائعين لكل من مدينتي الرياض وجدة. ولو دققنا النظر في

الشكل وكبرنا المقطعين (س) و (ص) لوجدنا أن نموذج المائعين لمدينة جدة يرتفع فوق نموذج الرياض عند القيم العالية لـ  $T_g$  و  $T_g$  والعكس صحيح. وتفسير ذلك أن أداء شبكة مدينة الرياض يكون أفضل منه لمدينة جدة في أوقات الذروة العالية، حيث إن شبكة مدينة الرياض لا تتأثر مع زيادة الكثافة المرورية العالية مثلما يحدث في شبكة مدينة جدة. وهذا يدل على أن مدينة الرياض تصرف كما مروريا أكثر مما هو عليه في مدينة جدة، وهذا قد يعود إلى تفوق أداء الأجهزة التحكمية من الإشارات وغيرها، فنجد في مدينة الرياض أن هناك شوارع رئيسة مثل شارع طارق بن زياد، وطريق الملك فهد (طريق الخدمة) قد ربطت إشارتهما على التسلسل، أي "الموجة الخضراء"، مما يساعد على سهولة انسياب الحركة المرورية في أوقات الذروة.



شكل رقم (٨). مقارنة نموذج المائعين لبعض المدن العالية مع المدن السعودية.

ولكن عند منطقة الحركة المرورية الخفيفة نجد أن منحى المائعين لمدينة الرياض يقع أعلى من منحى مدينة جدة، وهذا يعني أن السرعة المتوسطة (V) لمدينة جدة أسرع منها في مدينة الرياض وذلك بسبب سعة شوارع منطقة الدراسة لمدينة جدة وطول متوسط البلوكات للتقاطعات وارتفاع حدود السرعة القصوى النظامية. وعند الحركة المرورية المتوسطة نجد أن منحى النموذجين ينطبقان على بعضهما البعض مما يدل على أن الشبكة المرورية لهاتين المدينتين لهما نفس الجودة في تقديم الخدمة المرورية. وباختصار، نجد أن مدينة الرياض تعتبر أفضل المدن السعودية الثلاث على الإطلاق في أوقات الذروة العالية.

أما بالنسبة لمقارنة المدن السعودية مع نظيراتها العالمية، فيتضح من الشكل رقم (٨) عند مقارنة مدينة الرياض مع مدينة ملواكي الأمريكية، مثلاً، أنه في الحركة المرورية الخفيفة يقع منحى نموذج المائعين لمدينة ملواكي أسفل منحى مدينة الرياض، حيث سجل قيمة للمعلمة  $T_m$  تساوي ٠.٩٨ دقيقة/كم مقابل ١.١٢ دقيقة/كم لمدينة الرياض. أي أن الشبكة لمدينة ملواكي تسمح بسرعة أعلى من مدينة الرياض في أوقات الحركة الخفيفة، حيث إن متوسط أقصى سرعة لشبكة ملواكي تساوي ٦١.٢٥ كم/ساعة، بينما تساوي في الرياض ٥٣ كم/ساعة. وفي المقابل، يتضح من الشكل أن شبكة مدينة الرياض تفوقت على مدينة ملواكي عند الضغط المروري العالي، حيث إنه لو كانت نسبة المركبات المتوقفة تصل إلى ٥٠٪ أي أن ( $f_s = ٠.٥$ ) ستكون قيمتا زمن الرحلة (T) وزمن التوقف ( $T_s$ ) لمدينة ملواكي هي ٥.٢ و ٢.٦ دقيقة/كم، على التوالي، بينما في مدينة الرياض، وعند النسبة نفسها لـ  $f_s$ ، تكون قيمتا T و  $T_s$  هما ٢.٩٥ و ١.٤٨ دقيقة/كم، على التوالي.

أما عند مقارنة مدينة الدمام بمدينة رونوك الأمريكية، مثلاً، نجد من الشكل أن مدينة رونوك تتساوى في الجودة المرورية مع شبكة مدينة الدمام عند الازدحام المتوسط، أي عند القيم المتوسطة لـ T و  $T_s$  والتي تنحصر بين القيمتين ٦.٠ و ٩.٠ دقيقة/كم لـ T والقيمتين ٤.٠ و ٧.٠ دقيقة/كم لـ  $T_s$ ، حيث إن منحى نموذج المائعين لمدينة رونوك يكون متطابقاً مع منحى نموذج المائعين لمدينة الدمام. أما في أوقات الذروة، أي عند القيم العالية لـ T و  $T_s$

والتي تكون أعلى من ٩.٠ و ٧.٠ دقيقة/كم، على التوالي، فتتفوق مدينة رونوك، ولكن في الأوقات الخفيفة للحركة، أي عند القيم الأقل لـ  $T$  و  $T_s$ ، نجد أن اتجاه المنحنيين للمدينتين انعكس، فأصبح نموذج الدمام يقع تحت نموذج مدينة رونوك. ولا غرابة في ذلك حيث إن أغلب الشوارع لوسط مدينة الدمام تكون ذات اتجاه واحد وتعمل على شبكة من التقاطعات العمودية، حيث بلغت نسبة الشوارع ذات الاتجاه الواحد لمنطقة الدراسة تقريبا ٤٤٪ من أطوال الشوارع الكلية لمنطقة الدراسة.

وعند إلقاء نظرة على الشكل السابق (رقم ٨) نجد أن أسوأ المدن، المشمولة في المقارنة، تقدما للخدمة المرورية على الإطلاق هي مدينة طهران وأفضلها على الإطلاق هي مدينة الرياض. ولو أردنا ترتيب المدن العالمية المذكورة في الشكل من حيث مستوى الخدمة لوجدنا أنها كالتالي: شبكة مدينة الرياض ثم جدة ثم رونوك وبعدها الدمام ثم ملواكي ثم لندن ثم بروكسل ثم أخيرا طهران.

### الاستنتاجات والتوصيات

هدفت هذه الدراسة إلى تحديد مستوى جودة الخدمة المرورية المقدمة على شبكات شوارع المدن السعودية الكبرى ومقارنته، والتي تشمل كلا من الرياض، جدة والدمام، وذلك بناءً على النموذج الخاص بنظرية المائعين، بالإضافة إلى مقارنة تلك المدن السعودية مع نظيراتها من المدن العالمية الأخرى والتي وثقت في دراسات سابقة.

وقد تم توظيف طريقة المركبة التابعة لجمع البيانات الخاصة بزمن الرحلة ( $T$ ) وزمن التوقف ( $T_s$ ) لمسافة ٣ كم للمشاهدة الواحدة التي جمعت خلال أوقات الذروة اليومية. فقد جمعت البيانات لمدينة الرياض على فترتين صباحية ومساءلية (٦٦ مشاهدة). أما بيانات مدينتي جدة (١٠٠ مشاهدة) والدمام (٥٤ مشاهدة) فقد جمعت على ثلاث فترات. كما تم رفع أهم خصائص وسمات الشبكة الهندسية والتحكمية لمنطقة الدراسة لكل مدينة من المدن الثلاث، وذلك لتسهيل عملية المقارنة بين المدن وتفسير النتائج المستخلصة، وخاصة اختلاف قيم معلمتي نموذج المائعين  $n$  و  $T_m$ .

ويمكن تلخيص أهم نتائج الدراسة بما يلي:

١- تعد مدينة الرياض أفضل المدن السعودية الثلاث الرياض، جدة والدمام على الإطلاق من حيث الجودة في الخدمة المرورية المقدمة على شبكات الشوارع فيها، وخاصة في حالات الضغط المروري العالي، حيث كان منحني نموذج المائعين لمدينة الرياض يقع تحت منحني نموذج المائعين لكل من مدينتي جدة والدمام عند القيم العليا لزمن الرحلة (T) وزمن التوقف ( $T_s$ ).

٢- تعد مدينة جدة شبيهه إلى حد ما لمدينة الرياض في مستوى الجودة للخدمة المرورية، وذلك لتقارب القيم لمعلمتي النموذج  $n$  و  $T_m$ ، وإن كانت مدينة جدة تتفوق على مدينتي الرياض والدمام في الأداء المروري عند القيم الدنيا لـ  $T$  و  $T_s$ ، أي عند الحركة المرورية الخفيفة.

٣- أظهرت النتائج أن مدينة الدمام هي أسوأ المدن السعودية الثلاث في مستوى الجودة للخدمة المرورية المقدمة على شبكاتها، خاصة في أوقات الطلب المروري المرتفع، وذلك لارتفاع قيمة المعلمة  $n$  لها، مع العلم أنها حصلت على أقل قيمة للمعلمة  $T_m$  من بين المدن الثلاث.

٤- لوحظ ارتفاع قيمة الجزء المتوقف من المركبات ( $f_s$ ) للمدن السعودية الثلاث وذلك بسبب أن أخذ البيانات لجميع الفترات كان في أوقات الذروة العالية، حيث وصل متوسط الجزء المتوقف للمركبات ( $f_s$ ) لمدينتي جدة والرياض ٠,٥٢ و ٠,٥٣، على التوالي، أما في مدينة الدمام فكانت  $f_s = ٠,٤٨$ . وهذا يعني أن حوالي نصف زمن الرحلة الذي تقضيه المركبة في منطقة الدراسة يضيع في التوقف لأسباب مرورية.

٥- لوحظ كذلك انخفاض معامل التحديد ( $R^2$ ) للعلاقة الخطية المقدرة من تحليل الانحدار بين زمن الرحلة (T) وزمن الحركة ( $T_r$ ) للمدن السعودية. وربما يعود ذلك إلى السلوك الخاطئ لبعض السائقين أثناء القيادة، وخاصة اختلاف السرعة التي يتلقون بها عندما تضيء الإشارة اللون الأخضر مما تسبب في اختلاف زمن الحركة ( $T_r$ ) بشكل كبير وملحوظ لبعض المشاهدات التي لها نفس زمن الرحلة (T)، الأمر الذي جعل نقاط

البيانات متشتتة ومتباعدة كذلك عن خط الانحدار للعلاقة اللوغاريتمية لنموذج المائعين  $(\log T - \log T_r)$ .

٦- أثبتت نتائج الدراسة بأن المدن السعودية ذوات كفاءة عالية في جودة الخدمة المرورية المقدمة على شبكاتها وخاصة مدينتي الرياض وجدة اللتان تعتبران من المدن التي تنافس بعض المدن العالمية في جودة الخدمة المرورية بل هي أفضل من بعضها مثل مدينة رنوك الأمريكية ومدينة لندن البريطانية ومدينة طهران الإيرانية، في ظل الظروف التي جمعت فيها بيانات مدينتي الرياض وجدة من كثافة المركبات (التركيز) ومن الخصائص الهندسية للشوارع.

٧- اتضحت فائدة المعلمتين  $T_m$  و  $n$  كمقياس لجودة الخدمة المرورية على شبكة الشوارع، حيث عكست نمط الحركة المرورية لكل مدينة من المدن الثلاث بناءً على السمات الهندسية والتحكمية لشبكة شوارع المدينة.

وبناءً على النتائج المستخلصة والملاحظات التي جمعت أثناء جمع البيانات يوصي المؤلفون بالتالي:

١- ضرورة إعادة النظر في ضبط الإشارات الضوئية داخل المدن السعودية الثلاث وتعديل التوقيت حسب الضغط المروري ليعطي كفاءة في تسهيل انسياب الحركة المرورية، حيث لوحظ أن متوسط طول دورة الإشارة فيها طويل نوعاً ما إذا ما قورن بالمدن العالمية. وهذا مما تسبب في تكديس المركبات داخل شوارع منطقة الدراسة بشكل طوابير طويلة وبالتالي تقليل سرعة الحركة للمركبات.

٢- على الجهة المسؤولة عن الحركة المرورية لمدينة الدمام أن تعمل على منع الوقوف الجانبي في وسط المدينة على الطرق الشريانية مثل شارع الأمير منصور وشارع الملك خالد والشارع رقم (٩) والشارع رقم (١١) حتى يتم توفير مسار إضافي لمستخدمي هذه الشوارع مما يساعد على تحسين انسيابية حركة المرور. وقد يتطلب ذلك توفير مواقف متعددة الأدوار بجانب الأسواق التجارية.

٣- ضرورة وضع ضوابط صارمة ومتابعة لسلوك السائقين الخاطيء تجاه الأنظمة التحكمية المرورية، خاصة تجاوز حدود السرعة القصوى وعدم الالتزام بالمسارات المحددة عند الإشارات، ومن ذلك حجز المسار الأيمن عند التقاطعات عن المركبات التي تريد الالتفاف لليمين أثناء الوقوف عند الإشارات ذات الكثافة العالية من المركبات، وكذلك التنقل من حارة مرورية إلى أخرى في الشارع الواحد بهدف التقليل من زمن الرحلة.

٤- النظر في إمكانية معايرة نموذج المائعين على الظروف المحلية باستخدام برنامج محاكاة حاسوبي جزئي (مثل برنامج NETSIM) لاستخدامه لاحقا كأداة فعالة في دراسة وتقويم بدائل إدخال تحسينات في الخصائص الهندسية أو في وسائل التحكم المروري لشبكات الشوارع داخل المدن.

٥- توسعة نطاق هذه الدراسة بإجرائها في مواقع مختلفة في المدن السعودية الثلاث في سبيل الوصول إلى مقارنة شاملة بين تلك المدن، وأيضا لمقارنة المواقع المختلفة في المدينة الواحدة باستخدام نموذج المائعين.

٦- تطبيق نموذج المائعين على بقية مدن المملكة العربية السعودية، خاصة مدينتي مكة المكرمة والمدينة المنورة لمعرفة مستوى الجودة المرورية المقدمة على شبكتهما في فترات المواسم. ويفضل الأخذ بالاعتبار جمع بيانات وتسجيل زمن الرحلة (T) وزمن التوقف (T<sub>0</sub>) لكل وحدة مسافة لرحلة (مشاهدة) قدرها كيلومتر واحد مما يتيح للباحث تجميع العينات لرحلات بمسافات أكبر (٢ أو ٣ كم مثلا)، وذلك في سبيل الوصول لنتائج أعلى دقة وموثوقية.

## المراجع

- Williams, J. "Macroscopic Flow Models. Chapter 6 of Transportation Research Board Special Report." *Traffic Flow Theory* (Eds. N. Gartner, C. Messer and A. Rathi), Washington, D.C.: Draft Report, 1998. [١]
- Herman, R. and Prigogine. *Kinetic Theory of Vehicular Traffic*. New York: American Elsevier Publishing Co., 1971. [٢]

- Herman, R. and Lam, T. "On the Mean Speed in the 'Boltzmann-Like' Traffic Theory: Analytical Derivation." *Transportation Science*, vol. 5, No. 3, August (1971), pp. 314-327. [٣]
- Herman, R.; Lam, T. and Prigogine, I. "Kinetic Theory of Vehicular Traffic: Comparison with Data." *Transportation Science*, vol. 6, No. 4, November (1972), pp. 440-452. [٤]
- Herman, R. and Prigogine, I. "A Two-Fluid Approach to Town Traffic." *Science*, No. 24, (1979), pp. 148-151. [٥]
- Chang, M. and Herman, R. "An Attempt to Characterize Traffic in Metropolitan Areas." *Transportation Science*, vol. 12, No. 1, February (1978), pp. 78-79. [٦]
- Herman, R. "Directions in Transport Research." In: *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Transportation and Traffic Theory* (Eds. V. F. Hurdle, E. Hauer and G. N. Steuart), Canada: University of Toronto Press, 1983, pp. 695-700. [٧]
- Ardekani, S. "Quality of Traffic Service in Urban Street Networks." *MS Thesis*, The University of Texas at Austin, 1981. [٨]
- Herman, R. and Ardekani, S. "Characterizing Traffic Conditions in Urban Areas." *Transportation Science*, vol. 18, No. 2, May 1984, pp. 101-140. [٩]
- Ardekani, S. "The Two-Fluid Characterization of Urban Traffic: Theory, Observation, and Experiment." *Ph.D. Dissertation*, The University of Texas at Austin, 1984. [١٠]
- Amini, B.; Shahi, J. and Ardekani, S.A. "An Observational Study of the Network-Level Traffic Variables." *Transportation Research, Part A*, Vol. 32, No. 4 (1998), pp. 271-278. [١١]
- Ardekani, S. and Herman, R. "A Comparison of The Quality of Traffic Service in Downtown Networks of Various Cities Around the World." *Traffic Engineering + Control*, December (1985), pp. 574-581. [١٢]
- Walpole, R. E. and Myers, R.H. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. London: Macmillan Publishing Co., Inc., 1972 [١٣]

## **Determination and Comparison of Quality of Traffic Service in Street Networks of Major Saudi Arabian Cities Using the Two-Fluid Model**

**Saad A. AlGadhi<sup>1</sup>, Ali S. Al-Ghamdi<sup>1</sup> and Hussain S. Al-Kharboosh<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Associate Professor, Civil Engineering Department, King Saud University,  
P.O.Box 800, Riyadh 11421, and <sup>2</sup>Lecturer, Secondary Institute of  
Technical Inspectors, Riyadh; Saudi Arabia*

(Received 18 September, 1999; accepted for publication 29 April, 2000)

**Abstract.** Over the past four decades, theoretical and empirical traffic studies were focused on the characterization of the quality of traffic service in urban street networks. One of the recent efforts in this direction is the development of the two-fluid model of town traffic, which characterizes the quality of traffic service in non-freeway urban street networks. The model yields a simple relation between two traffic variables, namely the trip time per unit distance (reciprocal of speed) and the stop time per unit distance. The two-fluid methodology has been successfully applied to trip-time/stop-time observations in many cities around the world. This paper presents the results of calibrating the two-fluid model to the non-freeway street networks of the largest three Saudi Arabian cities, namely Riyadh, Jeddah and Dammam. The paper also compares the quality of traffic service in these cities as well as with some other world cities. The study revealed that Riyadh street network ranks the best among all cities studied, while Jeddah street network quality of traffic service was very close to that of Riyadh. Dammam street network appears to be the worst among the Saudi Arabian cities, especially during peak hours.