

توسعه الگوریتم تعیین رویکردهای نگهداری شبکه راه‌های فرعی کشور (مطالعه موردی - استان مازندران)

رضا اسمعیلی، شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک

چکیده

در نخستین دوره برداشت شبکه راه‌های فرعی کشور (سال ۱۳۹۶) داده‌های شاخص ناهمواری (IRI)، عمق بافت درشت روسازی (ETD) و عمق شیار جای چرخ بصورت مکانیزه توسط دستگاه‌های RSP هفت لیزری برداشت شد. وسعت و شدت خرابی‌های سطح روسازی نیز به صورت نیمه خودکار از روی تصاویر برداشت شده با دوربین‌های دستگاه RSP و نرم‌افزار ابداعی دفتر مهندسين مشاور شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک در ۱۰ درصد از شبکه اندازه‌گیری و شاخص PCI محاسبه شد. به منظور تعیین رویکردهای مرمت و نگهداری و بودجه مورد نیاز شبکه، دو شاخص IRI و PCI برای توسعه الگوریتم تصمیم انتخاب گردید. برای کاهش حجم داده‌ها، ارزیابی سریع نتایج و تدوین الگوریتم تصمیم، شبکه راه‌های فرعی استان مازندران به عنوان نماینده شبکه راه‌های فرعی کشور در قالب مطالعات پایلوت انتخاب گردید. پس از ارائه راهکار در قطعه‌بندی شبکه و انجام آنالیز حساسیت حالات مختلف از مقادیر دو شاخص مذکور، حالتی که حداقل بودجه مورد نیاز را داشته و توانان از هر دو شاخص IRI و PCI در تعیین رویکردهای مرمت و نگهداری استفاده شود به عنوان حالت بهینه شبکه استفاده گردید. در نهایت آستانه‌های حالت بهینه برای تحلیل شبکه راه‌های فرعی کشور برگزیده شد. در این یادداشت فنی نقش رویکرد نگهداری پیشگیرانه در به تاخیر انداختن خرابی‌های آینده روسازی مشخص و سناریوهای تقسیم بودجه برای بهینه‌سازی نگهداری شبکه بررسی گردید.

واژه های کلیدی: IRI، PCI، گزینه فنی-اقتصادی، رویکردهای مرمت و نگهداری، هزینه

۲- رویکردهای مرمت و نگهداری راه‌های فرعی

۱- مقدمه

بر اساس مطالعه منابع مدیریت روسازی، تجربیات حاصل از پروژه‌های راه‌های شریانی کشور و صلاح دید دفتر نگهداری راه‌های فرعی و روستایی سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای رویکردهای مناسب مرمت و نگهداری شبکه راه‌های فرعی کشور بصورت نگهداری جاری، اندود حفاظتی، آسفالت حفاظتی، بهسازی سبک و بهسازی سنگین انتخاب گردید. در این رویکردها به ترتیب از نگهداری جاری تا بهسازی سنگین وضعیت روسازی از نظر شاخص‌های عملکردی و خرابی‌های سطحی بدتر شده

این مطالعه با هدف شناسایی شاخص‌های مناسب ارزیابی وضعیت روسازی و تعیین آستانه‌های مناسب آن‌ها به منظور انتخاب رویکردهای فنی-اقتصادی مرمت و نگهداری روسازی شبکه راه‌های فرعی کشور انجام شده است. در این مطالعه از بیشترین پارامترهای ممکن در تصمیم‌گیری سطح شبکه استفاده و بودجه مورد نیاز مرمت و نگهداری متناسب با آن کمینه شده است. بدین منظور شبکه راه‌های فرعی اداره کل مازندران به عنوان مطالعه موردی برای انجام تحلیل‌ها انتخاب شد.

و به بودجه بیشتری برای مرمت نیاز دارد. در جدول ۱ گزینه‌های مرمت و نگهداری احتمالی قابل اجرا در شبکه راه‌های فرعی، بهای واحد هر گزینه به همراه میانگین هزینه مرمت و نگهداری هر رویکرد ارائه شده است.

رویکرد نگهداری جاری به قطعه‌هایی از راه تعلق می‌گیرد که شاخص ناهمواری راه در وضعیت خوب و شاخص وضعیت روسازی یا PCI در وضعیت عالی باشد.

در این رویکرد تنها ممکن است خرابی‌های موضعی سطح روسازی وجود داشته باشد که به کمک برنامه نگهداری جاری متولی روسازی راه مرتفع می‌گردد. رویکرد نگهداری جاری به‌طور روزمره برای حفظ وضعیت روسازی راه‌ها یا در پاسخ به شرایط خاص برنامه‌ریزی و اجرا می‌شود تا سطح سرویس سیستم راه‌ها در وضعیت مطلوب قرار داشته باشد.[۳].

جدول ۱- میانگین هزینه رویکردهای مرمت و نگهداری منتخب در شبکه راه‌های فرعی کشور [۱،۲]

رویکرد نگهداری	گزینه	واحد	قیمت واحد	میانگین هزینه هر رویکرد (ریال)
نگهداری جاری	---	---	---	---
اندود حفاظتی	فاک‌سیل	متر مربع	۷۴۵۰	۷۴۵۰
آسفالت حفاظتی	چیپ‌سیل (۱۰ میلی‌متر)	متر مربع	۴۲۳۸۵	۶۵۹۵۴
	میکرو سرفیسینگ (۱۲/۵ میلی‌متر)	متر مربع	۷۲۸۰۰	
	ماسه آسفالت (۳۰ میلی‌متر)	متر مربع	۱۲۰۳۵۴	
	اسلاری‌سیل (۸ میلی‌متر)	متر مربع	۲۸۲۷۸	
بهسازی سبک	روکش آسفالتی گرم	متر مربع	۱۴۲۰۹۰	۱۲۳۰۴۵
	ردمیکس	متر مربع	۱۰۴۰۰۰	
بهسازی سنگین	بازافت سرد	متر مربع	۳۴۲۵۹۷	۳۴۲۵۹۷
درزگیری	درزگیری	متر طول	۵۴۰۰۰	۵۴۰۰۰
لکه‌گیری	لکه‌گیری	متر مربع	۱۸۹۲۸۵	۱۸۹۲۸۵

رویکرد نگهداری پیشگیرانه در روسازی‌های با وضعیت خوب دارای خرابی‌های با وسعت محدود قابل اجرا است. اجرای رویکرد نگهداری پیشگیرانه موجب بازیابی مشخصات سطح و بهبود خصوصیات وظیفه‌ای روسازی (بدون افزایش قابل ملاحظه ظرفیت باربری) می‌شود و روند پیرشدگی روسازی موجود را کند می‌کند. این رویکرد به منظور جلوگیری یا کند شدن روند اضمحلال روسازی و حفظ وضعیت آن در شرایط قابل قبول برای روسازی‌های در وضعیت خوب و بدون خرابی‌های سازه‌ای عملیاتی خواهد بود. بنا به نیاز سازمان راهداری و بر اساس اختلاف بهای واحد فاحش میان گزینه‌ها، رویکرد نگهداری پیشگیرانه به دو رویکرد اندود حفاظتی و آسفالت حفاظتی تقسیم شد. بر این اساس در

قطعه‌هایی با ترافیک سبک، چنانچه شاخص‌های PCI و IRI در وضعیت خوب باشند و حداقل عمق بافت درشت روسازی تامین گردد می‌توان از رویکرد اندود حفاظتی (فاک‌سیل) در آن قطعه استفاده نمود.

رویکرد آسفالت حفاظتی را می‌توان در قطعه‌هایی با PCI مناسب و IRI خوب به شرط کفایت سازه‌ای با گزینه‌هایی همچون میکروسرفیسینگ، اسلاری‌سیل، چیپ‌سیل و روکش‌های آسفالتی نازک اجرا نمود[۳].

بهسازی رویکردی است که موجب افزایش ظرفیت باربری و عمر خدمت‌دهی روسازی موجود می‌شود. این رویکرد بر اساس هزینه و سطح مداخله در مرمت روسازی به دو رویکرد بهسازی سبک و بهسازی سنگین تقسیم می‌گردد.

رویکرد بهسازی سبک به قطعه‌هایی از راه تعلق می‌گیرد که PCI آن‌ها در وضعیت متوسط تا ضعیف بوده و یا شاخص IRI در وضعیت متوسط قرار گرفته باشد. از جمله گزینه‌های مناسب رویکرد بهسازی سبک در سطح شبکه راه‌های فرعی اجرای یک لایه روکش آسفالتی گرم و یا اجرای یک لایه ردمیکس خواهد بود [۳].

اگر رویکردهای نگهداری پیشگیرانه و بهسازی سبک در طول عمر سرویس‌دهی روسازی استفاده نشود روسازی در آستانه ورود به رویکرد بهسازی سنگین (بازیابی سازه‌ای با گزینه‌هایی مرمت تمام‌عمق، روکش‌های ضخیم یا حتی بازسازی) قرار می‌گیرد. این رویکرد به قطعاتی از راه تعلق می‌گیرد که PCI یا IRI در وضعیت ضعیف قرار داشته باشد.

در شکل ۱ طبقه‌بندی شاخص وضعیت روسازی مطابق استاندارد ASTM D6433 نشان داده شده است. طبقه‌بندی PCI نشان داده شده در این شکل می‌تواند متناسب با بودجه متولی نگهداری روسازی راه تغییر نماید [۴].

Standard PCI™ Rating Scale		Suggested Colors
100	Good	Dark Green
85	Satisfactory	Light Green
70	Fair	Yellow
55	Poor	Light Red
40	Very Poor	Medium Red
25	Serious	Dark Red
10	Failed	Dark Grey
0		

شکل ۱- طبقه‌بندی شاخص وضعیت روسازی [۴]

۳- جمع‌آوری داده‌ها

از آنجا که انجام مطالعات مدیریت روسازی راه‌های فرعی کشور در سطح شبکه مد نظر متولی نگهداری

روسازی بوده، شاخص ناهمواری بین‌المللی یا IRI به جهت اهمیت آن در استهلاک وسایل نقلیه، افزایش مصرف سوخت، کاهش رضایت‌مندی کاربران راه و همچنین افزایش بارهای دینامیکی ناشی از تردد وسایل نقلیه سنگین و افزایش نرخ رشد اضمحلال روسازی به همراه شاخص خرابی‌های سطحی روسازی یا PCI برای ارزیابی روسازی راه انتخاب شد. کل داده‌های مورد نیاز پروژه با یک بار عبور دستگاه RSP هفت لیزری شرکت آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک جمع‌آوری گردید. به منظور صرفه‌جویی در هزینه و زمان جمع‌آوری داده‌ها، تعیین شاخص PCI تنها در ۱۰ درصد شبکه راه‌های فرعی [۴، ۶] و با استفاده از نرم‌افزار توسعه داده شده از روی تصاویر برداشت شده با دستگاه RSP انجام شد. به عبارت دیگر در هر کیلومتر از شبکه راه‌های فرعی کشور ۱۰۰ متر (یا ۱۰ تصویر، برداشت شده در هر ۱۰ متر) مورد ارزیابی قرار گرفت و شاخص PCI برای آن محاسبه گردید. عمق بافت درشت سطح روسازی نیز که همزمان با سایر خصوصیات سطحی با دستگاه RSP اندازه‌گیری شده بود، به منظور تخصیص رویکرد اندود حفاظتی مورد استفاده قرار گرفت. در جدول ۲ پارامترهای آماری سه شاخص IRI، PCI و ETD در شبکه راه‌های فرعی استان مازندران ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات آماری داده‌های برداشت شده در شبکه

راه‌های فرعی استان مازندران

پارامترهای برداشتی	ETD میکرون	PCI	IRI (m/km)
تعداد	103423	1000	10369
کمترین	236	0	1.13
بیشترین	1563	100	19.5
میانگین	872	65	4.01
انحراف معیار	247	30	1.96
صدک ۵۰	841	70	3.5
صدک ۷۰	1012	91	4.42
صدک ۷۵	1061	98	4.76
صدک ۸۰	1115	100	5.18
صدک ۸۵	1173	100	5.72
صدک ۹۰	1234	100	6.45
صدک ۹۵	1304	100	7.85

این موضوع در شکل ۲ با مشاهده تعداد قطعات در خط *final* بطور شماتیک نشان داده شده است. در راهنمای تعیین خرابی‌های روسازی، شاخص *PCR* (تابعی از شاخص وضعیت سطحی روسازی یا *SCR* و *RCI*) برای قطعه‌بندی ارائه شده است [۵]. بر اساس داده‌های موجود در سطح شبکه راه‌های فرعی این شاخص به صورت ترکیب خطی شاخص‌های *PCI* و *RCI* تعریف شده است و در روابط ۱ و ۲ نشان داده شده است. در این روابط *IRI* بر حسب متر بر کیلومتر است.

$$PCR = 0.6 \times PCI + 0.4 \times RCI \quad (۱)$$

$$RCI = 160 \times e^{-0.26(AVG IRI)} \quad (۲)$$

شاخص *RCI* از جنس شاخص ناهمواری بین‌المللی می‌باشد که با اندکی تغییر به دو دلیل زیر تعریف شده است:

۱- تبدیل بازه تغییرات شاخص *IRI* از صفر تا بی‌نهایت به صفر تا ۱۰۰

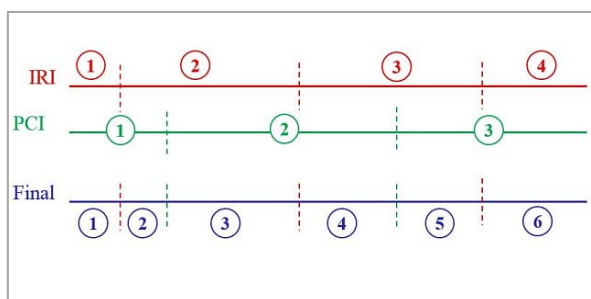
۲- معکوس شدن تفسیر شاخص *IRI* تا مشابه شاخص *PCI* گردد. به عبارت دیگر در شاخص *RCI* مقدار ۱۰۰ معادل روسازی هموار و مقدار صفر معادل روسازی کاملاً ناهموار خواهد بود.

در رابطه شماره ۲ با میل کردن مقدار *IRI* به صفر شاخص *RCI* به ۱۶۰ نزدیک خواهد شد بنابراین لزوم اصلاح *RCI* در بازه صفر تا ۱۰۰ ضرورت دارد. به منظور اصلاح رابطه *RCI* فرض شده است *RCI* های بزرگتر از ۱۰۰ را برابر با ۱۰۰ در نظر بگیرند. تعداد کم واحدهای نمونه‌ای که متوسط *IRI* کم‌تر از ۲ دارند گواهی بر درستی این فرض است. در شکل ۳ نمودار تغییرات *RCI* بر حسب متوسط *IRI* و تصحیح صورت گرفته برای مقادیر *RCI* بزرگتر از ۱۰۰ ارائه شده است.

در این جدول کمترین، بیشترین، میانه، میانگین، انحراف معیار و صدک‌های مختلف هر کدام از آماره‌های برداشتی ارائه شده است. به عنوان نمونه شاخص *PCI* از صفر تا ۱۰۰ متغیر بوده است. شاخص *PCI* در واحدهای نمونه استان مازندران از یک روسازی عالی تا یک روسازی کاملاً مضمحل در شبکه راه‌های فرعی استان مازندران وجود دارد. شاخص *IRI* نیز از ۱/۱۳ تا ۱۹/۵ متر بر کیلومتر متغیر بوده که قطعاً مقادیر بالای آن در قطعات با *PCI* بسیار کم اتفاق افتاده است.

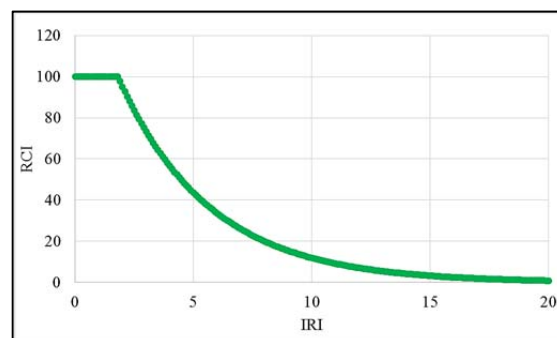
۴- قطعه‌بندی شبکه راه‌های فرعی بر اساس شاخص ترکیبی *PCR*

به منظور تعیین قطعات همگن و تخصیص رویکردهای مرمت و نگهداری در شبکه راه‌های فرعی و تحلیل حساسیت آستانه‌های پیشنهادی ابتدا باید محورهای شبکه راه‌های فرعی قطعه‌بندی شوند. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد رویکردهای مرمت و نگهداری با استفاده از شاخص‌های *IRI* و *PCI* تعیین می‌شود. اگر قطعه‌بندی شبکه راه بطور مجزا بر اساس شاخص‌های مذکور انجام شود، ممکن است طول قطعات همگن نهایی کوچک و از کارایی آن در ارزیابی سطح شبکه کاسته شود.



شکل ۲- قطعه‌بندی مجزا بر اساس شاخص‌های *IRI* و *PCI*

شد. با توجه به این مقادیر تحلیل حساسیت برای ۲۹ حالت مختلف با دو شاخص مذکور انجام شد. بیست و نه حالت مفروض شامل ۵ حالت بر اساس شاخص IRI به تنهایی، ۴ حالت برای شاخص PCI به تنهایی و بیست حالت برای ترکیبات مختلف هر دو شاخص IRI و PCI می‌باشد. علاوه بر حالات مذکور، به پیشنهاد اعضای کمیته راهبردی سامانه مدیریت روسازی دو حالت دیگر نیز اضافه شد. در دو حالت جدید پیشنهادی مرز میان نگهداری پیشگیرانه و بهسازی سبک (PCI بحرانی) از ۷۰ به ۶۰ کاهش یافت. یکی از این دو حالت برای شاخص PCI به تنهایی و حالت آخر ترکیب شاخص PCI و آستانه‌های ناهمواری حالت ۵ نشان داده شده در جدول ۳ است.



شکل ۳- نمودار تغییرات RCI در برابر متوسط IRI و تصحیح صورت گرفته بر روی آن

۵- روش تحقیق

به منظور تعیین آستانه‌های دو شاخص IRI و PCI با توجه به مرور منابع مختلف مقادیر اولیه‌ای در نظر گرفته

جدول ۳- آستانه‌های هر رویکرد در حالات مختلف تحلیل حساسیت بر اساس شاخص‌های IRI و PCI

شاخص	شماره حالت	تعداد حالاتها	RM	SC	AS	LR	HR
IRI(m/km)	۱	۵	۰-۳	۰-۳	۰-۳	۳-۴	>۴
	۲		۰-۳	۰-۳	۰-۳	۳-۵	>۵
	۳		۰-۳	۰-۳	۰-۳	۳-۶	>۶
	۴		۰-۴	۰-۴	۰-۴	۴-۵	>۵
	۵		۰-۴	۰-۴	۰-۴	۴-۶	>۶
PCI	۶	۴	۹۰-۱۰۰	۸۰-۹۰	۷۰-۸۰	۵۵-۷۰	<۵۵
	۷		۹۰-۱۰۰	۸۰-۹۰	۷۰-۸۰	۴۰-۷۰	<۴۰
	۸		۹۵-۱۰۰	۸۵-۹۵	۷۵-۸۵	۶۰-۷۵	<۶۰
	۹		۹۵-۱۰۰	۸۵-۹۵	۷۵-۸۵	۴۰-۷۵	<۴۰
کمیته فنی	۱	۱	۹۰-۱۰۰	۸۰-۹۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	<۴۰
	۱		۹۰-۱۰۰	۸۰-۹۰	۶۰-۸۰	۴۰-۶۰	<۴۰

آستانه‌های شاخص PCI انجام می‌گیرد. در شکل ۴ الگوریتم تعیین رویکرد مرمت و نگهداری در سطح شبکه راه‌های فرعی برای یکی از حالت‌های مفروض در جدول ۳ ارائه شده است. بنابراین مطابق آستانه‌های ارائه شده در جدول ۳، برای تحلیل شبکه راه‌های فرعی استان مازندران سه محدوده برای شاخص IRI و ۵ محدوده برای شاخص PCI بوجود آمده و رویکردشان مشخص می‌شود. در گام بعدی رویکرد بحرانی به عنوان رویکرد نهایی قطعه مورد

در جدول ۳ به هر رویکرد یک رنگ اختصاص داده شده است تا تحلیل نتایج و خروجی‌های پروژه تسهیل گردد. در این جدول آستانه‌های پیش‌فرض برای تحلیل حساسیت ارائه شده است. از آنجا که در منابع مختلف مرز بین آسفالت حفاظتی، اندود حفاظتی و نگهداری جاری از نظر میزان شاخص ناهمواری ارائه نشده است لذا برای این سه رویکرد نگهداری مقادیری مشابه در نظر گرفته شده است. انتخاب نوع رویکرد در این حالت با استفاده از

مذکور به تنهایی، نیز صرفاً به منظور مقایسه و ارزیابی مالی در نظر گرفته شد.

۶- تحلیل نتایج

تحلیل داده‌ها مطابق گام‌های زیر در شبکه راه‌های فرعی استان مازندران انجام شد.

- تعیین مقادیر دو شاخص IRI و PCI در شبکه
- همسانسازی مقیاس دو شاخص با تبدیل شاخص IRI به شاخص RCI
- محاسبه شاخص PCR با نسبت وزنی $0/6$ و $0/4$ به ترتیب برای PCI و RCI
- قطعه‌بندی کل شبکه با استفاده از شاخص PCR
- استفاده از آستانه‌های IRI و PCI در هر قطعه برای انتخاب رویکرد مرمت و نگهداری مناسب
- ارائه خروجی به ازای ۳۱ حالت مختلف با توجه به آستانه‌های پیشنهادی

در این فرآیند از شاخص PCR تنها برای قطعه‌بندی شبکه راه به منظور اجتناب از ایجاد قطعه‌های کوچک استفاده شده است و این شاخص هیچ تاثیری در تعیین رویکرد مرمت و نگهداری قطعه‌ها نداشته است. به عبارت دیگر پس از قطعه‌بندی شبکه راه‌ها، رویکرد مرمت و نگهداری راه مطابق با الگوریتم شکل ۴ و بر اساس شاخص‌های IRI و PCI در هر قطعه تعیین می‌شود. در شکل ۵ نتایج تحلیل در ۳۱ حالت مختلف بر اساس آستانه‌های پیش‌فرض ارائه شده است. در محور عمودی آستانه مورد استفاده با فرمتی خاص ارائه شده است. همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است. شاخص IRI و شاخص PCI به ترتیب ۳ و ۵ آستانه برای تعیین رویکرد مرمت و نگهداری دارند. به عبارت دیگر با استفاده از شاخص IRI رویکرد بهسازی سبک و سنگین از سایر

نظر ثبت می‌گردد. برای مثال اگر به یک قطعه بر اساس شاخص IRI و PCI به ترتیب رویکرد بهسازی سبک و بهسازی سنگین اختصاص یابد، رویکرد نهایی قطعه بهسازی سنگین خواهد بود. مطابق جدول ۳ شبکه روسازی راه‌های فرعی استان مازندران در ۳۱ حالت متفاوت شامل ۵ حالت تنها با شاخص IRI، ۵ حالت به تنهایی با شاخص PCI و ۲۱ حالت با ترکیب شاخص‌های IRI و PCI تحلیل می‌گردد. حال این پرسش مطرح می‌شود که آیا استفاده از یک شاخص به تنهایی می‌تواند تحلیل صحیحی از شبکه در اختیار بگذارد؟ در صورت جواب مثبت می‌توان در هزینه و زمان تحلیل داده‌ها صرفه‌جویی نمود. در جدول ۴ قطعاتی از شبکه راه‌های استان مازندران انتخاب شده و دو شاخص IRI و PCI در آنها گزارش شده است.

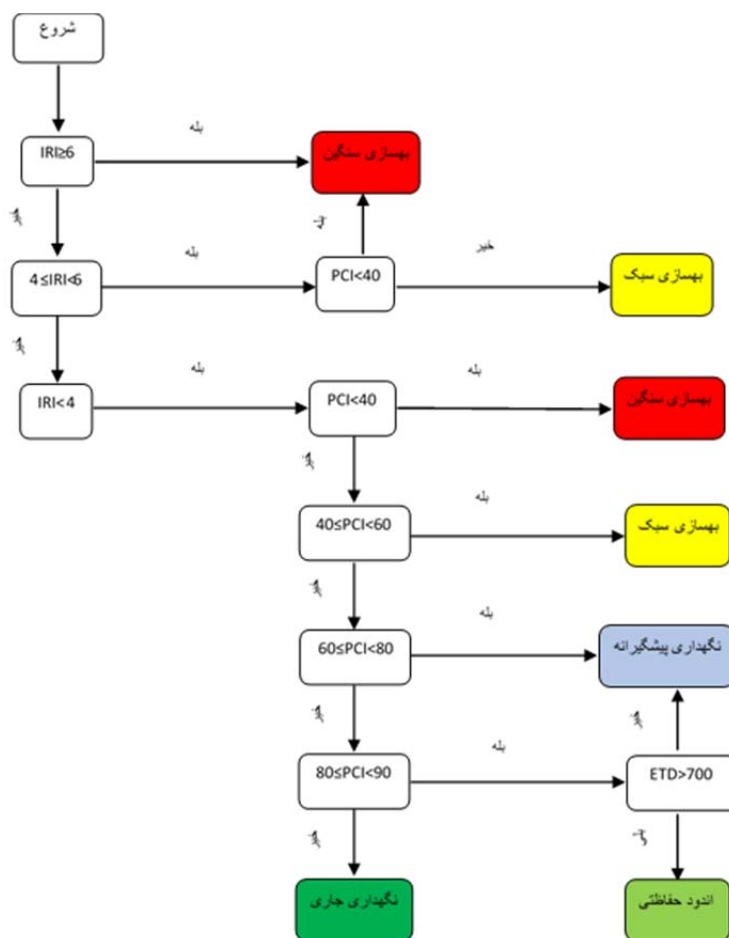
جدول ۴- شاخص IRI و PCI در قطعات منتخب

قطعه	PCI	IRI (m/km)
1	88.4	5.7
2	100	5.4
3	95.3	4.9
4	31.9	2.7
5	35.9	2.9
6	52.6	3.0

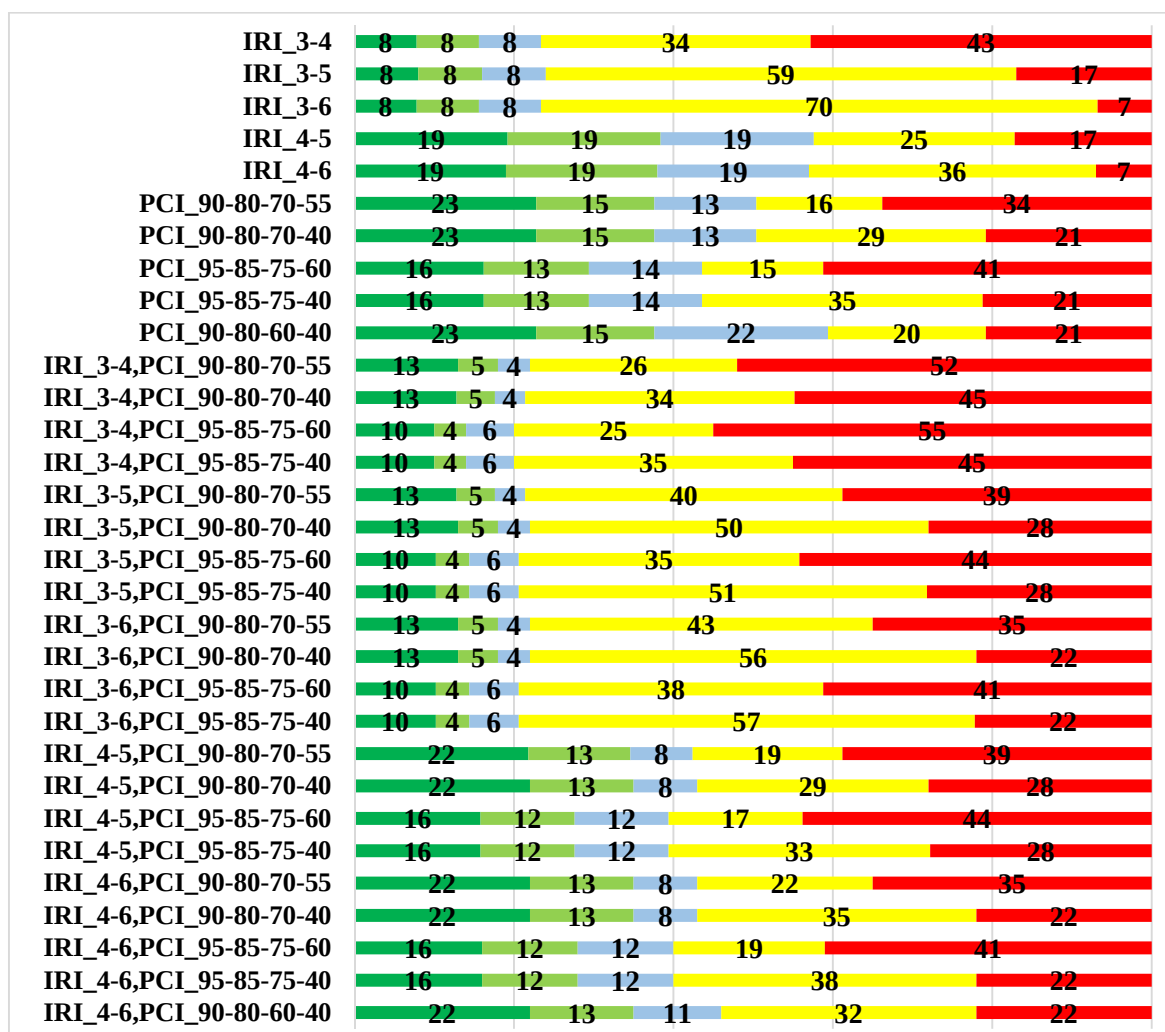
همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود یک راه که دارای وضعیت ظاهری خوب با شاخص PCI برای $88/4$ است، ممکن است ناهمواری زیادی ($5/7$ متر بر کیلومتر) داشته باشد. از طرف دیگر ممکن است راه از نظر ناهمواری شرایط مناسب داشته باشد ولی از نظر خرابی‌های سطحی مانند قطعه ۴ تا ۶ ضعیف ارزیابی گردد. لذا لزوماً شاخص‌های IRI و PCI ارتباط معناداری با هم ندارند و از این حیث قطعاً استفاده همزمان از آنها رویکرد مناسب‌تری را به قطعات راه اختصاص خواهد داد بطوری که همزمان دغدغه‌های متولی نگهداری و کاربران راه به جهت استفاده از یک سطح راحت و هموار تامین گردد. در تحلیل نتایج و آنالیز حساسیت تاثیر استفاده از هر یک از شاخص‌های

رویکردها جدا می‌گردد. اما شاخص PCI دارای ۴ آستانه است و به واسطه آن هر ۵ رویکرد مرمت و نگهداری قابل تعیین می‌باشند. در محور عمودی شکل ۵ هر شاخص با آستانه‌های خود ارائه شده است. همانطور که مشخص است ابتدا شاخص IRI و شاخص PCI به تنهایی در آنالیز حساسیت شرکت داده شده‌اند و بعد از آن ترکیبات متفاوتی از آستانه‌ها با مشارکت همزمان دو شاخص مذکور استفاده شده است. در نمودارهای نواری هر کدام از رنگ‌ها نمایش‌گر یکی از رویکردهای مرمت و نگهداری هستند. در هر رنگ نیز یک عدد مشخص شده است که بیانگر درصد آن رویکرد در شبکه راه‌های فرعی استان مازندران است. همانطور که در نمودار شکل ۵ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار شاخص‌ها یا سخت‌گیرانه کردن آنها، سهم بیشتری از شبکه راه‌های استان به سمت

بهسازی‌ها می‌رود که به تبع آن هزینه‌های مرمت و نگهداری شبکه افزایش می‌یابد. بطور مثال هنگامی که آستانه انتخاب رویکرد نگهداری سنگین در شاخص IRI و شاخص PCI به ترتیب ۴ و ۶۰ فرض می‌شود به ۵۵ درصد از شبکه رویکرد بهسازی سنگین تعلق می‌گیرد. البته در انتخاب نهایی شاخص‌ها بایستی به مواردی همچون اهمیت کمتر راه‌ها فرعی نسبت راه‌های شریانی، آزادراه‌ها و بزرگراه‌ها و بودجه در اختیار برای نگهداری شبکه توجه نمود. در شکل ۵ نمودار مقایسه بودجه مورد نیاز برای نگهداری شبکه راه‌های فرعی استان مازندران در ۳۱ حالت مختلف شاخص‌های IRI و PCI به ترتیب از حداکثر بودجه تا حداقل بودجه مورد نیاز بر حسب میلیارد ریال ارائه شده است.



شکل ۴- الگوریتم تعیین رویکرد مرمت و نگهداری در سطح شبکه راه‌های فرعی

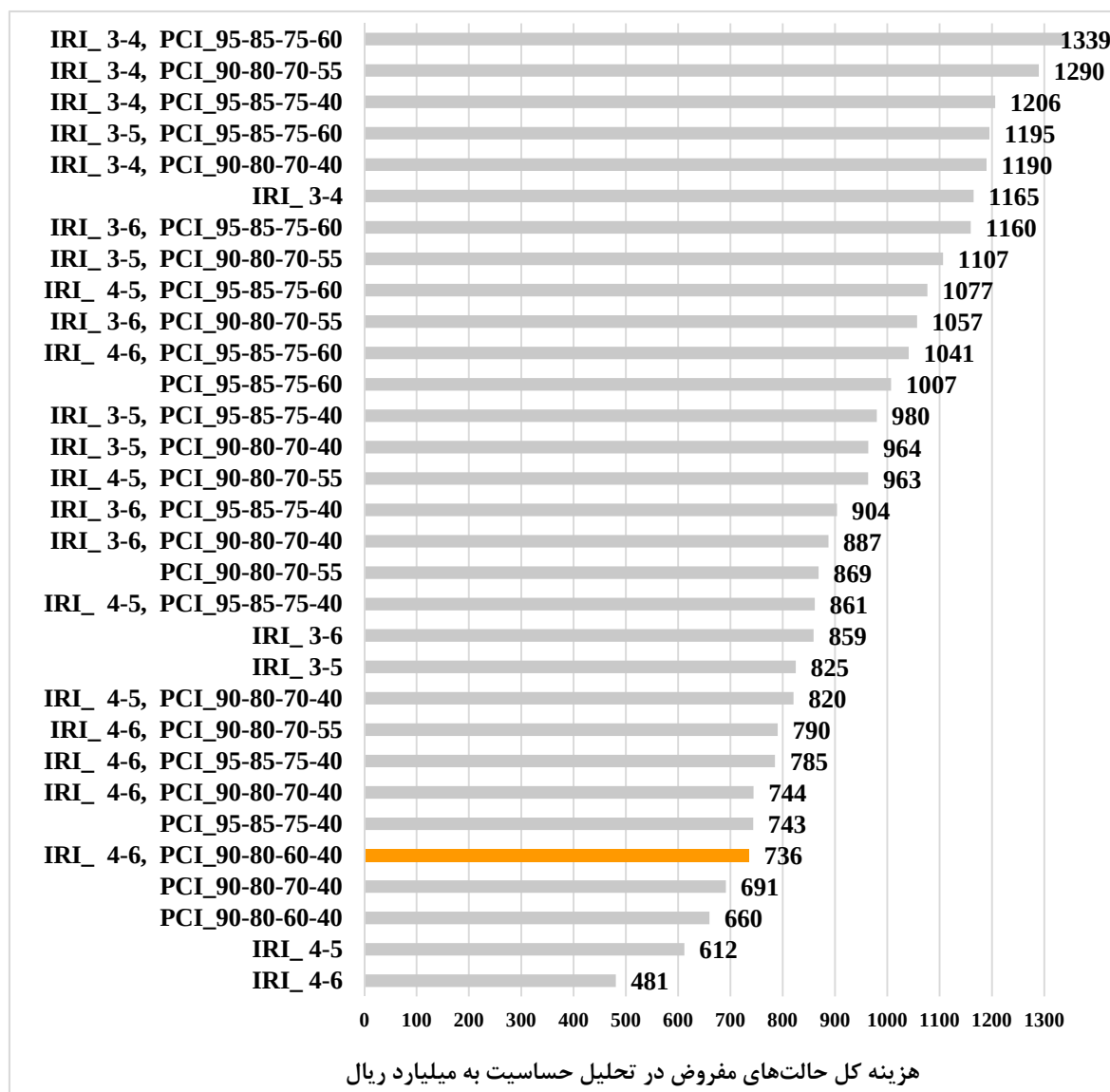


شکل ۵- درصد تخصیص یافته به هر رویکرد در حالت‌های مفروض در تحلیل حساسیت

بودجه مورد نیاز معادل ۴۸۱ میلیارد ریال مربوط به حالتی در آنالیز حساسیت می‌باشد که در آن تنها از شاخص IRI با آستانه‌های ۳ و ۴ برای ورود به بهسازی سبک و سنگین استفاده شده است. حال این پرسش مطرح می‌شود که کدام یک از ۳۱ حالت تحلیل حساسیت بایستی برای تحلیل شبکه راه‌ها انتخاب گردد؟ در این باره مبتنی بر سیاست‌های کلان متولیان مرمت و نگهداری راه، بحث و بررسی زیادی در کمیته فنی انجام شد و سرانجام حالت متمایز شده از سایر حالت‌ها در شکل ۶ بر اساس دو سیاست زیر برگزیده شد.

همانطور که در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود بیشترین بودجه مورد نیاز شبکه راه‌های فرعی استان مازندران معادل ۱۳۳۹ میلیارد ریال مربوط به حالت سخت‌گیرانه شاخص‌های IRI و PCI می‌باشد. در این حالت شاخص PCI برابر ۶۰ و ۷۵ و شاخص IRI برابر ۴ و ۳ به ترتیب آستانه ورود به بهسازی سنگین و بهسازی سبک بوده‌اند. از آنجا که هزینه هر متر مربع بهسازی سنگین و بهسازی سبک بر اساس جدول ۱ به ترتیب ۵ و ۲ برابر اجرای آسفالت حفاظتی است در صورت تعیین رویکرد با این آستانه‌ها، بودجه مورد نیاز متولی روسازی راه بطور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد. از طرف دیگر کمترین

- به جهت فنی حالتی انتخاب شود که در آن هر دو شاخص IRI و PCI نقش داشته باشند.
 - با توجه به محدودیت بودجه در اختیار سازمان حالتی انتخاب شود که بودجه مورد نیاز کمینه باشد.
- با این دو سیاست حالتی انتخاب می‌گردد که بواسطه آن برای نگهداری روسازی شبکه راه‌های فرعی استان مازندران به ۷۳۶ میلیارد ریال اعتبار نیاز باشد.



شکل ۶- مقایسه هزینه شبکه راه‌های فرعی اداره کل مازندران به میلیارد ریال

نگهداری در کل شبکه راه‌های فرعی استان مازندران ارائه شده است. همچنین هزینه درزگیری و لکه‌گیری در هر رویکرد به صورت جداگانه ارائه شده است. از آنجا که در رویکرد بهسازی سنگین سطح مداخله در روسازی بالا بوده

در جدول ۵ آستانه‌های نهایی دو شاخص IRI و PCI به منظور انتخاب رویکردهای پنج‌گانه مرمت و نگهداری شبکه راه‌های فرعی استان مازندران ارائه شده است. در این جدول طول و بودجه متعلق به هر رویکرد مرمت و

انجام دهد. به این اعتبار بودجه محدود اطلاق می‌شود. از آنجایی که اعتبارات مورد نیاز برای نگهداری کل شبکه در دسترس نمی‌باشد لذا سیاست نگهداری و اولویت‌بندی پروژه‌ها در سناریوی بودجه محدود از اهمیت بالایی برخوردار است.

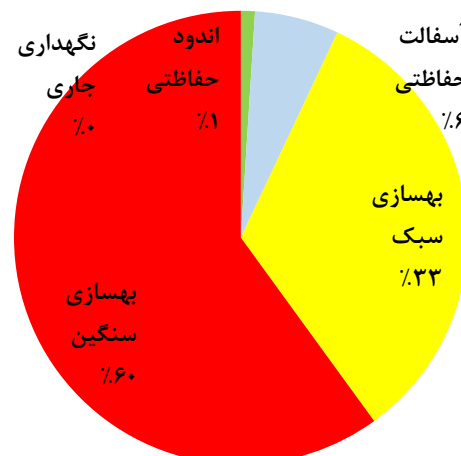
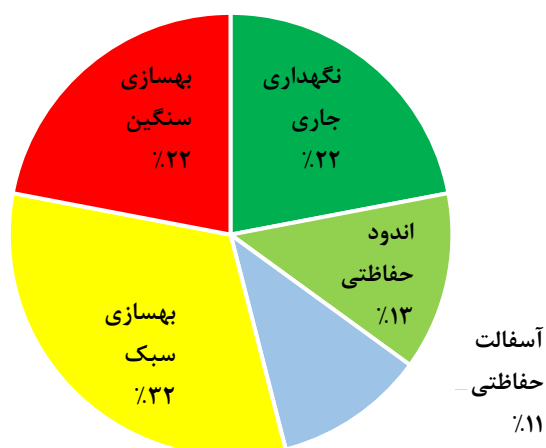
و چند لایه از آسفالت تراشیده می‌شود اجرای درزگیری و لکه‌گیری توجیه نداشته و حذف شده است. با توجه به محدودیت بودجه در اختیار ادارات راهداری، برنامه‌ریزی مرمت و نگهداری شبکه راه‌های فرعی اغلب بایستی با اعتبارات موجود که بی‌گمان کمتر از بودجه نامحدود است

جدول ۵- نتایج تحلیل شبکه و اختصاص رویکردهای مرمت و نگهداری

شاخص	RM	SC	AS	LR	z
IRI(m/km)	0-4	0-4	0-4	4-6	>6
PCI	90-100	80-90	60-80	40-60	<40
نوع رویکرد	طول (کیلومتر)	هزینه رویکرد (م)	هزینه درزگیری و لکه‌گیری (م)		
نگهداری جاری (RM)	227.3	0	2		
اندود حفاظتی (SC)	134.3	6	4		
آسفالت حفاظتی (AS)	113.6	44	7		
بهسازی سبک (LR)	330.6	244	33		
بهسازی سنگین (HR)	227.3	442	-		
جمع کل	1033.1	736	46		

جاری، اندود حفاظتی و آسفالت حفاظتی قرار داشته و ۵۴ درصد باقی‌مانده نیاز به تقویت ظرفیت باربری با اعمال رویکردهای بهسازی سبک و بهسازی سنگین دارد.

در شکل ۷ نمودار دایره‌ای درصد طول و درصد هزینه رویکردهای مرمت و نگهداری شبکه راه‌های استان مازندران نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود ۴۶ درصد از طول شبکه در رویکردهای نگهداری



شکل ۷- مقایسه درصد طول و درصد هزینه رویکردهای مرمت و نگهداری

بهسازی سبک و بهسازی سنگین در شبکه راه‌های فرعی استان مازندران به ترتیب در حدود ۲ و ۵ برابر میانگین هزینه اجرای آسفالت حفاظتی (ارائه شده در جدول ۱) می‌باشد لذا توجه ویژه به استفاده از رویکردهای پیشگیرانه

مطابق نمودار دایره‌ای شکل ۷، حدود ۹۳ درصد از هزینه مرمت و نگهداری شبکه راه‌های فرعی استان مازندران به دو رویکرد بهسازی سبک و بهسازی سنگین اختصاص یافته است. از آنجا که هزینه اجرای رویکردهای

و کم هزینه به منظور پوشش سطح بیشتری از شبکه و به تاخیر انداختن خرابی‌های سازه‌ای آتی از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به بودجه محدود در اختیار متولی مرمت و نگهداری راه‌های فرعی، اگر توجه یکسانی به رویکردهای پنج‌گانه مرمت و نگهداری روسازی معطوف گردد امکان ارتقا وضعیت روسازی شبکه راه‌های فرعی استان مازندران ناممکن خواهد بود. با این نگاه قسمت هنگفتی از اعتبارات موجود صرف اجرای بهسازی سبک و بهسازی سنگین تنها در چند قطعه محدود شده، به دلیل اتمام اعتبارات موجود امکان اجرای سایر رویکردهای مرمت و نگهداری روسازی در سطح شبکه راه‌های فرعی استان مازندران وجود نخواهد داشت. به بیان دیگر عدم اجرای آسفالت حفاظتی در قطعات مستعد این رویکرد به دلیل پرداختن به رویکردهای بهسازی موجب افزایش ناهمواری و یا افت شاخص وضعیت روسازی در قطعه‌های مستعد نگهداری پیشگیرانه در سال‌های سرویس‌دهی پیش‌روی شده، درصد طول تخصیص داده شده به رویکرد بهسازی سبک را در سال‌های آینده افزایش خواهد داد.

۷- نتیجه‌گیری

در این یادداشت فنی شبکه راه‌های استان مازندران به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردید تا آستانه‌های مورد نیاز برای انجام تحلیل‌های PMS روی شبکه راه‌های فرعی کشور تعیین گردد. با توجه به نیازهای کارفرما رویکردهای پنج‌گانه مرمت و نگهداری شامل نگهداری جاری، اندود حفاظتی، آسفالت حفاظتی، بهسازی سبک و بهسازی سنگین تعریف شد و بهای واحد گزینه‌های هر رویکرد همراه با میانگین بهای اجرای رویکردها مشخص گردید. در ادامه بر اساس مطالعات صورت گرفته دو شاخص IRI و PCI برای تحلیل شبکه انتخاب و به منظور تسهیل قطعه‌بندی شبکه یک شاخص با ترکیب دو شاخص مذکور محاسبه گردید. قطعه‌بندی شبکه راه‌های فرعی استان

مازندران با شاخص ترکیبی PCR انجام شد. بعد از قطعه‌بندی، شبکه راه‌های استان مازندران برای تعیین آستانه‌های رویکردهای مرمت و نگهداری و هزینه کل با مقادیر متفاوت دو شاخص IRI و PCI، آنالیز حساسیت انجام شد. بر اساس سیاست‌های کارفرما و بودجه در اختیار، حالتی که حداقل بودجه را توانان با استفاده همزمان از هر دو شاخص نتیجه داد تایید و تصویب شد. با توجه به درصد نگهداری پیشگیرانه و بهسازی‌ها در شبکه و بودجه مورد نیاز نتیجه گرفته شد که سیاست‌های نگهداری و تقسیم بودجه در سطح شبکه راه‌های فرعی بایستی به گونه‌ای انتخاب گردد تا اولاً وضعیت روسازی بیشتر در رویکردهای مرمت جاری، اندود حفاظتی و آسفالت حفاظتی حفظ شود و قطعه‌های مستعد بهسازی‌های سبک و سنگین کاهش یابد ثانیاً در یک برنامه چندین ساله و با اولویت‌بندی شبکه، از طول قطعه‌های نیازمند به رویکردهای بهسازی کاسته گردد.

۸- مراجع

- ۱- فهرست‌بهای واحد پایه رشته راه‌داری سال ۱۳۹۵.
- ۲- فهرست‌بهای واحد پایه رشته راه، بند فرودگاه و زیرسازی راه‌آهن سال ۱۳۹۵.
- 3- Pavement Management Guide, Second Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.
- 4- ASTM D6433, Standard Practices for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys, 2018.
- 5- Pavement Distress Identification Manual for the NPS Road Inventory Program, Prepared by Federal Highway Administration, Cycle 4, 2006-2009.
- 6- M. Y. Shahin, Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots, Springer, 1994.