online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Procedia - Social and Behavioral Sciences 111 (2014) 1185 – 1194
Procedia Social and Behavioral Sciences

تحليل كمي للاستدامة ومبادرات النقل الاخضر لتصميم الطرق السريعة وادامتها

EWGT2013 – 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation

A Quantitative Analysis of Sustainability and Green Transportation Initiatives in Highway Design and Maintenance

Manoj K. Jha[a,*], Hellon G. Ogallo[b], Oludare Owolabi[a]
[a]*Morgan State University, 1700 E. Cold Spring Lane, Baltimore, MD 21251, USA*

ترجمة بتصرف
أ.د. مضر خليل عمر

المقدمة

تم تعريف **التنمية المستدامة** من قبل لجنة بروندتلاند التابعة للأمم المتحدة على أنها تلبي احتياجات الناس الحاليين مع عدم تعريض احتياجات جيل المستقبل للخطر. يشير التعريف إلى أن التطبيق الناجح لمبادئ التنمية المستدامة يعني تحديد الأهداف وتنفيذ الممارسات وقياس النتائج التي **توازن بين مخرجات** التنمية المستدامة - الاقتصادية والبيئة ونوعية الحياة الاجتماعية . تشير الاستدامة في النقل عمومًا إلى النقل الذي يساهم في التنمية المستدامة للمجتمع ، الذي يمتلك ويستخدم مبدأ النظم . تقليديا ، كان تطوير البنية التحتية للنقل يعتمد على المبادئ التوجيهية التي تقلل التكلفة الأولية ، وتؤكد على حركة المرور مع مراعاة الحد الأدنى من الاحتياجات الاجتماعية والبيئية . تستلزم المخاوف العالمية بشأن تغير المناخ والتأثيرات البيئية والموارد المالية المحدودة الحاجة إلى نهج مختلفة في اختيار حلول مشاكل النقل . وبالتالي ، هناك رغبة متزايدة في الاستدامة البيئية للبنية التحتية للنقل طوال دورة حياتها . نظام النقل المستدام : آمن وصحي وبأسعار معقولة ومتجدد ، ويعمل بشكل عادل ، ويحد من الانبعاثات واستخدام الموارد الجديدة وغير المتجددة.

الامتثال للمتطلبات البيئية جعل الحكومة الفيدرالية ملزمة بإدراج المعطيات البيئية في جميع تصميمات الطرق السريعة . يجب أن يكون لدى جميع المشاريع قانون السياسة البيئية الوطنية / (NEPA) الموافقات البيئية ما لم يكن من الممكن إثبات عدم الحاجة إلى تصريح . في مراحل التشغيل ، تحل مركبات الوقود الهجين أو البديل محل الأساطيل القديمة لتعزيز الحد من غازات الاحتباس الحراري .(GHG) في حين أن هذه التدابير تقطع شوطًا طويلاً في إدخال الاستدامة والنقل الأخضر في عملية تطوير البنية التحتية للنقل ، إلا أن المفهوم لم يتم تنفيذه بالكامل في مراحل التصميم والصيانة حيث يصعب عادةً التحليل الكمي للاستدامة ومبادرات النقل الخضراء .

الهدف من هذه الدراسة هو توفير إطارا كميا لتحليل الاستدامة ومبادرات النقل الأخضر في تصميم الطرق السريعة وصيانتها . على وجه التحديد ، نقوم بصياغة تكلفة صيانة دورة الحياة للطريق السريع ليتم أخذها في الحسبان بالاقتران مع مختلف التكاليف الأولية (مثل تكاليف حق الطريق ، والرصف ، وتكاليف أعمال الحفر) في عملية تحسين محاذاة الطرق السريعة .

مراجعة الأدبيات

يتم تقديم مراجعة للأدبيات ذات الصلة هنا لاكتساب نظرة ثاقبة للاستدامة والنقل الأخضر في تصميم الطرق السريعة وصيانتها . قامت إدارة الطرق السريعة بولاية ماريلاند ، بالتعاون مع باحثين من جامعة ميريلاند ، بتطوير نموذج للاستدامة والممرات المتكاملة (MOSAIC) ، لقياس استدامة خيارات تحسين الطرق السريعة

. مؤشرات الاستدامة المحددة للنموذج موجهة إلى مراحل التخطيط لتطوير الطرق السريعة ، لكن الوصف الكمي لمدخلات ومخرجات النموذج يعد تحسنًا كبيرًا عن المعالجة السابقة للاستدامة التي ركزت على الأوصاف النوعية . هذه أداة يمكن استخدامها لتحديد احتياجات التخفيف البيئي في وقت مبكر من عملية التخطيط . تم اختبار متانة النموذج في دراسة حالة(US 15 Corridor) ، فريدريك ماريلاند ، الولايات المتحدة الأمريكية (عندما تمت مقارنة اثنين من التحسينات المقترحة مع الحالة الأساسية . أسفرت عن مخرجات رقمية ورسوماتية لازمة لاتخاذ القرار .

طور SHARP2 Report S2 (2012) إطارًا بيئيًا متكاملًا لدعم تخطيط النقل مع تحسين تسليم المشروع في الوقت المناسب . لقد قام بتحديث خرائط الأراضي الرطبة ، وأنشأ نماذج استقرائية للتنبؤ بالمواقع التي من المرجح أن توجد فيها الأنواع الحساسة وحيث من غير المحتمل أن تحدث . يحتوي الإطار أيضًا على طريقة محاسبة وائتمان بيئية يمكن استخدامها لتقييم العمليات البديلة . الهدف من هذه الأداة هو جعل كل من وكالات النقل والهيئات التنظيمية على صفحة واحدة لتسريع تسليم المشروع .

يوفر تقرير NCHRP 708 (2011) إطارًا مرنًا يمكن من خلاله لوكالات النقل تطبيق مفاهيم الاستدامة من خلال مقاييس الأداء لتقييم البرامج وقياس فعالية هذه الاستراتيجيات في تنفيذ الاستدامة . يقدم أمثلة عملية لقياسات الاستدامة من مختلف الوكالات . طور Maji and Jha (2011) نموذجًا لقياس الاستدامة في تصميم الطرق السريعة من خلال دمج تكلفة الأراضي المحفوظة بيئيًا في تكلفة محاذاة الطرق السريعة . يحدد AASHTO (2009) الاستدامة و النقل المستدام كعملية من مرحلتين لتصميم الطرق السريعة ، كما يصف دور إدارات النقل في الاستدامة . ينصب التركيز الرئيسي على قائمة تحدد وصفًا موجزًا لأفضل ممارسات استدامة النقل للتخطيط والتصميم والبناء والتشغيل والصيانة وقياس الأداء النهائي .

يحدد Bevan (2009) الاستدامة ويحدد طريقة لتطبيق إرشادات التصميم المستدام لتعزيز الشوارع الحضرية . يصف الحل المستدام القابل للتطبيق للشوارع الحضرية مع عرض أمثلة مختلفة . كما تمت مناقشة المبادئ التوجيهية لتقييم خيارات تصميم الشوارع الحضرية المستدامة والتحديات الرئيسية المتوقعة عند اعتماد المبادئ . تشتمل خطة أعمال إدارة الطرق السريعة بولاية ماريلاند على ستة مجالات أداء رئيسية .(KPA) في كل مجال هناك مقاييس أداء تستخدم لتحديد ما إذا كان يتم تحقيق الأهداف أم لا . يمكن استخدام بيانات قياس الأداء من اثنين من KPAs ، الحفاظ على النظام وصيانته والامتثال البيئي والإشراف للتحليل الكمي للاستدامة والنقل الأخضر .

يصف McVoy (2008) تطور برنامج GreenLITES التابع لوزارة النقل بولاية نيويورك من كونه في البداية أداة لتقييم الاستدامة البيئية لمشروع رأس المال إلى مجموعة من الأدوات (نظام التصنيف وجداول البيانات وما إلى ذلك) لتقييم المشاريع والخطط والتشغيل والصيانة والبرامج الإقليمية . تحدد أداة تصميم مشروع GreenLITES عدة عناصر مستدامة في خمس فئات . تحتوي أداة التصميم على تحديد محاذاة كل واحدة من الفئات . بالإضافة إلى ذلك ، يمكن استخدام أداة تشغيل GreenLITES للتخطيط والإبلاغ عن مجموعة واسعة من الأنشطة البيئية / الاستدامة المتعلقة بالجسور وصيانة الطرق وإدارة المرافق .

اقترح أيزنمان (2012) إستراتيجية لوزارة النقل بجورجيا لتمكين الوكالة من مقارنة المشاريع بناءً على أهداف الاستدامة والنتائج . يستكشف مبادرات أو برامج استدامة النقل الحالية من الحكومة الفيدرالية ، والبرامج ذات الأصل الأكاديمي ، والبرامج من الاستشاريين والمنظمات المهنية والبرامج من إدارات النقل بالولاية والمحلية . علاوة على ذلك ، فقد استخدم برنامج GreenLITES بولاية نيويورك كنموذج ونقطة انطلاق لتطوير نظام تصنيف لوزارة النقل بجورجيا . يعتمد التصنيف على النتائج التي تسمح بتعيين قيم رقمية لاستدامة محددة ومبادرة أو ممارسة خضراء .

يصف Muench (2009) ، Greenroads كمقياس أداء الممارسات المستدامة المرتبطة بتصميم الطرق والبناء . تقوم Greenroads بتخصيص سبعة مكونات رئيسية للاستدامة وتحدد مشروع طريق مستدام كونه أحد المكونات السبعة في عملية التصميم والبناء . بعض أفضل ممارسات الاستدامة التي تستخدمها Greenroads مثل الامتثال NEPA ، وتخفيف الضوضاء ، وصيانة الأرصفة وهي ممارسات سائدة في تصميم الطرق السريعة وصيانتها . INVEST (أداة استدامة التقييم التطوعي للبنية التحتية) عبارة عن مجموعة

عملية قائمة على الويب من أفضل الممارسات التطوعية ، مصممة لمساعدة وكالات النقل على دمج الاستدامة في سياساتها وعملياتها وإجراءاتها وممارساتها ومشاريعها ، الاستخدام اختياري لجميع وكالات النقل والتخطيط .

الاستدامة والنقل الأخضر في تصميم وصيانة الطرق السريعة

توضح مراجعة الأدبيات المذكورة أعلاه أن الجزء الأكبر من تنفيذ مبادرات الاستدامة والنقل الأخضر يتخذ شكل تصنيف النظام وبرامج مقاييس الأداء . تُستخدم تقييمات النظام في معظم الحالات لاختيار أفضل بديل للحل أثناء مراحل التخطيط ، كما تُستخدم مقاييس الأداء لتقييم عمليات البناء . ومع ذلك ، فإن مبادرات الاستدامة والنقل الأخضر لم يتم دمجها بالكامل بعد في تصميم الطرق السريعة الرئيسية وصيانتها . تحتوي أنظمة تصنيفات البناء أو مقاييس الأداء على ممارسات تسجيل النقاط التي يمكن عدها جزءًا من التصميم . سلط كل من AASHTO (2009)و Bevan (2007) الضوء على أفضل الممارسات التي تعد قضايا تصميم صارمة . بينما يحتوي برنامج GreenLITES (McVoy 2008) أدوات تصميم المشروع على فئة من مؤشرات الاستدامة التي تتعامل مع اختيار محاذاة الطرق السريعة . اعتمد GreenLITES Eisenman (2012) كنقطة انطلاق ، وبالتالي فإن لديه مجموعة من درجات التصنيف لمحاذاة الطرق السريعة المعدلة لتلبية متطلبات إدارة النقل في جورجيا .

كما ذكرنا سابقًا ، فإن معظم تنفيذ مبادرات الاستدامة والنقل الأخضر تكون في شكل تقييمات النظام ومقاييس الأداء ، وتركز على مراحل التخطيط والبناء لتطوير المشروع . لاحظ Bryce (2008) أن الاستدامة الحالية والمبادرات الخضراء تركز على السيارات ذات الكفاءة والتكلفة قصيرة الأجل لبناء الطرق . وهو يقترح أن تكون التخفيضات طويلة الأجل في التكلفة من خلال **تصميم وبناء وصيانة الطرق السريعة الأكثر استدامة** ، مثل التخطيط المسبق والبناء الذكي وتقنيات الصيانة الفعالة ، محور التركيز الرئيسي للنقاط المراقبة المباشرة الفيدرالية والولائية والمحلية . يتضمن ملخص آيزنمان (2008) للسمات التي تم أخذها في الحسبان بواسطة أنظمة التصنيف الرئيسية كمية الجريان السطحي والضوضاء والمواد وجودة المياه والموئل المائي ؛ المشكلات التي تواجه عادةً في تصميم الطرق السريعة . على سبيل المثال ، تختلف ميزات كمية الجريان السطحي بشكل بارز في تصميم إدارة مياه الأمطار ، وتصميم التحكم في التعرية والرواسب . تقوم إدارة الطرق السريعة بولاية ماريلاند حاليًا بتنفيذ ما يلي كمبادرات للاستدامة وتصميم الطرق السريعة الخضراء :

- تصميم محاذاة الطرق لتجنب الأراضي الرطبة والمتنزهات
- توفير أشجار المظاهر الطبيعية والنباتات المزهرة لمنع التعرية
- توفير مساحة أوسع على الجسور لتقليل أعمال البناء في المجاري المائية
- توفير ممرات للشاحنات والحافلات في ترقيات طويلة لإزالة المركبات الأبطأ من الطريق.

وكمبادرات للاستدامة وصيانة الطرق السريعة الخضراء :

- مراقبة عمليات الإشارة باستمرار لتوفير الوقت الأمثل لأثقل حركة مرورية
- استخدم أجهزة إزالة الجليد غير السامة كيميائياً للتيارات والمجاري المائية .

وصف AASHTO (2009) أفضل ممارسات الاستدامة في إطار فئات التصميم / الإنشاء والتشغيل / الصيانة مثل استخدام الأسفلت المسامي الذي يحسن السلامة ويفيد البيئة واستخدام نظام التحكم في حركة المرور التكيفي الذي يستجيب لأنماط المرور في الوقت الفعلي يوفر أيضًا أفضل الممارسات الإضافية .

طور Maji and Jha (2011) نموذجًا لتقليل تكلفة محاذاة الطرق السريعة والمساحة المتأثرة للأراضي المحمية بيئيًا في نفس الوقت . تم افتراض أن تكلفة المحاذاة تتكون من حق الطريق ، وتكلفة البناء ، وأعمال الحفر ، وتكلفة تشغيل السيارة ، وتكلفة المستخدم . ومع ذلك ، لم يتم تحديد اقتراح الاستدامة في التكاليف المدرجة . إذا تم استخدام نموذج Maji و Jha كنقطة انطلاق ، مع دمج أفضل ممارسات التصميم الموضحة في Eisenman (2012)، AASHTO (2009)؛ سينتج نموذجًا أكثر قوة يلتقط تصميمًا إضافيًا للطرق السريعة وميزات الصيانة للاستدامة .

من أجل اتخاذ قرار أفضل في الاختيار من بين بدائل الطرق السريعة المختلفة ، عادة ما يتم دمج تحليل تكلفة دورة الحياة (LCCA) في مرحلتي التخطيط والتصميم . بعد ذلك ، يمكن استخدام LCCA في المقارنة

والحكم على كفاءة بدائل التصميم المختلفة . يأخذ تحليل تكلفة دورة الحياة في الحسبان تكلفة البناء وتكلفة الصيانة وتكلفة المستخدمين . لضمان استدامة الطريق السريع طوال دورة حياته بصرف النظر عن دمج تكلفة المستخدمين وتكلفة التأخير وتكلفة تشغيل السيارة وتكلفة الحوادث والتكلفة البيئية (استخدام الطاقة والانبعاثات والنفايات والضوضاء وتلوث المياه) ، وهي معايير ترجيح يقيس استخدام الموارد المتجددة كما تم دمجها . وبالتالي ، نظرًا للحاجة المتزايدة إلى إضافة عامل الاستدامة البيئية إلى عملية تصميم الطرق السريعة ، يتم أخذ تكلفة التلوث البيئي في تكلفة المستخدم . يتم تطبيق تقديرات التكلفة البيئية لتقدير تكاليف أضرار التلوث على مدار دورة الحياة الكاملة للطريق السريع . ترتبط هذه التكلفة بالتأثيرات المباشرة وغير المباشرة على صحة الإنسان من تلوث الهواء إما بسبب استنشاق ملوثات الهواء الضارة بصحة الإنسان أو انبعاثات غازات الاحتباس الحراري التي تؤدي إلى الاحتباس الحراري .

المنهجية

تمت دراسة تحسين محاذاة الطرق السريعة ضمن نقاط نهاية محددة في الأعمال السابقة . في الصيغ السابقة ، تم افتراض متوسط تكلفة صيانة الوحدة الموحدة والتي تم ضربها في طول الطريق السريع للوصول إلى إجمالي تكلفة صيانة دورة الحياة . قدم كانغ وآخرون (2012) أحدث صياغة لتكلفة الصيانة (CM) مدمجة في نموذج محاذاة الطرق السريعة ، والتي يتم تقديمها على النحو التالي :

$$C_M = C_{HM} + C_{BO}$$

where: C_{HM} = Maintenance cost for highway basic segments
C_{BO} = Bridge maintenance cost

$$C_{HM} = \left(L_n - \sum_{i=1}^{n_{BG}} l_{BG_i} \right) \times K_{AM}$$

where: l_{BG_i} = Length of i^{th} highway bridge
n_{BG} = Total number of highway bridges in a new highway
K_{AM} = Average highway maintenance cost per unit length

$$C_{BO} = \sum_{i=1}^{n_{BG}} l_{BG_i} K_{AB}$$

where: K_{AB} = Average bridge maintenance cost per unit length

كما يتضح من الصيغة أعلاه ، يتم افتراض متوسط تكلفة صيانة الوحدة الموحدة KAM لقطاع الطريق السريع بأكمله . ولكن ، من المسلم به جيدًا أن أجزاء مختلفة من الطريق السريع قد تتدهور بشكل مختلف بسبب الأحمال المرورية المختلفة ، والتعرض للطقس والحوادث .

في هذا البحث نقوم بتعديل تكلفة الصيانة في المعادلة على النحو الاتي :

$$C_M = \sum_{j=1}^{t} \frac{1}{(1+r)^t} \sum_{i=1}^{n} L_i \left[a + 365 T_j b \right]$$

حيث r = : معدل الفائدة المفترض (٪) ؛ ر = عدد سنوات التحليل ؛ ن = العدد الإجمالي لأقسام الطرق السريعة ؛ Li = طول قسم i من الطريق السريع (م) ؛ a = ثابت محدد من قبل المستخدم والذي يحتوي على وحدات / $ -mسنة ؛ T = عامل نمو حركة المرور ؛ ب = ثابت محدد من قبل المستخدم له وحدات $ / مركبات-م-سنة .
تم تعديل الصيغة أعلاه بإسقاط المصطلحات المنسوبة إلى المنحدرات الجانبية منذ لتحليل المستوى الكلي قد يتم تجاهل تأثيرات المنحدرات الجانبية .

أمثلة

باستخدام الصيغة المذكورة أعلاه ، تم إجراء تقليل مشترك لتكلفة الصيانة الأولية ودورة الحياة لتحسين محاذاة الطرق السريعة مع بيانات الإدخال الموضحة في الجدول 1 أدناه . تم أخذ قيم a و b كـ 10 و 20 على التوالي .
تم استخدام خوارزمية جينية لأداء تفاصيل التحسين المتوفرة . قمنا بتشغيل النتائج دون النظر في تكلفة الصيانة (أي التكلفة الأولية فقط) ومع مراعاة تكلفة الصيانة . تظهر المحاذاة المثلى في الشكلين 1 و 2 على التوالي .

Table 1. Key Input Variables of the Example Study

Input Variable	Value
Elevation of starting point	100 ft.
Elevation of ending point	120 ft.
Alignment width	60 ft.
Design speed	70 mph
Maximum superelevation rate	0.06
Unit pavement cost	$20/ft.
Unit cut cost	$35/cubic yard
Unit fill cost	$20/cubic yard
Analysis period	30 years
Interest rate	6%
Traffic growth factor	3% annually
Annual average daily traffic	20,000
Maximum allowable grade	5%

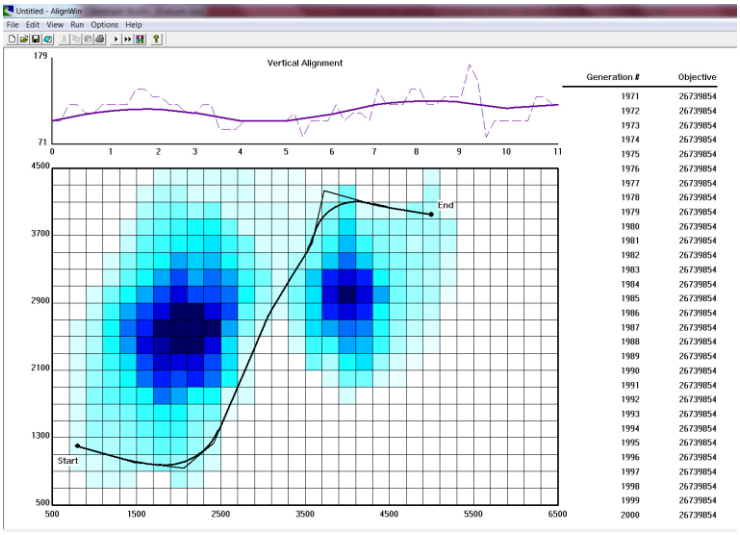

Fig. 1. Optimal horizontal and vertical alignments with Initial cost optimization only
(The optimal objective function was found to be $26.74 million after 2,000 generations of search.)

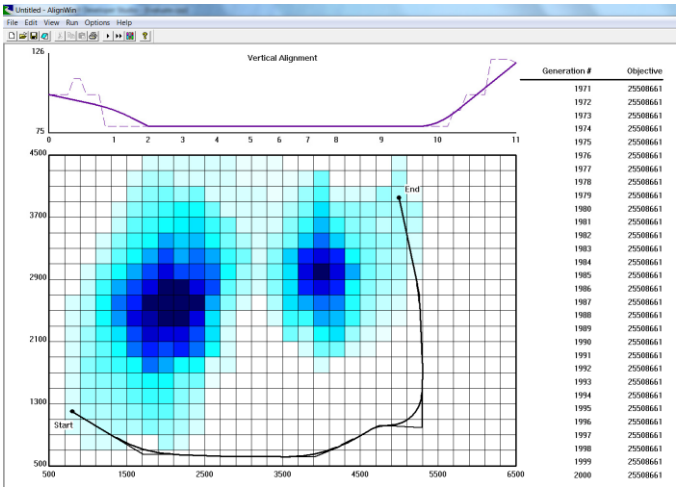

Fig. 2. Optimal horizontal and vertical alignments with the joint optimization of initial and maintenance costs
(The optimal objective function with joint optimization of initial and maintenance cost was found to be $25.51 million after 2,000 generations of search.)

$$q_t = f(t, l_c) = 1 - \frac{t^2}{a} \quad (5)$$

where,

q_t = Condition of the element in the t^{th} year

a = A constant chosen in such a way that the condition is 0 at end of the life-cycle

In order to account for the demand variability and randomized disturbance, the deterioration is assumed to be different for each pavement segment k (k=1,2,...,K) and is a function of traffic flow and random disturbance. Therefore, the above formulae is modified as follows:

$$q_k^t = f_k(t, x, d, l_c) = 1 - \frac{t^2}{a_k(x, d, t)} \quad (6)$$

$$l_T = \sum_{t=1}^{T} l_t = \sum_{t=1}^{T} \alpha_t \times r_t \quad (7)$$

where,

$$\alpha_t = \begin{cases} 1 & \text{if maintained in the } t^{th} \text{ year} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Hence, the present condition of the k^{th} pavement in the t^{th} year can be mathematically represented as follows:

$$Q_k^t = f(q_k^t, l_k^t) = q_k^t + l_k^t \quad (8)$$

$$c(k, i, j, t) = f(k, i, j, H, t) = \frac{t^2}{b(i, j, H)} \quad (9)$$

where,

$b(k, i, j, H)$ = A constant chosen in such a way that the maintenance cost at the threshold condition is equal to the cost of the newly repaved surface

النتائج والمناقشة

تشير النتائج إلى أنه عندما يتم أخذ تكلفة الصيانة في الحسبان في التحليل ، يتم الحصول على محاذاة مختلفة تمامًا بتكلفة أرخص قليلاً من تلك التي تم الحصول عليها دون مراعاة تكلفة الصيانة . هذا يعني أنه إذا كانت جميع العوامل هي نفسها ، فقد يتم التوصل إلى حل طريق سريع مستدام إذا تم دمج تكلفة صيانة دورة الحياة في مراحل

التخطيط لتحليل ممر الطريق السريع . أيضًا ، لا يجب أن تكون مسارات المحاذاة هي نفسها إذا تم البحث عن حلول مختلفة بتكلفة صيانة وبدونها .

الاستنتاجات والأعمال المستقبلية

يمكن الحصول على نتيجة أفضل من خلال تحسين صياغة تكلفة الصيانة نظرًا لأنه من المسلم به جيدًا أن أجزاء مختلفة من الطريق السريع قد تتدهور بشكل مختلف بسبب الأحمال المرورية المختلفة ، والتعرض للطقس والحوادث . فيما يلي نظرة عامة على صياغة تكلفة الصيانة المعدلة والتي سيتم دمجها في عملية تحسين محاذاة الطرق السريعة في الأعمال المستقبلية :

سوف تتدهور أجزاء الرصف المختلفة بشكل مختلف بسبب التباين في تدفق حركة المرور والاضطراب العشوائي بسبب عوامل ، مثل الطقس والحوادث . لذلك ، فإن الوظيفة الموضوعية التي يمثلها Eq. (1) سيتعين تعديلها لمراعاة التباين في معدلات التدهور . كما لاحظ Maji and Jha (2007) ، فإن الحل الخاص بجدول الصيانة الأمثل يعتمد بشكل كبير على وظيفة التدهور ووظيفة تكلفة الصيانة لأقسام الرصيف . لقد صاغوا نموذج تدهور قيم حالة العنصر على مقياس من 1 إلى 0. تم تمثيل حالة العنصر الجديد بالرقم 1 و 0 في نهاية دورة حياته . لذلك ، تعتمد حالة العناصر في أي وقت على دورة حياة العنصر ووقت الملاحظة . إذا كانت دورة حياة الرصيف هي l ، فإن حالة العنصر في السنة العاشرة ستكون f t ، lc تعد وظيفة القطع المكافئ واحدة من أبسط الدوال الرياضية التي يمكن أن تعرض خصائص تدهور الرصيف في الحسبان . وبالتالي ، يمكن صياغة حالة الرصيف على النحو الاتي :

من أجل حساب تغير الطلب والاضطراب العشوائي ، يُفترض أن يكون التدهور مختلفًا لكل مقطع رصيف k (k = 1 ، 2 ، ... ، K)وهو دالة لتدفق حركة المرور والاضطراب العشوائي . لذلك ، يتم تعديل الصيغ أعلاه على النحو التالي :

حيث لا يتم التعامل مع a ثابتًا بعد الآن ، بل يتم التعامل معه الآن على أنه متغير خاص بكل قسم من أقسام الرصف وتعتمد قيمته على مقدار تدفق حركة المرور في عام معين x ، والاضطراب العشوائي d.

يعمل نشاط M&R على تحسين حالة قسم الرصف . يتناقص مقدار التحسين مع تقدم عمر الرصيف ويكون عمومًا أقل من مقدار التدهور في أي وقت . بعد تنفيذ أنشطة M&R ، ستتحسن حالة العنصر في السنة العاشرة . سيعتمد مقدار التحسين على حالة العنصر في السنة العاشرة بدون أي نشاط M&R والمقدار الإجمالي للتحسين حتى ذلك الوقت . يمكن العثور على المبلغ الإجمالي للتحسين (IT) حتى العام Tth بالصيغة التالية:

ستكون تكلفة صيانة الرصيف k دالة لعدد السنوات ، t وحالة العتبة ، H للعنصر. على غرار نهج Maji and Jha (2007)، يمكن عد وظيفة القطع المكافئ لتمثيل تكلفة الصيانة ، والتي يتم تمثيلها على النحو التالي.

عند إعادة رصف العنصر ، يجب أن تنخفض تكلفة الصيانة المستقبلية أيضًا مقارنةً بتكلفة الصيانة مع عدم وجود تاريخ سابق للرصف . سينخفض مقدار الانخفاض في تكلفة الصيانة مع عمر العنصر ويجب أن يكون مساوياً لـ 0 عندما يصل الرصيف إلى حالة الحد الأدنى . يمكن تمثيل مقدار الانخفاض في تكلفة الصيانة بسبب الصيانة في السنة العاشرة حسابيا على النحو التالي :

$$c_{dk}^{\ t} = f\left(t, c_k^t, H\right) = c_{dk}^{\ t}\left(1 - \frac{t^2}{d}\right) \quad (10)$$

where,

d = A constant chosen in such a way that it will be equal to t^2 when the condition in t^{th} year reaches the threshold condition

Therefore, the present maintenance cost at any point of time with previous history of maintenance is given as follows:

$$c_{pk}^{\ t} = f\left(t, c_{k_i}^t, c_{dk}^{\ t}\right) = c_k^t - \sum_{t=1}^{T-1} x_k^t \times c_{dk}^{\ t} \quad (11)$$

Acknowledgements

This work was carried out at the Center for Advanced Transportation and Infrastructure Engineering Research (CATIER)-Morgan State University with assistance from the Maryland State Highway Administration.

References

Bevan, T. A., Sklenar, O., Makenzie, J. A., & Derry, W. E. (2007). Sustainable Urban Street Design and Assessment, proceedings of the 3rd Urban Streets Symposium.

Bryce, J. M. (2008). ASTM standardization News: Exploring Green Highways. Retrieved from: http://www.astm.org/SNEWS/SO_2008/bryce_so08.html

Center for Environmental Excellence by American Association ion of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2009). Transportation and Sustainability Best Practices Background. Retrieved from: http://environment.transportation.org/pdf/sustainability_peer_exchange/AASHTO_SustPeerExh_BriefingPaper.pdf

Eisenman, A. P. A. (2012). Master Thesis "Sustainable Streets and Highways: An Analysis of Green Roads Rating Systems

MSHA, 2012. FY 2012-2015 Maryland State Highway Administration Business Plan.

Jha, M.K., & P. Schonfeld (2004). A Highway Alignment Optimization Model using Geographic Information Systems. *Transportation Research, Part A*, 38(6), 455-481.

Jha, M.K., P. Schonfeld, J.-C. Jong, & E. Kim (2006). *Intelligent Road Design*, WIT Press, Boston, MA, ISBN: 1-84564-003-9, 448 pp.

Jha, M.K., 2010. Optimal Highway Infrastructure Maintenance Scheduling Considering Deterministic and Stochastic Aspects of Deterioration, in *Sustainable and Resilient Critical Infrastructure Systems*, K. Gopalakrishnan and S. Peeta (eds.), 231-248, Springer.

Jha, M.K., & P. Schonfeld (2003). Tradeoffs between Initial and Maintenance Costs of Highways in Cross-Slopes. *Journal of Infrastructure Systems.* 9(1), 16-25.

Kang M.-W., M.K. Jha, & P. Schonfeld (2012). Applicability of Highway Alignment Optimization Models, *Transportation Research, Part C*,
21(1), 257-286.

Kang, M.W., S. Shariat, & M.K. Jha (2013). New Highway Geometric Design Methods for Minimizing Vehicular Fuel Consumption and Improving Safety, *Transportation Research, Part C*, 31(6), 99-111.

Maji, A., & Jha M. K. (2011). A Multiobjective Analysis of Impacted Area of Environmentally Preserved Land and Alignment Cost for Sustainable Highway Infrastructure Design, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 20, 966-972.

Maji, A., & M. K. Jha (2007). Modeling Highway Infrastructure Maintenance Schedule with Budget Constraint, *Transportation Research Record* 1991, *Journal of the Transportation Research Board*, 19-26.

McVoy G., R., Nelson D., A., Krekeler P., Kolb, E & Gritsavage J. SNYSDOT Moving Towards Sustainability: New York State Department of Transportation's GreenLITES Story

Muench, S., T., Anderson, J., & Bevan, T. (2009). Greenroads: A Sustainability Performance Metric for Roadways

SHRP 2 Report S2 – CO6 - RW-2, 2012. An Ecological Approach to Integrating Conservation and Highway Planning

Tighe, S.L., & Gransberg, D. D. (2011). Sustainable Pavement Maintenance Practices. *NCHRP Research Results Digest 365 Washington DC*

Zhang, H, Kolein, G. A., Lepech, M. D., & Kendall, A. (2010). "Life-Cycle Optimization of Pavement Overlay Systems". *Journal of Infrastructure Systems, . 16(4) 310-322.*

Zhang, L., Ji, M., & Ferrarri, N. (2011). Comprehensive Highway Corridor Planning with Sustainable Indicators

Zietsman, J., & Ramani, T. (2011). NCHRP Report 708: A Guidebook for Sustainability Performance Measurement for Transportation Agencies