

شناسایی سطح اختطار روسازی جاده‌های جنگلی و مدیریت آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محمدجواد حیدری^۱، اکبر نجفی^{۲*} و سیدجلیل علوی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

پست الکترونیک: a.najafi@modares.ac.ir

۳- استادیار، گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۱۰

چکیده

ارزیابی وضعیت روسازی جاده‌های جنگلی و مدیریت بهینه هزینه نگهداری روسازی جاده‌های جنگلی به‌عنوان مهم‌ترین بخش از مدیریت یک جاده جنگلی محسوب می‌شود، حال آن‌که تخصیص بهینه هزینه در طول مدت استفاده از جاده بسیار دشوار است. بررسی وضعیت روسازی نیازمند تجهیزات خاصی است که به‌طور معمول به‌دلیل هزینه زیاد و عدم دسترسی به این نوع تجهیزات، کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد. از این‌رو باید از تکنیک‌هایی استفاده شود که بتوانند روابط خطی و غیرخطی زوال سطح روسازی را ارزان‌تر و سریع‌تر مدل‌سازی کنند. در پژوهش پیش‌رو کاربرد تکنیک الگوریتم ژنتیک در شناسایی سطح اختطار روسازی جاده‌های جنگلی و برنامه‌ریزی ترمیم و نگهداری روسازی بررسی شد. بدین‌منظور شبکه جاده‌های جنگلی حوزه غرب هراز به‌طول حدود ۵۰ کیلومتر شامل پنج سری در نظر گرفته شدند. شناسایی سطح اختطار روسازی و ارایه یک برنامه ترمیم و نگهداری برای شبکه روسازی مذکور در طول یک دوره طرح پنج‌ساله و بر مبنای برنامه‌ریزی یک‌ساله ارایه شد. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین سطح هشدار خرابی بیرون‌زدگی برابر با پنج سانتی‌متر و برای شیارشدگی ۱۰ سانتی‌متر بود. با برنامه‌ریزی و انجام منظم فعالیت‌های ترمیم و نگهداری، هزینه‌ها حداقل ۲۵ و حداکثر ۷۳ درصد در طول دوره طرح برنامه نسبت به سال اول کاهش یافتند که این موضوع اهمیت فعالیت‌های مستمر تعمیر و نگهداری و لزوم به‌کارگیری تکنیک‌های نوین را در برنامه‌ریزی نگهداری روسازی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌های بهینه‌سازی، بیرون‌زدگی، تعمیر و نگهداری، زوال، شیارشدگی.

مقدمه

می‌توان به سن روسازی، ترافیک جاده، عامل‌های طبیعی و اقلیم، مشخصات مصالح، ضخامت روسازی، مقاومت روسازی و همچنین خصوصیات بستر مؤثر بر خصوصیات مکانیکی روسازی اشاره کرد (Adlinge & Gupta, 2013). از بین رفتن حجم عظیم سرمایه در بخش مدیریت و نگهداری جاده‌ها، مدیران جنگل و بهره‌برداران را بیش از پیش به سمت استفاده بهینه از منابع موجود برای نگهداری و

روسازی جاده‌های جنگلی سرمایه با ارزشی در مدیریت جنگل است که هر ساله هزینه زیادی صرف تعمیر و نگهداری آنها می‌شود. از این‌رو، روسازی جاده‌های جنگلی باید طوری مدیریت شود که با حفظ کارایی بتواند با گذشت زمان در سطح قابل قبول مورد استفاده قرار گیرد (Visser *et al.*, 2009). از جمله عامل‌های مؤثر بر وضعیت روسازی

بیشتر ناشی از عامل‌های انسانی و بصری است. همچنین تجهیزات خاصی که بتواند وضعیت جاده‌ها را بررسی کند، وجود ندارد و یا نیازمند هزینه بسیار زیاد است. از این رو به‌کارگیری تکنیک‌هایی که بتوانند کارایی روسازی و روند زوال و سطح هشدار آنها را ارزان‌تر و سریع‌تر مدل‌سازی کنند، پیشنهاد می‌شود (McGarragh & Hudson, 1974). این تکنیک‌ها، مجموعه‌ای از مدل‌های تجربی و هوش مصنوعی را دربرمی‌گیرند (Mathew & Isaac, 2013). برای انجام بهینه‌سازی برنامه‌های ترمیم و نگهداری روسازی، به‌کارگیری الگوریتم‌های تکاملی مورد توجه قرار گرفته است. یکی از این الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم ژنتیک است.

الگوریتم‌های ژنتیک راه‌حل‌های بالقوه یک مسأله را در قالب کروموزوم‌های ساده‌ای کد می‌کنند و سپس عملگرهای ترکیبی را بر این ساختارها اعمال می‌کنند (Elhadidy et al., 2015). الگوریتم‌های ژنتیک اغلب به‌عنوان روشی برای بهینه‌سازی توابع شناخته می‌شوند که البته دامنه استفاده از این روش‌ها بسیار گسترده‌تر است. عمومی‌ترین نحوه ارایه رشته‌ها در الگوریتم ژنتیک استفاده از الفبای دودویی (صفر و یک) است، اگرچه الگوهای نمایش دیگر مانند عدد صحیح و مقدار حقیقی نیز می‌توانند استفاده شوند (Mathew & Isaac, 2013).

باید اشاره کرد که تحقیقات جامعی در مورد عامل‌های مؤثر بر زوال روسازی جاده‌های جنگلی و برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری روسازی در ایران انجام نشده است. درخصوص مرور منابع خارجی هم عمده تحقیقات مربوط به بزرگ‌راه‌ها، راه‌های بین‌شهری و به‌ندرت روستایی است. با توجه به کمبود مطالعات قبلی، در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک برای بررسی و شناسایی زوال سطح روسازی و مدیریت بهینه آن استفاده شده است تا مدیران جنگل بتوانند با شناخت عامل‌های مؤثر، به نگهداری ارزان‌تر و سریع‌تر جاده‌های جنگلی بپردازند.

حفظ این سرمایه سوق داده است (Talebi et al., 2015). امروزه سیستم مدیریت روسازی مجموعه کاملی از ابزار و روش‌ها است که علاوه بر سازمان‌دهی شبکه روسازی‌ها، به تصمیم‌گیری استراتژی‌های مؤثر و اقتصادی برای حفظ و نگهداری روسازی‌ها در سطحی قابل قبول کمک می‌کند (Fuentes, 2015). عدم توجه به نگهداری جاده، هزینه‌های مربوط به ماشین‌آلات را افزایش و سرعت آنها را کاهش می‌دهد و با کاهش ایمنی باعث افزایش تولید رسوب می‌شود (Talebi et al., 2015). عملیات نگهداری جاده چنانچه در موعد لازم انجام شده باشد و گزینه مناسب برای روش نگهداری انتخاب شده باشد، علاوه بر آن که تخریب جاده را به تأخیر می‌اندازد، به دلیل افزایش کیفیت سطح جاده، موجب کاهش هزینه‌های عملکردی وسایل نقلیه و باز بودن مداوم جاده می‌شود (Grigolato et al., 2013). مسئولان نگهداری جاده‌های جنگلی و مدیران جنگل با نبود برنامه نگهداری برای رسیدن به اهداف از پیش تعیین‌شده مواجه هستند و هرساله هزینه‌های گزافی را به دلیل نداشتن یک برنامه بهینه متحمل می‌شوند. درحالی‌که می‌توانند با برنامه‌ریزی دقیق و به‌موقع از هدررفت سرمایه جلوگیری کنند (Visser et al., 2009). برنامه‌ریزی نگهداری روسازی با مسائل متعددی مانند تعدد قطعات روسازی، انواع خرابی‌ها، شدت خرابی‌ها در طول دوره طرح برنامه و همچنین محدودیت‌های بودجه‌ای و منابع مواجه است. شناسایی عامل‌های مؤثر در نگهداری روسازی و بررسی زوال روسازی برای تهیه برنامه تعمیر و نگهداری روسازی جاده، به‌خصوص در بخش جاده‌های جنگلی بسیار پیچیده و مشکل است. به‌همین دلیل استفاده از یک تکنیک مناسب که توانایی پردازش این حجم اطلاعات را داشته باشد و بهترین راه حل را از این میان انتخاب کند، ضروریست (Mathew & Isaac, 2013).

از آنجایی‌که شرایط حاکم بر جاده‌های جنگلی (کوهستانی بودن، شیب بیشتر، سرعت طرح کمتر، نقش جابه‌جایی، نقش دسترسی و نقش اجتماعی) متفاوت از جاده‌های غیرجنگلی است، مدیریت تعمیر و نگهداری آنها

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای انجام پژوهش پیش‌رو، وضعیت روسازی حدود ۵۰ کیلومتر جاده از شبکه جاده‌های جنگلی حوزه غرب هراز (آمل) در ارتفاع ۱۰۰ تا ۸۰۰ متری از سطح دریا در نظر گرفته شد. پس از تعیین شبکه روسازی مورد نظر، برنامه تعمیر و نگهداری برای جاده‌ها تعریف شد. شبکه جاده مورد مطالعه در پنج سری آلشرد، زنگال‌دره، انگتارود، سنگ‌درکا و همسوا قرار دارد. در هر سری جاده‌ها از نظر سن، جنس،

نوع مصالح، تاریخچه ساخت جاده، درجه و نوع کاربری جاده، ساختار روسازی، تاریخچه تعمیر و نگهداری و بارگذاری ترافیکی به قطعات متعددی تقسیم شدند. همچنین طول دوره طرح برنامه ترمیم و نگهداری و واحد زمانی پنج‌ساله (که برنامه ترمیم و نگهداری هر سری در طول دوره طرح به تفکیک این واحد زمانی تعیین می‌شود)، مشخص شد. جدول ۱ مشخصات جاده‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات کلی جاده‌های جنگلی حوزه غرب هراز

سری	متوسط شیب (درجه)	متوسط درجه پیچ جاده	طول شانه (متر)	میزان متوسط بارندگی (میلی‌متر)	نوع مصالح	تاریخ آخرین مرمت (سال)	سن جاده (سال)	ضخامت روسازی (سانتی‌متر)	ترافیک متوسط روزانه (در یک سال)	ریزش (متر در کیلومتر)	عرض جاده (متر)
آلشرد	۹	۸۰	۰/۵	۸۰۰	رودخانه‌ای	۰/۶	۳۹	۱۵۰-۲۰۰	۸۴۸	۳۲	۵/۵
زنگال‌دره	۱۱	۷۰	۰/۶	۸۸۰	مخلوط	۱	۳۵	۱۲۰-۱۸۰	۵۹۶	۲۵	۵
سنگ‌درکا	۱۳	۱۰۰	۰/۶	۹۴۰	مخلوط	۲	۳۳	۱۲۰-۱۵۰	۷۳۳	۲۷	۵
انگتارود	۱۶	۱۸۰	۰	۹۷۰	رودخانه‌ای	۴	۳۰	۸۰-۱۰۰	۷۴۱	۵۲	۴
همسوا	۱۲	۸۰	۰/۳	۸۵۰	کوهی	۳	۳۷	۱۲۰-۱۲۰	۹۱۹	۴۱	۴/۵

استراتژی نگهداری

اولین گام برای برنامه‌ریزی نگهداری روسازی، تعیین هدف و استراتژی برنامه نگهداری است. این هدف می‌تواند کمینه کردن ارزش فعلی هزینه‌ها در طول دوره طرح، بیشینه کردن عملکرد روسازی در دوره طرح، کمینه کردن هزینه‌های استفاده‌کنندگان راه و یا ترکیبی از موارد مذکور باشد (Meneses & Ferreira, 2013). همچنین روش‌ها و گزینه‌های ترمیم و نگهداری برای اصلاح خرابی‌های مختلف، سقف بودجه و محدودیت‌هایی (از نظر نیروی انسانی، تجهیزات و مصالح) که سازمان‌های مسئول نگهداری راه با آن مواجه هستند، باید مشخص شود. کدگذاری پارامترهای مسأله

متغیرهای ورودی و شناخت قیدها و محدودیت‌های موجود است. پارامترهای خرابی، نوع خرابی‌ها و توابع زوال یا پیش‌بینی خرابی‌ها را شامل می‌شوند. توابع زوال میزان گسترش خرابی‌ها را با گذشت زمان یا بارگذاری ترافیکی نشان می‌دهند. از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر در زوال سطح روسازی می‌توان به عرض جاده، ریزش جاده به دره و ریزش از روی دامنه به جاده (متر در کیلومتر)، ترافیک متوسط روزانه، ضخامت روسازی، سن جاده، تاریخ آخرین مرمت، مشخصات لایه رویه و زمین، بارش، وضعیت شانه، درجه پیچ جاده (درجه در کیلومتر)، خصوصیات مصالح به‌کاررفته در هریک از مراحل اجرایی، وضعیت تاج‌پوشش، دیوها، وضعیت کانال کناری و لوله‌ها اشاره کرد. مهم‌ترین مرحله در برنامه‌نویسی الگوریتم ژنتیک،

اولین گام در اجرای تکنیک الگوریتم ژنتیک، تعیین

ماشین‌آلات در جاده‌هایی با ساختمان نامناسب اتفاق می‌افتد که این امر تا حد زیادی با نوع مصالح انتخاب شده در روسازی جاده ارتباط دارد (Hoover, 1981).

فعالیت‌های نگهداری که برای اصلاح دو نوع خرابی در نظر گرفته شد، عبارت بودند از: اضافه کردن لایه روسازی جدید برای اصلاح بیرون‌زدگی و ریختن مصالح برای اصلاح شیارشدگی مسیر چرخ و گزینه در نظر گرفته شده برای ترمیم، روکش بود. به این ترتیب پنج گزینه تعمیر و نگهداری برای روسازی هر سری در واحد زمان وجود داشت که شامل: الف) فعالیت‌های نگهداری کم‌هزینه، ب) اضافه کردن لایه روسازی در بخش بیرون‌زدگی، پ) ریختن مصالح برای اصلاح شیارشدگی، ت) ب و پ باهم و ث) اجرای روکش بودند.

روش کدگذاری، روش کدگذاری عدد صحیح بود، به این ترتیب که یک مجموعه از اعداد یک تا پنج انتخاب شدند که هر یک نشان‌دهنده یکی از پنج گزینه تعمیر و نگهداری بودند. با این روش هر سری در یک سال، یک بیت فضا را اشغال می‌کند و یک عدد صحیح بین یک تا پنج به آن اختصاص می‌یابد (Shahnazari et al., 2012)، به این ترتیب نحوه نمایش رشته جواب به صورت شکل ۱ خواهد بود.

		P_{k1}	P_{k2}	-	-	P_{km}			P_{11}	P_{12}	-	-	P_{1m}
--	--	----------	----------	---	---	----------	--	--	----------	----------	---	---	----------

نمایش قطعه kام روسازی از سال ۱ تا m

نمایش قطعه ۱ام روسازی از سال ۱ تا m

شکل ۱- کدگذاری رشته‌ها به روش عدد صحیح

شدند. پس از تعیین سیستم کدگذاری و مشخص شدن روش تبدیل هر جواب به کروموزوم، باید جمعیت اولیه‌ای از کروموزوم‌ها تولید شود. جمعیت اولیه در این جا به صورت تصادفی تولید می‌شود. اندازه جمعیت اولیه به طور معمول به اندازه رشته گذشته وابسته است (Mathew & Isaac, 2013). در صورتی که تعداد اعضای جمعیت بسیار زیاد باشد، اگرچه وضعیت جستجو ممکن است به صورت بهتری نمایش داده شود و انتخاب رشته امکان‌پذیرتر شود، اما منجر به افزایش نیازمندی‌های حافظه‌های کامپیوتر و زمان اجرای

انتخاب شیوه مناسب کدگذاری پارامترهای مسأله (حل‌ها) است، به طوری که ابتدا هماهنگی مناسبی با ماهیت مسأله مورد نظر داشته باشد، همچنین تا آنجا که ممکن است طول رشته ژنوتیپ‌ها را کوتاه کند و نیز امکان وجود جواب‌های اشتباه و بیت‌های خالی را کاهش دهد (Mathew & Isaac, 2013).

در پژوهش پیش‌رو، دو نوع خرابی بیرون‌زدگی و شیارشدگی به عنوان ارزیابی زوال روسازی و کارایی آن در این برنامه در نظر گرفته شد. در بررسی زوال روسازی جاده‌های جنگلی، چاله نیز مشاهده شد که به دلیل عملکرد مشابه آن با شیارشدگی، باهم در نظر گرفته شد. بدون شیب بودن یا مقعر بودن سطح مقطع عرضی جاده باعث جمع شدن آب در سطح می‌شود. در این حالت، حرکت هم‌زمان وسایل نقلیه و جریان آب، باعث ایجاد حفره و چاله در سطح راه می‌شود (Hoover, 1981). اهمیت این مسأله به طور خاص در شیب و فرازها مطرح می‌شود که در آن حرکت آب‌های سطحی در طول جاده باعث ایجاد شیارهای فرسایشی می‌شود. همچنین وجود رد شیار لاستیک ماشین‌آلات حمل و نقل، به دلیل ناکافی بودن استحکام جاده است (McGarragh & Hudson, 1974). موج‌دار شدن سطح جاده یا وجود بیرون‌زدگی ناشی از تردد زیاد

اگر عملیات (الف) انجام شود، P_{ij} برابر با یک می‌شود، در صورتی که عملیات مربوط به بیرون‌زدگی انجام شود، مقدار آن دو می‌شود، به همین ترتیب در عملیات مربوط به شیارشدگی برابر با سه، در عملیات شیارشدگی و بیرون‌زدگی برابر با چهار و در عملیات روکش مقدار آن برابر با پنج می‌شود ($j=1,2,\dots,m$ و $i=1,2,\dots,k$).

تشکیل جمعیت اولیه

گزینه‌های تعمیر و نگهداری مجاز طبق جدول ۲ تعریف

برای رسیدن به حل بهینه در این جمعیت موفقیت آمیز نباشد یا مستلزم صرف زمان زیادی باشد (Ferreira & Santos, 2013).

برنامه می‌شود. اگر تعداد اعضای جمعیت نیز کوچک تر از حد مشخصی باشد، جمعیت مورد نظر فقط قسمت کوچکی از فضای جستجو را نشان می‌دهد و ممکن است جستجو

جدول ۲- گزینه‌های مجاز ترمیم و نگهداری در پنج سری (Ferreira & Santos, 2013)

تعمیرات لازم	گزینه‌های مجاز ترمیم و نگهداری				
	۱ ^a	۲ ^b	۳ ^c	۴ ^d	۵ ^e
۱	*	*	*	*	*
۲	-	*	-	-	-
۳	-	*	*	-	*
۴	-	*	-	*	*
۵	-	*	-	-	*

* گزینه‌های مجاز برای تعمیرات لازم، a=هیچ نوع فعالیت، b=روکش، c=عملیات مربوط به بیرون‌زدگی، d=عملیات مربوط به شیارشدگی، e=c و d

محاسبه برازندگی

به‌طور طبیعی به‌دنبال بیشینه تابع است، باید مسائل کمینه‌سازی به بیشینه‌سازی تبدیل شود. چندین روش برای تبدیل تابع هدف برازندگی وجود دارد. ساده‌ترین حالت مساوی قرار دادن تابع برازندگی با تابع هدف است. این روش در مسائلی که تابع هدف بایستی بیشینه شود، مناسب است (Mathew & Isaac, 2013) و در پژوهش پیش‌رو مورد استفاده قرار گرفت. برنامه ترمیم و نگهداری

هدف، شناسایی سطح اخطار روسازی و ارایه یک برنامه ترمیم و نگهداری برای شبکه روسازی مذکور در طول یک دوره طرح پنج‌ساله و بر مبنای برنامه‌ریزی یک‌ساله است. پارامترهای خرابی‌ها شامل حدود نهایی و هشدار مربوط به هر خرابی و توابع زوال (این توابع توسط مدل رگرسیونی برآورد شده‌اند) یا پیش‌بینی آنها از مهم‌ترین پارامترهای برنامه‌ریزی شبکه هستند (جدول ۳). هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری روسازی با توجه به قیمت‌های موجود در فهرست سال ۱۳۹۳ در نظر گرفته شدند و در بررسی مدیریت روسازی جاده وارد شدند (جدول ۳).

برنامه پس از تولید حل‌های اولیه (به‌صورت تصادفی)، تابع هدف را فرامی‌خواند و توسط آن مقادیر تابع هدف را محاسبه می‌کند. ابتدا حل‌های تولیدشده بررسی می‌شوند تا مقدار انتخاب‌شده برای هر بیت با سطح هشدار مربوط به هر خرابی، تعمیر و نگهداری لازم و جدول ۲ هم‌خوانی داشته باشد. در صورت مغایرت، مقدار بیت مورد نظر با توجه به مقدار سطح هشدار خرابی (مربوط به هزینه نگهداری) و استراتژی تعیین‌شده در جدول ۲ اصلاح می‌شود. تابع برازندگی از اعمال تبدیل مناسب بر تابع هدف یعنی تابعی که قرار است بهینه شود، به دست می‌آید. این تابع هر رشته را با یک مقدار عددی ارزیابی می‌کند که کیفیت آن را مشخص می‌کند. هرچه کیفیت رشته جواب بیشتر باشد، مقدار برازندگی جواب بیشتر است و احتمال مشارکت برای تولید نسل بعدی نیز افزایش خواهد یافت (Shahnazari et al., 2012). بسته به این‌که مسأله مورد نظر بیشینه‌سازی یا کمینه‌سازی باشد، برازندگی بیشتر مترادف با بیشینه یا کمینه بودن تابع هدف خواهد بود. از آنجایی‌که الگوریتم ژنتیک

جدول ۳- پارامترهای برنامه‌ریزی و قیمت عملیات تعمیر و نگهداری روسازی

مقادیر	پارامتر	
توابع زوال		
$Pr = 0.3 * [(11.5 * w) + (f1 * P) - (f2 * ADT)]$	بیرون‌زدگی	
$Ru = 0.6 * [(12.2 * w) + (f1 * P) - (f2 * ADT)]$	شیارشده‌گی	
حد نهایی زوال		
ارتفاع ۵ سانتی‌متر	بیرون‌زدگی	
عمق ۱۰ سانتی‌متر	شیارشده‌گی	
قیمت واحد هر یک از عملیات تعمیر و نگهداری		
نوع عملیات	میزان خرابی	قیمت واحد (ریال در کیلومتر)
عملیات مربوط به بیرون‌زدگی	$Pr \geq 5 \text{ cm}$	۵۴۸۷۰۴۶
عملیات مربوط به شیارشده‌گی	$Ru \geq 10 \text{ cm}$	۵۲۵۳۲۶۵
روکش (مرمت)	$Pr, Ru > 15 \text{ cm}$	۸۰۴۰۰۰۰

w = عرض جاده، P = بارش، ADT = متوسط ترافیک روزانه، $f1$ و $f2$ ضرایب

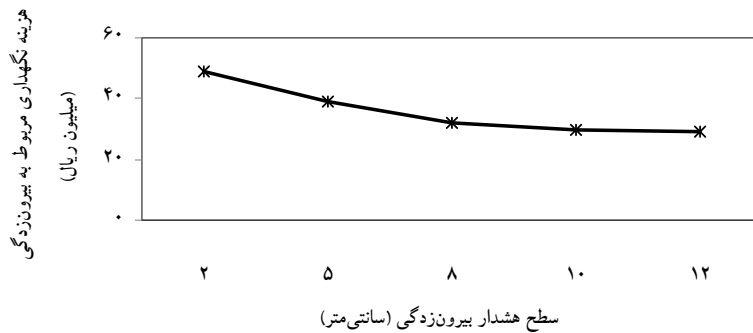
نگهداری نیز جزء این پارامترها محسوب می‌شود که باید محاسبه و مشخص شود. مقادیر سطح هشدار بیرون‌زدگی به ترتیب برابر دو، پنج، هشت، ۱۰ و ۱۲ در نظر گرفته شدند و هزینه‌های نگهداری روسازی در دوره طرح تخمین زده شد (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش سطح هشدار بیرون‌زدگی، هزینه نگهداری کاهش یافته است که این کاهش از سطح هشدار هشت سانتی‌متر شتاب بیشتر و بعد از سطح هشدار هشت سانتی‌متر سیر نزولی یافته است، اما با توجه به این‌که بیرون‌زدگی در جاده‌های جنگلی و روستایی یک عامل مؤثر در استفاده راحت‌تر کاربران از جاده است (فاکتور راحتی سرنشین)، این عدد برای بیرون‌زدگی پنج بیان شده است، بنابراین عدد پنج حد مناسبی از نظر اقتصادی و فنی برای سطح هشدار خرابی بیرون‌زدگی به نظر می‌رسد. در صورتی که مقدار بیرون‌زدگی سطح روسازی از این حد فراتر رود، انجام عملیات نگهداری ضروری است.

هزینه‌های عملیات تعمیر و نگهداری (جدول ۳) با توجه به میزان خرابی و سطح هشدار پنج سانتی‌متر برای بیرون‌زدگی و ۱۰ سانتی‌متر برای شیارشده‌گی در نظر گرفته شد. همچنین در صورتی که میزان خرابی بیشتر از ۱۵ سانتی‌متر باشد، جاده نیاز به مرمت دارد. در واقع وقتی میزان خرابی کمتر از سطح هشدار باشد، هزینه‌های عملیات تعمیر و نگهداری مقرون به صرفه نیست.

نتایج

سطح هشدار زوال روسازی

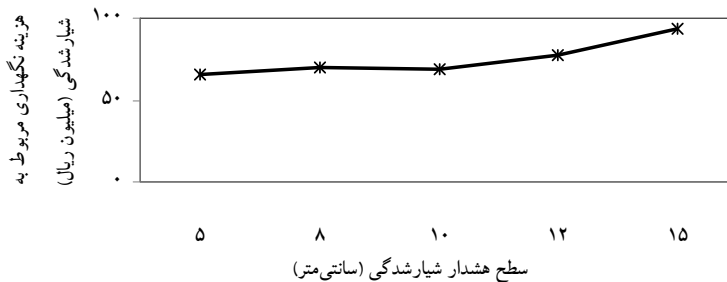
برای بررسی زوال روسازی، سطح هشدار خرابی بیرون‌زدگی برابر پنج سانتی‌متر و برای شیارشده‌گی ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. سطوح هشدار و نهایی برای هر یک از انواع خرابی‌ها تعریف شد. سطوح هشدار با توجه به حداقل تعیین شده برای وضعیت روسازی و این‌که وضعیت روسازی همواره باید در سطحی بالاتر از آن قرار گیرد، تعیین شدند. هزینه به‌کارگیری هر یک از فعالیت‌های ترمیم و



شکل ۲- تغییرات هزینه‌های نگهداری در سطوح هشدار بیرون زدگی در پنج سری

۱۰ سانتی‌متر سیر صعودی (شتاب بیشتر) داشت، بنابراین عدد ۱۰ در این پژوهش نیز حد مناسبی از نظر اقتصادی و فنی برای سطح هشدار خرابی بیرون زدگی به نظر می‌رسد. در صورتی که مقدار بیرون زدگی سطح روسازی از این حد فراتر رود، انجام عملیات نگهداری ضروری است (Elhadidy *et al.*, 2015).

مقادیر سطح هشدار شیارشدهگی به ترتیب برابر دو، پنج، هشت، ۱۰ و ۱۲ بود و هزینه‌های نگهداری روسازی در دوره طرح همانند بیرون زدگی تخمین زده شد (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، با افزایش سطح هشدار، هزینه نگهداری افزایش یافت که این افزایش قبل از سطح هشدار ۱۰ سانتی‌متر شتاب کمتر و بعد از سطح هشدار



شکل ۳- تغییرات هزینه‌های نگهداری در سطوح هشدار بیرون زدگی در پنج سری

نوع انجام فعالیت‌های ترمیم و نگهداری روسازی به منظور تعیین بودجه مورد نیاز با هدف کمینه کردن ارزش فعلی هزینه‌ها در طول دوره طرح بود. برنامه‌ریزی برای جاده‌های موجود (درجه دو) در پنج سری مختلف و طی یک دوره پنج‌ساله توسط الگوریتم ژنتیک، با مشخصات P_m (احتمال جهش) برابر با ۰/۱، P_0 (احتمال تقاطع) برابر با ۰/۸، ۲۵۰ نسل و با جمعیت ۲۰ نفر اجرا شد. در جدول ۳ مشخصات سری‌ها و عملیات ترمیم و نگهداری مورد نظر برای هر سری ارائه شده است.

همان‌طور که ذکر شد، با تغییرات سطح هشدار زوال بیرون زدگی و شیارشدهگی، بهترین سطح هشدار به ترتیب برابر پنج و ۱۰ سانتی‌متر برای این دو خرابی در نظر گرفته شد. در چنین شرایطی رایج تصمیم در مورد انتخاب عملیات مناسب ترمیم و نگهداری، به نظر مدیران جنگل، بهره‌برداران و همچنین محدودیت‌های بودجه‌ای و اجرای سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور وابسته است.

برنامه‌ریزی روسازی جاده جنگلی

یکی از اهداف پژوهش پیش‌رو تعیین برنامه‌ریزی ترمیم و نگهداری روسازی جاده‌های جنگلی، یعنی تعیین زمان و

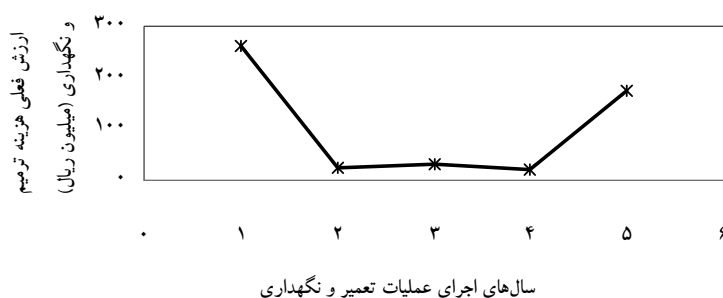
جدول ۳- برنامه‌ریزی پنج‌ساله روسازی سری‌ها با هدف کم شدن هزینه‌ها

جاده‌های موجود (سری‌های مورد نظر در برنامه تعمیر و نگهداری روسازی)						
سال	۱	۲	۳	۴	۵	هزینه ریال (ارزش فعلی)
۱	e	b	b	b	e	۲۶۱۴۴۷۴۶۳
۲	c	c	d	c	d	۲۵۱۱۷۹۲۹
۳	d	d	e	c	c	۳۰۳۷۱۱۹۵
۴	a	c	c	d	c	۱۹۸۶۴۶۶۳
۵	b	d	c	c	b	۱۷۵۷۹۴۱۹۷

سری یک: آلتروود دارای ۵۹ قطعه به طول ۱۴ کیلومتر، سری دو: زنگال‌دره دارای ۵۷ قطعه به طول ۱۲ کیلومتر، سری سه: سنگ‌درکا دارای ۲۶ قطعه به طول هشت کیلومتر، سری چهار: انگتارود دارای ۴۰ قطعه به طول ۱۱ کیلومتر، سری پنج: همسوا دارای ۱۹ قطعه به طول چهار کیلومتر

فعالیت‌های ترمیم و نگهداری، هزینه‌ها حداقل ۲۵ و حداکثر ۷۳ درصد در طول دوره طرح برنامه، نسبت به سال اول کاهش یافته‌اند. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت انجام فعالیت‌های مستمر تعمیر و نگهداری در سطح شبکه روسازی جاده است. در طی این برنامه‌ریزی پنج‌ساله، لازم است عملیات مربوط به روکش پنج مرتبه، عملیات مربوط به شیارشدگی شش مرتبه، عملیات مربوط به بیرون‌زدگی ۱۰ مرتبه و عملیات دوگانه بیرون‌زدگی و شیارشدگی سه مرتبه براساس برنامه انجام شود. همچنین در سال چهارم به دلیل وضعیت مناسب سری یک، لازم نیست که در این سری عملیاتی انجام شود.

شکل ۴ هزینه فعلی عملیات ترمیم و نگهداری جاده را برای دوره طرح در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین هزینه مربوط به سال اول طرح است. این موضوع به این دلیل است که مدیران جنگل، عملیات تعمیر و نگهداری روسازی را تا شروع برنامه نگهداری به‌خوبی انجام ندادند. همچنین از آنجایی‌که در دو سری یک و پنج، شرکت‌های بهره‌بردار در سال آخر به تعهدات خود عمل نکرده‌اند، دوباره هزینه‌ها افزایش یافته‌اند. مقایسه هزینه‌های سال اول برنامه که در آن عملیات ترمیم و نگهداری پس از چند سال وقفه انجام شده است، نشان می‌دهد که با برنامه‌ریزی و انجام منظم



شکل ۴- ارزش فعلی هزینه‌های مربوط به اجرای عملیات تعمیر و نگهداری دوره پنج‌ساله در پنج سری

بحث

ترمیم و نگهداری روسازی جاده‌های جنگلی، الگوریتم ژنتیک، ابزاری توانا در برنامه‌ریزی ترمیم و نگهداری روسازی محسوب می‌شود (Shahnazari et al., 2012;)

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در شناسایی سطح مخاطار زوال روسازی و همچنین برنامه‌ارایه‌شده به‌منظور عملیات

References

- Adlinge, S. and Gupta, A., 2013. Pavement deterioration and its causes. *International Journal of Innovative Research and Development*, 2(4): 9-15.
- Elhadidy, A.A., Elbeltagi, E.E. and Ammar, M.A., 2015. Optimum analysis of pavement maintenance using multi-objective genetic algorithms. *Housing and Building National Research Center Journal*, 11(1): 107-113.
- Ferreira, A. and Santos, J., 2013. Life-cycle cost analysis system for pavement management at project level: Sensitivity analysis to the discount rate. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(7): 655-673.
- Fuentes, A., 2015. An analysis of sensitivity in economic forecasting for pavement management systems. M.Sc. thesis, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Utah State University, Logan, Utah, 144p.
- Grigolato, S., Pellegrini, M. and Cavalli, R., 2013. Temporal analysis of the traffic loads on forest road networks. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 6(4): 255-261.
- Hoover, J., 1981. Mission-Oriented Dust Control and Surface Improvement Processes for Unpaved Roads. Final Report, Published by Department of Civil Engineering, Engineering Research Institute, Iowa State University, Ames, 221p.
- Mathew, B.S. and Isaac, K.P., 2013. Optimisation of maintenance strategy for rural road network using genetic algorithm. *International Journal of Pavement Engineering*, 15(4): 352-360.
- McGarragh, T.G. and Hudson, W.R., 1974. A Pavement Design and Management System for Forest Service Road: A Conceptual Study. Published by Council for Advanced Transportation Studies, University of Texas, Austin, 117p.
- Meneses, S. and Ferreira, A., 2013. Pavement maintenance programming considering two objectives: Maintenance costs and user costs. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(2): 206-221.
- Santos, J. and Ferreira, A., 2013. Life-cycle cost analysis system for pavement management at project level. *International Journal of Pavement Engineering*, 14(1): 71-84.
- Shahnazari, H., Tutunchian, M.A., Mashayekhi, M. and Amini, A.A., 2012. Application of soft

Ferreira & Santos, 2013; Mathew & Isaac, 2013; Santos & Ferreira, 2013; Elhadidy *et al.*, 2015).
 روسازی جاده‌ها، به‌عنوان سرمایه‌های عظیم در مدیریت جنگل محسوب می‌شوند و هر ساله بودجه زیادی را به‌خود اختصاص می‌دهند که صرف ترمیم و نگهداری آنها می‌شود. در نتیجه با اجرای الگوریتم پیشنهادی می‌توان میلیاردها ریال هزینه‌های سالانه را کاهش داد و جاده را در شرایط مطلوب حفظ کرد.

در پژوهش پیش‌رو تخصیص منابع و مدیریت نگهداری جاده‌های جنگلی به‌عنوان یک بخش مهم، با استفاده از الگوریتم ژنتیک در پنج سری از جنگل‌های غرب هراز بررسی شد. نتایج نشان داد که الگوریتم ژنتیک ابزار مناسبی در تعیین و پیشنهاد برنامه ترمیم و نگهداری روسازی جاده‌های جنگلی محسوب می‌شود که توانایی حل مسائل پیچیده و پرمغیر مدیریت روسازی را دارد و می‌تواند با استفاده از عامل‌هایی مانند تابع زوال و هزینه به بررسی سطح هشدار روسازی جاده‌های جنگلی بپردازد. همچنین با توجه به بودجه موجود، دوره طرح و نظرات کارشناسان سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور و کارشناسان شرکت‌های بهره‌بردار، می‌توان برنامه ترمیم و نگهداری جاده را تنظیم کرد. در نتیجه با استفاده از این الگوریتم از یک سو می‌توان به ارایه برنامه بهینه ترمیم و نگهداری روسازی جاده‌های جنگلی رسید و از سوی دیگر می‌توان با افزایش کیفیت جاده در طول سال، رضایت کاربران جاده و بهره‌برداران را فراهم کرد. در پایان باید گفت که الگوریتم ارایه‌شده می‌تواند به‌عنوان یک سیستم مدیریت روسازی جاده‌های جنگلی در کشور به‌کار رود و در مدیریت جاده‌های جنگلی استفاده شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مدیریت شرکت چوب و کاغذ مازندران و به‌ویژه مدیریت حوزه غرب هراز (آمل) قدردانی می‌شود که انجام این پژوهش بدون همکاری آنها میسر نبود.

- 35.
- Visser, R., McGregor, R. and Fairbrother, S., 2009. Forest road pavement design in New Zealand. Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the Council on Forest Engineering (COFE 09). USA, 15 June 2009: 15-18.
 - Talebi, M., Majnounian, B., Abdi, E. and Tehrani, F.B., 2015. Developing a GIS database for forest road management in Arasbaran forest, Iran. Forest Science and Technology, 11(1): 27- computing for prediction of pavement condition index. Journal of Transportation Engineering, 138: 1495-1506.

Detecting the warning level of forest roads pavement using the genetic algorithm

M.J. Heidari¹, A. Najafi^{2*} and S.J. Alavi³

1- M.Sc. Student Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

2* - Associate Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. Email: a.najafi@modares.ac.ir

3- Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 01.11.2015

Accepted: 05.02.2016

Abstract

Assessment of forest road pavement condition and its optimal cost management is backbone of a forest road network. In addition, an optimum budget allocation is a challenge during road life cycle. The precise assessment requires special equipment that is often neglected due to its absence or the associated high expenses. Therefore, it is recommended to use techniques that can provide cheap and fast linear and nonlinear modeling of pavement deterioration. The aim of this study was to investigate the performance of Genetic Algorithm (GA) to detect the warning level of forest road pavement as well as to plan the pavement maintenance. The GA was evaluated to identify the warning level of pavement and provide a plan for the maintenance of the road network over a period of five years based on annual plans across a test site of 5 series located 50 km west of Haraz forest road network. The results showed the optimum protrusions warning level for five centimeters damage and rutting 10 cm. Moreover, it was shown that an optimum planning combined with regular repair and maintenance work enables reducing the associated costs from 25 to 73 percent during the first years. It showed the importance of regular maintenance activities at the network level of pavement and application of novel techniques to allocate budgets for pavement maintenance.

Keywords: Deterioration, optimization algorithm, protrusion, repair and maintenance, rutting.