

## ارایه یک برنامه مدیریت روسازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک\*

فریدون مقدس‌نژاد، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران  
آزاده منتظری پور، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران

E-mail:moghadas@aut.ac.ir

### چکیده

در این مقاله برنامه رایانه‌ای مدیریت روسازی که براساس الگوریتم ژنتیک نوشته شده معرفی شده است. این برنامه می‌تواند به عنوان یک روش تحلیل کمکی مورد استفاده مهندسين روسازی قرار گیرد. مثال‌هایی برای نشان دادن کاربرد برنامه در انتخاب سطوح اخطار نگهداری ارایه شده و در انتها به منظور نشان دادن نتایج حاصل از برنامه، برنامه‌هایی برای نگهداری و بهسازی روسازی براساس دو تابع هدف که شامل کمینه کردن ارزش فعلی هزینه‌های تعمیر و نگهداری و بیشینه کردن شاخص وضعیت شبکه است ارایه شده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، مدیریت روسازی، سطح اخطار، نگهداری، بهسازی، تابع هدف.

### 1. مقدمه

استراتژی ترمیم و نگهداری راهها باید بایکدیگر مقایسه شوند تا سبک سنگین کردن بین آنها منجر به بهینه شدن انتخابها شود. در خلال دو دهه اخیر انواع گوناگونی از تکنیکهای بهینه سازی در برنامه‌ریزی PMS استفاده شده‌اند. این تکنیکها برنامه‌ریزی خطی، غیرخطی، برنامه‌ریزی عدد صحیح و برنامه‌ریزی پویا را در بر می‌گیرند. این روشها به مشکل بودن در فرمول‌بندی و مدلسازی مسائل، محاسبات زمان بر، همچنین اطمینان نداشتن از کیفیت حلهای محاسبه شده مشهور شده‌اند. در سالهای اخیر تحقیقاتی بر روی الگوریتمهای تکاملی که می‌توانند برای انجام بهینه سازی برنامه‌های ترمیم و نگهداری روسازی مفید باشند انجام شده است. یکی از این الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم ژنتیک است. در این مقاله ضمن بیان چستی و اصول الگوریتم ژنتیک کاربرد این تکنیک در بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ترمیم و

شبکه‌های روسازی سرمایه‌های با ارزشی برای هر کشورند و باید به‌گونه‌ای اداره شوند که در زمانی نسبتاً طولانی در سطح مناسبی باقی‌مانند. زوال زیرساختها، افزایش ترافیک و محدودیتهای بودجه‌ای، تصمیم‌گیران سازمانهای بزرگراهها را بیش از پیش به استفاده بهینه از منابع موجود برای نگهداری و حفظ این سرمایه مصر کرده است. سیستم مدیریت روسازی، روشی نظام‌مند است که به کمک ارزیابی دقیق وضعیت موجود روسازی و پیش‌بینی وضعیت آن در آینده امکان انتخاب اقتصادی‌ترین استراتژی ترمیم و نگهداری را فراهم می‌آورد. ترمیم و نگهداری روسازی‌ها بخش بزرگی از مخارج عمومی حمل و نقل به شمار می‌آیند که هزینه عملکردی وسیله نقلیه برای استفاده‌کنندگان نیز به این مخارج اضافه می‌شود. برای کمینه کردن این قبیل هزینه‌ها در شبکه راهها، گزینه‌های مختلف

A1	A2	A3	A4	A5
----	----	----	----	----

ژنوتیپ A

B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
----	----	----	----	----	----	----	----

ژنوتیپ B

که ژنوتیپ A به وسیله 5 بیت و ژنوتیپ B در 8 بیت کد گذاری شده است. تفاوت طول متغیرها احتمالاً به سطح دقت یا دامنه متغیرهای تصمیم گیری ژنوتیپ باز می‌گردد. بررسی این رشته‌ها به تنهایی هیچ اطلاعاتی در مورد حل مسئله مورد نظر به دست نمی‌دهد فقط کدگشایی ژنوتیپ (کروموزم) است که به شکل نمایشی معنی می‌دهد [2].

مقدار کدگشایی شده کروموزم در قلمرو متغیر تصمیم گیری، امکان تعیین عملکرد یا تطبیق اشخاص عضو جمعیت را فراهم می‌آورد. این عمل توسط تابع هدف که خصوصیات عملکرد شخص را در قلمرو مسئله تعریف می‌کند انجام می‌شود. در جهان طبیعی این امر توانایی شخص برای بقا در محیط موجود است. بنابراین تابع هدف پایه‌ای برای انتخاب جفت‌هایی است که در زمان تولید مثل با یکدیگر ترکیب می‌شوند. در خلال فاز تولید مثل، به هر شخص عدد تطبیقی (Fitness) براساس عدد خام عملکرد تعیین شده بر اساس تابع هدف تعلق می‌گیرد. این عدد برای جهت دادن فرآیند انتخاب به سمت اشخاص مناسب‌تر استفاده می‌شود. اشخاص با میزان تطبیق زیاد نسبت به کل جمعیت، احتمال بیشتری برای انتخاب شدن و جفت‌گیری دارند و در مقابل اشخاص با تطبیق کمتر احتمال انتخاب کمتری دارند.

پس از تعیین مقدار تطبیق اشخاص، می‌توان آنها را با احتمالی متناظر با تطبیق نسبی شان انتخاب کرد و برای تولید نسل بعد ترکیب کرد. عملگرهای ژنتیک مستقیماً خصوصیات بیت‌های رشته‌ها را دست‌کاری می‌کنند. عملگرهای بازترکیبی برای تغییر اطلاعات ژنتیک بین جفت‌ها یا گروه‌های بزرگ‌تر اشخاص استفاده می‌شوند. ساده‌ترین عملگر بازترکیبی عملگر جابه‌جایی تک‌نقطه‌ای است. عملگر جابه‌جایی لازم نیست که روی همه افراد جمعیت اعمال شود، بلکه با احتمال  $P_x$  بر روی دو جفت انتخاب شده اعمال خواهد شد. در این عملگر محل  $i$  به‌طور تصادفی از دامنه  $\{1, I_x-1\}$ ، طول رشته ژنوتیپ، انتخاب می‌شود.

نگهداری روسازی در سطح شبکه تشریح شده است که در ادامه خواهد آمد.

## 2. الگوریتم ژنتیک چیست؟

الگوریتم ژنتیک یک روش جستجوی اتفاقی بر اساس ساز و کار انتخاب طبیعی و ژنتیک طبیعی است. الگوریتم‌های ژنتیک، اصل بقای بهترین را بر روی جمعیتی از راه‌حل‌های ممکن یک مسئله، برای تولید راه‌حل‌های بیشتر و بهتر اعمال می‌کنند. در هر تولید نسل، یک گروه حل‌های جدید توسط فرآیند انتخاب اشخاص براساس سطح تطبیق آن در قلمرو مسئله و ترکیب آنها با یکدیگر توسط عملگرهای ژنتیک (نشأت گرفته از ژنتیک طبیعی) ایجاد می‌شود. این فرآیند به تکامل اشخاص جمعیت که تطبیق بهتری با محیط دارند منجر می‌شود. الگوریتم ژنتیک یک رویکرد معتبر برای مسائلی است که به جستجوی کافی و سودمند نیاز دارند. الگوریتم‌های ژنتیک دامنه کاربرد وسیعی در تجارت، علوم و مهندسی پیدا کرده‌اند. دلیل افزایش کاربرد این الگوریتم محاسبات ساده و درعین حال قدرت جستجو برای یافتن بهترین است. افزون بر آنها محدودیت‌های بنیادی ایجاد شده توسط فرض‌های محدودکننده فضای جستجو را ندارند [1].

## 3. نظریه الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک به جای اینکه بر روی پارامترهای مسئله کار کند، با شکل کدگذاری شده آنها سرو کار دارد. رشته یا دنباله‌ای از بیت‌ها که شکل کدگذاری شده جواب ممکن (مناسب یا نامناسب) مسئله مورد نظر است را اصطلاحاً ژنوتیپ (کروموزم) می‌نامند در حقیقت بیت‌های کروموزم نقش ژن‌ها را در طبیعت بازی می‌کنند. مقدار هر بیت، متغیری گسسته است که از یک مجموعه  $n$  عضوی انتخاب می‌شود. هر ژنوتیپ به صورت منحصر به فرد در قلمرو متغیر تصمیم‌گیری (Phenotypi) طرح می‌شود. عمومی‌ترین نحوه رایج رشته‌ها در الگوریتم ژنتیک استفاده از الفبای دودویی  $\{0, 1\}$  است، اگرچه سایر الگوهای نمایش مانند عدد صحیح و مقدار حقیقی نیز می‌توانند استفاده شوند. برای مثال طرح ساختار کروموزم مسئله‌ای با دو متغیر می‌تواند به صورت بالا باشد.

دو شخص جدید با جابه‌جایی اطلاعات موقعیت  $i+1$  تا  $L$  بین دو ژنوتیپ والدین ایجاد می‌شوند. عملگر بعدی، عملگر جهش است که با احتمال  $P_m$  بر روی رشته‌ها کار می‌کند. جهش سبب می‌شود نمایش ژنتیک اشخاص مطابق با برخی احتمالات تغییر کند. عملگر جهش تنها بر روی یک ژنوتیپ عمل می‌کند و مقدار یک یا چند ژن از ژنوتیپ را تغییر می‌دهد. در الگوریتم‌های ژنتیک جهش با احتمال بسیار پایین در حدود  $0/001$  و  $0/1$  اعمال می‌شود. در الگوریتم ژنتیک جهش عموماً یک عملگر پس زمینه‌ای در نظر گرفته می‌شود و نقش آن به عنوان ضامنی است که احتمال جستجوی رشته‌های جدید هرگز صفر نشود. پس از باز ترکیب و جهش، در صورت لزوم رشته‌های اشخاص جمعیت (ژنوتیپ‌ها) کدگشایی شده، تابع هدف ارزیابی می‌شود و مقدار تطبیق هر شخص تعیین می‌شود و اشخاص با توجه به مقدار تطبیق‌شان برای جفت‌گیری انتخاب می‌شوند و فرآیند به همین ترتیب تا تولید نسل بعد ادامه می‌یابد.

در این روش انتظار می‌رود که مقدار میانگین عملکرد اشخاص در جمعیت جدید افزایش یابد و همچنین که اشخاص خوب حفظ و با یکدیگر ترکیب می‌شوند، اشخاص نامناسب حذف شوند. الگوریتم ژنتیک هنگامی که برخی ضوابط توقف تعیین شده همانند تعداد معینی تولید نسل و یا میانگین انحراف معیار عملکرد اشخاص جمعیت تأمین شود، به پایان می‌رسد. شکل 1 فلوجارت فرآیند حل مسئله را در الگوریتم ژنتیک به طور خلاصه نشان می‌دهد [3].

#### 4. برنامه رایانه‌ای

با توجه به توانایی الگوریتم ژنتیک به عنوان یک ابزار بهینه‌سازی، این روش می‌تواند بر پیچیدگی‌های مسائل برنامه‌ریزی مدیریت روسازی در سطح شبکه غلبه کند. سازمان‌های مسئول نگهداری روسازی مایلند برنامه نگهداری داشته باشند که بتواند بهترین راه را برای رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده شبکه پیشنهاد دهند. برنامه نگهداری و ترمیم روسازی در سطح شبکه باید موارد زیر را در برگیرد.

1- زمان و نوع انجام فعالیت ترمیم و نگهداری برای هر یک از قطعات در طول دوره برنامه‌ریزی

2- بودجه اختصاص یافته به هر قطعه در هر سال

3- منابع لازم برای هر سال برنامه

در برنامه ریزی نگهداری روسازی به مسائل متعددی مانند تعداد قطعات روسازی، انواع خرابیها، سطوح گوناگون شدت برای خرابیها در طول دوره طرح برنامه و همچنین محدودیتهای بودجه‌ای و منابع مواجهه است. این مسائل سبب پیچیدگی برنامه‌ریزی بهینه برای نگهداری و ترمیم روسازی می‌شوند. این مسئله را می‌توان با یک مثال ساده عنوان کرد. شبکه روسازی را در نظر بگیرید که از 15 قطعه روسازی تشکیل شده است و استراتژی ترمیم و نگهداری در نظر گرفته شده برای شبکه شامل 1- پرکردن ترکها برای اصلاح ترکهای طولی و عرضی، 2- ریختن آسفالت رگلاژی برای اصلاح شیار شدگی و 3- انجام روکش است. این استراتژی امکان بکارگیری 5 گزینه ترمیم و نگهداری را برای هر قطعه روسازی ایجاد می‌کند (این 5 گزینه شامل سه عملیات یاد شده و انجام همزمان فعالیت پرکردن ترکها و ریختن آسفالت رگلاژی و انجام نشدن هیچ فعالیتی می‌شود).

بنابراین تعداد حالت‌های ممکن برنامه ریزی برای این شبکه روسازی در طول 10 سال دوره طرح برنامه برابر  $10^{15}$  یا  $10^{14} \times 7$  استراتژی ترمیم و نگهداری است. در اینجاست که لزوم وجود یک تکنیک مناسب که توانایی پردازش این حجم اطلاعات را داشته باشد و بهترین راه حل را از این میان انتخاب کند آشکار خواهد شد [4]. الگوریتم ژنتیک به عنوان یک ابزار جستجوگر و بهینه‌ساز قوی در این زمینه می‌تواند بسیار مفید باشد. در ادامه اصولی که بر اساس آن برنامه کامپیوتری ارایه شده در این تحقیق به منظور بهینه سازی برنامه ترمیم و نگهداری شبکه روسازی نوشته شده است، توضیح داده می‌شود.

#### 4-1 تعیین استراتژی نگهداری

اولین گام برای برنامه ریزی نگهداری روسازی، تعیین هدف و استراتژی برنامه نگهداری توسط سازمان مسئول است، یعنی ابتدا باید مشخص کرد که برنامه چه هدفی را دنبال می‌کند. این هدف می‌تواند کمینه کردن ارزش فعلی هزینه‌ها در طول دوره طرح، بیشینه کردن عملکرد روسازی در دوره طرح، کمینه کردن هزینه‌های استفاده کنندگان از راه، و یا ترکیبی از موارد بالا باشد.

6 - پارامترهای ترافیک:

این پارامترها باید اطلاعات لازم را برای بارگذاری ترافیکی در طول دوره طرح برنامه در برگیرند.

4-2 کد گذاری پارامترهای مسئله

یکی از اولین و اصلی ترین قدمها در برنامه نویسی الگوریتم ژنتیک انتخاب شیوه مناسب کدگذاری پارامترهای مسئله (حلها) است به طوری که اولاً هماهنگی مناسبی با ماهیت مسئله مورد نظر داشته باشد، ثانیاً تا آنجا که ممکن است طول رشته ژنوتیپها را کوتاه کند و ثالثاً امکان وجود جوابهای اشتباه و بیتهای خالی را کاهش دهد. همانطور که گفته شد الگوریتم ژنتیک بر روی مجموعه حلها یک مسئله کار می کند، بنابراین برای کدگذاری حلها باید ویژگیهای جواب مسئله به خوبی شناخته شود. در مسئله مورد نظر جواب، نوع عملیات ترمیم یا نگهداری در طول دوره طرح برنامه برای شبکه روستازی خواهند بود. همان طور که گفته شد دو نوع خرابی ترک خوردگی و شیارشدگی در این برنامه در نظر گرفته شده است، فعالیتهای نگهداری که برای اصلاح دو خرابی در نظر گرفته شده عبارتند از:

پروکردن ترکها برای اصلاح ترک خوردگی و ریختن آسفالت رگلاژی برای اصلاح شیارشدگی مسیر چرخ و گزینه ای که برای ترمیم در نظر گرفته شده است روکش است. به این ترتیب 5 گزینه تعمیر و نگهداری برای هر قطعه روستازی در واحد زمان وجود دارد که شامل موارد زیر است:

- 1 - هیچ کاری صورت نگیرد
- 2 - ترکهای آسفالت پر شوند
- 3 - آسفالت رگلاژی ریخته شود
- 4 - ترکها پر شوند و آسفالت رگلاژی ریخته شود.
- 5 - روکش انجام شود.

روش کد گذاری در این برنامه رایانه ای روش کدگذاری عدد صحیح است، به این ترتیب که یک مجموعه از اعداد 0 تا 4 انتخاب شد که هر یک نشان دهنده یکی از 5 گزینه ترمیم و نگهداری خواهد بود. با این روش هر قطعه در یک سال یک بیت فضا را اشغال می کند و یک عدد صحیح بین 0 تا 4 به آن اختصاص می یابد، به این ترتیب نحوه نمایش رشته جواب به صورت شکل 2 خواهد بود.

همچنین روشها و گزینه های 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. پارامترهای مهم برنامه ریزی مدیریت روستازی که باید توسط سازمان مسئول تعیین شود عبارتند از:

1 - پارامترهای شبکه:

پس از تعیین و تعریف شبکه روستازی مورد نظر که برنامه تعمیر و نگهداری بر روی آن صورت خواهد گرفت شبکه باید به تعداد مناسبی قطعه تقسیم شود. یک قطعه باید در طول خود دارای شرایط یکنواختی از نظر سن سازه ای، جنس مصالح، ساختار روستازی و تاریخچه ترمیم و نگهداری و بارگذاری ترافیکی باشد.

2 - دوره طرح:

طول دوره طرح برنامه ترمیم و نگهداری و واحد زمانی (هفته، ماه، سال) که برنامه ترمیم و نگهداری هر قطعه در طول دوره طرح به تفکیک این واحد زمانی تعیین می شود باید مشخص شود.

3 - پارامترهای خرابی:

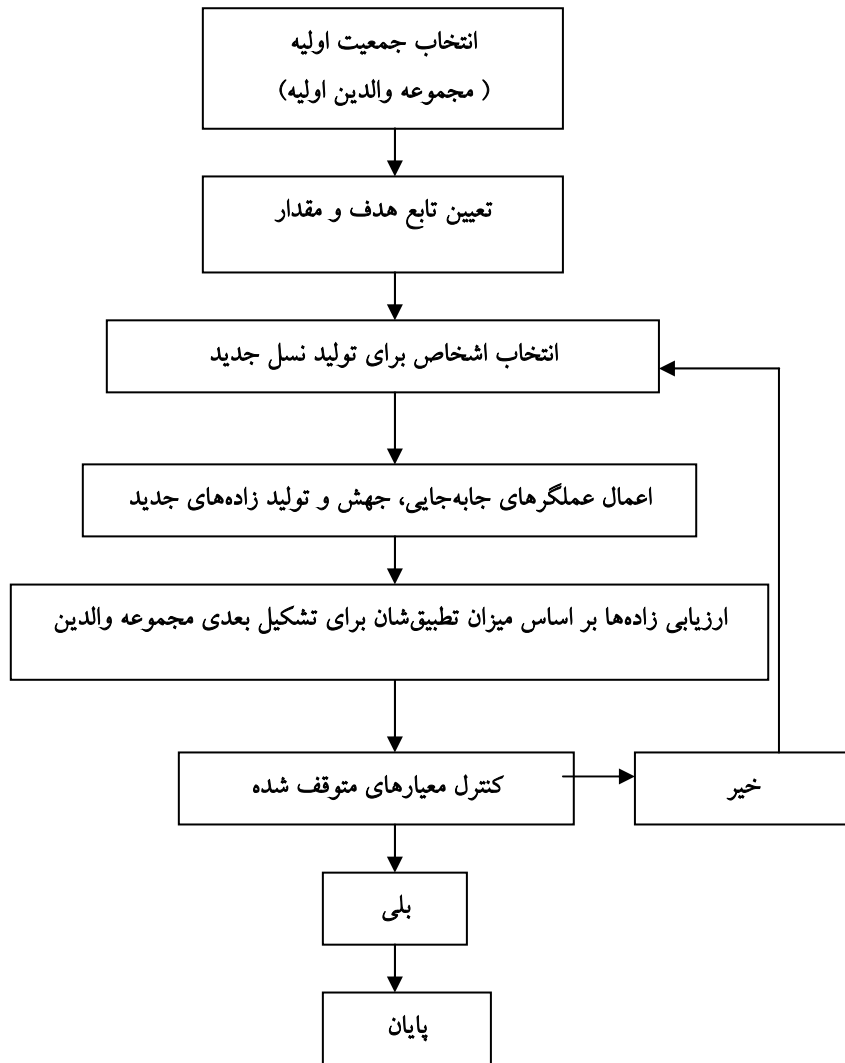
پارامترهای خرابی، نوع خرابی ها و توابع زوال یا پیش بینی خرابیها را شامل می شوند. توابع زوال میزان گسترش خرابیها را با گذشت زمان یا بارگذاری ترافیکی نشان می دهند.

4 - پارامترهای نگهداری و ترمیم:

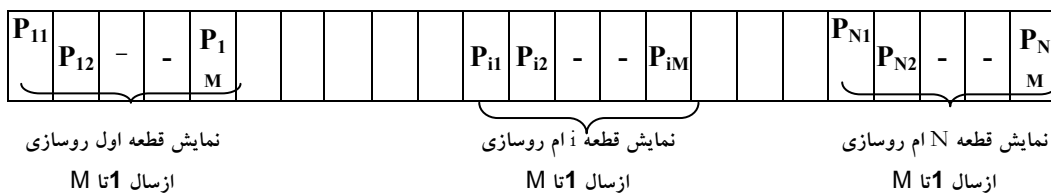
این پارامترها روشهای نگهداری هر یک از انواع خرابیها و ترمیم روستازی را در بر می گیرند. همچنین باید سطوح هشدار و نهایی برای هر یک از انواع خرابیها تعریف شود. سطوح هشدار با توجه به حداقل تعیین شده برای وضعیت روستازی و این که وضعیت روستازی همواره باید در سطحی بالاتر از آن قرار گیرد تعیین می شوند. هزینه بکارگیری هر یک از فعالیتهای ترمیم و نگهداری نیز جزء این پارامترها محسوب می شود که باید محاسبه و مشخص شود.

5 - پارامتر منابع:

این پارامترها که مقدار بودجه موجود، تجهیزات، نیروی انسانی و مصالح در دسترس را در بر می گیرند عمدتاً به عنوان محدودیتهای برنامه ریزی تعریف می شوند.



شکل 1. فرآیند الگوریتم ژنتیک [3]



- $P_{ij} = 0$  نشان دهنده هیچ تعمیر
- 1 نشان دهنده روکش
  - 2 نشان دهنده پرکردن ترکها
  - 3 نشان دهنده ریختن آسفالت رگلازی
  - 4 نشان دهنده پرکردن ترکها و ریختن آسفالت رگلازی
- for  $i=1,2,\dots,N$   $j=1,2,\dots,M$

شکل 2. کدگذاری رشته‌ها به روش عدد صحیح

جدول 1. گزینه‌های ترمیم و نگهداری مجاز

تعمیرات لازم	گزینه‌های مجاز ترمیم و نگهداری				
	0 <sup>a</sup>	1 <sup>b</sup>	2 <sup>c</sup>	3 <sup>d</sup>	4 <sup>e</sup>
0	X	X	X	X	X
1	-	X	-	-	-
2	-	X	X	-	-
3	-	X	-	X	-
4	-	X	-	-	X

X: گزینه مجاز برای تعمیرات لازم

a: هیچ فعالیتی لازم نیست

b: ترمیم c: پر کردن ترکها

d: ریختن آسفالت رگلاژی

e: ریختن آسفالت رگلاژی و پر کردن ترکها

### 3-4 تشکیل خانواده اولیه حلها

از طرفی نمی‌توان عدد مشخصی را به عنوان تعداد جمعیت برای همه مسائل تعیین کرد، زیرا این پارامتر به ماهیت هر مسئله، روش کدگذاری آن و طول رشته‌ها وابسته است.

جمعیت اولیه حلها به صورت تصادفی تولید می‌شود و سپس همه ژنوتیپها کنترل می‌شوند تا تنها ژنوتیپهای صحیح وارد خانواده حلها شده باشند. ژنوتیپهای صحیح آنهایی هستند که مقادیر بیتهای آنها با تعمیر و نگهداری لازم برای هر قطعه روسازی که از طریق محاسبه میزان خرابی و مقایسه آن با سطح هشدار خرابی تعیین می‌شود مطابقت داشته باشد. گزینه‌های ترمیم و نگهداری مجاز طبق جدول 1 تعریف می‌شوند. همچنین در ادامه روند تولید نسلهای بعدی هر گزینه می‌تواند مطابق جدول 1 تغییر کرده و به گزینه‌های دیگر تبدیل شود. به طور مثال برای خرابی شیارشدگی مسیر چرخ دو گزینه "ریختن آسفالت رگلاژی"، "پر کردن ترکها و ریختن آسفالت رگلاژی" را می‌توان به عنوان فعالیت نگهداری و "انجام روکش" را به عنوان فعالیت ترمیم انتخاب کرد.

### 4-4 ارزیابی حلها

برنامه پس از تولید حلهای اولیه تابع هدف را فرا می‌خواند و توسط آن مقادیر تابع هدف را محاسبه می‌کند. در این زیر برنامه ابتدا حلها تولید شده مورد بررسی قرار می‌گیرند تا مقدار انتخاب شده برای هر بیت با سطح هشدار مربوط به هر خرابی و تعمیر و نگهداری لازم و جدول 1 همخوانی داشته باشد. در صورت مغایرت، مقدار بیت مورد نظر با توجه به مقدار سطح هشدار خرابی و استراتژی تعیین شده در جدول 1 اصلاح می‌شود. سپس مقدار تابع هدف برنامه نگهداری (ممکن است تابع ارزیابی GA با تابع هدف مسئله یکسان نباشد) که برابر ارزش فعلی هزینه‌هاست از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Pv = \sum_{k=1}^l \sum_{g=1}^n cij \frac{(1+r)^k}{(1+i)^k} \quad (3)$$

k: شمارنده تعداد سالهای طرح

j: شمارنده تعداد قطعات

Ckj: هزینه انجام گزینه ترمیم و نگهداری انتخاب شده بر روی

قطعه j در سال k

تعداد افراد جمعیت، تعداد حلهایی را که در هر نسل باید پردازش شوند تعیین می‌کند. تعداد افراد جمعیت در الگوریتم ژنتیک پارامتر بسیار مهمی است. هر چه تعداد افراد بیشتر باشد فضای جستجوی بیشتری پیش روی الگوریتم خواهد بود و امکان یافتن جواب بهتر افزایش می‌یابد، اما از طرفی محدودیتهایی مانند ظرفیت حافظه کامپیوتر و سرعت پردازش اطلاعات به ما اجازه نمی‌دهد که جمعیت را خیلی بزرگ انتخاب کنیم.

### 5-1-1-1 سطح هشدار خرابی ترک خوردگی

برای بررسی تأثیر این پارامتر سطح هشدار خرابی شیار شدگی مسیر چرخ ثابت و برابر 15 میلیمتر در نظر گرفته است، سپس مقادیر سطح هشدار خرابی ترک خوردگی طولی به ترتیب برابر 6، 8، 10، 12 و 15 قرار داده و برنامه اجرا شده است. برای بررسی تأثیر سطح هشدار بر روسازی شاخصی تحت عنوان وضعیت (PC) روسازی به صورت زیر تعریف شده است [13].

$$PC = 100 - \left( \frac{C}{C_T} + \frac{R}{R_T} \right) \times \frac{100}{2} \quad (2)$$

که در آن:

C: مقدار خرابی ترک خوردگی

C<sub>T</sub>: مقدار سطح نهایی خرابی ترک خوردگی

R: مقدار خرابی شیار شدگی

R<sub>T</sub>: سطح نهایی خرابی شیار شدگی

نمودار شکل 4 و 5، تغییرات شاخص وضعیت و ارزش حاضر هزینه‌های نگهداری را در طول دوره طرح نشان می‌دهند. همان طور که در شکل دیده می‌شود، با افزایش سطح هشدار خرابی، مقدار وضعیت روسازی کاهش می‌یابد که این کاهش از سطح هشدار 10 متر مربع بر کیلومتر شتاب بیشتری می‌یابد. اما از طرفی بعد از سطح هشدار 10 سیر نزولی هزینه‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین عدد 10 حد مناسبی از لحاظ اقتصادی و فنی برای سطح هشدار خرابی ترک خوردگی عرضی و طولی به نظر می‌رسد.

در صورتی که مقدار ترک خوردگی سطح روسازی از این حد فراتر رود انجام عملیات نگهداری ضروری است. همچنین تغییر فراوانی فعالیتهای ترمیم و نگهداری گوناگون با تغییر سطح هشدار خرابی ترک خوردگی قابل مقایسه است. نتایج نشان می‌دهند همان طور که انتظار می‌رفت با افزایش سطح هشدار تعداد عملیات نگهداری B و E (پر کردن ترکها، پرکردن ترکها همراه با ریختن آسفالت رگلاژی) کاهش می‌یابد، اما از طرف دیگر تعداد عملیات ترمیمی (روکش) و فعالیت نگهداری ریختن آسفالت رگلاژی افزایش یافته است. یکی دیگر از خروجی‌های برنامه ارزش حاضر هزینه‌های برنامه نگهداری در هر سال است. نمودار شکل 6 مقدار ارزش حاضر هزینه‌های برنامه نگهداری تعیین شده را در هر سال برای سه سطح هشدار 6، 10 و 15 مترمربع بر کیلومتر نشان می‌دهد. نوسان قیمتها برای سطوح مختلف خرابی متفاوت است و نمی‌توان الگوی خاصی را برای

عملکرد GA را می‌توان از چند طریق مورد ارزیابی قرار داد. مقدار تابع هدف بهترین ژنوتیپ در هر نسل، میانگین مقادیر تابع هدف در کل خانواده در هر نسل، میانگین تابع هدف زاده‌ها در هر نسل، در این برنامه تابع هدف بهترین ژنوتیپ برای ارزیابی عملکرد GA در نظر گرفته شده است.

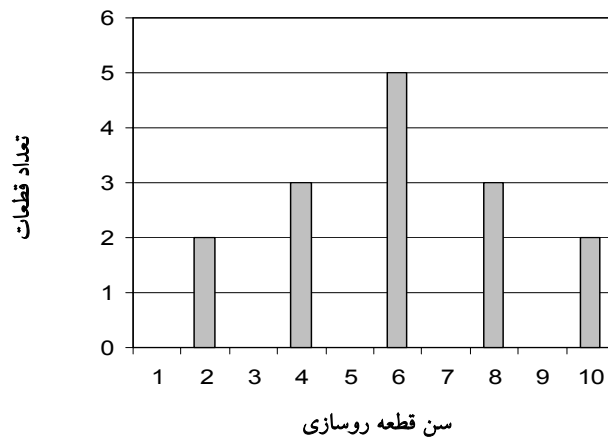
### 5. برنامه ترمیم و نگهداری یک شبکه فرضی

یک شبکه روسازی فرضی به طول 45 کیلومتر شامل 15 قطعه، در نظر گرفته شده است. هدف، ارایه یک برنامه ترمیم و نگهداری بهینه در سطح شبکه برای شبکه روسازی مذکور در طول یک دوره طرح پانزده ساله است. واحد زمان برنامه برابر یک سال است. سن قطعات شبکه از توزیع نرمال تبعیت می‌کند که در نمودار شکل 3 نشان داده شده است. ترافیک اولیه قطعات متفاوت فرض شده است، به طوری که 5 قطعه اول دارای ترافیک سالانه 620000، 5 قطعه دوم 720000 و 5 قطعه سوم 760000 محور ساده 8/2 تنی هم ارزند. نرخ رشد ترافیک همه قطعات در کل دوره طرح برابر 3 درصد در نظر گرفته شده است. همان طور که در فصل 3-1 نیز عنوان شده است، پارامترهای خرابیها شامل سطوح نهایی و هشدار مربوط به هر خرابی و توابع زوال یا پیش بینی آنها از مهم‌ترین پارامترهای برنامه ریزی شبکه هستند. این پارامترها در جدول 2 ارایه شده‌اند [5,6].

پارامتر دیگری که برای برنامه باید تعریف شود قیمتهای مربوط به اصلاح هر خرابی است. این قیمتها با توجه به عملیات ترمیم و نگهداری که برای هر خرابی در نظر گرفته شده و مقادیر فهرست بهای سال 1381، برای سطوح مختلف خرابی محاسبه شده، که در جدول 3 ارایه شده است.

### 5-1-1-2 تأثیر سطوح هشدار بر برنامه ریزی نگهداری

سطح هشدار پارامتر بسیار مهمی در برنامه ریزی نگهداری راه محسوب می‌شود و در واقع تعیین کننده زمان انجام عملیات ترمیم یا نگهداری و مشخص کننده نوع فعالیت است. به منظور بررسی تأثیر این پارامتر بر برنامه ریزی نگهداری، برنامه کامپیوتری را برای چند سطح هشدار مختلف خرابی ترک خوردگی و شیار شدگی اجرا شده است، که نتایج آن مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل 3. نمودار توزیع سن قطعات شبکه

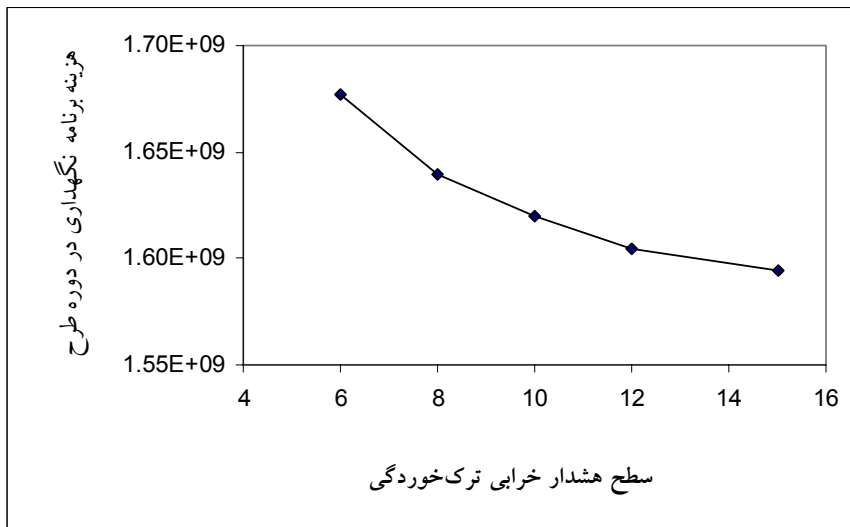
جدول 2. پارامترهای برنامه‌ریزی شبکه [6 و 7]

پارامترها	مقدار پارامترها
(1) قطعات روسازی	
تعداد سن	15 مطابق شکل (4)
(2) دوره طرح	
طول نهایی	15 سال
(3) توابع زوال خرابی	
ترک خوردگی شیارشدگی PSI	$C=360(SN)^{-SN}(N)$ $R=19(Y)^{0.166}(SN)^{0.5}(N)^{0.33}$ $PSI = 5.1 - 0.68 \cdot \log(1 + SV) - 0.01C^{0.5} - 0.00214R^2$
(4) سطوح نهایی خرابی	
ترک خوردگی شیارشدگی PSI	15 متر مربع بر کیلومتر بر خط 20 میلیمتر برای عمق شیار 2/5
(5) محدودیت منابع	
بودجه نیروی انسانی تجهیزات	بدون محدودیت بدون محدودیت بدون محدودیت
Y = سن روسازی SN = عدد سازه‌ای روسازی N = بار ترافیک در میلیون بار عبور محور استاندارد	

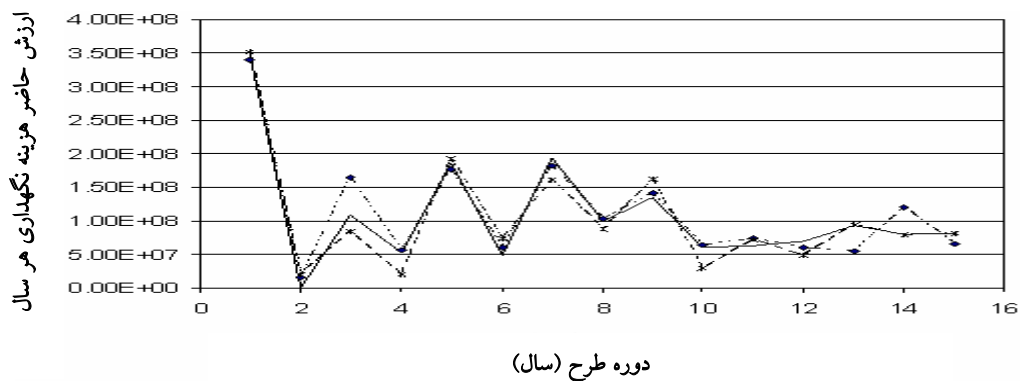


جدول 3. قیمت‌های واحد هریک از عملیات ترمیم و نگهداری

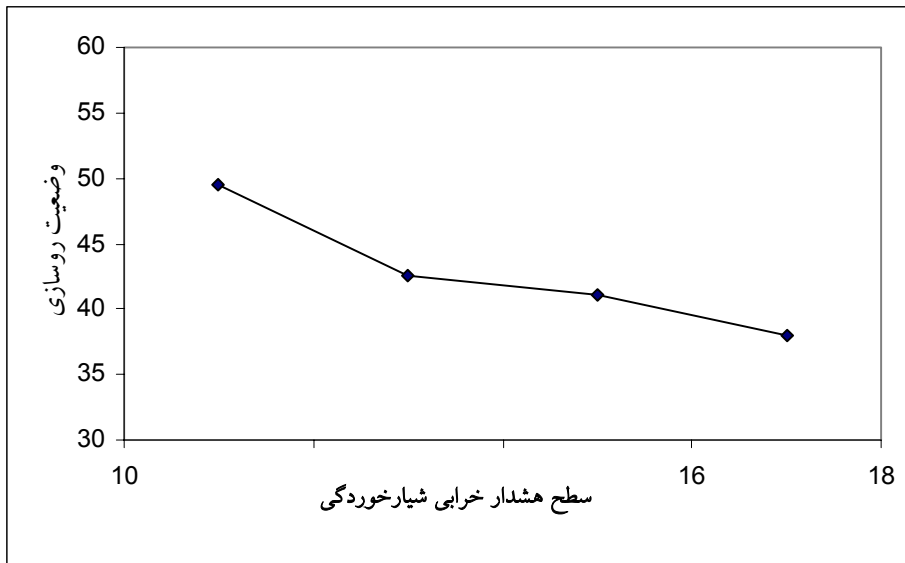
نوع خرابی	میزان خرابی	قیمت واحد (ریال بر متر مربع)
پر کردن ترکها	$C < 8$	5500
	$8 \leq C \leq 12$	7000
	$C > 12$	9000
ریختن آسفالت رگلاژی	$R \leq 13$	3000
	$13 < R \leq 16$	5700
	$R > 16$	9000
انجام روکش	PSI	14000



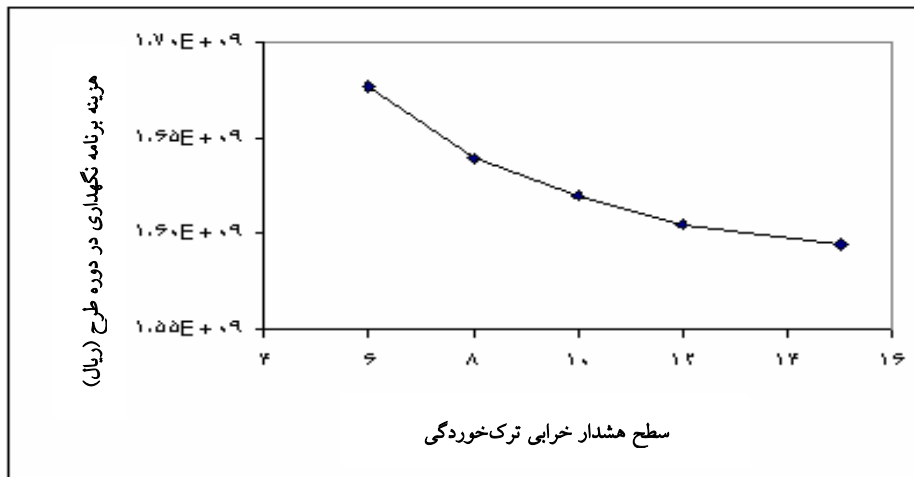
شکل 5. نمودار تغییرات هزینه‌های نگهداری در مقابل تغییرات سطح هشدار خرابی ترک خوردگی



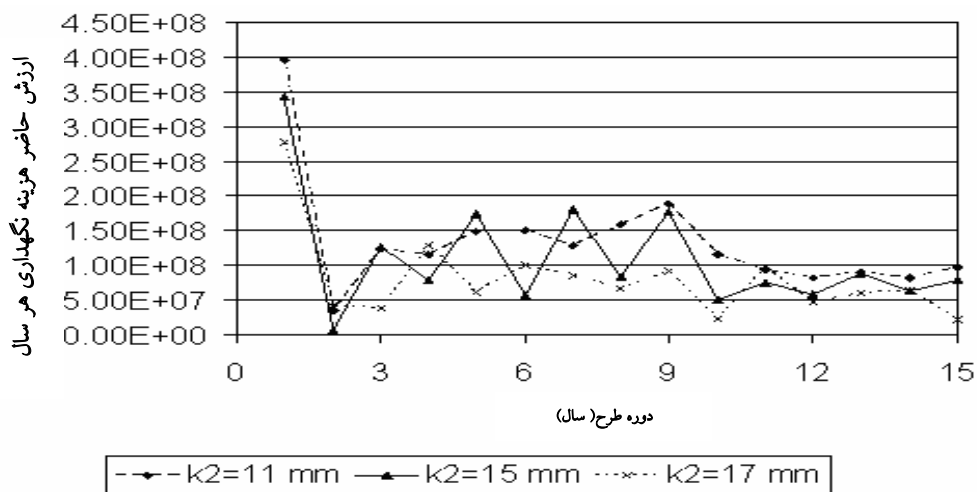
شکل 6. نمودار ارزش حاضر هزینه‌های سالیانه برای چند سطح هشدار خرابی ترک خوردگی



شکل 7. نمودار تغییرات وضعیت روسازی در مقابل تغییرات سطح هشدار خرابی شیارشدهگی



شکل 8. نمودار تغییرات هزینه‌های نگهداری در مقابل تغییرات سطح هشدار خرابی ترک خوردگی



شکل 9. نمودار ارزش حاضر هزینه‌های سالانه برای چند سطح هشدار خرابی شیارشدهگی

مقدار ارزش حاضر هزینه‌ها در طول دوره طرح برنامه برابر 545,698، 478 و 1 تومان و میانگین شاخص وضعیت (PC) در طول دوره طرح این برنامه برابر 34/4 است.

### 3-5 هزینه برنامه در طول دوره طرح

همان طور که بیان شد تابع هدف برنامه نگهداری حداقل کردن ارزش حاضر هزینه‌ها در طول دوره طرح است. پس یکی از خروجی‌های مهم برنامه مقدار ارزش حاضر هزینه‌ها در هر سال برنامه و یا هزینه نگهداری یک قطعه به تنهای در طول دوره طرح می‌باشد. نمودار شکل 10 ارزش حاضر هزینه‌ها ترمیم و نگهداری شبکه فرضی ما را در هر سال نشان می‌دهد. همان طور که در نمودار مشاهده می‌شود بیشترین هزینه مربوط به سال اول طرح است که دلیل آن وجود قطعاتی است که در طی چند سال هیچ عملیات نگهداری بر روی آنها صورت نگرفته است. از آن پس در سال دوم هزینه‌ها کاهش چشم‌گیری داشته و در سالهای بعد نیز نوسانان زیادی ندارند.

مقایسه هزینه‌های سال اول برنامه که عملیات ترمیم و نگهداری پس از چند سال وقفه انجام می‌شود نشان می‌دهد که با برنامه‌ریزی و انجام منظم فعالیتهای ترمیم و نگهداری هزینه‌ها حداقل تا 30 درصد و حداکثر تا 80 درصد در طول دوره طرح برنامه نسبت به سال اول کاهش می‌یابند، این موضوع نشان‌دهنده اهمیت انجام فعالیتهای مستمر تعمیر و نگهداری را در سطح شبکه روسازی نشان می‌دهد.

### 4-5 برنامه ترمیم و نگهداری با تابع هدف بیشینه شدن

#### شاخص PC

با تغییرات کوچکی در برنامه رایانه‌ای می‌توان یک مرحله محاسبه شاخص PC را با توجه به رابطه‌ای که در بخش 4-1-1 تعریف شده است به برنامه اضافه کرد و تابع هدف برنامه نگهداری را از کمینه کردن ارزش حاضر هزینه‌ها به بیشینه کردن مقدار شاخص PC افزایش داد. در این حالت بهترین حل، برنامه‌ای است که دارای میانگین شاخص PC برابر 38 است و ارزش حاضر هزینه‌های این برنامه برابر 1604 087 570 تومان در طول دوره طرح است. این برنامه نگهداری در جدول 5 ارایه شده است.

یکی دیگر از خروجی‌های برنامه ارزش حاضر هزینه‌های برنامه نگهداری در هر سال است. نمودار شکل 9 مقدار ارزش حاضر هزینه‌های برنامه نگهداری تعیین شده را در هر سال برای سه سطح هشدار 11، 15 و 17 میلیمتر نشان می‌دهد. همان طور که در شکل دیده می‌شود مقدار هزینه‌های ترمیم و نگهداری برای سطح هشدار 11 میلیمتر در اکثر سالها از دو حالت دیگر بیشتر است و سطح هشدار 17 میلیمتر نیز در بیشتر سالها کمترین هزینه را نتیجه می‌دهد.

### 2-5 برنامه ترمیم و نگهداری

هدف اصلی این برنامه تعیین برنامه ریزی ترمیم و نگهداری روسازی در سطح شبکه یعنی تعیین زمان و نوع انجام فعالیتهای ترمیم و نگهداری به منظور تعیین بودجه مورد نیاز در طول دوره طرح است. در این بخش برنامه ترمیم و نگهداری شبکه روسازی معرفی شده در بخش 4 در طول دوره طرح 15 ساله، با تابع هدف کمینه‌کردن ارزش حاضر هزینه‌ها ارایه شده است. سطوح هشدار خرابی ترک خوردگی و شیار شدگی به ترتیب برابر 10 و 15 در نظر گرفته شده است.

برنامه با تعداد تولید نسل 600 و تعداد افراد جمعیت 50 و احتمال اعمال عملگر جهش  $P_m=0/1$  و احتمال اعمال عملگر جابه‌جایی  $P_o=0/8$  اجرا شده است. برنامه ارایه شده برای شرایط شبکه موجود برنامه‌ای بهینه یا نزدیک به بهینه است. جدول 4 برنامه ترمیم و نگهداری شبکه را در طول 15 سال نشان می‌دهد. در این جدول برای هر فعالیت ترمیم یا نگهداری در طول یک سال، یک کد در نظر گرفته شده که هر کد نشان دهنده یک عملیات ترمیمی به شرح زیر است:

(به منظور تشخیص بهتر خروجی برنامه که یک ماتریس با کد گذاری 0 تا 4 است به جدول زیر تبدیل شده است).

O: بیانگر آن است که در آن سال هیچ فعالیت ترمیم و نگهداری انجام نمی‌شود.

A: بیانگر آن است که در آن سال قطعه مورد نظر روکش می‌شود.

B: نشان دهنده انجام فعالیت پر کردن ترکها است.

C: نشان دهنده انجام فعالیت ریختن آسفالت رگلاژی است.

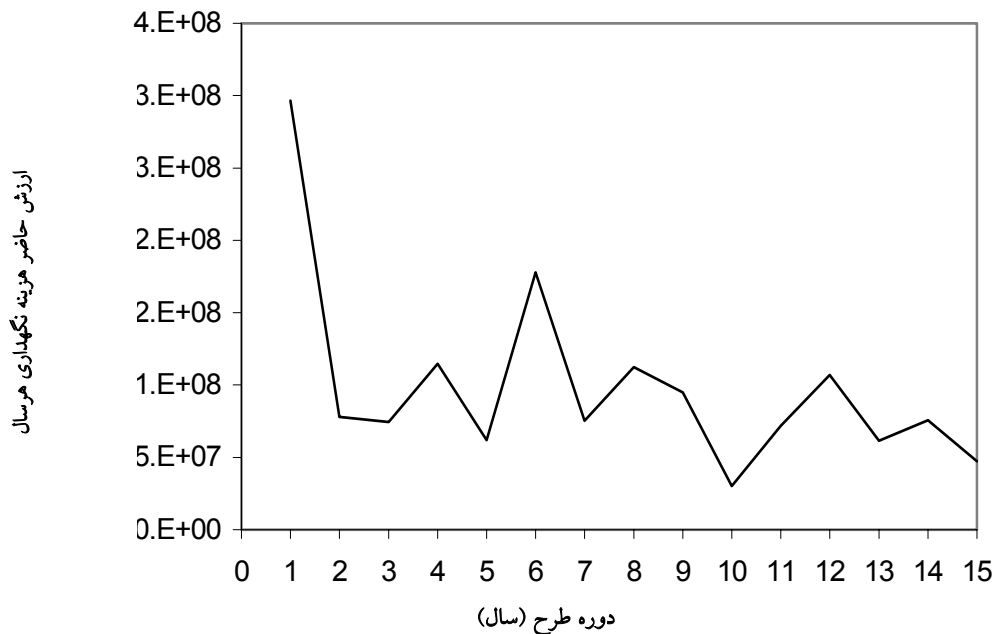
E: نشان دهنده انجام همزمان فعالیت پر کردن ترکها و ریختن آسفالت رگلاژی است.

تغییر در طی 15 سال برای تابع هدف کمینه کردن ارزش حاضر هزینه‌ها به 154 تغییر در طی 15 سال برای تابع بیشینه شدن تعداد PC افزایش یافته است که تعداد دفعات انجام هر فعالیت ترمیم یا نگهداری برای دو برنامه در جدول 6 آورده شده است.

با مقایسه این دو برنامه می‌توان دید همان طور که انتظار می‌رفت مقدار شاخص وضعیت PC افزایش می‌یابد این افزایش در حدود 10 درصد اما از طرفی هزینه‌ها نیز به مقدار 8 درصد افزایش یافته‌اند. همچنین تعداد انجام فعالیت‌های ترمیم و نگهداری از 129

جدول 4. برنامه ترمیم و نگهداری شبکه را در طی دوره طرح 15 ساله با تابع هدف کمینه کردن ارزش حاضر هزینه‌ها

سال	قطعات روسازی														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	O	B	E	A	A	B	A	A	A	A	O	B	E	A	A
2	B	3	C	O	O	C	O	O	O	O	O	C	O	O	O
3	C	O	O	O	O	O	O	E	B	O	E	O	C	O	O
4	O	E	A	B	B	E	B	O	O	B	O	A	B	B	B
5	B	O	O	O	O	O	O	O	O	E	C	O	A	O	O
6	A	C	O	E	A	A	C	B	E	O	B	O	O	E	E
7	O	A	B	O	O	O	B	A	C	B	C	B	B	O	O
8	E	O	O	A	O	O	C	O	B	A	A	O	O	A	A
9	O	B	E	O	B	E	A	O	A	O	E	C	C	O	O
10	O	O	O	O	C	O	O	B	O	B	E	B	B	B	O
11	B	O	A	B	B	B	B	C	O	C	O	C	A	O	B
12	C	A	O	C	C	A	O	B	B	B	B	A	O	E	E
13	B	O	O	B	A	O	E	A	C	O	C	O	O	O	O
14	A	O	B	C	O	O	O	O	E	A	E	O	B	A	A
15	O	B	C	A	B	B	E	O	O	O	O	B	C	O	O



شکل 10. نمودار ارزش حاضر هزینه‌ها برای هر سال دوره طرح

جدول 5. برنامه ترمیم و نگهداری شبکه را در طی دوره طرح 15 ساله با تابع بیشینه کردن شاخص وضعیت PC

سال	قطعات روسازی														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	O	B	E	A	A	B	A	E	E	A	O	B	E	A	A
2	B	C	O	O	E	C	O	E	E	O	O	E	E	O	O
3	O	B	E	B	O	B	O	O	O	B	E	O	A	B	O
4	C	C	C	E	O	C	E	A	A	E	E	E	O	C	E
5	B	E	A	O	B	B	O	O	O	E	O	E	O	E	O
6	E	A	O	B	A	A	O	B	O	O	A	A	B	O	B
7	C	O	B	A	E	O	A	O	B	A	O	O	E	E	C
8	A	E	O	E	O	O	O	B	O	O	O	B	C	E	B
9	O	O	E	C	B	B	O	C	A	B	B	E	B	A	A
10	O	B	C	B	O	C	B	B	O	E	E	O	C	O	O
11	B	E	B	C	E	B	C	A	E	O	E	B	A	B	B
12	O	O	A	B	C	C	B	E	O	B	O	E	O	E	O
13	E	E	O	E	A	B	C	C	B	A	A	A	O	O	A
14	O	A	B	E	O	A	A	B	C	O	E	O	B	A	O
15	E	O	C	A	B	O	O	C	B	B	O	B	E	O	B

جدول 6. تعداد دفعات انجام هر فعالیت ترمیم یا نگهداری برای دو برنامه

نوع عملیات نگهداری		O	A	B	C	E
تعداد فعالیت‌های نگهداری	برنامه با تابع هزینه	96	35	46	26	22
	برنامه با تابع PC	71	35	49	24	46

از منطق حاکم بر الگوریتم ژنتیک برنامه ترمیم و نگهداری بهینه‌ای را با توجه به تابع هدف مورد نظر سازمان یا مسئولان تصمیم گیران در این رابطه پیشنهاد کند. همچنین با استفاده از این برنامه می‌توان تاثیر پارامترهای گوناگون شبکه مانند سطح شدت را بر برنامه نگهداری مورد بررسی قرارداد و در واقع پارامترهای شبکه را نیز از این نظر بهینه و منطقی ساخت. همان طور که در این بررسی آمده است با تغییر سطح هشدار خرابی ترک خوردگی و شیار شدگی بهترین سطح هشدار این دو خرابی برای شبکه مورد نظر به ترتیب برابر 10 مترمربع و 15 میلیمتر است. همچنین با تغییر تابع هدف برنامه از کمینه کردن ارزش حاضر هزینه‌ها به بیشینه کردن شاخص وضعیت PC مقدار 10 درصد وضعیت این شاخص بهبود یافته اما از طرفی مقدار هزینه‌ها نیز به میزان 8 درصد افزایش یافته همچنین تعداد فعالیت‌های ترمیم، نگهداری نیز به میزان 20 درصد در طول دور طرح افزایش یافته است. در چنین مواردی تصمیم گیری در مورد انتخاب برنامه به نظر سازمان و تصمیم گیران و همچنین

با مقایسه این دو برنامه می‌توان دید همان‌طور که انتظار می‌رفت مقدار شاخص وضعیت PC افزایش می‌یابد این افزایش در حدود 10 درصد اما از طرفی هزینه‌ها نیز به مقدار 8 درصد افزایش یافته‌اند. همچنین تعداد انجام فعالیت‌های ترمیم و نگهداری از 129 تغییر در طی 15 سال برای تابع هدف کمینه کردن ارزش حاضر هزینه‌ها به 154 تغییر در طی 15 سال برای تابع بیشینه شدن تعداد PC افزایش یافته است که تعداد دفعات انجام هر فعالیت ترمیم یا نگهداری برای دو برنامه در جدول 6 آورده شده است.

## 6. نتیجه‌گیری

الگوریتم ژنتیک ابزاری توانا در برنامه‌ریزی ترمیم و نگهداری روسازی محسوب می‌شود که توانایی حل مسائل پیچیده و پر متغیر مدیریت روسازی را داراست و با تعیین استراتژی ترمیم و نگهداری برای شبکه راه، تعیین توابع زوال و سطوح هشدار و پارامترهای مربوط به هزینه می‌توان برنامه‌ای نوشت که با استفاده

London: The Institution of Electrical Engineers.

3. Fine, F. "Pavement management systems-past, present and future", National Workshop on Pavement Management in New Orleans.
4. Haas, R. and Hudson, R.(1986) "Pavement management system", Robert E.Krieger Publishing.
5. Fwa, T.F., Chan, W. T. and Hoques, K.Z. (1996) "Analysis of pavement management activities programming by genetic algorithms", Transportation Research Record, paper No.98-0019.
6. Fwa, T. F., Chan, W. T. and Tan, C.Y. (1994) " Road maintenance planning using genetic algorithms I: Formulation, Journal of Transportation Engineering , Vol.120, No.5.

محدودیت‌های بودجه‌ای و اجرای سازمان وابسته است. در هر صورت الگوریتم ژنتیک توانایی تعیین و پیشنهاد برنامه ترمیم و نگهداری بهینه را دارا می‌باشد که با استفاده از اطلاعات دقیق و ورودی‌های صحیح (توابع زوال و هزینه‌ها) می‌توان ابزاری مفید و مؤثر باشد. البته هنوز جای کار و بحث بسیاری در این زمینه وجود دارد. که امید می‌رود این تحقیق فتح بابی در زمینه هرچه بهتر شدن وضعیت ترمیم و نگهداری روسازی و استفاده از ابزارها و علوم جدید در این زمینه باشد.

## 7. مراجع

1. Glodborg, D.E. (1989) "Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning", London: Addison Wesley.
2. Zalala, A. M. S and Fleming, P. J. (1997) "Genetic algorithms in engineering systems",