E

الأمم المتحدة

Distr.
LIMITED

E/ESCWA/TRANS/2001/WG.2/3
11 October 2001
ORIGINAL: ARABIC

المجلس
الاقتصادي والاجتماعي

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

اجتماع فريق خبراء/حلقة دراسية بشأن بناء
القدرات في مجال تطوير نظام لإدارة الأرصفة
بيروت، ١٧-١٨ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٠١

نظام إدارة صيانة الطرق بوزارة المواصلات المملكة العربية السعودية

إعداد
سعد بن محمد السياري

ملاحظة: طبعت هذه الوثيقة بالشكل الذي قدمت به ودون تحرير رسمي. والآراء الواردة فيها هي آراء المؤلف ولا تمثل بالضرورة آراء الإسكوا.

١ - مقـــــدمـــة :

نظـــرا للتوســـع الكـــبير فـــي حجـــم شـــبكة الطـــرق بالمملكة وتزايد حجم حركة المرور عليها ، وايمانـــا مـــن الـــوزارة بدورهـــا فـــي المحافظـــة على الاستثمارات الوطنية التي أنفقتها الدولة في إنشاء هـــذه الشـــبكة وتـــأمين ســـلامة وراحـــة المستخدمين ، ولكثرة العوامل الداخلية والخارجية التي تؤثر في حالـــة عناصـــر الطـــرق وفـــي عمـــلية اخـــتيار بدائل الصيانة الملائمة والاقتصادية ، فقد بادرت الوزارة بـــتطوير نظـــام حديـــث لادارة أعمـــال صـــيانة الطرق (Highway Maintenance Management System) بمســـاعدة مـــن عـــدد مـــن الشـــركات الاستشـــارية العالميـــة والمحـــلية المتخصصة في هذا المجال .

والـــنظام فـــي مجملـــه عـــبارة عـــن منظومة من الوسائل والاساليب الادارية والاجهزة والبرامج المســـتخدمة فـــي حفـــظ واســـترجاع الـــبيانات وتقييـــم الأوضـــاع ومـــتابعة تنفيذ أعمال الصيانة لجميع أجـــزاء شـــبكة الطـــرق الـــتي نفذتهـــا وزارة المواصـــلات بجميع عناصرها ومنشآتها ، حيث تم تأسيس قـــاعدة بيانـــات شـــاملة لشـــبكة الطـــرق تحـــتوي عـــلى جميع البيانات الاساسية الفنية والادارية للطرق وقـــد تـــم تصـــميمها باســـتخدام أحـــدث نظم قواعد البيانات وهو ما يعرف (Relational Data base) وقـــد تـــم ربطهـــا بـــنظام حديـــث للمعلومات الجغرافية (GIS) لاظهار معلومات الطرق على الخرائط والتعامل مع هذا الحجم الضخم من البيانات بيسر وسهولة .

كمـــا قـــامت الـــوزارة بـــتأمين عـــدد مـــن الاجهزة والمعدات الحديثة اللازمة لتقييم حالة عناصر شـــبكة الطـــرق بطـــرق آليـــة وطـــبقا لآخـــر المســـتجدات فـــي هذا المجال ، وعملت على تدريب فرق متخصصـــة مـــن المهندســـين والفـــنيين مـــن داخـــل الـــوزارة لـــلقيام باعمال حصر وتقييم أوضاع حالة عناصـــر شـــبكة الطـــرق باســـتخدام هـــذه المعـــدات و بشـــكل دوري ومتواصل لتغذية النظام بالبيانات اللازمة لأداء عمله . ويتكون نظام ادارة صيانة الطرق بالمملكة من ثلاثة أنظمة فرعية هي :

نظـــام صـــيانة طـــبقات الرصـــف Pavment Management System نظـــام صـــيانة الجســـور والمنشـــآت الاخـــرى Bridges Management System نظـــام صـــيانة العناصـــر غير الرصفية Non Pavement Management System

ونظـــرا للـــتماثل بيـــن هـــذه الانظمـــة مـــن حيـــث الفكرة ومراحل التشغيل ، وللاختصار فسيتم الـــتركيز فـــي هـــذه الورقـــة عـــلى نظـــام إدارة صـــيانة طـــبقات الرصـــف الذي يحتوي على عدد من المراحل المتتالية والمترابطة نستعرضها بايجاز فيما يلي :

٢ - **حصر وتصنيف الطرق :**

تم حصر جميع الطرق تحت الصيانة بجميع مكوناتها و أطوالها وأنواعها من حيث التصميم والأداء الوظيفي ومواقعها على الطبيعة والظروف الجغرافية والمناخية التي تحيط بها ، وقد تم تقسيم الشبكة إلى قطاعات صغيرة (Segments) حيث يمثل القطاع وحدة قياس طولها (١كم / حارة) وتم تعريف كل قطاع برمز مستقل وربطت البيانات التي تم جمعها عن كل قطاع بالرمز الخاص به في قاعدة البيانات.

ويقوم النظام بتجميع القطاعات المتجانسة (Segments) مع بعضها البعض من حيث التصميم وحركة المرور وعوامل البيئة المحيطة ليتم التعامل معها كمجموعات مستقلة Strata)

(ولتحقيق ذلك فقد تم توزيع القطاعات على المجموعات حسب الأداء الوظيفي للطريق الذي يقع فيه القطاع وحسب الظروف المناخية والجغرافية التي يمر بها الطريق حيث قسمت الطرق بالنسبة لأدائها الوظيفي إلى ثلاثة أنواع هي:

- طرق رئيسية Primary Road
- طرق ثانوية Secondary Road
- طرق فرعية (مغذية) Feeder Road

ويفترض أن تكون الطرق الواقعة في نفس الفئة متماثلة من حيث تصميم طبقات الرصف فيها ومن حيث حجم ونوع حركة المرور وكذلك تقارب متوسط تكاليف الإصلاحات فيما بينها.

أما بالنسبة للظروف المناخية والجغرافية فأن هناك ثلاثة أنواع من المناخات والظروف الجغرافية المختلفة في المملكة وهى :

- مناطق جبلية كما هو الحال في جنوب وجنوب غرب المملكة.
- مناطق صحراوية كما هو الحال في وسط وشمال المملكة وفى الجنوب الشرقي منها.
- مناطق ساحلية كما هو الحال قرب ساحل البحر الأحمر غربا والخليج العربي شرقا.

وتعتبر الطرق ذات التصنيف الوظيفي الواحد والتي تمر بمناطق ذات نفس الظروف المناخية والجغرافية متناسقة ومتماثلة من حيث سلوكها وأدائها الانشائي ، وكمحصلة لذلك فقد قسمت شبكة الطرق إلى تسع مجموعات (Strata) مختلفة تضم كل مجموعة منها الطرق المتناسقة من حيث الأداء الوظيفي والظروف المناخية والجغرافية وهى حسب الآتي :

- طرق رئيسية تمر في مناطق جبلية

- طرق رئيسية تمر في مناطق صحراوية
- طرق رئيسية تمر في مناطق ساحلية
- طرق ثانوية تمر في مناطق جبلية
- طرق ثانوية تمر في مناطق صحراوية
- طرق ثانوية تمر في مناطق ساحلية
- طرق فرعية تمر في مناطق جبلية
- طرق فرعية تمر في مناطق صحراوية
- طرق فرعية تمر في مناطق ساحلية

٣ - مسح أوضاع الطرق :

تمثل معرفة حالة طبقات الرصف من حيث أنواع الأضرار الموجودة بها ومستوى ومدى انتشار تلك الأضرار أحد العناصر الأساسية لتحديد أسلوب معالجة طبقات الرصف . وشبكة الطرق في المملكة كغيرها من شبكات الطرق الأخرى تتعرض لعدد من الأضرار المختلفة ، ومن الأضرار الشائعة الانتشار في طبقات الرصف : التخدد Rutting ، التشققات Cracking ، وعورة السير Roughness ، التطاير Raveling ، وضعف مقاومة الانزلاق Low Skid resistance .

ويلزم لعمل النظام تحديث حالة قطاعات الطريق دوريا وذلك بتحديد نوع ومستوى الأضرار بكل قطاع عن طريق أعمال المسح الدورية . وعادة ما يتم ذلك إما بالمسح البصري (Visual Survey)أو بالمسح الآلي (Automated Survey) أو بهما معا . ونظرا للكم الهائل من البيانات المطلوب توفيرها أثناء المسح خصوصا عندما يتعلق الأمر بشبكة طرق واسعة كشبكة الطرق في المملكة ، فأن عملية تجميع البيانات بالمسح البصري أمرا متعذر التنفيذ لحاجته إلى تواجد جهاز فني مدرب بشكل جيد وبأعداد ضخمة جدا ليتمكن من تنفيذ الأعمال المطلوبة بالوقت المحدد وبشكل دوري، ولصعوبة تحقيق ذلك في الغالب ولعدم توفر الدقة في عملية تجميع البيانات من خلال التقييم البصري بسبب التفاوت الطبيعي بين قدرات المقيمين ،إضافة إلى عدم إمكانية تكرار عملية التقييم بنفس المستوى من الدقة في السنوات اللاحقة حتى لو تم ذلك بواسطة نفس الاشخاص . لذلك فقد اعتمدت وزارة المواصلات المسح الآلي لحصر الأضرار في الطرق

باستخدام أجهزة ذات إنتاجية عالية في عملية تجميع البيانات ليصبح بالإمكان توفير البيانات في الوقت المحدد مع تحقيق الدقة في البيانات المجمعة وامكانية تكرار العملية بنفس المستوى. وتتكون تلك الأجهزة من:

أ- معدة اختبار سطح الطرق (RST) :

وهي عبارة عن سيارة فان مهيأة ومزودة بعدد من الاجهزة تقوم بقياس العيوب التي تظهر على سطح الطريق مثل وعورة السير والتخدد والتشققات و التطاير ، وذلك بواسطة ١٣ وحدة ليزر مثبتة في مقدمة السيارة وجهاز إلكتروني لقياس المسافات وجهازين آخرين لقياس الحركة الرأسية والميل ، بالإضافة إلى جهاز حاسب آلي لتشغيل النظام وحفظ البيانات ، وكمرات فيديو تقوم بتصوير سطح وحرم الطريق. وتقوم وحدات الليزر بإرسال حزم ضوئية إلى سطح الطريق لتنعكس على حساسات خاصة، ثم يقوم محول خاص بتحويل قوة الضوء والموقع الراسي لأشعة الليزر إلى إشارات كهربائية يتم إرسالها للحاسب الآلي ليقوم بتحويلها إلى قراءات تمثل نتائج القياسات المختلفة.

ب- جهاز قياس الانحراف باستخدام الوزن الساقط (FWD) :

يستخدم هذا الجهاز لحساب القوة الإنشائية لطبقات الرصف عن طريق إيجاد مقدار الهبوط الحادث بها أثناء تعرضها للأحمال وذلك باستخدام برنامج حاسب آلي معد لهذا الغرض. وتعتمد طريقة عمل الجهاز على إسقاط حمل على لوح خاص يوضع على سطح الطريق ويسبب هذا الإسقاط انحناء في طبقات الرصف مشابه لانحنائها عند مرور أحد إطارات الشاحنات على سطح الطريق ويتم تسجيل الانحناء عند كل حساس من الحساسات المركبة على الجهاز وتخزينها في جهاز الحاسب الآلي.

ج- جهاز قياس مقاومة الانزلاق :

يستخدم هذا الجهاز لقياس مقاومة الانزلاق في طبقات الرصف التي تعتبر عامل مؤثر على سلامة استخدام الطرق، ويقوم الجهاز بقياس مقدار مقاومة الانزلاق على سطح الطريق من خلال المقطورة الملحقة به حيث يتم توجيه الإطارين الأماميين للجهاز بزاوية تختلف عن مسار المقطورة وأثناء ذلك يتم قياس القوة الناشئة من مقاومة انزلاق الإطارين فوق سطح الطريق.

٤ - النموذج الرياضي لاختيار الحل الأمثل (Optimization Module) :

يقوم هذا النمذج باختيار الحل الأمثل (Optimal Solution) من بين عدة بدائل لصيانة كل قطاع من الشبكة. ومفهوم الحل الأمثل يتمثل في تحديد إجراءات الصيانة المفترض تطبيقها على قطاعات الطرق المختلفة لتحقيق أفضل مستوى للشبكة بأقل التكاليف الممكنة وذلك باستخدام مجموعة من البرامج الخطية (Linear Programs) وتتطلب تلك البرامج المدخلات التالية (حالة وضع الطريق ، إجراءات الصيانة الممكنة لكل حالة ، تكلفة كل إجراء صيانة ، واحتمالات انتقال قطاع الطريق من حالة الى أخرى) وفى ما يلي استعراض لكل من هذه المدخلات :

أ) حالة وضع الطريق (Condition State) :

سبق وأن تم الإشارة إلى أن الأضرار الشائعة الانتشار في طبقات الرصف هي التخدد والتشققات ووعورة السير والتطاير وضعف مقاومة الانزلاق . ويختلف مستوى ومدى انتشار الأضرار من قطاع (Segment لآخر ، ولو تم التعامل مع القراءات الفعلية لمستويات الأضرار ومدى انتشارها لأصبح هناك عدد كبير جدا من المتغيرات التي يصعب على الحاسبات الآلية التعامل معها ، لهذا فقد تم تقسيم مستويات ومدى انتشار الأضرار إلى ثلاثة مستويات (قليل ، متوسط ، عالي) وذلك لتعريف حالة القطاع

ونظرا لأن جميع إجراءات الصيانة المختلفة ،عدا الصيانة الروتينية، باستطاعتها معالجة مشكلة التطاير وضعف مقاومة الانزلاق ، فقد تم استبعاد هذين الضررين من الأضرار التي تعرف بها حالة القطاع، بحيث يكتفي بالتخدد والتشققات ووعورة السير لتكون الأضرار التي يعرف بها حالة القطاع ، و الجدول رقم ١ يوضح حدود مستويات هذه الأضرار .

	منخفض	متوسط	مرتفع
التخدد (ملم)	< ١٠	١٠ – ٢٠	> ٢٠
التشققات (معامل التشقق)	< ٧	٧ – ١٧،٥	> ١٧،٥
وعورة السير (م/كم)	< ٢	٢ – ٤	> ٤

جدول١ : حدود مستويات الأضرار لطبقات الرصف

التشققات	التخدد	وعورة السير	حالات الأوضاع
منخفض	منخفض	منخفض	C1
متوسط	منخفض	منخفض	C2
مرتفع	منخفض	منخفض	C3
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
منخفض	مرتفع	مرتفع	C25
متوسط	مرتفع	مرتفع	C26
مرتفع	مرتفع	مرتفع	C27

جدول ٢ : التعريف الخاص بحالات الأوضاع

مـــن دلك ينتج لدينا عدد (٢٧) حالة وضع (Condition State) على الأكثر يمكن من خلالها تعريف وضع كل قطاع بالشبكة ولأي حالة وضع ينتمي لها بعد عمل المسح الميداني له . والجدول رقم ٢ يوضح التعريف الخاص بكل حالة من حالات الأوضاع السبعة والعشرين.

ب) إجراءات الصيانة :

يختـــلف أســـلوب معالجة طبقات الرصف بناء على حالة الطبقات المطلوب معالجتها ، لذلك فقد تم أعداد قائمة بالإجراءات المختلفة للصيانة التي تتلاءم وحالات الأوضاع جميعها مع الأخذ بالاعتبار بأن يكون هناك أكثر من إجراء لكل حالة (بدائل الصيانة).

وتتراوح الإجراءات بين الإبقاء على طبقات الرصف بدون معالجة (Do-nothing) وإعادة إنشاء الطبقات بالكامل (Reconstruction)، وفى مايلى قائمة بالإجراءات المتاحة بالنظام :

١) بدون معالجة
٢) تعبئة التشققات وترقيع الحفر
٣) معالجة سطحية
٤) طبقة سطحية أسفلتية سماكة ٥٠ مم
٥) كشط الأسفلت بعمق ٥٠ مم واعادة السفلتة بنفس السماكة
٦) كشط الأسفلت بعمق ٥٠ مم وأعادة السفلتة بسماكة ١٠٠ مم

٧) كشط الإسفلت بعمق ١٠٠ مم واعادة السفلتة بنفس السماكة

٨) كشط الأسفلت بعمق ٧٠ مم وأعادة السفلتة بسماكة ١٢٠ مم

٩) كشط الإسفلت بعمق ١٠٠ مم وأعادة السفلتة بسماكة أكثر من ١٠٠ مم

١٠) إعادة إنشاء

ج) تكاليف الصيانة:

لكل إجراء تكلفة مختلفة عن الإجراءات الأخرى اعتمادا على الكميات اللازمة لتنفيذ هذا الأجراء ونظرا لأن الحـــل الأمـــثل سيكون على مستوى الشبكة فقد تم حساب تكلفة متوسطة لكل إجراء للقطاع الواحد في كل مجموعة من المجموعات المتجانسة (Strata) .

د) احتمالات الانتقال "Transition Probabilities" :

الاحتمالات الانتقالية هي احتمالات تغير وضع القطاع من حالة الوضع الحالية إلى حالة وضع أخرى مســـتقبلية بعد تطبيق إجراء صيانة محدد، ولحساب احتمالات الانتقال في حالة وضع فأنه يلزم توفر نماذج للتوقع لكل ضرر من الأضرار بحيث يتم حساب الزيادة في مستوى ومدى انتشار الضرر بعد سنة من تطبيق الأجراء وبناء على حالة القطاع قبل تطبيق الأجراء .

ولقـــد تم تطوير نماذج توقع للتخدد والتشققات ووعورة السير بعد دراسة نماذج التوقع المتوفرة لدى هيـــئات الطـــرق التي سبقت الوزارة في تطبيق أنظمة الصيانة ودراسة نتائج البحوث التي سبق أن أجرتها الـــوزارة مـــثل المشـــروع الوطني لدراسة التخدد في الطرق إضافة إلى الاستفادة من خبرات العاملين بالوزارة في هذا المجال ويتم حساب احتمالات الانتقال لحالات الأوضاع (Condition State) ، بناء على نـــتائج التوقع لكل ضرر من الأضرار. ويوضح الجدول التالي احتمالات الانتقال لحالات الأوضاع المختلفة في حالة عدم معالجة طبقات الرصف :

Next Year Condition

Current Condition	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	....	C2
C1	0.7	0.1	0.0	.	.	.	.	.	.
C2	0	0.7	0.2	0	0.1	0.0	.	.	.
C3	.	.	.	.	.	.	.	.	.
C4	.	.	.	.	.	.	.	.	.
C5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
C6	.	.	.	.	.	.	.	.	.
C7									
.									
C2	.	.	.	.	.	.	.	.	1

جدول ٣: احتمالات الانتقال لحالات الأوضاع

وتتمثل مخرجات النموذج الرياضي لإختيار الحل الأمثل (Optimizer) في تحديد نسب القطاعات في كل حالة وضع " i " التي يلزم أن يطبق عليها الإجراء " a " (W_{ia}) . وبالتالي تقدير ميزانية الصيانة لتلك السنة والسنوات الاربع التالية ، على أنه إذا كان الاعتماد المالي المتوفرلتلك السنة لا يغطي الميزانية المقترحة من النظام يعاد تشغيله لاختيار الحل الامثل مع الأخذ بالاعتبار ضابط محدودية الاعتماد المالي المتوفر من ضمن الضوابط الادارية الاخرى ، وفي هذه الحالة يظهر النظام تأثير نقص الاعتماد المالي على خطط الصيانة والحالة العامة للطرق للسنوات القادمة .

٥ - ترجمة نتائج الحل الأمثل

وحيث أن نتائج الحل الأمثل هي نسب مئوية من عدد القطاعات التي لا يعرف مواقعها على الشبكة ومدى ملائمة الإجراءات المقررة لها فأنه يتم في هذه المرحلة ترجمة نتائج الحل الأمثل لتحديد مواقع القطاعات على الشبكة بحيث يربط كل قطاع بالأجراء المحدد له ثم يتم مراجعة إجراءات الصيانة المحددة لكل قطاع ومقارنة تلك الإجراءات بحالة التطاير وضعف مقاومة الانزلاق فأن كان الأجراء يتمشى مع حالة هذين الضررين تم الإبقاء عليه وأن لم يكن يتم تحديد أجراء آخر أعلى مستوى من الأجراء المحدد بالحل الأمثل ليحل مشكلة التطاير أو نقص مقاومة الانزلاق .

ونظـــرا لأن وحـــدة الـــنظام هـــي القطـــاع (Segment) وهـــو عـــبارة عن كيلومتر/حارة على الشـــبكة فقـــد يحـــدث فـــي بعـــض الأحيـــان وبسبب اختلاف مستوى الأضرار بين قطاعين متجاورين أو أكـــثر بـــأن يكـــون الأجـــراء المحـــدد لأحد القطاعين مختلف عن الأجراء المحدد للقطاع الآخر من حيث المنســـوب ، فعـــلى ســـبيل المـــثال ، قـــد يكون الأجراء المحدد لأحد المسارات على الطريق هو وضع طـــبقة ســـطحية إضـــافية بســـمك ٥ ســـم، والأجراء المحدد للمسار المجاور له هو كشط الأسفلت بعمق ٥ ســـم وإعـــادة الســـفلتة بـــنفس الســـمك الأمـــر الذي ينتج عنه وجود فرق في المنسوب بين المسارين الأمـــر الـــذي يتطـــلب معالجـــة فـــرق المنســـوب الـــذي سينتج لو تم تطبيق الإجراءين، ولكي يتم إزالة فـــرق المنســـوب فـــإن الأمـــر يســـتلزم تعديـــل أحـــد الإجراءين ليكون مثل الآخر أو تعديل الاثنين إلى أجراء أفضل منهما.

وفـــي الـــنهاية يـــتم إظهـــار المنـــتج الـــنهائي عـــلى شكل تقارير تشتمل على المعلومات اللازمة لتطـــبيق الإجـــراءات مـــن حيـــث تجميـــع المواقـــع أو القطاعات المتقاربة لتكوين عمليات صيانة تظهر فـــي صـــورة جـــداول كميـــات يـــتم تبـــليغها لمقـــاولي الصيانة في كل عقد بعد أن يتم مراجعتها من قبل مهندســـي الصـــيانة بـــالوزارة. ثـــم يقـــوم النظام بالمعاونة في وضع الخطط الزمنية لتنفيذ أعمال الصيانة ثـــم مقارنـــتها بمـــراحل التـــنفيذ الفعـــلية المبـــلغة من مواقع التنفيذ وتحديد مواقع القصور أو التأخير إن وجدت وإمكانية تحديد أسبابها وطرق علاجها.

٦ - مراقبة الأداء وتحديث النماذج :

وأخيـــرا يحـــتوي الـــنظام عـــلى نمـــوذج رياضي يقوم بمعالجة البيانات المرتدة (Feed Back Data) لـــتحديث الـــبيانات فـــي الـــنظام وتعديـــل المعـــاملات المستخدمة في النماذج الرياضية المختلفة ومن ذلك الاحتمالات الانتقالية .

المراجع

1. Highway Maintenance Associates, "Highway Maintenance Management System - Stage C - Pavement Management System", Revised Final Report on PMS conceptual Design, Task C1, for the Ministry of Communication, Kingdom of Saudi Arabia, 1990.

2. Highway Maintenance Associates, "Highway Maintenance Management System - Stage C - Pavement Management System", Revised Final Report on PMS Tier II implementation, Task C2, for the Ministry of Communication, Kingdom of Saudi Arabia, 1993.

3. Highway Maintenance Associates, "Highway Maintenance Management System - Stage D - Bridge & Structure Management System", Final Report on B&SMS Tier III, Task D3/D7, for the Ministry of Communication, Kingdom of Saudi Arabia, 1995.

4. Ministry of Communications, "Highway Maintenance Management System - Project Deliverables, Revision 4", HMA-6, Riyadh, Saudi Arabia, March 1989.