مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (9) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (9) 2013

إستراتيجية مثلى لتوزيع الميزانية على أعمال الصيانة الطرقية في اللاذقية

الدكتور هاني نجا*
الدكتورة رناء درويش أحمد**
ميسون زحلط***

(تاريخ الإيداع 22 / 9 / 2013. قُبِل للنشر في 8/ 12 / 2013)

∇ ملخّص ∇

تعتبر صيانة شبكات الطرق وإصلاحها قضية أساسية وهامة جداً، بسبب التزايد الكبير في طولها ومحدودية الميزانية المتوافرة لأجل صيانتها.

يهدف البحث إلى وضع إستراتيجية مثلى لصيانة الطرق تهدف إلى توزيع الميزانية على برامج الصيانة العائدة لشبكة الطرق ، وفقاً لأهداف متعددة وفي ظل الاعتمادات المالية المتاحة سنوياً.

الموديل الرياضي المقترح يضمن رفع أداء شبكة الطرق في اللاذقية من أجل أهداف متعددة، ويأخذ بعين الاعتبار القيود المفروضة على عملية الصيانة، وذلك باستخدام تقنية برمجة الهدف (goal programming).

لاختبار الموديل الرياضي المقترح تم دراسة حالة ممثلة بالطريقين المركزيين اللاذقية –الحفة –صلنفة وأتوستراد القبو– القرداحة، وحصلنا على نتائج متمثلة بعدد الأمتار الممكن صيانتها لكل نوع صيانة من أجل كل درجة طريق وأماكن تواجدها على شبكة الطرق وذلك ضمن الموارد المالية المتاحة.

تم استخدام برنامج الـ (lingo) لحل الموديل الرياضي (المرحلة الأولى)، وبرنامج الإكسل لتصميم واجهة إدخال البيانات اللازمة وتشكيل معادلات الموديل الرياضي، كما استخدم الإكسل للحصول على نتائج المرحلة الثانية من الدراسة المتمثلة بتحديد القطاعات الطرقية الواجب صيانتها أولاً على شبكة الطرق.

طبق الموديل من أجل حالات مختلفة للميزانية (مفتوحة، مغلقة) ومن أجل سياسات وخيارات متعددة، بهدف الوصول إلى نتائج متعلقة بحساسية الموديل.

الكلمات المفتاحية: توزيع الميزانية على الصيانة الطرقية، نظم دعم القرار، إدارة الصيانة الطرقية، إدارة الشبكة الطرقية.

* أستاذ مساعد – قسم هندسة وإدارة التشييد– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
** مدرسة– هندسة المواصلات والنقل– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.
*** طالبة دراسات عليا (ماجستير) –قسم هندسة وإدارة التشييد– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (9) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (9) 2013

Optimal Strategy for Allocation Budget on Road Maintenance Activities in Lattakia City

Dr. Hani Kaja[*]
Dr. Ranaa' Darwish Ahmad[**]
Maysoon Zahlat[***]

(Received 22 / 9 / 2013. Accepted 8 / 12 / 2013)

∇ ABSTRACT ∇

The maintenance and repair of road networks became a key and very important issue, because of the large increase in length and the limited budget available for maintenance. This research aims to develop an optimal strategy for maintenance of road in order to distribute the annually limited budget on maintenance programs of road network as a whole according to multiple objectives.

The proposed mathematical model ensures raising the performance of the road network in Lattakia for the multiple targets, taking into account the constraints imposed on the maintenance process, using goal programming technique.

To validate the proposed model we have studied the central road case, and the samples were Lattakia-Qurdaha and Lattakia-Haffa-Slinfa roads, we have got results represented by the number of meters can be maintained for each type of maintenance for every degree and their locations on the road network within the funds available.

A commercial software called lingo has used to solve the linear programming model (phase 1) and Excel program has used to design the interface for data entry required and the formation of equations model, Excel program have also used to determine the segments which have to maintain first on the road network (phase 2).

The proposed model may apply for the different situations of the budget (open, closed) and for policies and multiple options in order to reach results related to sensitively model.

Keywords: Budget Allocation for Road Maintenance, Decision Support Systems, Road Maintenance Management, Road Network Management.

[*] **Associate professor, Faculty of Civil Engineering, Engineering and Construction Management Department, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[**] **Assistant professor, Faculty of Civil Engineering, Department of Transportation Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***] **Postgraduate Student, Faculty of Civil Engineering, Engineering and Construction Management Department, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

لقد تركت الطرق التقليدية منذ عهد الرومان اتخاذ القرار لمراقب الطرق في اختيار عملية الصيانة اعتماداً على معرفته وخبرته، وهذا قد يكون مناسباً في حالة الطرق ذات الغزارة المرورية القليلة، أو حيث يكون هناك أموال كافية، لكن في معظم الحالات لا يكون الوضع كذلك، إذ إن الموارد والنفقات السنوية المخصصة لأعمال الصيانة غالباً ما تكون محدودة وغير كافية لإنهاء كل إصلاحات الطرق اللازمة، بالإضافة إلى أن عملية الإعداد والتقييم لأفضل السبل لاستخدام هذه النفقات تعتبر مهمة شاقة للغاية.[1]

تتدهور شبكات الطرق بشكل عام نتيجة الاستخدام والقدم معاً، وتميل للتدهور بسرعة أكبر من ميلها إلى الإصلاح ويكون ذلك بمعدلات مختلفة تبعاً لعوامل عديدة مثل كثافة المرور، الحمولات، نوع الصيانة، المواد المستخدمة، تصميمها وجودة إنشائها والتأثر بالتقلّبات المُناخية.[2]

إن معظم وكالات الطرق تطور نظم إدارة صيانة الطرق لديها على أساس هيكلية قرارٍ تحاول من خلالها أن تقلل تكاليف الصيانة وتبقي الحالة الفنية للشبكة بمستوى مقبول.

إنّ أهم أهداف نظم إدارة صيانة الطرق هو التأسيس للأولويات ولبرامج الميزانية لصيانة شبكة الطرق ولتحقيق استخدام فعال للموارد المتوافرة، وبالتالي فإن السؤال الذي يطرح نفسه ما التوزيع الأمثل للموارد المتوافرة للصيانة والإصلاح خاصة إذا امتدت لتشمل أي الطرق أو القطاعات من الطرق التي يجب أن تصان من أجل كل نوع صيانة؟ [2]

أهمية البحث وأهدافه:

شبكة الطرق هي الشريان الأساس للنمو الاقتصادي لأي بلد، ومما لا شك فيه أن صيانتها هي أحد أهم التحديات التي تواجه مسؤولي الطرق، وذلك لأنّ المصادر المتاحة محدودة ومن الضروري أن تصرف ميزانيات الصيانة بشكل يحقق عائداً تنموياً. [3]

يتألف الطريق من مكونات عدة (طبقات رصف الطريق، تجهيزات الأمان، الإشارات الضوئية، الطلاء الطرقي، اللوحات المرورية، تجهيزات تصريف المياه،...) وهذه المكونات تدار وتملك عادةً من قبل الجهة نفسها وبالتالي فإن الإدارة المثلى لها مفيدة جداً لتحسين الخصائص الوظيفية وشروط الأمان ورفع الحالة الخدمية للطرق.[4]

إن وجود العديد من العوامل التي تؤثر في تدهور مكونات الطريق والعديد من أساليب الصيانة الممكنة بتكاليف متفاوتة وعائدات مختلفة متوقعة من استثمار هذه النفقات، يستلزم وضع إستراتيجية مثلى للصيانة يتم من خلالها تحديد الأولويات في أعمال الصيانة وفقاً لأهداف محددة وفي ظل الموارد المالية المتاحة. [5]

يهدف هذا البحث إلى توزيع الميزانية المخصصة سنوياً لأعمال صيانة الطرق بطريقة مثلى تضمن رفع أداء شبكة الطرق في اللاذقية من أجل أهداف متعددة متمثلة بـ(تحسين الحالة الفنية لطبقات الرصف الإسفلتي، توفير مستوى عال للخدمة، زيادة أمان شبكة الطرق) يراعى فيها أهم أعمال صيانة الطرق التي نقوم بها باللاذقية والقيود المفروضة على عملية الصيانة، إضافة إلى تحديد أماكن القطاعات الواجب صيانتها أولاً على شبكة الطرق، وذلك من خلال اختبار موديل رياضي يستخدم تقنية برمجة الهدف (goal programming)، وإيجاد أداة برمجية تحل الموديل الرياضي، وتسهل عمل المستخدم (إدخال البيانات) وتعطيه مجالاً للمقارنة والتحليل في آن معاً.

طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد المنهج الوصفي الحقلي إذ تم جمع بعض البيانات بالاعتماد على الجرد الطرقي للعيوب والتشوهات.

والمنهج الوصفي المسحي، إذ تم جمع بعض البيانات اللازمة من خلال الاستبيانات كان الهدف الأساس منها الحصول على مصفوفة التأثير (هدف –نوع صيانة) التي تدخل بشكل أساسٍ في هيكلية الموديل الرياضي

مراحل الدراسة:

صياغة الموديل الرياضي ومعادلاته:

المرحلة الأولى: تحديد عدد الأمتار الممكن صيانتها لكل نوع صيانة.

العملية تبدأ بخصائص النظام الطرقي الأولية المحددة بالحالة الفنية والمرورية، تحليل هذه المعلومات يؤدي إلى تحديد كل أعمال الصيانة والإصلاح الممكنة والمطلوبة من أجل شبكة الطرق المدروسة.

تقنية الأمثلة الرياضية تستخدم لاختيار المجموعة المثلى من أعمال الصيانة والإصلاح وذلك من أجل شبكة الطرق الكلية ضمن موارد مالية محددة ومجموعة من الغايات والأهداف المطلوبة، وبهذا نكون أكملنا دورة كاملة من التحليل.

صياغة موديل الأمثلة (formulation of the goal optimization model):

الفكرة الرئيسة هي إعطاء قيمة رقمية محددة لكل هدف من الأهداف (تمثل الأداء المطلوب لهذا الهدف)، وصياغة تابع الهدف لهم، ومن ثم البحث عن حل يقلل مجموع انحرافات قيم توابع الهدف الحقيقية عن القيم المحددة لها. خوارزمية برمجة الهدف تحدد الحل الذي هو أقرب ما يمكن إلى قيم الأهداف، بكلام آخر تقليل مجموع انحرافات الأهداف عن القيم المحددة لها.**[2]**

ننطلق من أن شبكة الطرق بوضعها الحالي تحقق مستوى معيّناً من الأداء (performance) لكل هدف من الأهداف وإن تنفيذ أي نوع من أنواع الصيانة سيؤدي إلى رفع مستوى الأداء لهذه الأهداف و بنسب مختلفة، يجسد ذلك من خلال مصفوفة التأثير التي تظهر الفعل المستقل لتأثير كل نوع صيانة في كل معيار من معايير الأهداف (وبالتالي تأثير كل نوع صيانة في هدف معين).

سنتطرق في أثناء شرح الموديل الرياضي لمفهوم مصفوفة التأثير (نشاط –أداء) والتي تدخل بشكل أساس في معادلاته الرياضية، وفيما يلي شرح عن المصفوفة وطريقة الحصول عليها.

مصفوفة التأثير (نشاط – أداء) (The activity –performance impact matrix): [2]

تستخدم مصفوفة التأثير للتزويد بمعلومات تتعلق بالتغير الحاصل في قياس أهداف النظام الطرقي، نتيجة لتنفيذ نشاطات الصيانة، بكلمات أخرى عناصر المصفوفة تمثل التأثير في أداء النظام الشبكي فيما يتعلق بالحالة الفنية، الخدمية، الأمان، وذلك من جراء تنفيذ كل نشاط من نشاطات صيانة الطرق.

تم الحصول على المصفوفة من خلال استبيان وزِّع على مهندسين ذوي خبرة في مجال صيانة الطرق إذ بلغ متوسط الخدمة لديهم (ستة عشر عاماً) وبلغ عدد الاستبيانات الموزعة ثلاثة وثلاثين استبياناً.

وقد كان المطلوب إعطاء قيمة رقمية لتأثير فعل كل عمل صيانة في مكونات أهداف الصيانة المعتمدة في الدراسة، على أن تتراوح هذه القيم بين المئة والصفر بحيث القيمة مئة تعني التأثير النفعي الأكبر، والقيمة صفر تعني أن لا تأثير في المكون من جراء القيام بنوع الصيانة هذا، الجدول(1) يمثل مصفوفة التأثير (نشاط–أداء) المعروضة على مهندسي الصيانة.

الجدول (1) مصفوفة التأثير (نشاط– أداء) المعروضة على مهندسي الصيانة

النشاط / معايير الأداء (الأهداف)		إعادة إنشاء الطريق	إزالة القميص الإسفلتي ووضع طبقة سطحية جديدة	الصيانة الدورية	تحسين الخواص الهندسية للطريق	صيانة الأكتاف	أعمال التصريف المطري	الأعمال التكميلية
حالة سطح الطريق	تحسين دليل الحالة الفنية الـ pci							
مستوى الخدمة	تخفيض معدل الازدحام المروري v/c*ratio							
	تحسين سرعة السفر الوسطية							
السلامة المرورية (الأمان)								

* c =2800 وحدة سيارة (مكافئة)/الساعة حسب دليل سعة الطريق الأمريكي للطرق المركزية، v: حجم المرور سيارة/الساعة.

مراحل الحصول على مصفوفة التأثير هدف – نشاط (The activity –performance impact matrix):[2]

1. تدقيق البيانات الناتجة من الاستبيان المعروض على مهندسي الصيانة واستبعاد القيم اللامنطقية وإيجاد المتوسط الحسابي لكل مكون من مكونات المصفوفة (Z_n).

2. إدخال العمر الزمني (a_i) لنشاط الصيانة (i) على مكونات المصفوفة وفق العلاقة التالية علماً أن قيم العمر الزمني حدد بناءً على رأي المهندسين العاملين في مجال صيانة الطرق (الاستبيان).

$$z = z_n * \frac{a_i}{a_{i\,max}}$$

3. إدخال تأثير الأهمية النسبية(w) للمكونات الجزئية للأهداف (k=1,2,3 الأهداف) علماً أن لمكوني الهدف الثاني (معدل الازدحام المروري، سرعة السفر الوسطية) الأهمية النسبية نفسها حسب رأي مهندسي الصيانة.

$$p = p_{ki} = \sum w * z$$

4. بعد حساب القيم المتوسطة وإدخال العامل الزمني و تأثير الأهمية النسبية لمكوني مستوى الخدمة في عناصر المصفوفة تم الحصول على مصفوفة التأثير (نشاط – أداء) النهائية .الجدول (2)

الجدول (2) مصفوفة التأثير (نشاط–أداء) النهائية (الأهمية النسبية لنوع الصيانة)

نشاط الصيانة / معايير الأداء (الأهداف)	إعادة إنشاء الطريق	إزالة القميص الإسفلتي ووضع طبقة سطحية جديدة	الصيانة الدورية	تحسين الخواص الهندسية للطريق (التعريض)	صيانة الأكتاف	أعمال التصريف المطري	الأعمال التكميلية
حالة سطح الطريق (pci)	84	31	25	21	4	9	5
مستوى الخدمة (los)	63	18	16	52	6	5	8
الأمان(safety)	74	20	19	50	8	6	15

فيما يلي عرض للموديل الرياضي لطريقة الأمثلة. [2]

متحول القرار(x_{ih}): هو عدد الأمتار الممكن صيانتها بنوع صيانة معين (i) من القطاعات المختلفة في شبكة الطرق ومن أجل درجة طريق معينة (h) حيث:i: نوع الصيانة (i=1,2,3,..,7)،h: درجة الطريق(h=1,2).

أنواع الصيانة المعتمدة في الدراسة هي:

1. إعادة إنشاء كامل للطريق (reconstruction$\mathbf{x_{1h}}$).
2. إزالة القميص الإسفلتي ووضع طبقة سطحية جديدة (overlay$\mathbf{x_{2h}}$).
3. الصيانة الدورية لطبقات الرصف الإسفلتي (recurrent pavement)$\mathbf{x_{3h}}$.
4. تحسين الخواص الهندسية للطريق (إضافة حارة كاملة أو التعريض عند المنعطفات$\mathbf{x_{4h}}$).
5. صيانة الأكتاف (Shoulder maintenance)$\mathbf{x_{5h}}$.
6. أعمال التصريف المطري($\mathbf{x_{6h}}$.)
7. الأعمال التكميلية ($\mathbf{x_{7h}}$.)

أما درجة الطريق فتحدد في الموديل الرياضي بناءً على التصنيف الفني المعتمد في المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية، وذلك باعتبار أن الموديل طبق على عينة من الطرق المركزية في اللاذقية،الجدول (3) يبين التصنيف الفني للطرق المركزية والتمثيل الرقمي الموافق الذي اعتمد في الدراسة.

الجدول (3): التصنيف الفني للطرق المركزية في اللاذقية والتمثيل الرقمي الموافق

التصنيف الفني للطريق	التمثيل الرقمي الموافق في الموديل(h)
طريق سريع غير حر (اتوسترادات)	1
طريقة درجة أولى	2

يتم قياس كل هدف من أهداف الصيانة، ونعبر عنه بما يسمى مستوى الأداء (T_k)، حيث: K=1,2,3 أهداف الصيانة.

بفرض تم صيانة x_{ih} من الأمتار بنوع الصيانة i من أجل درجة الطريق h فنعبر عن مستوى الانجاز عندها رياضياً بالمعادلة (1):

$$[p_{ki}] \cdot [x_{ih}] + [d_{kh}] = [T_{kh}] \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث:

$[p_{ki}]$: تمثل عناصر مصفوفة التأثير (نشاط–أداء) من الدرجة (6*3).

$[x_{ih}]$: مصفوفة المتحولات من الدرجة (2*6).

$[d_{kh}]$: مصفوفة انحراف الأهداف عن مستويات الانجاز المطلوبة (2*3).

$[T_{kh}]$: مصفوفة مستويات الانجاز المطلوبة للأهداف من الدرجة (2*3).

$[x_{ih}] \cdot [p_{ki}]$ الجداء يمثل مستوى الانجاز من أجل $[x_{ih}]$.

معادلات الموديل الرياضي في مرحلته الأولى:

تابع الهدف :

$$Z = \sum_{k=1}^{3} \sum_{h=1}^{2} \boldsymbol{d_{kh}^{-}} \min \dots\dots\dots\dots\dots\dots (2)$$

من أجل: K=1,2,3

$\boldsymbol{d_{kh}^{-}}$:مقدار انحراف الهدف k عن مستوى الأداء المطلوب له من أجل درجة الطريق h.

قيود النظام:

1. قيود الهدف: for k=1,2,3 , h=1,2

$$(1/L_h)\ [p_{ki}]*[x_{ih}] \succeq [T_{kh}] \dots\dots\dots\dots\dots\dots (3)$$

$[T_{kh}]$: مصفوفة مستويات الأداء المطلوبة للأهداف.

$[p_{ki}]*[x_{ih}]$: الجداء يمثل مستوى الأداء من أجل $[x_{ih}]$.

L_h :الطول الكلي لكل نشاطات الصيانة التي تحتاج إليها الطرق العائدة إلى درجة الطريق (h).

يمكن صياغة القيد (3) بالشكل الآتي:

$$\frac{1}{L_h} * \sum_{i=1}^{7} p_{ki} * (x_{ih}) + d_{kh}^{-} = T_{kh} \dots\dots\dots\dots\dots (4)$$

2. <u>قيود الميزانية:</u>

الإنفاق الكلي يجب أن يكون ضمن الموارد المتاحة باعتبار I:نوع النشاط، h: درجة الطريق.

$$\sum_{ih} C_{ih} * (X_{ih}) \leq B \dots\dots\dots\dots\dots\dots (5)$$

C_{ih} :كلفة صيانة متر واحد من نوع الصيانة I لدرجة الطريق h.

B: الميزانية المخصصة لأعمال الصيانة.

ومن أجل الميزانية المفتوحة يمكن التعبير عن انحراف الميزانية بإدخالها المتحول d^{+}_{4} على قيد الميزانية كما يلي:

$$\sum_{i=1}^{7} \sum_{h=1}^{2} c_i(x_{ih}) - d_4^{+} = B\ ; \dots\dots\dots\dots\dots\dots (6)$$

حيث : d_4^{+}:انحراف الميزانية.

3. <u>قيود الطول:</u>

-لكي لا يتلقى أي قطاع طرقي أكثر من نوع صيانة معين في نفس الوقت .

$$\sum_{1}^{7} X_{ih} \leq \left(l_h = \sum_{i} l_{ih} \right) \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

حيث: l_{ih}: الطول الذي يحتاج لصيانة من النوع i من أجل درجة الطريق h.

-الطول الممكن صيانته بنوع الصيانة i لدرجة الطريق h لا تزيد على الطول الذي يعاني من عجز يستدعي صيانة من هذا النوع ولدرجة الطريق نفسها.

$$X_{ih} \leq L_{ih} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (8)$$

4. قيود الحد الأدنى:

لكي لا يتم استبعاد كامل لنوع نشاط معين نتيجة عملية الأمثلة.

$$X_{ih} \geq a_{ih} * L_{ih} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (9)$$

من أجل : h=1,2،i=1,2,…7

a_{ih} :معامل يساعد في تحديد نسبة الحد الأدنى المرغوب إنجازه من كل امتداد طرقي عائد لدرجة طريق hويحتاج لصيانة من نوع i، تحدد قيم هذا المعامل بناءً على رأي مهندس الصيانة الذي يكون على دراية كافية بالحالة الفنية والمرورية لشبكة الطرق ككل. وقد تم الطلب من المبحوثين تحديد قيم المعامل (a_{ih}) بناءً على خبرتهم وإلمامهم بالحالة الفنية لشبكة الطرق في اللاذقية، علماً أن تغيير قيم هذه المعاملات تساعد على اختبار الحساسية وتحليلها.

5. شرط عدم السلبية:$X_{ih} \geq 0 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (10)$.

المرحلة الثانية: تحديد أماكن القطاعات الممكن صيانتها على الشبكة:

المرحلة الثانية من الدراسة هي لتحديد أماكن تواجد قطاعات الطرق التي تحتاج إلى صيانة أولاً على الشبكة بعد أن تم تحديد عدد الأمتار الممكن صيانتها من أجل كل نوع صيانة ولكل درجة طريق ضمن الميزانية المتوافرة .

لهذه الغاية تم حساب قيمة ما يسمى مستوى الاستخدام (usage level) لكل قطاع طرقي (n) يحتاج لنوع صيانة (i) والذي يحسب من العلاقة (11) [2]:

$$U_{ni} = L_{ni} * T_{ni} * (100 - pci)_{ni} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (11)$$

حيث:n: رقم القطاع الطرقي،**i**:نوع الصيانة، L_{ni}**:** طول القطاع الطرقي (n) الذي يحتاج لنوع الصيانة (i)

T_{ni}**:** المستوى المروري للقطاع الطرقي(n) الذي يحتاج لنوع الصيانة (i)، pci_{ni} :قيمة دليل الحالة الفنية للقطاع (n) الذي يحتاج لنوع الصيانة (i).

لتحديد المستوى المروري الذي يخضع له كل قطاع طرقي قمنا بترتيب قيم متوسط المرور اليومي التي رصدت في عام 2009 (أخر رصد لقيم متوسط المرور اليومي في المؤسسة) بشكل تصاعدي ومن ثم قسمت إلى ثلاثة مجالات بهدف الحصول على ثلاثة مستويات للازدحام المروري، كما هو مبين في الجدول (4) حيث سنعطي كل مستوى من المستويات الثلاث قيمة بغرض حساب قيم مستوى الاستخدام.

الجدول (4) تحديد المستوى المروري حسب مجالات المرور اليومي والقيم الرقمية الممثلة له.

المستوى المروري	مجالات المرور اليومي T سيارة/اليوم	القيمة الرقمية الممثلة للمستوى المروري
منخفض	$T \leq 11286$	1
متوسط	$11286 < T \leq 17168$	2
مرتفع	$17168 < T$	3

وبعد حساب قيم مستوى الاستخدام (usage level) لجميع قطاعات الطرق يتم اختيار القطاعات التي يجب صيانتها أولاً على الشبكة بناء على قيم مستوى الاستخدام فالقطاع الذي قيمة مستوى الاستخدام له أكبر تكون له الأولوية في الصيانة .

النتائج والمناقشة:

لاختبار صلاحية الموديل الرياضي المقترح تم تطبيق الدراسة على بعض الطرق المركزية في اللاذقية (HIGHWAYS)، فتمّ اختيار الطريقين المركزيين اتوستراد القبو – القرداحة ، واللاذقية –الحفة–صلنفة التابعين للمؤسسة العامة للمواصلات الطرقية – فرع اللاذقية.

1. حساب قيم دليل حالة الرصف الـ (pavement condition index PCI) للقطاعات الطرقية للطريقين.

يعتبر المؤشر(PCI) دليلاً رقميّاً من الصفر حتى المئة يعبر عن الحالة الوظيفية للرصف مرتكزاً على شدة التشوهات المرئية ونوعها، والجدول (5) يوضح تقييم الرصف حسب قيم الـ(PCI) [3]،[6]:

الجدول (5) تقييم حالة الرصف حسب قيمة الـ PCI

قيمة الـPCI	تقييم الرصف
86 – 100	ممتاز Excellent
71 – 85	جيد جداVery Good
56 – 70	جيد Good
41 – 55	معتدل Fair
26– 40	سيء Poor
10– 25	سيء جدا Very Poor
0– 10	منهارFailure

تم الاعتماد على المرجعين [6] و[7] لحساب قيم الدليل (PCI) للقطاعات الطرقية إذ يتم القيام بالجرد الطرقي عن طريق المسح البصري لتسجل البيانات المتمثلة بالتشوهات والعيوب على استمارات خاصة من أجل كل قطاع.

يتضمن الجدولان (7) و (8) قيم الدليل (PCI) التي قمنا بحسابها لجميع قطاعات الطرق التابعة لأتوستراد القبو–اللاذقية ولطريق اللاذقية – الحفة– صلنفة بالإضافة إلى نوع االصيانة المقترح لكل قطاع، علماً أنه تم تحديد نوع الصيانة وفقاً لقيم معامل حالة الرصف (pci) المبينة في الجدول (6).[3]

الجدول (6) القيم الحدية للمعيار (pci) الخاصة بتحديد نوع الصيانة

مجموعة	قيم معامل حالة الرصف	نوعية الصيانة
pci	0–25	صيانة شاملة – إعادة إنشاء للرصف
	26–55	صيانة شاملة – طبقة تغطية و تقوية للرصف
	56–70	صيانة دورية – صيانة جارية أو طارئة

الجدول رقم (7) قيم الـ (PCI) ونوع الصيانة المقترح للقطاعات الطرقية المدروسة لإوتوستراد القبو–القرداحة

Type of Maintenance	The PCI Value	Length of segment (km)	SegmentNumber
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	58	0.656	6251_0100_1
تغطية أو تقوية(overlay)	44	2	6251_0200_1
صيانة دورية (روتينية)	72	2	6251_0200_2
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	66	2	6251_0200_3
صيانة دورية (روتينية)	74	2	6251_0200_4
تغطية أو تقوية(overlay)	38	2	6251_0200_5
تغطية أو تقوية(overlay)	47	2	6251_0200_6
تغطية أو تقوية(overlay)	34	1.8	6251_0200_7
Type of Maintenance	The PCI Value	Length of segment (km)	SegmentNumber
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	64	2	6251_0200_8
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	58	2	6251_0200_9
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	70	2	6251_0200_10
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	58	2	6251_0200_11
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	64	2	6251_0200_12
أو تقوية(overlay)تغطية	52	2	6251_0200_13
أو تقوية(overlay)تغطية	52	1.9	6251_0200_14
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	63	0.65	6251_0100_15

الجدول (8) قيم الـ (PCI) ونوع الصيانة المقترح للقطاعات الطرقية المدروسة لطريق اللاذقية–الحفة–صلنفة

Type of Maintenance	The PCI Value	Length of segment (km)	SegmentNumber
صيانة دورية (جارية أو طارئة)	66	2	6252-0100-1
تغطية (overlay) أو تقوية	50	2	6252-0100-2
إعادة إنشاء الطريق	17	2	6252-0100-3
تغطية (overlay) أو تقوية	40	2	6252-0100-4
تغطية (overlay) أو تقوية	42	2	6252-0100-5
صيانة دورية (روتينية)	74	2	6252-0100-6
صيانة دورية (جارية أو طارئة)	68	2	6252-0100-7
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	66	2	6252-0100-8
صيانة دورية (روتينية)	76	2	6252-0100-9
صيانة دورية (جارية أ وطارئة	70	2	6252-0100-10
صيانة دورية (روتينية)	76	2	6252-0100-11
صيانة دورية (روتينية)	74	2	6252-0100-12
تغطية (overlay) أو تقوية	39	2	6252-0100-13
إعادة إنشاء الطريق	18	2	6252-0100-14
تغطية (overlay) أو تقوية	44	2	6252-010-15
تغطية (overlay) أو تقوي	54	2	6252-0100-16
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	58	2	6252-0100-17
صيانة دورية (جارية أ وطارئة)	64	2	6252-0100-18
تغطية (overlay) أو تقوية	52	2	6252-0100-19
صيانة دورية (روتينية)	72	2	6252-0100-20

6252-0100-21	2	48	تغطية (overlay) أو تقوية
6252-0100-22	2	60	صيانة دورية (جارية أو طارئة)
6252-0100-23	0.7	42	تغطية (overlay) أو تقوية

2- اختبار الموديل الرياضي (المرحلة الأولى):

2-1-مدخلات الموديل:

1. نشاطات الصيانة الطرقية (متحولات القرار).

2. كلفة الوحدة لنشاطات الصيانة؛ إذ تم الحصول على كلفة متر واحد من طول الطريق لكل نوع صيانة من خلال مسح ميداني للكشوف التقديرية لعقود الصيانة في المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية.

3. مصفوفة التأثير (نشاط – أداء).

4. احتياجات الطرق من أعمال الصيانة؛ إذ حددت احتياجات الصيانة تبعاً لقيم الـ(PCI) للقطاعات الطرقية الجدولين (7)،(8) إضافة للاعتماد على الاحتياجات المحددة في الكشوف التقديرية المتوافرة لدى المؤسسة العامة للمواصلات الطرقية.

5. مستوى الأداء المطلوب لأهداف الصيانة (T_{kh}): يحدد مستوى الأداء لكل هدف من أهداف الصيانة (k) ولكل درجة من درجات الطريق(h) بوصفها للبرنامج، وهي قيم تتراوح بين (100-0)، يمكن للمستخدم أن يغير قيمها بهدف تحليل الحساسية.

2-2-حل الموديل الرياضي :

اعتمدنا في حل الموديل الرياضي على برنامج الـ (lingo)،ونظرا للحجم الكبير للبيانات المدخلة وصعوبة تشكيل معادلات الموديل الرياضي (أكثر من 50 خمسين معادلة)، وبهدف تسهيل عمل المستخدم قمنا بتصميم واجهة لإدخال البيانات بالاعتماد على برنامج الأكسل الذي يقوم بتشكيل معادلات الموديل الرياضي بمجرد إدخال البيانات المطلوبة، فاحتوت الواجهة على ورقتين: الأولى ورقة المدخلات والثانية ورقة تشكيل المعادلات.الشكل(1)

وبهدف اختبار الموديل الرياضي المقترح تمّت دراسة حالة ميزانية مغلقة، ومستوى واحد للأولويات لجميع الأهداف، حيث حدد مستوى الأداء المطلوب لجميع الأهداف مساوياً للقيمة خمسة. الشكل (1) يمثل مدخلات الموديل الرياضي للحالة المدروسة.

مدخلات الموديل الرياضي في المرحلة الأولى

										16,838,910	الميزانية (ل.س)
									مغلقة	الميزانية	نوع الميزانية
شرط طول الحد الأدنى							مصفوفة التأثير (نشاط صيانة - أهداف الصيانة)				
نسبة الحد الأدنى(h=2)	نسبة الحد الأدنى(h=1)	نوع النشاط	الأعمال التكميلية	التصريف المطري	صيانة الأكتاف	التعريض	الصيانة الدورية	إزالة القميص	إعادة الإنشاء	نشاط الصيانة / الهدف	
0.2	0.2	إعادة إنشاء	8	5	6	52	16	18	63	مستوى الخدمة	
0.1	0.1	إزالة القميص	15	6	8	50	19	20	74	الأمان safety	
0.1	0.1	الصيانة الدورية	احتياجات الصيانة								
		التعريض									
0.1	0.1	صيانة الأكتاف									
0.2	0.2	التصريف المطري									
		الأعمال التكميلية									
مستويات الإنجاز المطلوب		الهدف									
h=2	h=1	الحالة الفنية PCI									
5	5	مستوى الخدمة IOS									
5	5	الأمان safety									

رقم النشاط	نوع الصيانة المقترح	طول القطاعات الطرقية (متر)		طول الحد الأدنى (متر)		كلفة الصيانة/(متر)
		التوسترادات	درجة أولى	التوسترادات	درجة أولى	
1	إعادة الإنشاء	0	4000	0	800	6000
2	إزالة القميص	11700	16700	1170	1670	2693
3	الصيانة الدورية	17306	24000	1730.6	2400	695
4	التعريض	0	0	0	0	0
5	صيانة الأكتاف	4800	7045	480	704.5	140
6	التصريف المطري	500	0	100	0	100
7	الأعمال التكميلية	0	0	0	0	0
المجموع الكلي لأطوال القطاعات التي تحتاج إلى صيانة		34306	51745			

الشكل(1): مدخلات الموديل الرياضي لحالة ميزانية مغلقة، ومستوى واحد للأولويات (مستوى الأداء لجميع الأهداف مساوياً للخمسة)

تم إدخال بيانات الحالة السابقة (ميزانية مغلقة ومستوى واحد للأولويات)، وقد تم حل معادلات الموديل الرياضي المتشكلة في ورقة "تشكيل المعادلات" بالاعتماد على برنامج الـ(lingo)، وحصلنا على نتائج المرحلة الأولى والمتمثلة بالأطوال الممكن صيانتها من الاحتياج الفعلي لكل نوع صيانة ومن أجل كل درجة طريق وفقاً للميزانية المتوافرة، الجدول (9).

الجدول (9) : نتائج حالة الميزانية مغلقة ، مستوى واحد للأولويات من أجل مستوى أداء للأهداف مساوياً للقيمة خمسة

نوع الصيانة المقترح	الاتوسترادات h=1		الطرق درجة أولى h=2	
	الطول الذي يحتاج إلى صيانة(m) (L_{i1})	الطول الممكن صيانته(متر)(x_{i1})	الطول الذي يحتاج إلى صيانة(m)(L_{i2})	الطول الممكن صيانته(متر)(x_{i2})
إعادة الإنشاء X_{1h}	-	0	4000	800
ازالة القميص X_{2h}	11700	1170	16700	1670
الصيانة الدورية X_{3h}	17306	2736.9	24000	2400
التعريض X_{4h}	-	0		0
صيانة الأكتاف X_{5h}	4800	4800	7045	704.5
التصريف المطري X_{6h}	500	500	-	0
الأعمال التكميلية X_{7h}	-	0	-	0

بمناقشة نتائج الحالة المدروسة في الجدول (9) نلاحظ أن الميزانية المخصصة لأعمال الصيانة للطريقين المركزيين تكفي لصيانة الحد الأدنى فقط من الطول الذي يحتاج إلى صيانة من أجل طريق الدرجة الأولى (h=2)

وذلك لجميع النشاطات، أما بالنسبة للأوتوستراد فالميزانية تكفي لصيانة الحد الأدنى فقط من نشاط إزالة القميص الإسفلتي وتكفي لصيانة كافة احتياجات الاتوستراد من أعمال التصريف المطري و صيانة الأكتاف وأيضاً للقيام بصيانة (16%) من احتياج الاتوستراد للصيانة الدورية.

يمكن إعادة اختبار الموديل الرياضي من أجل ميزانية مفتوحة ومغلقة وسياسات مختلفة متمثلة بمستوى واحد للأولويات ومستويات مختلفة (ترتيب الأولويات سواء في درجة الطريق أو قيم مستويات الإنجاز المطلوبة للأهداف) وذلك بهدف تحليل الحساسية.

3. تحديد القطاعات الممكن صيانتها على الشبكة (المرحلة الثانية):

بعد تحديد الأطوال الممكن صيانتها لكل نوع صيانة (نتائج المرحلة الأولى) ضمن الميزانية المتوافرة يتم تعيين القطاعات الطرقية اللازم صيانتها أولاً على شبكة الطرق (المرحلة الثانية).

وبالتطبيق العملي تم تحديد القطاعات الطرقية الواجب صيانتها أولاً على شبكة الطرق بنوع الصيانة الدورية (i=2)، من أجل طريق اللاذقية–الحفة –صلنفة (h=2)، علماً أن طول القطاعات الممكن صيانتها كانت ($x_{ih}=x_{22}$=2400 m) (نتائج المرحلة الأولى، الجدول 9) والمستوى المروري لقطاعات هذا الطريق هو متوسط، حيث تم احتساب مستوى الاستخدام لجميع القطاعات U_{ni} التابعة لهذا الطريق، وتبين أنه علينا أن نعطي الأولوية في الصيانة للقطاع (6252-0100-17) الذي له أكبر قيمة لمستوى الاستخدام، ومن ثم للقطاع (6252-0100-22). الجدول (10) يبين القطاعات الطرقية الواجب صيانتها لطريق اللاذقية–الحفة–صلنفة ، بنوع الصيانة الدورية.

تم الحصول على النتائج حاسوبياً بالاعتماد على الإكسل، من خلال تصميم برنامج يقوم بالاختيار التلقائي للمناطق الواجب صيانتها أولاً على شبكة الطرق، من الطول الممكن صيانته لكل نوع صيانة عائد لدرجة طريق معينة، يتم إدخال البيانات الخاصة بكل قطاع طرقي المتمثلة برقم القطاع، طوله، قيمة الـ(pci) الخاصة به و مستواه المروري والممثلة بالحقل الأول والثاني والثالث والرابع في الجدول (10)، إضافة إلى إدخال الطول الممكن صيانته لهذا النوع من الصيانة (ينتج من المرحلة الأولى) الممثل بالحقل السابع، ليتم تلقائياً تحديد مستوى الاستخدام الخاص بهذا القطاع، الحقل (5) ،إذ نقوم فقط بترتيب تنازلي لقيم مستويات الاستخدام في الحقل (5) ليتم بعدها تحديد أطوال القطاعات المختارة للصيانة، الحقل (6) في الجدول (10).

الجدول (10) القطاعات الطرقية الواجب صيانتها،لطريق اللاذقية–الحفة–صلنفة،لنوع الصيانة الدورية.

اختيار القطاعات الطرقية الممكن صيانتها على الشبكة						
اسم الطريق	طريق اللاذقية-الحفة-صلنفة (h=2)		نوع الصيانة		الصيانة الدورية	
النتائج : تحديد القطاعات الطرقية الواجب صيانتها		المـدخـــــــــــلات				
7	6	5	4	3	2	1
required length	القطاعات الطرقية المختارة للصيانة	مستوى الاستخدام usage level	المستوى المروري Traffic level	قيمة الـ(pci)	طول القطاع Length of (m) segment	رقم القطاع SegmentNumber
2400	2000	168000	2	58	2000	6252-0100-17
	400	160000	2	60	2000	6252-0100-22
		144000	2	64	2000	6252-0100-18
		136000	2	66	2000	6252-0100-1
		136000	2	66	2000	6252-0100-8
		128000	2	68	2000	6252-0100-7

6252-0100-10	2000	70	2	120000	
6252-0100-20	2000	72	2	112000	
6252-0100-6	2000	74	2	104000	
6252-0100-12	2000	74	2	104000	
6252-0100-9	2000	76	2	96000	
6252-0100-11	2000	76	2	96000	

الاستنتاجات والتوصيات:

فيما يلي أهم النتائج والتوصيات التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة:

1. تم اقتراح موديل رياضي بهدف توزيع الميزانية السنوية على أعمال الصيانة الطرقية تمكن صانع القرار:

- أن يأخذ بعين الاعتبار عدة قضايا، مثل مستويات أداء مختلفة لأهداف عملية الصيانة، درجات طريق متعددة و أنواع صيانة وتحسين مختلفة.
- اختبار سياسات متعددة، وتحليلها واختيار المناسب وفقاً لاحتياجات الصيانة والأداء المطلوب لكل هدف من الأهداف.

2. تم تصميم واجهة للمستخدم بالاعتماد على الإكسل لتسهل عملية تطبيق الموديل الرياضي (المرحلة الأولى: تحديد عدد الأمتار الممكن صيانتها من كل نوع صيانة)، حيث بمجرد إدخال البيانات اللازمة يتم تشكيل معادلات الموديل تلقائياً التي تحل لاحقاً باستخدام برنامج الـ(LINGO).

3. تم اختبار الموديل الرياضي من أجل سياسات وحالات مختلفة وتم التأكد مما يلي:

- حساسية الموديل الرياضي لتغيرات مستويات الأداء المختلفة للأهداف وترتيب الأولويات، وخاصة لعدم التفاوت الكبير في مستويات الانجاز.
- عدم حساسيته لتغيرات مستويات الأداء المختلفة للأهداف في حال وجود شرط الحد الأدنى، إلا في حال وجوده لعدد محدد من النشاطات فقط.
- عدم انحراف الميزانية لدرجة تنفيذ جميع نشاطات الصيانة في حال الميزانية المفتوحة.

4. كما تم تصميم واجهة أيضا بالاعتماد على الأكسل لتسهل عمل المستخدم في اختيار أماكن القطاعات الواجب صيانتها على الشبكة من بين القطاعات التي تحتاج إلى صيانة (المرحلة الثانية من الدراسة)، حيث تحدد الأماكن الواجب صيانتها بمجرد إدخال البيانات الخاصة بالقطاعات الطرقية.

يوصي الباحث بعدد من الإجراءات التي تساعد على الاستفادة من الموديل الرياضي المقترح ومن أهمها:

1. أهمية التحديث المستمر للبيانات الطرقية من خلال الجرد الطرقي السنوي، وذلك بغرض تقييم الحالة الفنية والمرورية.

2. أهمية القيام بحساب دليل الحالة الفنية الـ(pci) يتقييم طبقات الرصف إذ يتم إعطاء قيمة رقمية لكل قطاع طرقي تتوقف على حالته الفنية.

3. أهمية حساب الغزارات المرورية بشكل مستمر على عدة نقاط من الطريق، وذلك للأخذ اختلاف الكثافة المرورية على كامل الطريق بالاعتبار، إضافة إلى تسجيل كل الحوادث المرورية وأماكن حدوثها وتكرارها.

4. أهمية أن تتواءم الميزانية المخصصة سنوياً مع متطلبات الصيانة والتحسين الطرقي.

وأخيراً يمكن توسيع البحث في الدراسات اللاحقة ليتضمن نشاطات صيانة جديدة، أنواع أخرى من الطرق أو حتى أهداف أخرى من عملية الصيانة.

المراجع:

1. بدور، ريم. *استخدام نظم إدارة الرصف الطرقي بالتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية في صيانة الطرق في اللاذقية*. سوريا، 2009، 350.
2. HASSOUN, M.B.K. *Development of multi objective high way maintenance budget allocation on model*. EGYPT, 1999, 236.
3. ديب، رولا. *متطلبات و منهجية استخدام نظم المعلومات الجغرافية في إدارة شبكة الطرق المركزية*.سوريا، جامعة دمشق.
4. COLOMBRITA, R. ;AUGERI, M.G. ;LO CERTO, A. ; GRECO, S. ;MATARAZZO, B. ;LAGANA, G.*Development of a Multi-criteria Decision Support System for Budget Allocation in Highway Maintenance Activities.* ITALIA, CATANIA, 2005, 13.
5. HASSAN, R. ;ROPER, R. ;HOGUE, Z. *Trading off maintenance intervention criteria across road assets to meet budget*. ARAB Conference AUSTRALIA, 22nd, 2006.
6. Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys1, ASTM D6433-07, 48.
7. Pavement condition survey and rating procedures, chapter3, TM 5-623, 9.