

الله اعلم
بالحق



دانشکده مهندسی عمران

گرایش راه و ترابری

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدل سازی پیش بینی عملکرد روسازی آسفالتی (مطالعه موردی: معابر شهر ساری)

دانشجو:

میلاذ جعفرنژاد

استاد راهنما:

دکتر حسین قاسم زاده طهرانی

بهمن ماه ۱۳۹۴

تقدیم اثر:

پس از پیمودن راه‌های پر فراز و نشیب که با حضور استاد عزیزم، راهنمایی‌ها فراوانشان، نگاه‌های پدر و مادرم با چشم‌های پر از برق شوق، کمک‌های خواهرم و زیبایی حضور همسرم در کنارم که خستگی‌های این راه را به امید و روشنی تبدیل کرد، امیدوارم بتوانم در آینده‌ی نزدیک جوابگوی این همه محبت باشم...

اکنون، با احترام فراوان برای تلاش این عزیزان برای موفقیت من....

این پایان‌نامه را به پدر و مادرم، استاد عزیز و همسر مهربانم تقدیم می‌کنم.

با تشکر فراوان

میلاذ جعفرنژاد

تشکر و قدردانی:

مَنّت خدای را عزّ و جلّ که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت. هر نفسی که فرو می رود ممدّ حیات است و چون بر می آید مفرّح ذات. پس در هر نفسی دو نعمت موجودست و بر هر نعمت شکری واجب و سلام و دورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز.

از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ برحسب وظیفه از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوام که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یابری بی چشم‌داشت برای من بوده‌اند؛ از استاد با کمالات و شایسته؛ **جناب آقای دکتر حسین قاسم زاده طهرانی** که با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پروژه را بر عهده گرفتند؛ و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ **دکتر ایمان آقایان و دکتر مهدی گلی** که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تعهدنامه

اینجانب **میلاذ جعفرنژاد** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی عمران-راه و ترابری** دانشکده **مهندسی عمران** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **مدل سازی پیش بینی عملکرد روسازی آسفالتی (مطالعه موردی: معابر شهر ساری)**

تحت راهنمایی **دکتر حسین قاسم زاده طهرانی** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافته های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

سیستم مدیریت روسازی به کمک ارزیابی عمیق از وضعیت روسازی و پیش‌بینی وضعیت آن در آینده، امکان انتخاب اقتصادی‌ترین و کارآمدترین روش ترمیم و نگهداری را فراهم می‌سازد. مدل‌های پیش‌بینی وضعیت برای یک سیستم مدیریت روسازی مانند موتور برای یک وسیله نقلیه هستند. در حالت کلی مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی روند اضمحلال روسازی را طی دوره بهره بردای از راه بیان می‌کند. در این پایان نامه برای پیش‌بینی عملکرد معابر شهر ساری از مدل خانواده استفاده شده است. در مدل‌سازی با روش خانواده روسازی قطعات مختلف که از لحاظ شرایط بارگذاری و فنی مشابه هستند در یک خانواده قرار گرفته و افت کیفیت روسازی بر حسب شاخص کیفیت روسازی در مجموعه قطعات یک خانواده مدل‌سازی می‌شود. بر این اساس، معابر شهر ساری با توجه به داده‌های ترافیکی آن‌ها به دو خانواده تقسیم شده‌اند که عبارتند از خانواده یک شامل معابر با ترافیک سنگین و خانواده دو شامل معابر با ترافیک سبک. در هر خانواده یکبار با استفاده از مدل رگرسیون و بار دیگر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی انجام شده است. در مدل رگرسیون، مدل درجه ۴ از دقت بهتری برخوردار بوده و در مقایسه بین شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون مشاهده شد که نتایج شبکه عصبی مصنوعی تا حدودی بهتر از مدل رگرسیون بوده است. ضریب همبستگی مدل‌ها در کلیه موارد در محدوده ۰٫۸۷ تا ۰٫۹۲۵ بوده است. با توجه به اینکه مدل‌ها فقط با یکبار ارزیابی روسازی انجام شده‌اند می‌توان گفت که از دقت بسیار خوبی برخوردار هستند و در صورت ارزیابی روسازی در سال‌های بعد و بهنگام سازی مدل‌ها دقت آنها بیشتر هم می‌شود.

کلمات کلیدی: مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی، شاخص وضعیت روسازی، مدل خانواده روسازی، شبکه عصبی مصنوعی.

فهرست مطالب:

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ نقش روسازی در سیستم حمل و نقل امروزی.....	۴
۳-۱ سیستم مدیریت روسازی.....	۵
۴-۱ مدل های پیش بینی وضعیت روسازی.....	۵
۱-۴-۱ کاربرد مدل های پیش بینی.....	۶
۲-۴-۱ روش های مدل های پیش بینی.....	۷
۵-۱ معرفی فصل های پایان نامه.....	۸
فصل دوم: پیشینه تحقیق.....	۹
۱-۲ مقدمه.....	۱۰
۲-۲ برون یابی مستقیم.....	۱۱
۳-۲ روش رگرسیون.....	۱۲
۴-۲ مدل نظری-تجربی.....	۱۳
۵-۲ منحنی S شکل.....	۱۴
۶-۲ حداقل مربعات محدود شده ی چند جمله ای.....	۱۵
۷-۲ توزیع احتمالات.....	۱۶
۸-۲ مدل زنجیره مارکوف و شبه مارکوف.....	۱۸
۹-۲ مدل های خانواده.....	۲۱
۱۰-۲ شبکه های عصبی مصنوعی.....	۲۱

۲۳	HDM-4 مدل ۱۱-۲
۲۸	۱۲-۲ خلاصه
۲۹	فصل سوم: روش تحقیق
۳۰	۱-۳ مقدمه
۳۲	۲-۳ ارزیابی روسازی‌ها
۳۲	۱-۲-۳ انواع خرابی‌ها
۳۵	۲-۲-۳ اندازه‌گیری خرابی‌ها
۳۶	۳-۲-۳ شاخص وضعیت روسازی PCI
۴۰	۳-۳ ضریب همبستگی پیرسون
۴۱	۴-۳ مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی
۴۱	۱-۴-۳ مدل رگرسیون
۴۵	۲-۴-۳ شبکه عصبی مصنوعی
۴۷	۱-۲-۴-۳ مدل ریاضی نرون‌های عصبی
۴۹	۲-۲-۴-۳ الگوریتم پس انتشار خطا
۵۱	۳-۲-۴-۳ توابع محرک (توابع انتقال)
۵۳	۴-۲-۴-۳ شبکه‌های پرسپترون چند لایه MLP
۵۵	فصل چهارم: داده‌ها و نتایج
۵۶	۱-۴ مقدمه
۵۶	۲-۴ داده‌ها
۶۳	۳-۴ عکس‌های از خرابی‌ها و واحدهای نمونه

۶۸.....	۴-۴ بررسی نرمال بودن داده‌ها.....
۷۲.....	۵-۴ تعیین وجود رابطه بین داده‌ها (همبستگی داده‌ها).....
۷۳.....	۶-۴ بررسی اختلاف بین دو گروه.....
۷۴.....	۷-۴ معیارهای مورد استفاده برای ارزیابی نتایج.....
۷۵.....	۸-۴ نتایج مدل رگرسیون.....
۷۵.....	۱-۸-۴ مدل رگرسیون برای خانواده روسازی یک (ترافیک سنگین).....
۷۵.....	۱-۱-۸-۴ رگرسیون درجه ۲.....
۷۶.....	۲-۱-۸-۴ رگرسیون درجه ۳.....
۷۷.....	۳-۱-۸-۴ رگرسیون درجه ۴.....
۷۹.....	۲-۸-۴ مدل رگرسیون برای خانواده روسازی دو (ترافیک سبک).....
۷۹.....	۱-۲-۸-۴ رگرسیون درجه ۲.....
۸۰.....	۲-۲-۸-۴ رگرسیون درجه ۳.....
۸۱.....	۳-۲-۸-۴ رگرسیون درجه ۴.....
۸۲.....	۹-۴ نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی.....
۸۷.....	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۸۸.....	۱-۵ نتیجه‌گیری.....
۹۰.....	۲-۵ پیشنهادات.....
۹۱.....	پیوست الف (فرم‌های بازدید میدانی و ارزیابی خرابی‌ها).....
۹۷.....	پیوست ب (خروجی‌های نرم افزار SPSS).....
۱۰۷.....	پیوست ج (خروجی‌های نرم افزار MATLAB).....

فهرست اشکال:

- شکل ۱-۲ خطا در برونمایی مستقیم..... ۱۲
- شکل ۲-۲ منحنی S شکل، تأثیر پارامتر α ۱۵
- شکل ۳-۲ نمودار منحنی درجه چهارم محدود شده..... ۱۶
- شکل ۴-۲ تابع توزیع تجمعی..... ۱۷
- شکل ۵-۲ تابع توزیع تجمعی در مقاطع مختلف روسازی..... ۱۷
- شکل ۶-۲ منحنی احتمال-زمان یا منحنی بازمانده..... ۱۷
- شکل ۱-۳ نحوه کاهش کیفیت روسازی به صورت تابعی از زمان یا ترافیک..... ۳۲
- شکل ۲-۳ فرم ارزیابی خرابی‌های روسازی آسفالتی..... ۳۶
- شکل ۳-۳ هوازدگی و دانه‌دانه شدن..... ۳۸
- شکل ۴-۳ منحنی تصحیح ضریب کاهندگی..... ۳۹
- شکل ۵-۳ خط رگرسیون..... ۴۳
- شکل ۶-۳ مثال رابطه‌ی غیر خطی بین PCI و سن روسازی..... ۴۵
- شکل ۷-۳ ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی..... ۴۷
- شکل ۸-۳ تابع خطی..... ۵۱
- شکل ۹-۳ تابع محدود کننده..... ۵۲
- شکل ۱۰-۳ تابع سیگموئیدی..... ۵۲
- شکل ۱۱-۳ تابع تانژانت هیپربولیک..... ۵۳
- شکل ۱۲-۳ نمای شماتیک شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP)..... ۵۴
- شکل ۱-۴ بلوار آزادی واحد شماره ۱، وصله کاری..... ۶۳
- شکل ۲-۴ خ جمهوری اسلامی واحد شماره ۶، ترک طولی..... ۶۴
- شکل ۳-۴ بلوار دانشگاه واحد شماره ۱۷، قیرزدگی..... ۶۴

- شکل ۴-۴ خ قارن واحد شماره ۵۸، وصله کاری..... ۶۵
- شکل ۴-۵ خ معلم واحد شماره ۸۶، ترک پوست سوسماری..... ۶۵
- شکل ۴-۶ خ فرهنگ واحد شماره ۵۶، هواز دگی و دانه دانه شدن..... ۶۶
- شکل ۴-۷ خ مازیار واحد شماره ۶۶، چاله..... ۶۶
- شکل ۴-۸ خ جهان آرا واحد شماره ۱۰۶، ترک پوست سوسماری..... ۶۷
- شکل ۴-۹ خ معلم واحد شماره ۹۲، ترک طولی..... ۶۷
- شکل ۴-۱۰ بلوار آزادی واحد شماره ۲، ترک عرضی و طولی..... ۶۸
- شکل ۴-۱۱ نمودار جعبه‌ای مربوط به خانواده یک (ترافیک سنگین)..... ۷۰
- شکل ۴-۱۲ نمودار جعبه‌ای مربوط به خانواده دو (ترافیک سبک)..... ۷۰
- شکل ۴-۱۳ نمودار جعبه‌ای مربوط به خانواده دو، بعد از حذف داده خارج از محدود..... ۷۱
- شکل ۴-۱۴ نمودار جعبه‌ای دو خانواده روسازی با ترافیک سنگین و سبک..... ۷۴
- شکل ۴-۱۵ مدل رگرسیون درجه ۲، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)..... ۷۶
- شکل ۴-۱۶ مدل رگرسیون درجه ۳، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)..... ۷۷
- شکل ۴-۱۷ مدل رگرسیون درجه ۴، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)..... ۷۸
- شکل ۴-۱۸ مدل رگرسیون درجه ۲، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)..... ۷۹
- شکل ۴-۱۹ مدل رگرسیون درجه ۳، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)..... ۸۰
- شکل ۴-۲۰ مدل رگرسیون درجه ۴، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)..... ۸۱
- شکل ۴-۲۱ نمودار آزمون نکویی برازش، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)..... ۸۴
- شکل ۴-۲۲ نمودار آزمون نکویی برازش ، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)..... ۸۴
- شکل ۴-۲۳ نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان، مدل خانواده یک..... ۸۵
- شکل ۴-۲۴ نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان، مدل خانواده دو..... ۸۵

فهرست جداول:

- جدول ۱-۳ محاسبه ضریب کاهندگی.....۳۷
- جدول ۲-۳ جدول تصحیح ضریب کاهندگی.....۴۰
- جدول ۱-۴ قطعه‌ها و تعداد واحدهای نمونه.....۵۶
- جدول ۲-۴ میانگین زمان آخرین روکش.....۵۷
- جدول ۳-۴ میانگین شاخص وضعیت روسازی و نوع ترافیک.....۶۰
- جدول ۴-۴ بررسی نرمال بودن داده‌ها.....۶۹
- جدول ۵-۴ نتایج مدل خانواده دو، پس از حذف داده خارج از محدوده.....۷۱
- جدول ۶-۴ نتایج ضریب همبستگی پیرسون.....۷۲
- جدول ۷-۴ نتایج آزمون t برای دو خانواده روسازی با ترافیک سنگین و سبک.....۷۳
- جدول ۸-۴ رگرسیون درجه ۲، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین).....۷۶
- جدول ۹-۴ رگرسیون درجه ۳، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین).....۷۷
- جدول ۱۰-۴ رگرسیون درجه ۴، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین).....۷۸
- جدول ۱۱-۴ رگرسیون درجه ۲، مدل خانواده دو (ترافیک سبک).....۷۹
- جدول ۱۲-۴ رگرسیون درجه ۳، مدل خانواده دو (ترافیک سبک).....۸۰
- جدول ۱۳-۴ رگرسیون درجه ۴، مدل خانواده دو (ترافیک سبک).....۸۱
- جدول ۱۴-۴ نتایج حاصل از بررسی شبکه عصبی مصنوعی.....۸۳

فصل اول:

مقدمه

تصمیم، جوهره اصلی مدیریت است و تصمیم صحیح و به موقع می تواند در روند زندگی فردی و اجتماعی انسان ها و همچنین انجام فعالیت ها در یک سازمان مؤثر و تأثیرگذار باشد. ضرورت به کارگیری یک سیستم مدیریتی که امکان بهینه سازی تصمیم ها را بر اساس اطلاعات صحیح و با استفاده از روش ها و ابزارهای علمی تأیید شده فراهم سازد بیشتر احساس می شود.

کیفیت کلیه تصمیم هایی که در سازمان ها و ادارات راهسازی و راهداری اتخاذ می شوند به مقدار زیادی بستگی به دانش، آگاهی و اطلاعات تصمیم گیران (مدیران) دارد. این تصمیم ها ممکن است برنامه ریزی شده و یا بدون برنامه ریزی باشند.

تصمیم ها وقتی برنامه ریزی شده اند که حالت تکراری داشته باشند، به طوری که با ارائه ی یک الگو و روش مشخص بتوان در خصوص موضوعات و مسائل طرح شده تصمیم گیری نمود. تصمیم های بدون برنامه ریزی به آن دسته از تصمیم ها اطلاق می شود که سابقه قبلی نداشته و اتفاقی باشند. معمولاً برای این نوع تصمیم ها، الگو و روش مشخصی وجود ندارد. در این نوع تصمیم گیری ها اطلاعات لازم از گذشته برای پیش بینی عواقب تصمیم ها در دسترس نبوده و از این رو محاسبه ی احتمال صحت یا درستی آن ها دشوار و در بسیاری از موارد غیرممکن می باشد. در این نوع تصمیم گیری ها مشخص کردن زمان، مکان و نحوه اجرای برنامه ها و همچنین هدایت، کنترل و نظارت بر اجرای آن ها دشوار است.

عصر حاضر، عصر داده ها و اطلاعات و عصر روش ها و ابزارها و به کارگیری صحیح آن ها است. هر روزی که می گذرد رایانه ها جایی تازه در زندگی اقتصادی و اجتماعی انسان ها اشغال می کنند. از این رو شاخه هایی از علم که ارتباط بیشتر و نزدیک تری با داده ها دارند، شکوفایی بیشتری پیدا می کنند. سیستم مدیریت روسازی (PMS)^۱ نیز یکی از این شاخه ها است. سیستم مدیریت روسازی مجموعه ای از روش ها و ابزارها است که با استفاده از قوانین و اصول خاصی که در علوم اقتصادی و فنون مهندسی تعریف و تأیید شده اند،

^۱ Pavement Management System

طراحی شده است. همچنین این سیستم با هدف یاری‌دادن به مدیران (تصمیم‌گیران) و به‌منظور اتخاذ تصمیم بهینه طراحی شده است. در حقیقت سیستم مدیریت روسازی با تحلیل فنی و اقتصادی کلیه روش‌هایی که برای طراحی، ساخت، مرمت و تعمیرات اساسی، نگهداری، ارزیابی و بازسازی یک روسازی طرح‌ریزی شده‌اند، راهکارهایی را معرفی و ارائه می‌کند که برای انتخاب استراتژی‌های از نظر فنی و اقتصادی توجیه‌پذیر باشند.

با در اختیار داشتن سیستم مدیریت روسازی، این امکان فراهم می‌شود تا مدیران با مشاهده و ارزیابی گزارش مخارج و هزینه‌های انجام هر یک از طرح‌های معرفی شده، ضمن در نظر گرفتن سیاست‌های حاکم بر سازمان، نسبت به انتخاب گزینه‌های بهینه‌ی ساخت، مرمت و تعمیرات اساسی و یا بازسازی روسازی و همچنین روش‌های نگهداری آن، بر اساس نیازها و محدودیت‌ها تصمیم‌گیری کرده و برای تأمین و تخصیص بودجه و نیز زمان اجرای آن برنامه‌ریزی نمایند.

برای تعیین درجه مفید بودن سیستم مدیریت روسازی، بایستی توان آن را در پیش‌بینی واقعیت‌ها تعیین نمود. در دنیای واقعی عوامل تأثیرگذار در زندگی اجتماعی و اقتصادی انسان‌ها ثابت باقی نمی‌مانند. به همین دلیل مدیران باید بتوانند با استفاده از نظریه‌ها و مدل‌های ریاضی و ثابت نگه‌داشتن مصنوعی عوامل متغیر در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت نتایج تصمیم‌هایشان را ملاحظه نمایند.

نظریه‌ها و مدل‌های ریاضی مبتنی بر اصول علمی، زمانی قابل قبول هستند که بهتر توانسته باشند با واقعیت‌ها انطباق داشته باشند. از این‌رو آزمون منظم نظریه‌ها و مدل‌های ریاضی در قبال واقعیت‌ها در هر علمی ضروری می‌باشد. سیستم مدیریت روسازی نیز از این قاعده مستثنی نیست و باید به‌صورت دوره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و به‌نگام شود [عامری، ۱۳۸۸].

۲-۱ نقش روسازی در سیستم حمل و نقل امروزی

سیستم حمل و نقل امروزی شامل حمل و نقل دریایی، جاده‌ای، ریلی، هوایی و خط لوله می‌شود. از میان این شیوه‌های حمل و نقل، فقط سیستم دریایی و خط لوله از سیستم روسازی استفاده نمی‌کنند. مطمئناً عامل اصلی انتقال بار ناشی از ترافیک در سیستم راه، روسازی می‌باشد. در سیستم حمل و نقل هوایی روسازی‌ها شامل باندهای پرواز، باندهای خزش و محوطه پارکینگ هواپیماها می‌باشند. همین طور در سیستم حمل و نقل ریلی روسازی از ریل، تراورس و بالاست تشکیل شده است که البته با روسازی جاده‌ای تفاوت دارد.

مشخص کردن ارزش دلاری هزینه‌ها در هریک از شیوه‌های حمل و نقل در ایالات متحده، در کانادا یا در جهان، مشکل است. با وجود این می‌توان گفت که هزینه بخش راه در ایالات متحده در بین شیوه‌های حمل و نقل، بیشترین مقدار را دارد که بیش از ۲۰ میلیارد دلار در سال است و نگهداری و نوسازی راه‌ها تقریباً نیمی از این هزینه‌ها را دربر می‌گیرد [عامری، ۱۳۸۸]. در اصل روسازی، پل‌ها و دیگر ابنیه فنی راه، سرمایه‌گذاری عمده‌ای را در تسهیلات ثابت حمل و نقل جاده‌ای می‌طلبند. اشاره به این نکته مهم است که بعد از احداث اولیه یک راه، هزینه‌ی ساخت سازه‌ای راه متوقف می‌شود اما هزینه‌های دیگر راه در ارتباط با روسازی، پل و دیگر ابنیه فنی مثل تعمیر و نگهداری و ترمیم ادامه خواهند داشت.

با توجه به سرمایه‌گذاری‌های نسبتاً عظیمی که در ساخت روسازی‌ها صرف شده و با وجود پیشرفت‌هایی که در سیستم مدیریت حفظ این سرمایه‌ها و فناوری‌های مرتبط با آن انجام شده می‌توان در ساخت و نگهداری روسازی‌ها به مقادیر زیادی صرفه‌جویی نائل گردید. علاوه بر صرفه‌جویی مستقیم در هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نگهداری، مزایای غیر مستقیم برای استفاده‌کنندگان از جاده نیز می‌تواند به همان میزان مهم باشد. ساخت روسازی احتمالاً در آینده به آن سرعت که از زمان جنگ جهانی دوم توسعه داشته است، به توسعه خود ادامه نخواهد داد، اما سرمایه‌گذاری‌های امروزه می‌بایست توسط نگهداری و نوسازی دوره‌ای محافظت شوند. در غیر این صورت این سرمایه‌گذاری‌ها با زوال روسازی از دست خواهد رفت [Haas, et al-1994].

۳-۱ سیستم مدیریت روسازی

روسازی‌ها سرمایه‌ی ملی کشورها محسوب می‌شوند که سالیانه بخش عمده‌ای از بودجه‌ی عمرانی سازمان‌ها ذریبط صرف ترمیم، بهسازی، حفظ و نگهداری آن‌ها می‌شود. تأمین اعتبار کافی برای این منظور چالشی است که مدیران عالی (تصمیم‌گیران) همواره با آن مواجه و دست به گریبان بوده‌اند. تحقیقات دامنه‌داری که از اوایل سال‌های ۱۹۷۰ میلادی در آزمایشگاه‌های ارتش آمریکا (USA CERL) آغاز گردید منجر به ارائه یک سیستم مدیریت مهندسی (EMS)^۱ برای روسازی راه‌ها، فرودگاه‌ها و محوطه‌های پارکینگ‌ها شده که به سیستم مدیریت روسازی (PMS) شهرت یافته است. این روش سیستماتیک به کمک ارزیابی عمیق از وضعیت روسازی و پیش‌بینی وضعیت آن در آینده، امکان انتخاب اقتصادی‌ترین استراتژی ترمیم و نگهداری را فراهم می‌آورد.

سیستم مدیریت روسازی یک سیستم اطلاعاتی-تحلیلی-تکاملی است که اطلاعات آن باید به‌طور مستمر با یک برنامه‌ای که بر اساس علوم و فنون نوین مهندسی، فن‌آوری‌ها و تحولات اقتصادی تنظیم گردیده است بررسی و بهنگام شود تا امکان‌سنجی اقتصادی و استراتژی مهندسی انتخاب شده برای ترمیم، بهسازی، حفظ و نگهداری روسازی بهینه و بهنگام باشد [مقدس‌نژاد، ۱۳۸۷].

۴-۱ مدل‌های پیش‌بینی وضعیت روسازی

مدل‌های پیش‌بینی وضعیت روسازی شرط لازم برای یک سیستم کامل مدیریت روسازی به حساب می‌آید. مدل‌های پیش‌بینی وضعیت برای یک سیستم مدیریت مانند موتور برای یک وسیله‌ی نقلیه هستند. در حالت کلی مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی بایستی روند اضمحلال روسازی را به صورت جامع بیان کند و تمام فاکتورهای تأثیرگذار آن را مدنظر قرار دهد. در اینجا ابعاد گوناگون مدل‌سازی پیش‌بینی وضعیت از جمله کاربرد مدل‌های پیش‌بینی در سطح پروژه و شبکه، تکنیک‌های توسعه‌ی مدل‌های پیش‌بینی و شرحی از مدل‌های آن معرفی می‌شود.

^۱ Engineering Management Systems

۱-۴-۱ کاربرد مدل‌های پیش‌بینی

برای انجام وظایفی که بر عهده‌ی مدیریت قرار دارند، داشتن اطلاعات درباره‌ی برخی از مشخصات وضعیت روسازی از اهمیت حیاتی برخوردار است. این مشخصات عبارتند از مقاومت در برابر لغزندگی، ظرفیت سازه‌ای و خرابی‌ها. برای تعیین کمیت این مشخصات چندین نشانه‌ی وضعیت پیشنهاد شده‌اند.

برای مثال می‌توان از نشانه‌ی ناهمواری بین‌المللی (IRI^۱) برای اندازه‌گیری ناهمواری‌ها و عدد لغزندگی (SN^۲) برای اندازه‌گیری مقاومت در برابر لغزندگی نام برد. نشانه‌هایی که به آزمایش‌های غیرمخرب افت‌وخیز مربوط می‌شوند، نظیر حداکثر افت‌وخیز و مساحت گودی افت‌وخیز نمونه‌هایی از نشانه‌های سازه‌ای هستند.

هر یک از خرابی‌ها به‌نوبه‌ی خود می‌توانند نشانه‌ی وضعیت باشند، برای نمونه درصد سطوحی که دارای ترک پوست‌سوسماری هستند. در سیستم‌های مدیریت روسازی استفاده از نشانه‌های ترکیبی نظیر شاخص کیفیت روسازی (PCI^۳) با موفقیت همراه بوده است. یک نشانه‌ی ترکیبی به شرطی که به نحو صحیحی توسعه داده شود. به دلیل رابطه‌ای که بین انواع گوناگون خرابی‌ها و هر یک از مشخصات وضعیت وجود دارد، معیاری از ناهمواری، لغزندگی و انسجام سازه‌ای (و نه ظرفیت) به دست می‌دهد.

مدل‌های پیش‌بینی وضعیت هم در سطح شبکه و هم در سطح پروژه برای تحلیل وضعیت و تعیین ضروریات ترمیم و نگهداری بکار می‌روند. در سطح شبکه از مدل‌های پیش‌بینی به‌منظور پیشگویی وضعیت، برنامه‌ریزی بودجه، زمان‌بندی بازرسی‌ها و برنامه‌ریزی کاری استفاده می‌شود. یکی از کاربردهای مهم مدل‌های پیش‌بینی در شبکه، انجام تحلیل «چه می‌شود اگر» برای بررسی اثرات تغییر سطح بودجه بر وضعیت روسازی در آینده است.

مدل‌های پیش‌بینی در سطح پروژه برای انتخاب گزینه‌های خاص ترمیم برای مقابله با شرایط جوی و ترافیکی مورد انتظار به کار می‌روند. این مدل‌ها اطلاعات اصلی مورد نیاز را به‌منظور انجام مقایسه

^۱ International Roughness Index

^۲ Skid Number

^۳ Pavement Condition Index

بین گزینه‌های مختلف ترمیم و نگهداری از نظر اقتصادی در تحلیل هزینه‌ی چرخه‌ی عمر (LCC)^۱ در اختیار قرار می‌دهند.

در برنامه‌ریزی ترمیم و نگهداری در سطح شبکه کانون توجهات معمولاً متوجه سطح ترمیم و نگهداری مورد نیاز است، در سطح پروژه توجهات به اقدامات خاص ترمیم و نگهداری از جمله طراحی مقدماتی هر گزینه معطوف می‌باشد؛ بنابراین دقت پیش‌بینی برای تحلیل در سطح پروژه از اهمیت بیشتری برخوردار است تا در سطح شبکه [Shahin, 2002].

۱-۴-۲ روش‌های مدل‌های پیش‌بینی

معیارهای متفاوتی برای طبقه‌بندی مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی وجود دارد که هر کدام از دیدگاه خاص خود مدل‌ها را شناسایی و طبقه‌بندی می‌نمایند. مدل‌ها را بر اساس ماهیت نتایج خروجی می‌توان طبقه‌بندی نمود. این نتایج یا به صورت اعدادی ثابت و قطعی و یا به صورت مقادیری احتمالی و غیرقطعی است. در این صورت مدل‌ها به دو گروه «مدل‌های قطعی» و «مدل‌های احتمالی» تقسیم می‌شوند. همچنین ممکن است با توجه به روش کار مدل، آن‌ها را در دو گروه «مدل‌های استاتیک» و «مدل‌های دینامیک» طبقه‌بندی کرد. در مدل‌های استاتیک، ورودی مدل مقادیر ثابتی داشته و طی فرآیند پیش‌بینی عملکرد، جواب‌ها مستقیماً محاسبه می‌شوند در حالی که در مدل‌های دینامیک، ورودی مدل مقادیر متغیری داشته که تابع زمان بوده و جواب‌ها به صورت سری‌های زمانی و یا توابع احتمالی محاسبه می‌شوند. معیار دیگری که برای طبقه‌بندی مدل‌ها قابل استفاده است چگونگی مکانیسم مدل‌سازی است. در این صورت مدل‌های پیش‌بینی به سه گروه «مدل‌های نظری»، «مدل‌های تجربی» و «مدل‌های نظری-تجربی» تقسیم می‌شوند [قاسم زاده، ۱۳۸۸].

^۱ Life Cycle Costs

۵-۱ معرفی فصل‌های پایان‌نامه

در این پایان‌نامه مدلی برای پیش‌بینی عملکرد روسازی معابر شهر ساری ارائه خواهد شد. در این مدل از شاخص کیفیت روسازی (PCI) و مدل خانواده استفاده شده است. سپس با استفاده از مدل رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (MLP)^۱ مدل‌سازی انجام شد و نتایج قابل قبولی بدست آمد. در نهایت نتایج این دو مدل نیز با همه مقایسه می‌شود.

در فصل اول مقدمه‌ای از سیستم مدیریت روسازی و مدل‌های پیش‌بینی عنوان شد. در فصل دوم پایان‌نامه به مرور پیشینه‌ی تحقیق در زمینه‌ی انواع مدل‌های پیش‌بینی وضعیت روسازی پرداخته شده است. در فصل سوم درباره‌ی روش‌های بکار رفته در تحقیق شامل انواع خرابی‌ها، ارزیابی و محاسبات PCI و همچنین در مورد مدل‌های رگرسیون و شبکه عصبی توضیح داده خواهد شد. فصل چهارم شامل داده‌های مورد استفاده و نتایج به دست آمده می‌باشد. فصل پنجم شامل نتیجه‌گیری و پیشنهادات است و در آخر منابع مورد استفاده معرفی خواهد شد.

^۱ Multilayer perceptron

فصل دوم:

پیشینه تحقیق

یکی از بخش‌های مهم سیستم مدیریت روسازی، مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی^۱ است که می‌تواند وضعیت آینده روسازی را بر اساس وضعیت کنونی و تحت تأثیر بار ترافیک مشخص کرده و یا اثر روش‌های تعمیر و نگهداری را بر کیفیت روسازی برآورد نماید. چنین مدل‌هایی می‌توانند رفتار روسازی را در سال‌های آینده برآورد نمایند و چگونگی رشد و گسترش خرابی‌ها را پیش‌بینی کنند. این‌گونه پیش‌بینی‌ها بر پایه وضعیت فعلی روسازی، تاریخچه ساخت و نگهداری، شرایط محیطی، بارگذاری و روش‌های مرمتی است که در آینده بکار خواهند رفت [Haas, et al-1994].

مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی مهم‌ترین بخش از یک سیستم مدیریت روسازی است و دقت، اعتبار و کارایی برنامه‌های اجرایی و خروجی‌های سیستم به دقت و اعتبار مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی بستگی دارد. همچنین از یک مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی انتظار می‌رود که اثرات و میزان تغییر در سطح بودجه را بر وضعیت روسازی در سال‌های آینده مشخص نماید [Robinson, et al-1998].

در اواخر دهه ۱۹۶۰، اصطلاح سیستم مدیریت روسازی توسط گروهی از محققان برای توصیف محدوده‌ی کامل فعالیت‌های مرتبط با ساخت و نگهداری روسازی به‌کاربرده شد. در همان زمان، سیستم‌های کاربردی اولیه در دو پروژه عمده به‌کاربرده شدند. پروژه بزرگ‌تر، پروژه ۱۲۳ بود که توسط «بخش راه تگزاس» دانشگاه تگزاس انجام شد. یک سری دفترچه‌های راهنما از این تحقیق حاصل شد که با گزارش ۱-۱۲۳ در سال ۱۹۷۰ آغاز گردید. این پروژه ابداعات جدیدی را در تحلیل روسازی‌ها مطرح ساخته است.

هدف کلی این تلاش‌ها توسعه چارچوب اساسی و لازم برای هماهنگی با اطلاعات محیط‌های منطقه‌ای بود؛ همانند آنچه در آزمایش راه آشو حاصل شده بود. این کار با انجام اهداف مشخص زیر حاصل می‌شد:

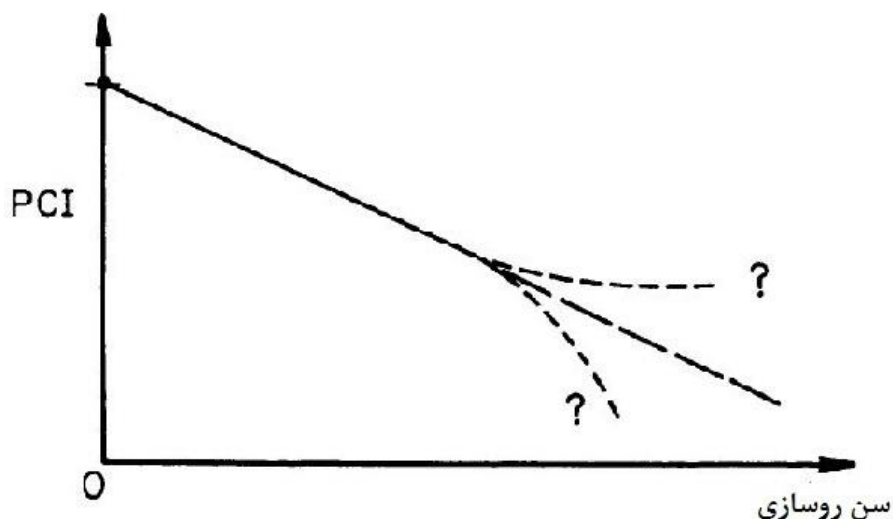
^۱ Pavement Performance Prediction Models

- توسعه و نمایش خواص اساسی مصالح به کاررفته در جسم راه و روسازی.
 - توسعه روش‌ها برای سنجش این خواص در حالتی که قابل اجرا برای طراحی روسازی و ارزیابی آن باشند.
 - توسعه روش‌ها برای طراحی روسازی با استفاده از پارامترهای سنجش خواص مصالح که در تمام شرایط محیطی و بارهای ترافیکی قابل اجرا باشند.
- در اصل، هدف «فرمول‌بندی کلی مسئله روسازی از نظر تئوری و اجرایی» بود که قادر به ساخت راه‌حل برای بعضی از مشکلات در این رابطه باشد [عامری، ۱۳۸۸].
- مدل‌های زیادی برای پیش‌بینی عملکرد روسازی ارائه گردیده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اگر این مدل‌ها یک بانک داده‌ای یکسانی را دریافت کنند معمولاً خروجی‌های متفاوتی را ارائه می‌کنند. برای اینکه مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی قابل اعتماد و کاراً باشند باید به‌طور اساسی بر پایه اصول و قواعد استاندارد مهندسی ساخته شوند. از جمله مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی که مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از روش‌های برون‌یابی مستقیم، رگرسیون، مدل نظری-تجربی، منحنی S شکل، حداقل مربعات محدود شده‌ی چند جمله‌ای، توزیع احتمالات، مدل زنجیره مارکوف، مدل خانواده، شبکه‌های عصبی مصنوعی و نرم افزار HDM-4 که در ادامه توضیح داده خواهند شد. هر یک از این مدل‌ها دارای نقاط ضعف و قوت هستند. نحوه‌ی انتخاب و استفاده از این مدل‌ها بسته به وسعت بانک داده‌ای و اهداف مختلف مدیریتی است.

۲-۲ برون‌یابی مستقیم

آسان‌ترین روش به‌منظور پیشگویی وضعیت بر اساس برون‌یابی مستقیم بین دو نقطه‌ی آخر بررسی وضعیت استوار است. این روش برای هر یک از قطعه‌ها به‌تنهایی قابل کاربرد بوده و به توسعه‌ی مدلی که بتواند قطعات دیگر را دربر گیرد منجر نمی‌شود. در این روش فرض بر آن است که بارگذاری ترافیکی و سطح نگهداری قبلی همچون گذشته ادامه می‌یابند. لازمه‌ی این روش آن است که اندازه‌گیری وضعیت از زمان ساخت تا کنون انجام گرفته باشد. این موضوع حاوی دو نکته است: وضعیت اولیه‌ی روسازی که برای

زمان آخرین ساخت فرض می‌شود و وضعیت ثانویه‌ی روسازی برای زمان بازرسی. با توجه به شکل (۲-۱) نقطه ضعف مهم برونمایی مستقیم این است که معلوم نیست شدت اضمحلال احتمال روند صعودی یا نزولی داشته باشد.



شکل (۲-۱) خطا در برونمایی مستقیم

باید توجه داشت در پیش‌بینی وضعیت یک قطعه‌ی روسازی عواملی همچون بستر تکیه‌گاهی، آب‌وهوا، سازه‌ی روسازی و ترافیک گذشته همگی دارای نقش هستند. اگرچه دقت این روش در پیش‌بینی اضمحلال برای دوره‌های کوتاه‌مدت کفایت می‌کند لیکن برای دوره‌های طولانی‌مدت کافی نیست. علاوه بر این، روش برونمایی مستقیم را نمی‌توان برای پیش‌بینی شدت اضمحلال یک روسازی نسبتاً جدید یا یک روسازی که اخیراً ترمیم اساسی شده است بکار برد [Shahin, 2002].

۲-۳ روش رگرسیون

رایج‌ترین و ساده‌ترین روش برای آنالیز اطلاعات حاصل از چنین مشاهداتی استفاده از روش رگرسیون است. تکنیک رگرسیون برای تعیین یک رابطه‌ی تجربی بین دو یا چند متغیر بکار می‌رود. هر متغیر برحسب میانگین و واریانس آن تعریف می‌شود. تحلیل رگرسیون اشکال گوناگونی دارد و ساده‌ترین شکل آن رگرسیون خطی بین دو متغیر است. این مدل به صورت زیر تعریف می‌شود [Shahin, 2002].

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (1-2)$$

Y_i = متغیرهای وابسته که همان نشانه‌های وضعیت هستند.

X_i = متغیرهای توصیفی یا غیر وابسته که همان مدت‌زمانی است که از آخرین ترمیم اساسی می‌گذرد.

ε_i = خطای پیش‌بینی

α, β = پارامترهای رگرسیون

روش رگرسیون برای ایجاد یک رابطه تجربی بین دو یا چند متغیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل‌های رگرسیونی زیادی وجود دارند که جهت پیش‌بینی در روسازی به کار می‌روند. به‌عنوان مثال در تحقیقی برای پیش‌بینی مدول مرکب برشی و زاویه فازی قیر تحت تأثیر فرسودگی یک مدل رگرسیون ارائه شده است؛ که این مدل دقت قابل قبولی جهت استفاده در مدل‌های پیش‌بینی خرابی روسازی دارد. مدل ارائه شده یک رابطه رگرسیون است که مقادیر مدول مرکب برشی قیر و زاویه فازی قیر را در طول زمان بهره‌برداری از راه می‌تواند محاسبه نماید. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش داده‌های LLTP¹ مربوط به راه‌های آمریکای شمالی است [قاسم‌زاده، ۱۳۸۹].

یکی از مشکلات رگرسیون در مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی این است که معمولاً مشخصات خرابی‌ها با پراکندگی زیادی همراه هستند در نتیجه رابطه حاصل از رگرسیون دارای ضریب همبستگی پایینی خواهد بود. در عین حال، مدل‌های مبتنی بر رگرسیون یکی از فراگیرترین و گسترده‌ترین انواع مدل‌هایی است که برای پیش‌بینی عملکرد روسازی بکار گرفته می‌شوند.

۲-۴ مدل نظری-تجربی

یک راه حل صد در صد نظری برای مدل‌سازی تنها در مورد محاسبه‌ی پاسخ روسازی (مثلاً تنش، تغییر شکل نسبی و افت‌وخیز) قابل استفاده خواهد بود. این پاسخ معمولاً در اثر نیروهایی که منشأ ترافیکی، آب و هوایی و یا ترکیبی از این دو دارند به وجود می‌آید. مدل‌های صد در صد نظری برای محاسبه تنش و تغییر شکل نسبی را نمی‌توان به‌عنوان مدل‌های پیش‌بینی طبقه‌بندی کرد. در عین حال می‌توان از تنش و

¹ Long Term Pavement Performance

تغییر شکل نسبی محاسبه شده به عنوان ورودی (متغیر غیر وابسته) در یک مدل پیش‌بینی رگرسیون (تجربی) استفاده نمود. به یک مدل پیش‌بینی با استفاده از تکنیک رگرسیون که در آن متغیر وابسته، پاسخ روسازی (مثلاً تنش، تغییر شکل نسبی و افت‌وخیز) است، مدل نظری-تجربی اطلاق می‌شود. نمونه‌ای از یک مدل نظری-تجربی مدلی است که برای پیش‌بینی عمر خستگی روسازی آسفالتی (N) بکار می‌رود و مطابق رابطه‌ی (۲-۲) بدست می‌آید.

$$N = A \cdot e^{-B} \quad (۲-۲)$$

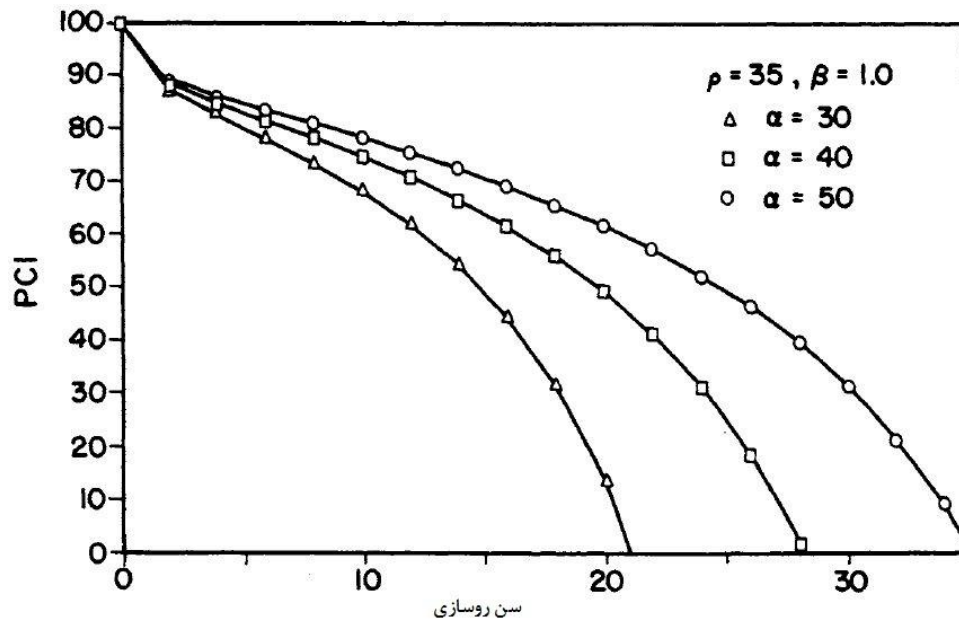
در این مدل، رابطه‌ی کلی بررسی پیش‌بینی تغییر شکل نسبی e که در اثر بار چرخ به وجود می‌آید، به صورت نظری و ضرایب A و B به کمک تکنیک‌های رگرسیون تعیین می‌گردند [Shahin, 2002].

۲-۵ منحنی S شکل

کاربرد تکنیک برازش منحنی S نظیر حداقل مربعات محدود شده‌ی چند جمله‌ای زمانی مفید است که بخواهیم تغییر در یک متغیر Y را به صورت تابعی از متغیر X پیش‌بینی کنیم. اسمیت از یک مدل S شکل برای تعیین رابطه PCI با سن روسازی استفاده می‌کند. این مدل دارای شکل زیر است:

$$PCI = 100 - \rho / (\ln(\alpha) - \ln(AGE))^{(1/\beta)} \quad (۳-۲)$$

که در اینجا ρ ، α و β ثابت‌های مدل هستند. ثابت α سنی است که پیش‌بینی می‌شود PCI در آن به صفر برسد. در شکل (۲-۲) یک نمونه از منحنی‌های این مدل را مشاهده می‌کنید [Smith, 1980].



شکل (۲-۲) منحنی S شکل، تأثیر پارامتر α

۲-۶ حداقل مربعات محدود شدهی چند جمله‌ای

این روش یکی از پر قدرت‌ترین تکنیک‌ها برای پیش‌بینی تغییر در یک متغیر y (مثلاً نشانه‌ی وضعیت روسازی PCI یا ناهمواری IRI) به صورت تابعی از یک متغیر x (مثلاً عمر روسازی یا ترافیک) می‌باشد. با در دست داشتن مشاهدات (x_i, y_i) می‌توان y را به صورت تابعی از x طبقه رابطه‌ی (۲-۴) تخمین زد.

$$\hat{y} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (۴-۲)$$

\hat{y} به نحوی تعیین می‌شود که یک انطباق حداقل مربعات حاصل گردد و محدودیت مطلوب به دست آید. برای مثال هنگامی که PCI با سن روسازی برآزش می‌شود باید اطمینان حاصل شود که شیب چندجمله‌ای رابطه‌ی (۲-۵) برای هر سن دلخواه $(x=0,1,\dots,z)$ در صورتی که z بالاترین سن باشد غیر مثبت است.

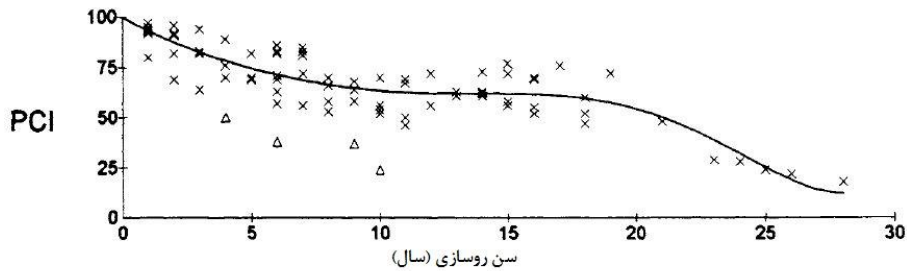
$$p(x) = a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + \dots + na_nx^{n-1} \quad (۵-۲)$$

بنابراین ضرایب چندجمله‌ای (a_1, a_2, \dots, a_n) به نحوی تعیین می‌شوند که عبارت $\sum [y_i - \hat{y}_i]^2$ یعنی مجموع مربعات خطاها به حداقل برسد و محدودیت‌های زیر برقرار باشند:

(۱) $a_0 = 100$ که شرط $p(0) = 100$ را تأمین می‌کند و

(۲) $a_0 + 2a_2x + 3a_3x^2 + \dots + na_nx^{n-1} \leq 0$ که تضمین می‌کند برای $x \geq 0$ شیب مثبت نباشد.

شکل (۳-۲) نمونه‌ای از نمودار منحنی درجه‌ی چهارم محدودشده است.



شکل (۳-۲) نمودار منحنی درجه‌ی چهارم محدودشده

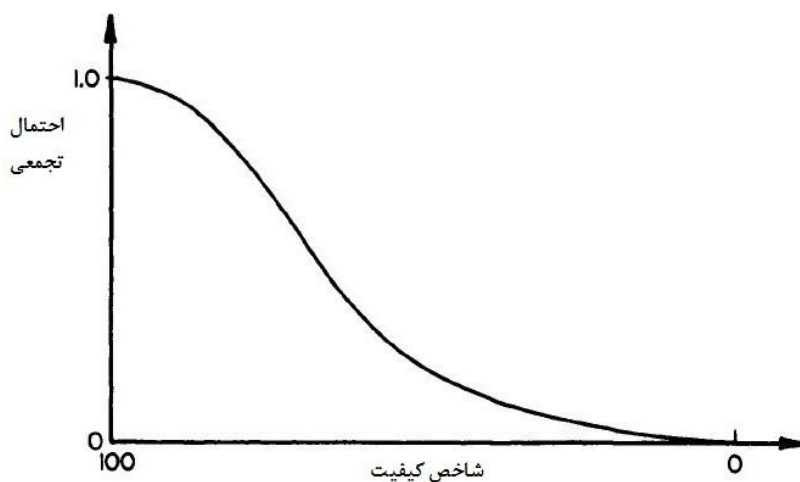
۷-۲ توزیع احتمالات

یک معیار وضعیت روسازی نظیر PCI یا IRI را می‌توان به‌عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفت که مقادیر آن، احتمالات مربوط به خود را دارا می‌باشند. توزیع احتمال، احتمالات مربوط به کلیه مقادیر یک متغیر تصادفی را بیان می‌کند. برای مثال در صورتی که این متغیر تصادفی PCI باشد، توزیع احتمال آن را می‌توان به‌وسیله‌ی تابع توزیع تجمعی، به صورتی که در شکل (۴-۲) نشان داده شده است، بیان نمود.

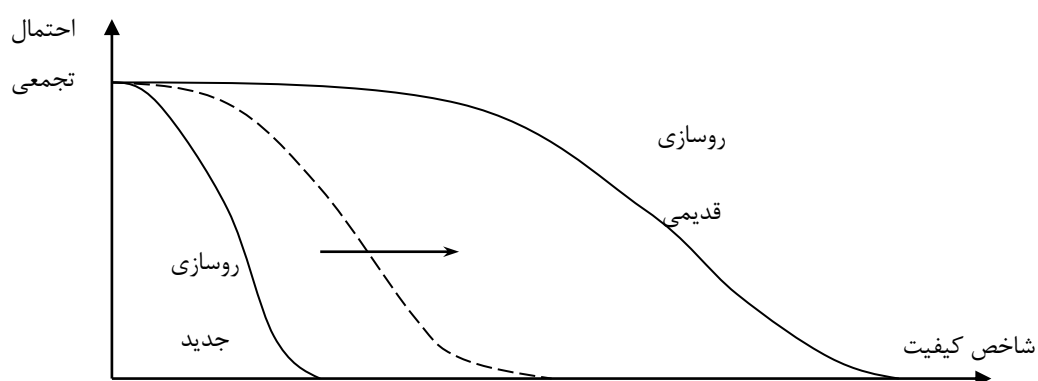
محور قائم در شکل (۴-۲) احتمال این را که به PCI مقدار کمتر از یا مساوی با یک مقدار معین PCI تعلق بگیرد را نشان می‌دهد. شکل (۵-۲) تابع توزیع تجمعی را در نقاط مختلف زمانی از عمر روسازی برای یک روسازی تازه ساخته شده و یک روسازی با عمر بهره برداری زیاد نشان می‌دهد. این شکل را می‌توان برای یک مقدار انتخابی PCI به صورت منحنی احتمال-زمان که به ((منحنی بازمانده)) معروف است نمایش داد. شکل (۶-۲)

ایده‌ی منحنی‌های بازمانده اولین بار به‌وسیله‌ی لیتون ارائه شد. احتمال در اینجا با گذشت زمان از یک مقدار به مقدار صفر نزول می‌کند و نشان‌دهنده‌ی درصد روسازی است که با PCI بزرگتر از یک مقدار

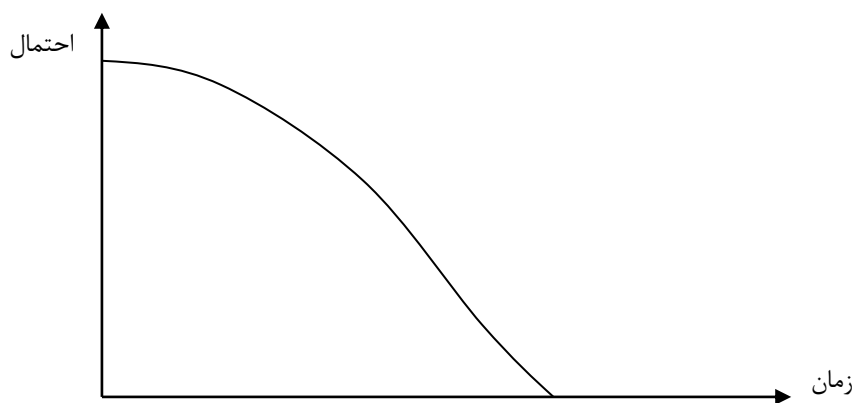
انتخابی به خدمت ادامه می‌دهد. کاربرد توزیع احتمال در پیش‌بینی وضعیت روسازی نیازمند شناخت قانون توزیع برای متغیری است که باید پیش‌بینی شود. این روش برای پیش‌بینی خرابی‌ها به صورت منفرد مفید می‌باشد [Lytton, 1987].



شکل (۴-۲) تابع توزیع تجمعی



شکل (۵-۲) تابع توزیع تجمعی در مقاطع مختلف روسازی



شکل (۶-۲) منحنی احتمال-زمان یا منحنی بازمانده

۸-۲ مدل زنجیره مارکوف و شبه مارکوف

به طور کلی دو منبع خطا و عدم قطعیت در مسائل مدل سازی زوال روسازی وجود

دارد [Madanat, et al-1997].

(۱) تصادفی^۱ بودن ذاتی روند زوال که به ناهمگنی^۲ معروف است

(۲) خطاهای برداشت وضعیت، ابزار و دستگاه‌ها.

روند زوال روسازی به طور کلی متأثر از پنج پارامتر سازه روسازی، بارگذاری ترافیکی، آب و هوا،

تاریخچه اصلاح و کیفیت ساخت است [Haas, 2003]. با توجه به اینکه بسیاری از این پارامترها

به صورت تصادفی تغییر می کنند و قابل پیش بینی نیستند، از طرف دیگر بر هم کنش این پارامترها نیز

نامشخص است، بنابراین زوال روسازی پدیده‌ای است کاملاً تصادفی و احتمالاتی که عدم قطعیت زیادی

در آن وجود دارد. مدل‌های احتمالاتی که زوال روسازی را به صورت متغیر تصادفی مدل سازی می کنند

قادرند تا عدم قطعیت موجود را به حساب آورند.

از جمله مدل‌های احتمالاتی، مدل احتمالاتی حالت گسسته^۳ است که برای توصیف وضعیت

عموم زیرساخت‌ها مورد استفاده قرار می گیرد. در مدل‌های حالت گسسته یک مقیاس اندازه گیری

وضعیت روسازی به فاصله‌های گسسته‌ای موسوم به حالت‌های وضعیت، تقسیم می شود.

از جمله پرکاربردترین مدل‌های احتمالاتی حالت گسسته، مدل زنجیره مارکوف است. تکنیک

زنجیره مارکوف به تفصیل به وسیله‌ی Butt بیان شده است. در این تکنیک یک مقیاس اندازه گیرنده‌ی

وضعیت روسازی به فاصله‌های گسسته‌ای موسوم به حالت‌های وضعیت، تقسیم می شود. برای نمونه می توان

PCI را که عددی بین صفر تا صد است را به ۱۰ حالت وضعیت که هر یک دارای عرضی معادل ۱۰

امتیاز باشند تقسیم کرد [Butt, 1991]. مدل مارکوف یک مدل احتمالاتی است که به وسیله ماتریس

^۱ Stochastic

^۲ Heterogeneity

^۳ Discrete-state

احتمال انتقال^۱، تغییر وضعیت روسازی را از یک حالت^۲ به حالت دیگر پیش‌بینی می‌کند. در واقع روش زنجیره مارکوف بر اساس تعیین احتمالات مربوط به ماندن در یک حالت معین و یا اضمحلال آن تا حالت بعدی پس از یک چرخه خدمت استوار است. یک چرخه خدمت یک‌ساله و یا کمتر می‌تواند باشد که معمولاً چرخه‌ها یک‌ساله است [Shahin, 2002].

در یک زنجیره مارکوفی n حالتی، توزیع درصدی هر حالت نسبت به کل شبکه را می‌توان با یک مقدار احتمالاتی به نام بردار حالت، به شکل زیر نشان داد:

$$p(t) = [p_1^t, p_2^t, \dots, p_i^t] \quad (6-2)$$

که در آن p_i^t نسبتی از کل شبکه است که در زمان t در حالت i قرار دارد.

در زنجیره مارکوفی احتمال انتقال از یک حالت به حالت دیگر را احتمال انتقال می‌گویند. اگر احتمال انتقال از حالت i به حالت j را با p_{ij} نشان دهیم ماتریس احتمال انتقال را برای حالت‌های وضعیت به شکل زیر خواهیم داشت:

$$p = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (7-2)$$

ماتریس فوق تمامی احتمالات انتقال بین دو حالت روسازی را شامل می‌شود. در چرخه عمر روسازی انتقال به حالت بالاتر بدون اعمال عملیات تعمیر و نگهداری غیر ممکن خواهد بود، بنابراین ماتریس احتمالات انتقال را می‌توان به شکل زیر ساده نمود:

$$p = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \dots & P_{1n} \\ 0 & P_{22} & P_{23} & \dots & P_{2n} \\ 0 & 0 & P_{33} & \dots & P_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (8-2)$$

^۱ Transition Probability Matrix

^۲ State

علاوه بر مطالب بالا، یک ساده‌سازی دیگر نیز به ماتریس احتمالات انتقال اعمال می‌شود که بر اساس آن روسازی در هر دوره نمی‌تواند بیش از یک درجه افت داشته باشد. با در نظر گرفتن این مطلب ماتریس فوق به صورت زیر ساده‌سازی می‌شود:

$$p = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (9-2)$$

افندی‌زاده و همکاران برای پیش‌بینی عملکرد روسازی از مدل احتمالاتی مارکوف و شاخص PCI به‌عنوان شاخص عملکرد روسازی، برای مدل‌سازی استفاده کردند و بر اساس نتایج پژوهش انجام شده به این نتیجه رسیدند که استفاده از این روش برای پیش‌بینی عملکرد روسازی، نه تنها سبب کاهش هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری روسازی راه‌ها می‌شود بلکه باعث افزایش رضایت‌مندی کاربران از راه و کیفیت خدمات تعمیر و نگهداری نیز می‌شود [افندی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰].

مدانات و همکاران در سال ۱۹۹۵ مدلی را برای استخراج احتمالات انتقال از داده‌های طبقه‌بندی روسازی بر اساس حالت‌ها ارائه نمودند. مدل مذکور زوال روسازی را به‌عنوان یک متغیر وابسته و روند زوال را وابسته به چند متغیر توصیفی در نظر می‌گیرد. همچنین یک متغیر تصادفی برای در نظر گرفتن خصوصیت نهفته روسازی در نظر می‌گیرد. نهایتاً یک مدل زوال تجمعی برای ماتریس احتمال انتقال وابسته به زمان ارائه گردید [Madanat, et al-1995].

در مطالعات دیگری در سال ۲۰۰۵ یانگ و همکاران یک مدل لوجستیکی را برای ارتباط دادن احتمالات انتقال با متغیرهای توصیفی مناسب و شاخص وضعیت ترک موجود برای ارائه یک مدل مارکوف بازگشتی بکار بردند. این مدل دقت مدل مارکوف بازگشتی را برای پیش‌بینی عملکرد ترک‌ها بهبود بخشید [Yang, et al-2005].

مدل‌های شبه مارکوف نیز که برای پیش‌بینی رفتار روسازی ارائه شده‌اند، در گروه مدل‌های تجربی طبقه‌بندی می‌شوند؛ زیرا در آن‌ها از ماتریس انتقالی استفاده می‌گردد که بر اساس نظر یک گروه خبره و با استفاده از مشاهدات قبلی تنظیم شده است. در چنین مواردی، هم حالت‌های احتمال و هم مقادیر احتمال انتقال بر اساس قضاوت مهندسی پیشنهاد می‌شود [Butt, et al-1987].

۲-۹ مدل‌های خانواده

گروه دیگری از مدل‌های تجربی، مدل‌های موسوم به مدل خانواده روسازی هستند. در این مدل‌ها، ابتدا کلیه مشاهدات و اطلاعات حاصل از آن‌ها به زیرمجموعه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شوند. به طوری که در هر زیرمجموعه تمامی مشخصات روسازی، خرابی‌ها و عوامل خارجی مشابه باشند. در این صورت هر زیرمجموعه یک خانواده روسازی را تشکیل می‌دهد و در هر خانواده نیز روند رشد و توسعه خرابی‌ها و به دنبال آن چگونگی رفتار و عملکرد روسازی مشابه است. میانگین رفتار هر خانواده به‌عنوان مدل پیش‌بینی عملکرد یک روسازی جدید متعلق به آن خانواده تلقی می‌شود. مزیت مهم این گروه از مدل‌ها این است که در اولین سال‌های بهره‌برداری، دقت مدل‌سازی بالاست؛ زیرا از مشخصات و خصوصیات سایر راه‌های مشابه برای مدل‌سازی استفاده شده است. همچنین اطلاعات مورد نیاز فقط در حدی است که بتوان خانواده روسازی را تعیین نمود و بیشتر از آن واقعاً لازم نیست [Shahin, 2002].

۲-۱۰ شبکه‌های عصبی مصنوعی

روش‌های مختلفی بر اساس عملکرد سیستم بدن انسان و موجودات ایجاد شده‌اند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ (به‌اختصار شبکه‌های عصبی) اشاره کرد. شبکه‌های عصبی برگرفته از عملکرد مغز انسان و شبکه‌های عصبی مغز است. بر اساس مسئولیتی که سلول‌های عصبی دارند، یادگیری و عمومیت دهی^۲ می‌شوند. مدل مصنوعی آن نیز از این ویژگی استفاده کرده و پس از فرآیند یادگیری سعی خواهد کرد عمومیت دهی و پیش‌بینی کند. مزیت عمده

^۱ Artificial Neural Networks (ANN)

^۲ General Neuron

این گروه از مدل‌ها این است که نتایج حاصل از اجرای خود مدل نیز به مجموعه مشاهدات افزوده می‌شود و در نتیجه در حین استفاده از مدل، حتی اگر اطلاعات جدیدی وارد برنامه نشود، دقت آن مرتب در حال بهبود خواهد بود. به علاوه، اگر در یک شبکه عصبی از پارامترهای بسیار زیادی استفاده شود و رابطه بین آن‌ها بسیار پیچیده و غیرخطی باشد، اما به دلیل اینکه محاسبات در لایه‌های پنهان مدل و به صورت غیر تحلیلی انجام می‌گیرد، حل آن بسیار سریع و ساده است؛ بنابراین این مدل‌ها برای پیش‌بینی در مورد مسائلی با متغیرهای زیاد و روابط غیرخطی ابزار توانمندی هستند. دلیل این امر در نحوه انجام محاسبات در یک شبکه عصبی است. این روش از واحدهای پردازشگر زیادی (نرون) استفاده می‌کند که می‌توانند در یک یا چند لایه مرتب شوند. ارتباط بین آن‌ها نیز می‌تواند به صورت کامل یا نیمه کامل باشد. عملیاتی که در هر نرون انجام می‌شود شامل محاسباتی ساده با حجم کم است، لذا سرعت انجام محاسبات در این مدل‌ها زیاد می‌باشد [Goktepe, Lav, 2004].

فخری و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مدلی را برای پیش‌بینی میزان ناهمواری ارائه کردند. شاخص ناهمواری مورد استفاده در این تحقیق شاخص بین‌المللی ناهمواری IRI است. در این تحقیق بانک داده‌ای که مورد استفاده قرار گرفته است داده‌های مربوط به LTPP است که مربوط به راه‌های آمریکای شمالی است. پس از اینکه اطلاعات لازم جمع‌آوری شد. با استفاده از نرم‌افزار MATLAB داده‌ها را تجزیه و تحلیل کرده و مدل استخراجی را پیشنهاد دادند. در نهایت خروجی که مدل دارد این است که با استفاده از این مدل می‌توان مقدار ناهمواری راه‌ها را پیش‌بینی نمود [فخری و همکاران، ۱۳۸۷].

ژیائو و همکارانش در سال ۲۰۰۹ با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی عمر خستگی مخلوط‌های آسفالتی لاستیکی حاوی خرده آسفالت ضایعاتی را پیش‌بینی کردند. آن‌ها با انجام آزمایش‌های خستگی بر روی ۳۹ مخلوط آسفالتی مختلف حاوی قیر لاستیکی و آسفالت بازیافتی، به ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی رگرسیونی و روش شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی عمر خستگی

پرداختند و نتیجه‌گیری کردند که باوجود پیش‌بینی قابل قبول مدل‌های رگرسیونی، روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، نتایج آزمایش‌ها را به طور دقیق پیش‌بینی می‌کند [Xi ao, et all-2009].

۲-۱۱- مدل HDM-4

یکی از معروف‌ترین مثال‌های مدل‌های تجربی، مدل HDM-4 ارائه شده توسط بانک جهانی می‌باشد. نرم‌افزار HDM-4 یک نرم‌افزار نسبتاً مفید و تقریباً جامع برای کشورهای در حال توسعه و همچنین کشورهایی که تاکنون موفق به ایجاد سیستم مدیریت علمی و تحلیلی برای سرمایه‌گذاری جهت نگهداری، بهسازی و توسعه راه‌هایشان نشده‌اند (کشورهای توسعه یافته معمولاً چنین سیستم‌هایی را بر اساس نیازها و انتظاراتی که از شبکه راه‌های کشور خود دارند تهیه نموده و در اختیار دارند)، محسوب می‌شود.

در اواخر دهه ۶۰ میلادی (۱۹۶۸) بانک جهانی با همکاری آزمایشگاه تحقیقات جاده‌ای و حمل‌ونقل بریتانیا و فرانسه اقدام به ارزیابی اقتصادی پروژه‌های راه‌سازی نمود و پس از تکمیل مطالعات اولیه، در سال‌های ۱۹۷۱ و ۱۹۷۲ میلادی با دانشگاه MIT در آمریکا قراردادی برای مطالعات دقیق‌تر و تهیه مدل‌های اقتصادی پروژه‌های راه منعقد نمود. این مدل‌ها می‌بایست اثرات متقابل مبالغ هزینه شده برای نگهداری و بهسازی راه‌ها را به همراه اثراتی که هر یک از روش‌های نگهداری و بهسازی بر مخارج یا هزینه‌های بهره‌برداری از وسایل نقلیه (ناوگان حمل‌ونقل) و استفاده کنندگان از راه دارند منعکس نمایند. دانشگاه MIT در پایان مطالعات و بر اساس قرارداد، نرم‌افزاری تحت عنوان مدل مخارج راه (HCM)^۱ تهیه و ارائه نمود. از آن پس نیز بانک جهانی با همکاری آزمایشگاه تحقیقات جاده‌ای و حمل‌ونقل بریتانیا مطالعات صحرائی گسترده‌ای را در کشور کنیا آغاز کرد و مدل‌های پیش‌بینی اضمحلال روسازی‌های آسفالتی و شنی را به همراه مدل‌های بررسی اقتصادی مخارج بهره‌برداری از وسایل نقلیه و روش‌های نگهداری راه‌ها تهیه نمود [henry, at el, 2001].

^۱ Highway Cost Model

در سال ۱۹۷۶ میلادی بانک جهانی قرارداد جدیدی را با دانشگاه MIT منعقد نمود تا با استفاده از یافته‌هایی که از کشور کنیا و همچنین مطالعات که از قبل به دست آمده است نرم‌افزار قبلی را اصلاح کنند. به این ترتیب و پس از گذشت سه سال اولین نسخه HDM^۱ در سال ۱۹۷۹ میلادی به بازار عرضه شد. سپس بانک جهانی به منظور کالیبره کردن مدل‌ها و به‌ویژه ارزیابی کارایی برنامه HDM، اقدام به مطالعات صحرایی گسترده‌ای در کشورهای حوزه‌ی دریای کارائیب، هندوستان و برزیل نمود و نسخه اصلاح‌شده نسخه‌ی قبلی را تحت عنوان HDM-III، در سال ۱۹۸۷ میلادی عرضه کرد. از سال ۱۹۹۳ میلادی به بعد نیز مطالعات گسترده‌تری آغاز شد تا مدل‌ها و نحوه‌ی استفاده از این نرم‌افزار بهینه شود. به همین دلیل مطالعات صحرایی و میدانی گسترده‌تری در برخی کشورهای دیگر نظیر بنگلادش، گینه، کنیا، هندوستان، استرالیا، پاکستان، جمهوری چک، روسیه، اتیوپی، مالزی، استرالیا، اتیوپی، ویتنام، شیلی، آرژانتین و چند کشور دیگر انجام شد و نسخه جدید مدل با نام HDM-4 در سال ۱۹۹۸ میلادی تهیه گردید. علت تغییر نام مدل HDM از مدل نگهداری و طراحی راه‌ها به ابزار توسعه و مدیریت بزرگراه‌ها را می‌توان در قالب موارد زیر بیان کرد:

۱- در HDM-III هدف، مدیریت نگهداری بود در صورتی که در HDM-4 توانایی محاسبات مربوط به یک پروژه ساخت را نیز دارا است؛ بنابراین نام ابزار توسعه و مدیریت بزرگراه‌ها برای آن انتخاب شده است.

۲- دلیل اصلی این اختلاف نام این است که مطالعات تهیه نرم‌افزار HDM-4 توسط گروه تحقیقاتی ISOHDM^۲ از سال ۱۹۹۳ میلادی آغاز شد و در واقع نام نرم‌افزار برگرفته از نام این گروه است.

مدل‌های فنی و اقتصادی که در نرم‌افزار HDM-4 به‌کاربرده شده‌اند تا کنون در بیش از ۱۰۰ کشور جهان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است و در حال حاضر این نرم‌افزار دارای قابلیت‌های مفید

^۱ Highway Development Manual

^۲ International Study Of Highway Development & Management

و انعطاف‌پذیر بسیار خوبی برای استفاده در کشورهای مختلف می‌باشد. برخی از کشورهای در حال توسعه نظیر هندوستان مدل‌های فنی و اقتصادی موجود در این نرم‌افزار را برای کشور خود تا حدودی کالیبره کرده‌اند و برخی کشورهای دیگر نیز در حال کالیبره کردن آن‌ها برای شرایط کشور خود هستند.

دامنه کار نرم‌افزار HDM-4 که پس از HDM-III ایجاد شد، به‌طور قابل ملاحظه‌ای فراتر از ارزیابی‌های سنتی پروژه‌های راهداری گسترش یافت تا بتواند یک سیستم قدرتمند را برای تجزیه و تحلیل مدیریت و نگهداری راه و جایگزین‌های سرمایه‌گذاری فراهم نماید [henry, at ell-2001].

نرم‌افزار HDM-4 کاربردهایی در حوزه‌های استراتژیک، برنامه‌ریزی در سطوح پروژه را دارا است و برای انواع مختلف خرابی‌های روسازی، مدل‌های اضمحلال را در خود جای داده است. در ادامه به تعدادی از مدل‌های تجربی موجود در این نرم‌افزار اشاره شده است [Kerali, 2000].

● رابطه‌ی شروع ترک خوردگی:

شروع ترک خوردگی با استفاده از رابطه‌ی زیر مدل شده است:

$$ICA = K_{cia} \left\{ CDS^2 a_0 \exp \left[a_1 SN + a_2 \left(\frac{YE^4}{SN^2} \right) \right] + CRT \right\} \quad (10-2)$$

که در آن:

ICA = زمان آغاز ترک خوردگی (سال)

CDS = شاخص نقص‌ها و عیوب ساخت برای روسازی‌های قیری که اثر کیفیت ساخت روسازی را وارد محاسبات می‌کند.

SN = عدد سازه‌ای روسازی

YE = تعداد سالیانه بار محوری منفرد هم‌عرض (ESAL) عبوری (میلیون بر خط عبور)

K_{cia} = ضریب کالیبراسیون برای آغاز ترک

CRT = زمان به تعویق افتادن ترک به علت انجام عملیات نگهداری

a_2, a_1, a_0 = پارامترهای کالیبراسیون.

• رابطه‌ی تغییر شکل پلاستیک:

مدل تغییر شکل پلاستیک در ابزار HDM-4 به صورت زیر بیان شده است:

$$\Delta RDPD = K_{rpd} \cdot CDS^3 \cdot a_0 \cdot YE^4 \cdot Sh^{a_1} \cdot HS^{a_2} \quad (11-2)$$

$\Delta RDPD$ = نمو افزایش تغییر شکل پلاستیک در سال آنالیز (بر حسب میلی‌متر)

CDS = شاخص نقص‌ها و عیوب ساخت برای روسازی‌های قیری

Sh = سرعت وسایل نقلیه‌ی سنگین (کیلومتر بر ساعت)

HS = ضخامت کل روسازی آسفالتی (میلی‌متر)

K_{rpd} = ضریب کالیبراسیون

• رابطه‌ی ناهمواری:

$$\Delta RI = K_{gp} [\Delta RI_s + \Delta RI_c + \Delta RI_r + \Delta RI_t] + \Delta RI_e \quad (12-2)$$

که در آن:

ΔRI = تغییرات کلی ناهمواری در طول سال آنالیز

K_{gp} = ضریب کالیبراسیون

ΔRI_s = تغییرات ناهمواری ناشی از اضمحلال سازه‌ای که تابعی از عمر روسازی، تعداد محورهای

استاندارد هم‌ارز و عدد سازه‌ای روسازی است.

ΔRI_c = تغییرات ناهمواری به سبب ترک‌خوردگی که به صورت درصدی از تغییرات سطح کل ترک در

طول سال آنالیز بیان می‌شود.

ΔIRI_t = تغییرات ناهمواری ناشی از شیار شدگی روسازی که با تغییرات انحراف معیار عمق شیار شدگی در طول سال آنالیز متناسب است.

ΔIRI_t = تغییرات ناهمواری به سبب وجود چاله‌ها و حفرات موجود در مسیر

ΔIRI_e = تغییرات ناهمواری به علت شرایط محیطی؛ این بخش از ناهمواری ناشی از عواملی همچون تغییرات درجه حرارت و رطوبت و نیز جابجایی‌های بستر (مانند نشست زمین) می‌باشد.

در تحقیقی به دستیابی حدود مجاز ناهمواری برای اهداف مختلف مدیریت روسازی، با در نظر گرفتن شرایط جغرافیایی و آب و هوایی کشور ایران پرداخت شده است. داده‌های مورد استفاده، اطلاعات ناهمواری (IRI) جمع‌آوری شده برای شبکه راه‌های کشور ایران است (فخری، ۱۳۸۸). ابتدا داده‌های مورد استفاده به صورت خام توسط نرم‌افزار بسط داده شده توسط محقق پردازش شده است. سپس با به کارگیری نرم‌افزار HDM-4 و تحلیل مدل‌های هزینه کاربران راه و خرابی موجود در این نرم‌افزار و با استفاده از تحلیل نتایج به دست آمده از نرم‌افزار HDM-4، مقادیر ناهمواری به دست آمده‌اند. مقدار ناهمواری که به عنوان IRI مجاز برای راه‌های تازه ساخته شده به دست آمد برابر است با ۱/۵۹ متر بر کیلومتر و همچنین مقدار ناهمواری ۲/۸۴ متر بر کیلومتر به عنوان IRI بهینه راه‌ها و مقدار ناهمواری ۵ متر بر کیلومتر به عنوان مقدار آستانه IRI برای شروع اقدامات اساسی ترمیم و بهسازی به دست آمد [فخری، ۱۳۸۸].

از جمله فعالیت‌های اخیر به مقاله Shah و همکاران می‌توان اشاره کرد. در این تحقیق تعدادی شاخص به نام شاخص وضعیت خرابی‌ها ($PCI_{Distress}$)، شاخص وضعیت ناهمواری ($PCI_{Roughness}$)، شاخص وضعیت اصطکاک (PCI_{Skid}) و شاخص وضعیت سازه‌ای ($PCI_{Structure}$) برای روسازی راه پیشنهاد شده است. سپس یک شاخص وضعیت کلی که برآیند چهار شاخص قبلی است (OPCI) معرفی شده است. نتایج مدل‌سازی نشان داده که استفاده از این شاخص می‌تواند به نتایج بهتری منجر شود [Shah, et al-2013].

در تحقیق Setyawan و همکاران رابطه‌ای بین شاخص وضعیت روسازی (PCI) با عمر باقیمانده روسازی بررسی شده است. با یافتن یک رابطه مناسب بین این دو پارامتر، نویسندگان بجای مدل‌سازی شاخص PCI

اقدام به مدل‌سازی عمر باقیمانده نموده‌اند تا زمان مناسب روکش و تعمیرات اساسی را پیش‌بینی نمایند [Setywan, et al-2015].

۲-۱۲ خلاصه

- مدل‌های عملکرد بسیار زیادی در طول سال‌های مختلف در نقاط گوناگون دنیا مورد توجه قرار گرفته‌اند که بسیاری از این مدل‌ها برای نقاط یا کشورهای خاص با شرایط آب و هوایی و ترافیک مخصوص آن کشور ایجاد شده‌اند؛ بنابراین نمی‌توان از این مدل‌ها به صورت مستقیم برای سایر کشورها و یا شرایط متفاوت استفاده کرد.
- مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی، یکی از کلیدی‌ترین قسمت‌های سیستم مدیریت روسازی می‌باشند؛ بنابراین پیاده‌سازی موفق این سیستم به مقدار زیادی به مدل پیش‌بینی عملکرد مورد استفاده در آن به عنوان یکی از عوامل اصلی در ایجاد تصمیمات معقول و سیاست‌گذاری‌های صحیح در این حوزه بستگی دارد.
- اگرچه تحقیقات انجام گرفته‌ی فراوانی برای توسعه‌ی مدل‌های عملکرد روسازی انجام گرفته است؛ اما همچنان یک مدل جامع که توانایی پیش‌بینی عملکرد روسازی را با دقت بالا داشته باشد وجود ندارد.
- برخی ساده‌سازی‌ها و محدودیت‌های موجود در مدل مارکوف عملکرد این مدل را تحت تأثیر قرار داده و در مواردی خطای پیش‌بینی‌ها را افزایش می‌دهند؛ اما با توجه به سادگی این روش و انعطاف‌پذیری این مدل در استفاده از بانک‌های داده‌ای مختلف و تطبیق با شرایط روسازی موردنظر همچنان به عنوان گزینه مهم برای هر سیستم مدیریت روسازی مطرح می‌باشد.
- دقت بالایی که روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی دارند آن‌ها را به عنوان گزینه مناسبی مطرح می‌کند.

فصل سوم:

روش تحقیق

عملکرد روسازی و وضعیت آن از جنبه‌های گوناگون قابل بررسی است. تعریف عملکرد و اندازه‌گیری وضعیت کیفی روسازی بسیار متنوع است و انتخاب یک روش مناسب کاملاً به اهداف سازمان و محدودیت‌های فنی و مالی آن بستگی دارد. وضعیت روسازی را می‌توان با اندازه‌گیری وسعت و شدت هر یک از خرابی‌های آن تعیین نمود و یا با محاسبه یک شاخص ترکیبی که نشان‌دهنده‌ی مجموعه‌ای از خرابی‌های راه باشد کیفیت آن تعیین شود.

فناوری‌های جدید و تجهیزات خودکار و غیر مخرب ارزیابی روسازی موجب شده است که اغلب سیستم‌های مدیریت روسازی و به دنبال آن مدل‌های پیش‌بینی وضعیت به سمت ارزیابی جداگانه هر یک از خرابی‌ها متمایل شوند. علی‌رغم دقت و سرعت زیادی که تجهیزات ارزیابی غیر مخرب دارند، هزینه زیادی هم به سازمان تحمیل می‌کنند و این امر به‌عنوان یک محدودیت جدی برای استفاده از آن‌ها تلقی می‌گردد. در مقابل استفاده از شاخص‌هایی مانند شاخص خدمت‌دهی فعلی روسازی (PSI) و شاخص وضعیت راه (PCI) می‌تواند با هزینه کمتر و حتی بدون بهره‌گیری از تجهیزات خاصی بکار رود و از دقت قابل قبولی هم برخوردار باشد. نقطه‌ضعف عمده این روش‌ها، سرعت کم آن‌هاست که در شبکه‌های بزرگ‌مقیاس، پیاده‌سازی سیستم مدیریت روسازی را با مشکل مواجه می‌کند. معمولاً از سیستم‌های مبتنی بر اندازه‌گیری شاخص‌های ترکیبی در شبکه‌های با وسعت کم استفاده می‌شود؛ بنابراین دو رویکرد کلی در تعریف و اندازه‌گیری عملکرد روسازی وجود دارد که عبارتند از:

الف) اندازه‌گیری هر یک از خرابی‌ها به‌طور جداگانه

ب) اندازه‌گیری یک شاخص عمومی بجای ارزیابی هر یک از خرابی‌ها

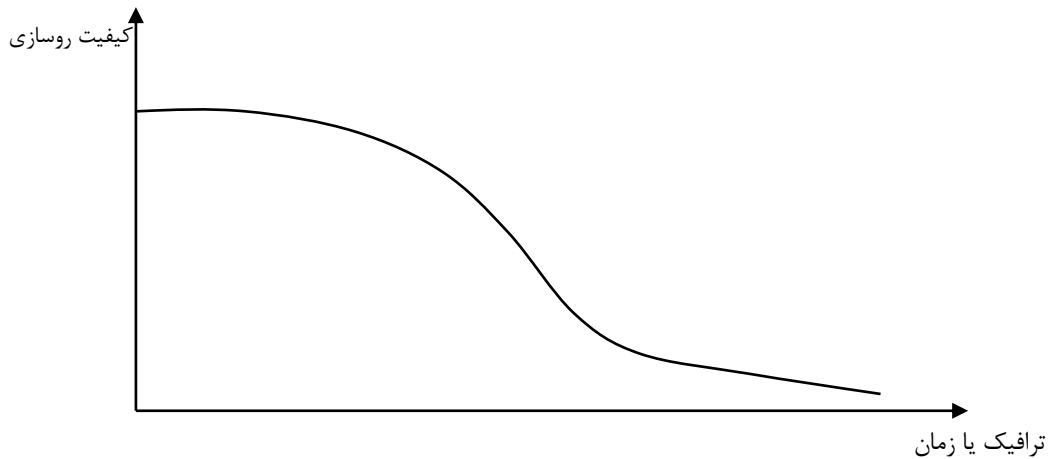
در رویکرد اول که اندازه‌گیری خرابی‌ها به‌صورت جداگانه است، معمولاً خرابی‌های مهم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. معمولاً ناهمواری، ترک‌های برودتی، ترک‌های خستگی، شیار، چاله و اصطکاک سطح رویه به‌عنوان خرابی‌های مهم تلقی می‌شوند.

در رویکرد دیگر از یک عدد به عنوان نشانه‌ای از مجموعه خرابی‌ها استفاده می‌شود و وضعیت روسازی و عملکرد آن بر اساس همان شاخص مورد مطالعه قرار می‌گیرد. معروف‌ترین این شاخص‌ها «شاخص فعلی خدمت‌دهی راه-PSI¹» و «شاخص وضعیت روسازی-PCI» است.

شاخص PSI پس از آزمایش بزرگ آشو در دهه ۱۹۶۰ ابداع شد و کیفیت راه را در مقیاس صفر تا پنج بر اساس خرابی‌های سازه‌ای راه یعنی ناهمواری، چاله، شیار و ترک خوردگی روسازی تعیین می‌کند. شاخص PCI نیز در گروه مهندسين ارتش ایالات متحده در دهه ۱۹۷۰ ابداع شد و کیفیت راه‌های آسفالتی را با توجه به ۱۹ نوع خرابی مختلف در مقیاس صفر تا صد تعیین می‌کند [Yoder, Witczak, 1975].

اما آنچه که از یک مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی انتظار می‌رود فقط تعیین وضعیت روسازی در یک زمان خاص نیست بلکه باید چگونگی افت کیفیت روسازی را در طول زمان بهره‌برداری از آن تشریح نماید. افت کیفیت روسازی (رشد و گسترش خرابی‌ها) هم به دلیل ترافیک و هم به دلیل عوامل اقلیمی اتفاق می‌افتد؛ بنابراین یک مدل پیش‌بینی عملکرد روسازی، خرابی‌های راه (کیفیت راه) را به صورت تابعی از زمان و یا تابعی از ترافیک تبیین می‌کند [Haas, et al-1994]. مسلماً اگر این تابع فقط وابسته به ترافیک باشد اثرات عوامل جوی و فرسودگی مصالح در آن نادیده گرفته می‌شود و اگر فقط وابسته به زمان باشد تغییرات احتمالی در خصوصیات ترافیک و نیز تغییرات احتمالی در آب و هوای سال‌های مختلف بهره‌برداری، در آن منظور نخواهد شد. شکل (۳-۱) فرم عمومی این توابع را نشان می‌دهد. در این پایان‌نامه مدل‌سازی عملکرد روسازی معابر شهر ساری با استفاده از رویکرد دوم یعنی اندازه‌گیری یک شاخص عمومی بجای ارزیابی هر یک از خرابی‌ها استفاده شده است. در این پایان‌نامه از شاخص وضعیت روسازی (PCI) استفاده شده است. در ادامه، روش محاسبات آن توضیح داده خواهد شد و در نهایت مدلی برای پیش‌بینی عملکرد روسازی معابر این شهر با استفاده از مدل خانواده، مدل رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی ارائه خواهد شد.

¹ pavement serviceability index



شکل (۱-۳) نحوه کاهش کیفیت روسازی به صورت تابعی از زمان یا ترافیک

۲-۳ ارزیابی روسازی‌ها

برای ارزیابی روسازی ابتدا باید با انواع خرابی‌ها آشنا شد و پس از آن اولین قدم، ارزیابی میدانی روسازی مورد مطالعه که شامل قطعه‌بندی و سپس اندازه‌گیری خرابی‌ها و شدت آن‌ها در واحدهای نمونه می‌باشد. آنگاه با داشتن اندازه و شدت خرابی‌ها می‌توان شاخص وضعیت روسازی را محاسبه نمود و در آخر مدلی را برای پیش‌بینی عملکرد روسازی ارائه کرد.

۱-۲-۳ انواع خرابی‌ها

- **برآمدگی و فرورفتگی:** برآمدگی‌ها عبارتند از جابجایی‌های کوچک و محدود سطح روسازی به سمت بالا. تفاوت برآمدگی با چین‌خوردگی در آن است که علت چین‌خوردگی ناپایدار بودن روسازی است. فرورفتگی‌ها عبارتند از جابجایی‌های کوچک و محدود سطح روسازی به سمت پایین. واحد اندازه‌گیری برحسب مترمربع می‌باشد.
- **پایین‌افتادگی شانه (نسبت به سواره‌رو):** عبارت است از اختلاف ارتفاع بین لبه و شانه‌ی روسازی که بر اثر فرسایش شانه، نشست شانه و یا اجرای سواره‌رو بدون تراز کردن با سطح شانه به وقوع می‌پیوندد. واحد اندازه‌گیری متر می‌باشد.

- **ترک خوردگی انعکاسی:** این خرابی در روسازی‌های با رویه‌ی آسفالتی که بر روی دال‌های بتن سیمانی قرار دارند و یا در روکش آسفالتی که ترک‌های آسفالتی زیرین تعمیر نشده باشد، ایجاد می‌شود. عمدتاً در اثر جابجایی ناشی از حرارت یا رطوبت دال بتنی در زیر روسازی آسفالتی بوجود می‌آید و واحد اندازه‌گیری آن متر می‌باشد.
- **ترک خوردگی بلوکی:** عمدتاً در اثر انقباض بتن آسفالتی و چرخه‌ی روزانه درجه حرارت به وجود می‌آید و روسازی را به قطعات تقریباً مستطیلی شکل تقسیم می‌کنند. واحد اندازه‌گیری آن مترمربع است.
- **ترک خوردگی پوست‌سوسماری:** از یک سری ترک‌های متصل به هم که در اثر گسیختگی ناشی از خستگی رویه‌ی بتن آسفالتی تحت تکرار بارگذاری ترافیکی به وجود می‌آید. واحد اندازه‌گیری مترمربع می‌باشد.
- **ترک خوردگی طولی و عرضی:** ترک‌های طولی به موازات محور یا جهت خواب روسازی و ترک‌های عرضی در وسط روسازی ظاهر می‌شوند و تقریباً به‌طور عمود نسبت به محور امتداد می‌یابند. واحد اندازه‌گیری هر دو ترک برحسب متر می‌باشد.
- **ترک خوردگی لبه:** به موازات لبه‌ی خارجی روسازی و معمولاً حداثاً ۳۰-۶۰ سانتی‌متری از آن امتداد پیدا می‌کنند. سیر خرابی در اثر بارگذاری ترافیکی تسریع می‌شود و علت آن می‌تواند اساس یا بستر تضعیف‌شده در اثر یخبندان باشد. واحد اندازه‌گیری متر می‌باشد.
- **ترک خوردگی لغزشی:** ترک‌های لغزشی به ترک‌های هلالی شکل اطلاق می‌شود. این ترک‌ها هنگام ترمزگیری یا گردش چرخ‌ها باعث لغزیدن یا تغییر شکل رویه‌ی روسازی می‌شوند. واحد اندازه‌گیری آن برحسب مترمربع می‌باشد.
- **تورفتگی:** مناطق محدودی از سطح روسازی هستند که ارتفاع آن‌ها نسبت به روسازی اطراف خود قدری کمتر است که در اثر نشست خاک بستر و یا اجرای ناصحیح روسازی به وجود آمده و برحسب مترمربع اندازه‌گیری می‌شود.

- **تورم:** به شکم‌دادگی سطح روسازی به سمت بالا اطلاق می‌شود که عبارت از یک موج بلند تدریجی با بیش از ۳ متر طول است که معمولاً در اثر یخبندان یا ذوب یخ در بستر به وجود می‌آید و برحسب مترمربع اندازه‌گیری می‌شود.
- **چاله:** عبارت است از یک تورفتگی کاسه‌ای شکل و کوچک در سطح روسازی که قطر آن معمولاً کمتر از ۹۰ سانتی‌متر است و از طریق شمارش تعداد آن‌ها به تفکیک شدت (کم، متوسط و زیاد) اندازه‌گیری می‌شود.
- **شیار شدن مسیر چرخ‌ها:** عبارت است از یک تورفتگی سطحی در مسیر عبور چرخ‌ها، از تغییر شکل دائمی یکی از لایه‌ها یا بستر روسازی است که معمولاً به علت جابجایی تحکیم یا جانبی مصالح در اثر بار ترافیکی به وجود می‌آید. واحد اندازه‌گیری آن مترمربع است.
- **صیقلی شدن دانه‌ها:** در اثر بارگذاری ترافیکی به وجود می‌آید. سطح دانه‌ها صاف و چسبندگی آن‌ها با لاستیک وسایل نقلیه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.
- **کنار رفتگی:** عبارت است از جابجایی طولی دائمی یک ناحیه‌ی محدود از سطح روسازی در اثر بارگذاری ترافیکی، واحد اندازه‌گیری آن مترمربع است.
- **گذرگاه راه‌آهن:** به تورفتگی‌ها یا برآمدگی‌های اطراف یا مابین خطوط راه‌آهن در محل گذرگاه‌های راه‌آهن گفته می‌شود و واحد اندازه‌گیری آن مترمربع می‌باشد.
- **قیر زدگی:** رو زدن قیر عبارت است از تشکیل لایه‌ی نازکی از مصالح قیری بر روی سطح رویه‌ی روسازی که در نتیجه‌ی آن سطحی براق، شیشه‌ای و انعکاس‌دهنده ایجاد می‌شود که معمولاً نسبتاً چسبناک است. واحد اندازه‌گیری آن مترمربع است.
- **موج‌زدگی:** به یک سری از پستی‌ها و بلندی‌ها که تحت اثر بار ترافیکی در اثر ناپایداری رویه یا اساس و به فواصل منظم کمتر از ۳ متر از یکدیگر در امتداد روسازی و عمود بر امتداد جریان ترافیک تشکیل می‌شوند و برحسب مترمربع اندازه‌گیری می‌شوند.

- **وصله و کنده کاری:** ناحیه‌ای از روسازی که آن را با مصالح جدید به منظور تعمیر روسازی موجود جایگزین کرده‌اند. یک وصله هرچند بسیار خوب اجرا شده باشد، باز به‌عنوان یک نارسایی در نظر گرفته می‌شود. واحد اندازه‌گیری آن مترمربع است.
- **هوازگی و دانه‌دانه شدن:** عبارت است از ساییده شدن سطح روسازی ناشی از بین رفتن چسبنده‌ی قیری یا قطران و از جا درآمدن دانه‌ها که واحد اندازه‌گیری آن مترمربع است.

خرابی‌ها دارای ۳ سطح شدت هستند. شدت کم (L)، شدت متوسط (M)، شدت زیاد (H). هرکدام از این شدت‌ها در کتاب شاهین تعریف شده است [Shahin, 2002].

۲-۲-۳ اندازه‌گیری خرابی‌ها

قبل از اندازه‌گیری خرابی‌ها در اولین قدم باید شبکه روسازی، قطعه‌بندی و تقسیم قطعه‌ها به واحدهای نمونه انجام شود. پس از آن مقدار و سطح شدت خرابی هنگام بازدید میدانی اندازه‌گیری و در فرم ارزیابی آماده شده مطابق شکل (۲-۳) یادداشت شود.

فرم جمع آوری خرابی های روسازی آسفالتی			
نام محور: خ ۱۸ دسی	کیلومتر از: _____	تاریخ: ۱۰، ۴، ۹۳	صفحه: 7
طول واحد: 100 m	عرض حط: 12 m	آدرس با کروکی: از خ خیام تا مسجد امام حسین	شماره عکس: 401
نوع شانه: آسفالتی <input type="checkbox"/> شنی <input type="checkbox"/> وضعیت شانه: _____			

میزان خرابی											واحد	خرابی
											مترمربع	ترک پوست سوسماری
				1	3	2	2	1	4	2	متر	ترک طولی
				L	h	h	L	L	L	m	متر	ترک عرضی
								5	2	5	مترمربع	ترک بلوکی
								L	m	L	متر	ترک انعکاسی
											متر	ترک خوردگی لبه
										1	تعداد	چاله
										2	مترمربع	لکه گیری
										m	مترمربع	لکه گیری
											مترمربع	قیرزدگی
										10	مترمربع	دانه دانه شدن (هوازدگی)
										L		

شکل (۲-۳) فرم ارزیابی خرابی های روسازی آسفالت

۳-۲-۳ شاخص وضعیت روسازی PCI

پس از آن که بررسی وضعیت برای کلیه واحدهای نمونه‌ی انتخاب شده به پایان رسید، از نتایج مربوطه در فرم ارزیابی در محاسبه PCI استفاده می‌شود. محاسبه‌ی PCI بر اساس ضرایب کاهندگی انجام می‌شود که عبارتند از ضرایب وزنی از صفر تا ۱۰۰ که تأثیر خرابی‌ها را بر وضعیت روسازی نشان می‌دهند. ضریب کاهندگی صفر نشانگر آن است که خرابی هیچ‌گونه تأثیری بر وضعیت روسازی ندارد در حالی که ضریب کاهندگی ۱۰۰ نشان‌دهنده‌ی یک خرابی فوق‌العاده جدی است. محاسبه‌ی PCI یک واحد نمونه ۴ گام دارد که به شرح زیر است:

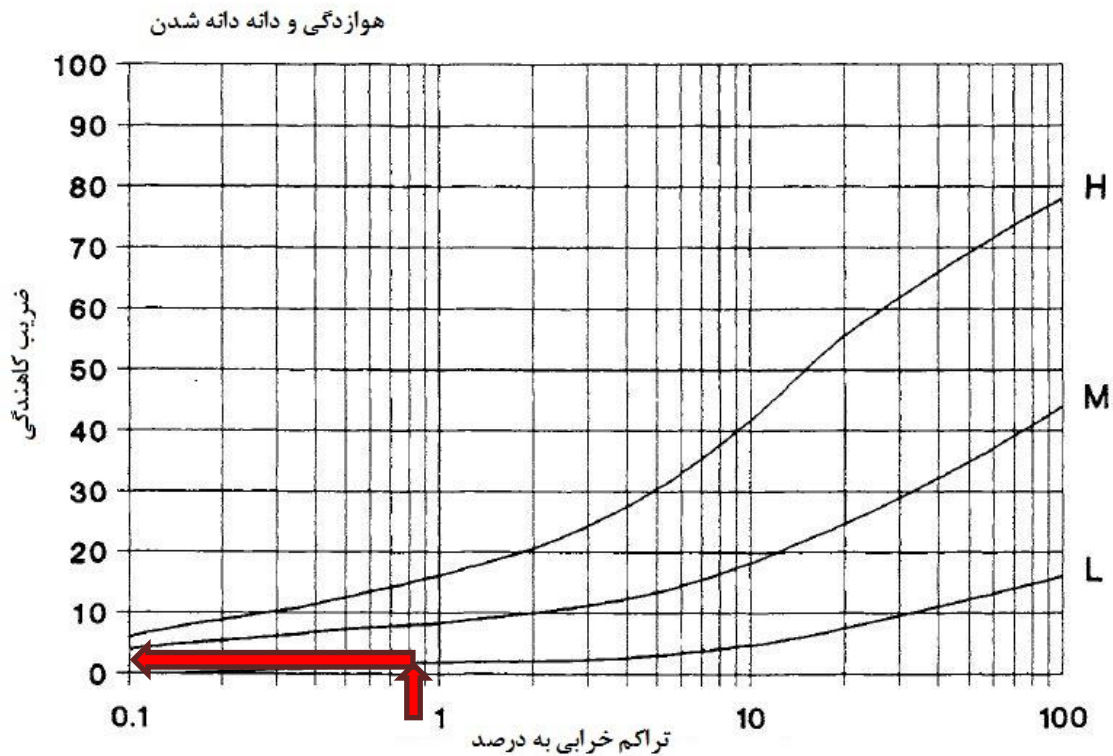
گام اول: ضرایب کاهندگی را تعیین نمائید.

الف) برای هر نوع خرابی و هر سطح شدت مقادیر مربوطه را با یکدیگر جمع کرده و نتیجه را در خانه‌ی «مجموع» در جدول محاسبه‌ی ضریب کاهندگی جدول (۱-۳) وارد نمائید.

ب) مقدار مجموع برای هر نوع خرابی و هر سطح شدت را بر سطح کل واحد نمونه تقسیم کرده، آنگاه در ۱۰۰ ضرب کنید تا درصد تراکم برای هر واحد نمونه و هر نوع خرابی و سطح شدت به دست آید. سپس با استفاده از نمودارهای موجود برای هر خرابی ضریب کاهندگی را بدست آورید. شکل (۳-۳)

جدول (۱-۳) محاسبه ضرایب کاهندگی

نوع خرابی	شدت خرابی	مجموع	تراکم %	ضریب کاهندگی
ترک طولی	L	۸	۰/۶۷	۱
ترک طولی	M	۲	۰/۱۷	۴
ترک طولی	H	۵	۰/۴۲	۱۰
ترک عرضی	L	۱۰	۰/۸۳	۲
ترک عرضی	M	۲	۰/۱۷	۰
چاله	M	۱	۰/۰۸	۳۱
لکه‌گیری	M	۲	۰/۱۷	۴
دانه‌دانه شدن	L	۱	۰/۸۳	۲
جمع کل	--	--	--	۵۴



شکل (۳-۳) هواز دگی و دانه دانه شدن

گام دوم: حداکثر تعداد مجاز ضرایب کاهندگی (M) را تعیین کنید.

الف) در صورتی که فقط یکی از ضرایب کاهندگی بزرگتر از ۲ باشد می‌توان در گام چهارم بجای حداکثر CDV^1 ضریب کاهندگی کل (TDV^2) را بکار برد. در غیر این صورت باید بر طبق گام‌های (ب) و (ج) عمل کنید.

ب) ضرایب کاهندگی جزء را به ترتیب نزولی مرتب کنید.

ج) تعداد مجاز ضرایب کاهندگی (m) را با استفاده از رابطه‌ی (۱-۳) تعیین نمایید.

$$m_i = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) (100 - HDV_i) \quad (1-3)$$

m_i = تعداد مجاز ضرایب کاهندگی با احتساب اعشار برای واحد نمونه‌ی i

¹ Corrected Deduct Value

² Total Deduct Value

$$HDV_i = \text{بزرگ‌ترین ضریب کاهش‌دهی جزء برای واحد نمونه‌ی } i$$

(د) تعداد ضرایب کاهش‌دهی جزء تا مقدار m با احتساب اعشار تقلیل داده می‌شود. در صورتی که کمتر از m ضریب کاهش‌دهی در اختیار باشد باید از همه‌ی ضرایب کاهش‌دهی استفاده شود.

گام سوم: حداکثر ضریب کاهش‌دهی اصلاح شده (حداکثر CDV) را تعیین نمایید.

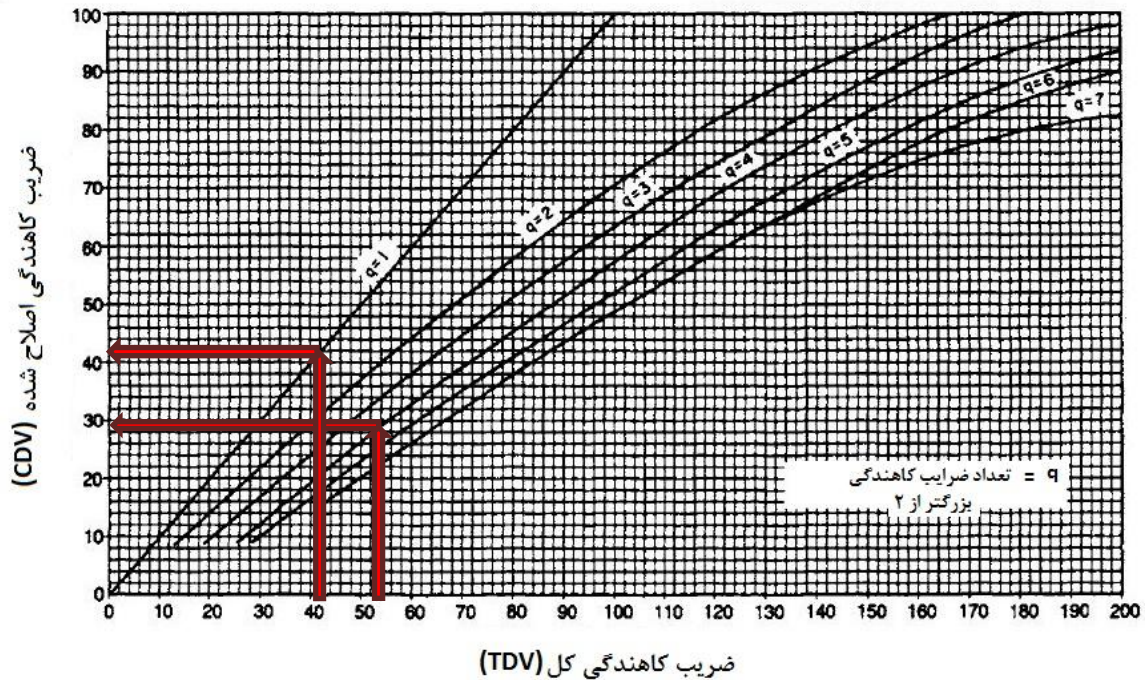
(الف) تعداد ضرایب کاهش‌دهی بزرگ‌تر از ۲ را تعیین کنید. (q)

(ب) ضریب کاهش‌دهی کل را با جمع کردن همه‌ی ضرایب کاهش‌دهی جزء با یکدیگر به دست آورید.

(ج) مقدار CDV را با داشتن q و ضریب کاهش‌دهی کل با استفاده از منحنی تصحیح شکل (۳-۴) تعیین نمایید.

(د) در این قسمت کوچک‌ترین ضریب کاهش‌دهی جزء را که بزرگ‌تر از ۲ است به ۲ تقلیل دهید.

جدول (۳-۲)



شکل (۳-۴) منحنی تصحیح ضریب کاهش‌دهی

جدول (۲-۳) جدول تصحیح ضریب کاهندگی

ردیف	ضرایب کاهندگی							TDV	q	CDV
۱	۳۱	۱۰	۴	۴	۲	۲	۱	۵۴	۴	۲۹
۲	۳۱	۱۰	۴	۲	۲	۲	۱	۵۲	۳	۳۲
۳	۳۱	۱۰	۲	۲	۲	۲	۱	۵۰	۲	۳۷
۴	۳۱	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۴۲	۱	۴۲

گام چهارم: مقدار PCI را با کم کردن حداکثر CDV از ۱۰۰ به دست آورید.

$$m_i = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - 31) = 7.34 \quad , \quad q=4$$

$$PCI = 100 - 42 = 58 \quad , \quad PCI = 58 \quad \text{ok}$$

پس از محاسبه‌ی شاخص وضعیت روسازی واحدهای نمونه، با میانگین گرفتن واحدهای موجود در هر قطعه شاخص هر قطعه به دست می‌آید. سپس با داشتن عمر روسازی قطعه و مدل‌های پیش‌بینی عملکرد، مدلی را می‌توان ارائه کرد.

۳-۳ ضریب همبستگی پیرسون^۱

ضریب همبستگی پیرسون که به نام‌های ضریب همبستگی گشتاوری و یا ضریب همبستگی مرتبه‌ی صفر نیز نامیده می‌شود، توسط سر کارل پیرسون معرفی شده است. این ضریب به منظور تعیین میزان رابطه، نوع و جهت رابطه‌ی بین دو متغیر فاصله‌ای یا نسبی و یا یک متغیر فاصله‌ای و یک متغیر نسبی به کار برده می‌شود. ضریب همبستگی پیرسون از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (۲-۳)$$

^۱ Pearson product moment correlation

در روابط بالا x و y متغیرهای مورد بررسی و n تعداد داده‌ها می‌باشد. ضریب همبستگی پیرسون بین -1 و 1 تغییر می‌کند. اگر $r=1$ باشد، بیانگر رابطه‌ی مستقیم و کامل بین دو متغیر است، رابطه‌ی مستقیم یا مثبت به این معناست که اگر یکی از متغیرها افزایش (کاهش) یابد، دیگری نیز افزایش (کاهش) می‌یابد. $r=-1$ نیز وجود یک رابطه‌ی معکوس و کامل بین دو متغیر را نشان می‌دهد. رابطه‌ی معکوس یا منفی نشان می‌دهد که اگر یک متغیر افزایش یابد، متغیر دیگر کاهش می‌یابد و بالعکس، زمانی که ضریب همبستگی برابر صفر است نشان می‌دهد که بین دو متغیر رابطه‌ی خطی وجود ندارد. صفر بودن ضریب همبستگی تنها عدم وجود رابطه‌ی خطی بین دو متغیر را نشان می‌دهد.

سپس مقدار P-Value محاسبه می‌شود که در سطح معنی‌داری $0/05$ مبنای پذیرش یا عدم پذیرش همبستگی بین متغیرهاست. به بیان دیگر قبول یا رد فرض اولیه H_0 مقایسه با مقدار $0/05$ هست. در آزمون‌ها اگر P-Value کوچک‌تر از $0/05$ باشد، فرض اولیه H_0 (عدم همبستگی) رد می‌شود و اگر P-Value بزرگ‌تر از $0/05$ باشد، فرض اولیه رد نمی‌شود.

۳-۴ مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی

در این پایان‌نامه از دو مدل رگرسیون و شبکه عصبی برای مدل‌سازی استفاده شده است که در ادامه درباره‌ی آن‌ها توضیح داده می‌شود.

۳-۴-۱ مدل رگرسیون

تکنیک رگرسیون برای تعیین یک رابطه‌ی تجربی بین دو یا چند متغیر بکار می‌رود. هر متغیر بر حسب میانگین و واریانس آن تعریف می‌رود. تحلیل رگرسیون اشکال گوناگونی دارد و ساده‌ترین شکل آن رگرسیون خطی بین دو متغیر است. این مدل به صورت رابطه‌ی (۳-۳) تعریف می‌رود:

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (3-3)$$

که در اینجا

Y_i = متغیرهای وابسته که همان نشانه‌ای وضعیت هستند.

x_i = متغیرهای توصیفی یا غیر وابسته که همان مدت زمانی است که از آخرین ترمیم اساسی می‌گذرد.

$$\varepsilon_i = \text{خطای پیش‌بینی}$$

$$\alpha, \beta = \text{پارامترهای رگرسیون}$$

مقدار میانگین یا برآورده شده y_i یعنی $E(y_i)$ را می‌توان برای کلیه‌ی مقادیر از رابطه‌ی (۳-۴) تعیین نمود:

$$E(y_i) = \hat{y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta}x_i \quad (۳-۴)$$

که در اینجا \hat{y}_i ، $\hat{\alpha}$ ، $\hat{\beta}$ به ترتیب مقادیر برآورد شده‌ی y_i ، α و β می‌باشند. مقادیر α و β به صورتی تعیین می‌شوند که مجموع مربعات خطاهای مقادیر مشاهده شده y_i نسبت به مقدار برآورد شده‌شان \hat{y}_i حداقل شود که این به معنی حداقل شدن S می‌باشد که از رابطه (۳-۵) یا (۳-۶) به دست می‌آید.

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_i]^2 \quad (۳-۵)$$

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta}x_i]^2 \quad (۳-۶)$$

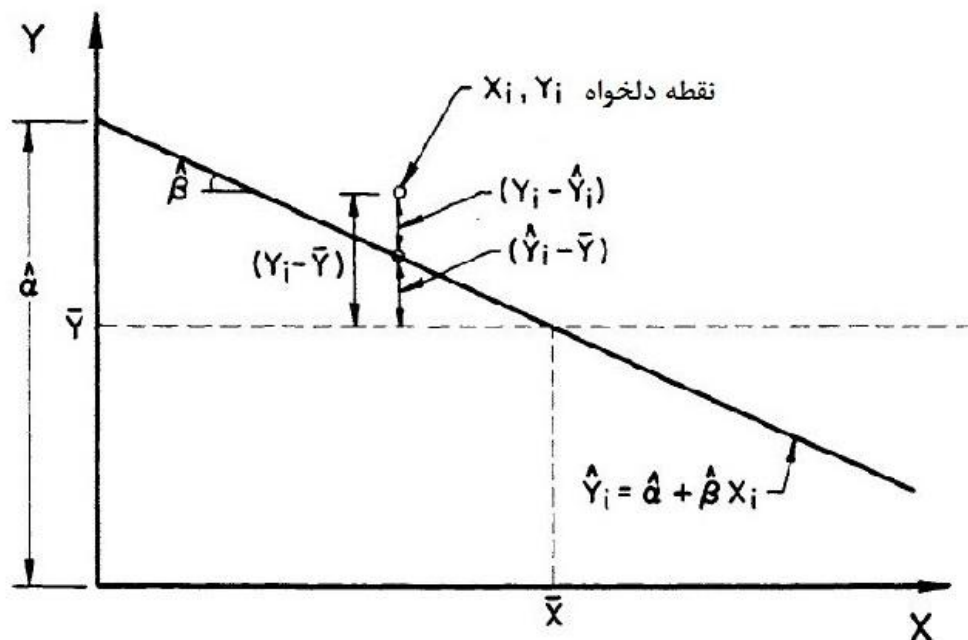
که در اینجا n تعداد نقاط مشاهده شده است. روش فوق به‌عنوان روش حداقل مربعات شناخته می‌شود. مقادیر $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ را می‌توان با مساوی صفر قرار دادن مشتق جزئی S نسبت به $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ در معادله‌ی (۳-۵) به دست آورد.

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta}\bar{x} \quad (۳-۷)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x_i - \bar{x})^2} \quad (۳-۸)$$

که در آن \bar{x} و \bar{y} به ترتیب مقادیر میانگین x و y می‌باشند. $\hat{\alpha}$ عرض خطی است که مقدار برآورد شده‌ی y متناظر با مقدار x برابر صفر را تعیین می‌کند. $\hat{\beta}$ شیب خطی است که مقدار برآورد شده‌ی y متناظر با یک تغییر واحد در مقدار x را تعیین می‌کند.

شکل (۵-۳) نمایش جغرافیایی یک خط رگرسیون را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان از طریق ریاضی اثبات نمود که:



شکل (۵-۳) خط رگرسیون

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (9-3)$$

که در آن:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \text{مجموع مربعات کل (SST)}$$

$$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \text{مجموع مربعات رگرسیون (SSR)}$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \text{مجموع مربعات خطاها (SSE)}$$

نکویی برازش (خوبی انطباق) خط رگرسیون را می‌توان به کمک ضریب دترمینان (R^2) که نسبت کل تغییرات حول مقدار میانگین (\bar{Y}) را تعیین می‌کند، اندازه‌گیری کرد. این نسبت بر اساس رگرسیون بیان می‌شود.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (10-3)$$

معادله‌ی (۸-۱) را به صورت زیر هم می‌توان نوشت:

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}^2 \sum(x_i - \bar{x})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (11-3)$$

یک پارامتر با اهمیت دیگر رگرسیون که باید مورد بررسی قرار بگیرد عبارت خطا (e) است. فرض بر آن است که خطاهای $e_i = y_i - \hat{y}_i$ مقادیر معمولی مستقل با میانگین صفر و انحراف معیار استاندارد σ می‌باشند که به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

$$\sigma(y_i - \hat{y}_i) = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y}_i)^2}{n-2}} \quad (12-3)$$

حالت مطلوب آن است که مقدار عبارت $\sigma(y_i - \hat{y}_i)$ کوچک باشد چرا که این مقدار اثر قابل توجهی بر طیف اطمینان پیش‌بینی می‌گذارد [Shahin, 2002].

تحلیل رگرسیون خطی را می‌توان برای بیش از دو متغیر نیز انجام داد که در این حالت به آن رگرسیون خطی مضاعف اطلاق می‌شود. در اینجا فرض بر آن است که متغیر وابسته، Y یک تابع خطی متغیرهای غیر وابسته به شرح زیر است:

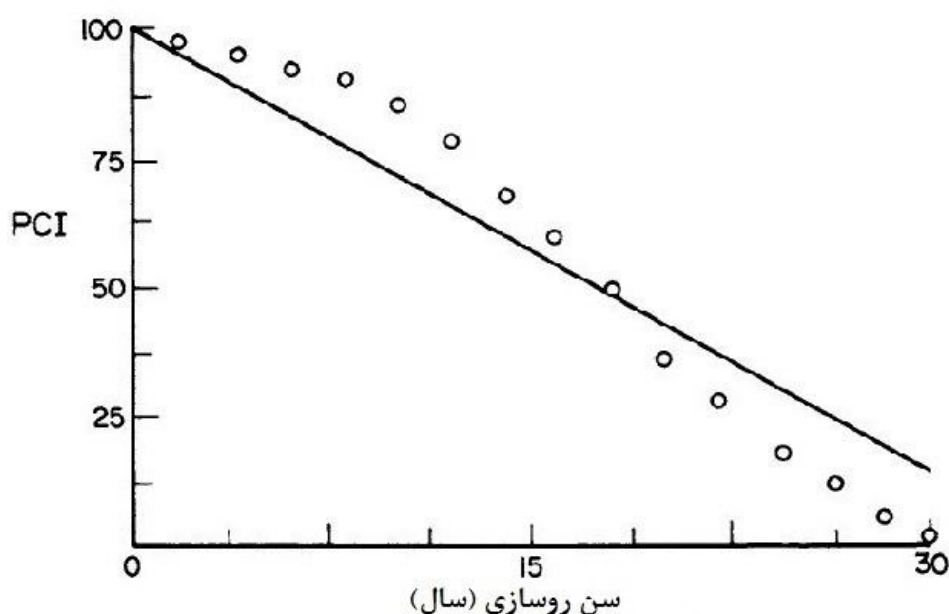
$$E(y) = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots \quad (13-3)$$

برآورد پارامترهای رگرسیون در اینجا به طریقی مشابه با تحلیل رگرسیون خطی انجام می‌شود. رگرسیون غیرخطی ممکن است موقعی که رابطه بین X و Y خطی نباشد ضروری شود. یک نمونه‌ی آن رابطه بین وضعیت و زمان است که در شکل (۳-۶) نشان داده شده است. چنانچه در اینجا از یک رابطه‌ی خطی استفاده نمائیم، مدل وضعیت را در اوایل عمر روسازی کمتر از آنچه که هست و در دوره‌های بعدی

عمر روسازی بیشتر از واقعیت برآورد خواهد کرد. یک رابطه‌ی غیر خطی را می‌توان با تبدیل کردن مقدار X به صورت یک مدل خطی تحلیل نمود. برای مثال این رابطه می‌تواند به صورت زیر باشد:

$$E(y) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}f(x) \quad (۱۴-۳)$$

که در اینجا $f(x)$ تابعی از x مثلاً x^2 یا $\ln(x)$ است.



شکل (۳-۶) مثال رابطه‌ی غیر خطی بین PCI و سن روسازی

۳-۴-۲ شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی سیستم پردازش موازی و هوشمند اطلاعات بوده و دارای عملکردی شبیه نرون‌های عصبی مغز انسان است. این شبکه با داده‌های موجود طی فرایند یادگیری آموزش دیده و جهت پیش‌بینی در آینده مورد استفاده قرار می‌گیرد و با تجزیه و تحلیل شرایط، محدودیت‌ها و پارامترهای دخیل در یک فرایند؛ تصمیم بهینه را اتخاذ کرده و این فرایند را به حدی تکرار می‌کند که ضرایب هر یک از پارامترها بهینه شده و با واقعیت موضوع تطابق بسیار نزدیکی پیدا کنند [Haykin, 1994].

یک شبکه عصبی متشکل از مجموعه‌ای از واحدهای پردازشگر^۱ ساده است که این واحدها نرون^۲ یا سلول نامیده می‌شوند؛ که هر کدام از این سلول‌ها توسط خطوط ارتباطی به سایر سلول‌ها مرتبط است. به این خطوط ارتباطی لینک گفته می‌شود. هر لینک متناظر با ضریبی موسوم به ضریب وزن^۳ است. در حقیقت شبکه عصبی شامل اجزای سازنده لایه‌ها و وزن‌ها می‌باشد. رفتار شبکه نیز وابسته به ارتباط بین اعضا است. این وزن‌ها که از آموزش شبکه از روی داده‌ها به دست می‌آیند اطلاعات انتزاعی داده‌ها را شامل می‌شوند که توسط شبکه برای حل مسئله خاصی استفاده می‌شود.

توانایی شبکه‌های عصبی در حل مسائل، در مکانیزم پردازش موازی داده‌های آن نهفته است. نحوه شکل‌گیری این مکانیزم با توجه به سه جزء است که در ارتباط باهم هستند:

۱- نحوه چیدمان سلول‌ها در شبکه یا «ساختار»^۴ شبکه‌های عصبی مصنوعی

۲- «تابع تحریک»^۵ سلول یا همان نرون

۳- روش به دست آوردن ضرایب وزن که به «الگوریتم آموزش»^۶ معروف است.

برای استفاده از شبکه‌های عصبی در حل یک مسئله ابتدا باید این سه جزء به‌طور کامل مشخص شوند برای اینکه یک ساختار مناسب به دست آید لازم است تلاش زیادی صورت گیرد. در واقع این تلاش انجام گرفته در راستای تعیین تعداد متغیرهای ورودی و خروجی، تعداد لایه‌های پنهان^۷ و تعداد سلول‌های مستقر در این لایه‌ها است؛ که معمولاً یک شبکه‌ای که دارای تعداد سلول‌های کم در لایه میانی است، قادر نخواهد بود تا از روی داده‌های آموزشی به خوبی یاد بگیرد. یک شبکه‌ای که تعداد سلول‌های زیادی در لایه میانی دارد باعث خواهد شد تا شبکه به‌جای آن که اطلاعات نهفته در داده‌های آموزشی را یاد گرفته و در مورد داده‌هایی که تا به حال با آن مواجه نشده است، به کار گیرد فقط روندی که در داده‌های آموزشی

^۱ Processing Unit

^۲ Neuron

^۳ Weight

^۴ Architecture

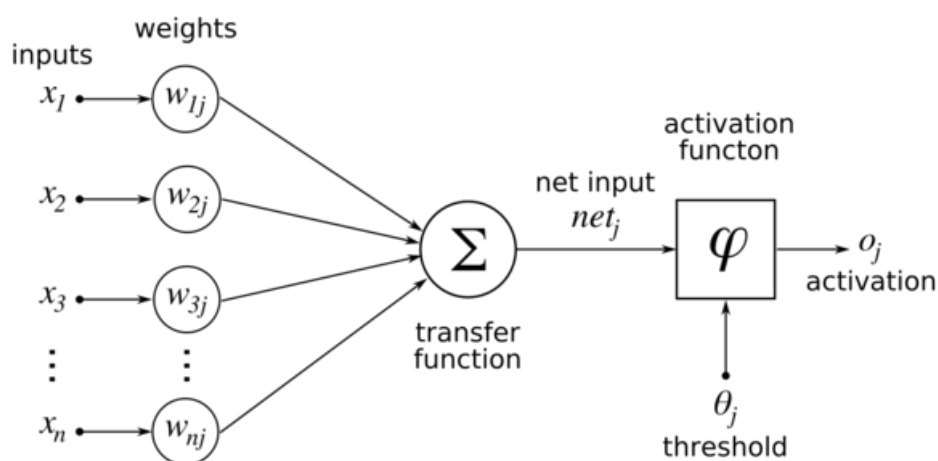
^۵ Activation Function

^۶ Learning Algorithm

^۷ Hidden Layer

نهفته است را «حفظ» می‌کند. شبکه‌های عصبی که دارای یک لایه پنهان است می‌تواند هر مسئله غیرخطی محدود^۲ را مدل‌سازی کرده و با دقت مناسب نتایج مطلوب را ارائه دهد [Schalkoff, 1997].

ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی در شکل (۷-۳) نشان داده شده است. این لایه‌ها وظیفه دریافت داده‌ها، پردازش و تولید کمیت خروجی را به عهده دارند. لایه‌های ورودی فاقد نرون بوده و لایه‌ای است که متغیرهای ورودی را به نرون‌های لایه مخفی انتقال می‌دهد. عموماً تعداد نرون‌ها در این لایه تابعی از تعداد متغیرهای ورودی به شبکه است. لایه مخفی دارای یک یا چند نرون بوده و تعداد لایه‌های مخفی می‌تواند یک یا چندلایه باشند و لایه خروجی دارای یک یا چند نرون بوده و تعداد نرون‌های آن تابعی از تعداد خروجی است. تمام لایه‌های شبکه توسط اتصالاتی با وزن‌های متفاوت به هم متصل هستند [Haykin, 1994].



شکل (۷-۳) ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی

۳-۴-۲-۱ مدل ریاضی نرون‌های عصبی

میزان یادگیری در انتقال سیگنال‌های ورودی به نرون‌ها را می‌توان با استفاده از ضریبی که در ورودی‌های نرون ضرب می‌شود، مدل‌سازی کرد. نحوه کار در این نرون به این صورت است که ورودی اسکالر x در وزن اسکالر w ضرب می‌شود و به واحد جمع کننده فرستاده می‌شود و ورودی دیگر که یک می‌باشد در بایاس b ضرب شده و به واحد جمع کننده می‌رود. خروجی واحد جمع کننده n ، معمولاً ورودی خالص نامیده می‌شود و به قسمت تابع انتقال f می‌رود و در آنجا خروجی اسکالر y تولید می‌شود.

^۱ Memorize

^۲ Finite nonlinear

$$n = \sum_{i=1}^N x_i w_i + b = xw + b \quad (15-3)$$

$$y = f(\sum_{i=1}^N x_i w_i - b) \quad (16-3)$$

که در آن x_i ورودی‌ها، w_i وزن‌ها، b_i آستانه یا اریب.

الگوریتم‌های آموزشی به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- وزن ثابت: آموزشی در کار نیست و مقادیر وزن‌ها به هنگام نمی‌شود.

۲- آموزش بدون سرپرست: وزن‌ها فقط بر اساس ورودی‌ها اصلاح می‌شوند و خروجی مطلوب وجود ندارد تا با مقایسه خروجی شبکه با آن و تعیین مقدار خطا وزن‌ها اصلاح شود، وزن‌ها فقط بر اساس اطلاعات الگوهای ورودی به هنگام می‌شوند.

۳- آموزش با سرپرست به ازای هر دسته از الگوهای ورودی خروجی‌های متناظر نیز به شبکه نشان داده می‌شود و تغییر وزن‌ها تا موقعی صورت می‌گیرد که اختلاف شبکه به ازای الگوهای آموزشی از خروجی‌های مطلوب در حد خطای قابل قبولی باشد. در این روش‌ها یا از خروجی‌ها به وزن‌ها ارتباط وجود دارد یا به صورت پس انتشار از لایه خروجی به ورودی توزیع شده است و وزن‌ها اصلاح می‌شوند؛ که روش انتشار به عقب نمونه‌ای از آن است.

آموزش اکثر شبکه‌های عصبی بر اساس آموزش با سرپرست است. با استفاده از مجموعه‌ای از زوج بردارهای نمونه صورت می‌گیرد، به طوری که به هر بردار ورودی یک بردار خروجی مشخص نسبت داده می‌شود و بردارهای خروجی با بردارهای هدف مقایسه می‌شوند. این بردارها به نام جفت‌های آموزشی شناخته می‌شوند و به اتفاق، مجموعه آموزشی را تشکیل می‌دهند. آموزش نظارت شده به این صورت انجام می‌شود که شبکه با استفاده از بردارهای ورودی، خروجی‌ها را محاسبه کرده و با بردارهای هدف متناظر مقایسه می‌کند. با سرشکن شدن خطای حاصله در خود شبکه، مرحله آموزش تکمیل می‌شود. به این ترتیب

وزن‌های شبکه بر اساس یک مسئله که تمایل به کمینه کردن خطا دارد، تعدیل می‌شوند. در این پایان‌نامه از الگوریتم پس انتشار خطا^۱ استفاده شده است.

۳-۴-۲ الگوریتم پس انتشار خطا

همچنان که قبلاً گفته شد در شبکه‌های چندلایه، خروجی یک لایه؛ ورودی لایه بعد می‌باشد. رابطه زیر این عمل را نشان می‌دهد.

$$m = 0, 1, \dots, m - 1 \quad a^{m+1} = f^{m+1}(w^{m+1}a^{m+1} + b^{m+1}) \quad (۱۷-۳)$$

که در این رابطه a خروجی لایه، f تابع انتقال لایه، W ماتریس وزن لایه، b بردار بایاس لایه و m تعداد لایه‌های شبکه است. فرآیندی را که رابطه (۳-۱۸) نشان می‌دهد انتشار به جلو گویند. ورودی نرون‌های لایه اول، بردار ورودی شبکه می‌باشد، یعنی:

$$a^0 = p \quad (۱۸-۳)$$

این رابطه منشأ و سرآغاز رابطه (۳-۱۹) می‌باشد، خروجی‌های نرون‌های لایه آخر، بردار خروجی شبکه را تشکیل می‌دهند.

$$a = a^m \quad (۱۹-۳)$$

در الگوریتم پس انتشار خطا برای شبکه‌های چندلایه از تابع هدف میانگین مربعات خطا (MSE) یا مجموع مربعات خطا (SSE) استفاده می‌شود. الگوریتم باید پارامترهای شبکه را به گونه‌ای تنظیم کند که شاخص کارایی به کمترین مقدار ممکن برسد. مقدار خطای شبکه، اختلاف بین مقادیر واقعی ثبت شده و خروجی تخمینی شبکه است. پس می‌توان یک رابطه برای تابع خطا به صورت زیر نوشت:

$$\hat{F}(x) = E|e^2| \quad (۲۰-۳)$$

^۱ Backpropagation Algorithm

که در این رابطه $F(x)$ خطای مربع میانگین، e اختلاف بین ورودی و هدف و $E[e^2]$ امید ریاضی بر روی کل مجموعه ورودی و هدف می باشد. شاخص حساسیت به صورت زیر تعریف می شود:

$$S_i^m = \frac{\partial \hat{F}}{\partial n_i^m} \quad (21-3)$$

اکنون باید حساسیتها محاسبه شوند و سپس با گسترش آن به سمت ورودی شبکه، پارامترهای شبکه تنظیم گردند. در این فرآیند یک عملیات برگشتی انجام می گیرد که بر اساس آن حساسیت لایه m از حساسیت لایه $m+1$ محاسبه می شود، این فرآیند باعث شده که اسم این نوع شبکه ها انتشار برگشتی باشد.

$$S^m = F^m(n^m). (W^{m+1}). S^{m+1} \quad , m = 1, 2, 3, \dots, m - 1 \quad (22-3)$$

بدین ترتیب، حساسیتها از لایه آخر به سمت لایه اول، به سمت عقب انتشار پیدا می کند:

$$S^m \rightarrow S^{m-1} \rightarrow \dots \rightarrow S^2 \rightarrow S \quad (23-3)$$

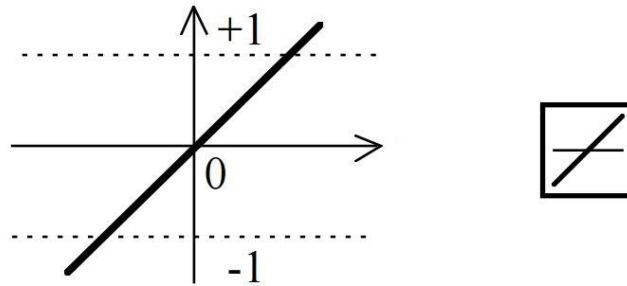
اکنون الگوریتم پس از انتشار خطا کامل شده است و با توجه به اختلاف بین بردار خروجی شبکه و بردار خروجی واقعی، خطای شبکه محاسبه شده و مقدار وزن ها اصلاح می گردد. این تنظیم بر اساس قانون آموزش اصلاح خطا و یا قانون آموزش دلتا انجام می شود. عمل اصلاح وزن ها از محل اتصال لایه خروجی شروع شده و سپس در لایه میانی (پنهان) صورت می گیرد. لایه آخر بعد از آن اصلاح شده و مجدد لایه میانی با توجه به وزن های جدید اصلاح می شود. وزن ها و بایاس ها در هر مرحله از انتشار خطاها و حساسیتها به عقب تنظیم می گردد؛ و تا زمانی که اختلاف بین خروجی شبکه و مقدار هدف به حد قابل قبول برسد، تکرارها ادامه می یابد. در این وضعیت وزن ها ثابت مانده و شبکه آموزش دیده و آماده مدل سازی ورودی های جدید است. پس از مرحله آموزش، با معرفی هر بردار ورودی شبکه، خروجی متناظر آن به دست می آید که مرحله آزمون شبکه نام دارد و با آن میزان دقت شبکه تعیین می گردد [Haykin, 1994].

۳-۲-۴-۳ توابع محرک (توابع انتقال)

در تمامی شبکه‌های عصبی مصنوعی، هر نرون دارای تابعی است که نشان‌دهنده رفتار آن سلول عصبی بوده و تابع محرک نامیده می‌شود. تابع انتقال می‌تواند یک تابع خطی یا غیرخطی باشد و در واقع تابعی از پارامتر n است [Demuth and Beale, 2000]. نرون‌ها می‌توانند از توابع محرک متفاوتی جهت تولید خروجی استفاده کنند. که از رایج‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تابع خطی (همانی): این تابع مقادیر خروجی را به صورت خطی می‌دهد. شکل (۳-۸) و رابطه (۳-۲۴)

$$f(x) = x \quad (۳-۲۴)$$

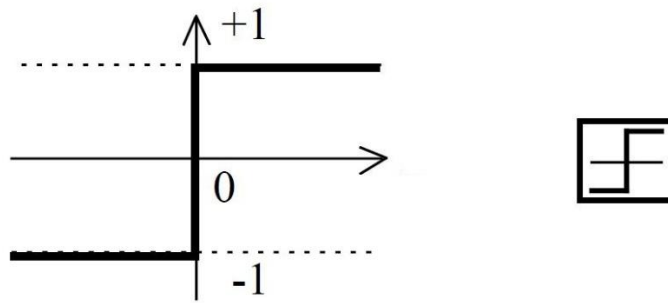


شکل (۳-۸) تابع خطی

- تابع محدودکننده^۱ (حد آستانه): مقادیر تابع به بیشتر یا کمتر بودن مقادیر ورودی از برخی مقادیر حدی بستگی دارد. برای مثال تابع محدود کننده‌ی رابطه (۳-۲۵) به ازای x های بزرگتر از صفر برابر ۱ و کوچکتر از صفر به -۱ محدود می‌شود. شکل (۳-۹) نمودار این تابع را نشان می‌دهد.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & , x > 0 \\ 0 & , x = 0 \\ -1 & , x < 0 \end{cases} \quad (۳-۲۵)$$

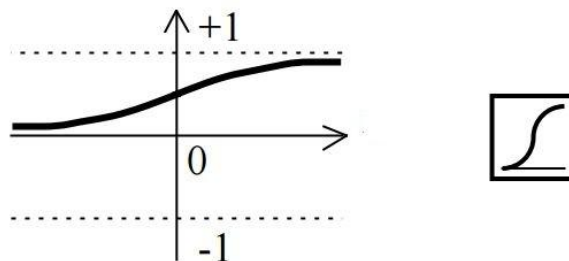
^۱ Threshold Function



شکل (۹-۳) تابع محدودکننده

- تابع سیگموئیدی: ورودی این تابع انتقال می‌تواند هر مقداری بین منفی بی‌نهایت تا مثبت بی‌نهایت باشد درحالی‌که خروجی آن در بازه صفر و ۱ محدود شده است. این تابع از رابطه (۲۶-۳) پیروی می‌کند و نمودار آن به شکل (۱۰-۳) است.

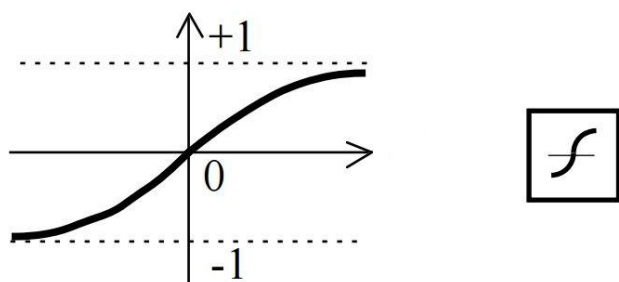
$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (۲۶-۳)$$



شکل (۱۰-۳) تابع سیگموئیدی

- تابع تانژانت هیپربولیک: یک تابع فرد و نامتقارن است که تجربه نشان داده آموزش شبکه را زودتر به نتیجه می‌رساند. این تابع از رابطه (۲۷-۳) پیروی می‌کند و نمودار آن به شکل (۱۱-۳) است.

$$f(x) = \frac{1-e^{-x}}{1+e^x} \quad (۲۷-۳)$$



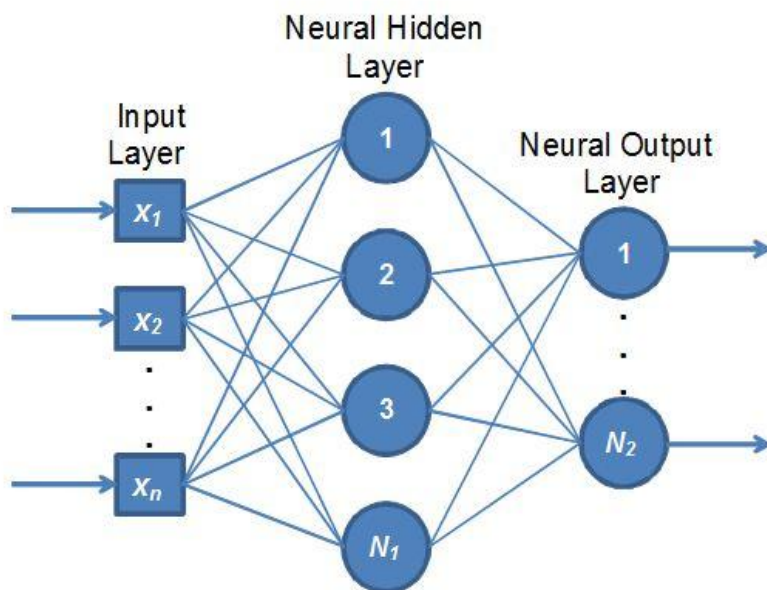
شکل (۱۱-۳) تابع تانژانت هیپربولیک

۳-۴-۲-۴ شبکه‌های پرسپترون چند لایه MLP

در این تحقیق از شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه (MLP) استفاده شده است. شبکه پیش‌خور چندلایه که به آن شبکه پرسپترون چندلایه هم می‌گویند. نمای شماتیک این شبکه در شکل (۱۲-۳) نشان داده شده است. در این شبکه نرون‌های هر لایه تماماً به نرون‌های لایه قبل متصل شده است. خروجی هر لایه پس از تأثیر گذاشتن تابع محرک، ورودی لایه بعدی می‌گردد و این روند تا به دست آمدن خروجی شبکه ادامه می‌یابد. الگوریتم آموزش در این شبکه پیشرو و روش انتشار برگشتی می‌باشد. دو فرآیند اصلی روش انتشار برگشتی عبارت‌اند از: انتشار روبه‌جلو و انتشار به عقب. در مرحله انتشار روبه‌جلو، یک الگوی خروجی به شبکه ارائه می‌شود و اثر آن لایه به لایه در شبکه انتشار می‌یابد. برای هر نرون، مقدارهای ورودی به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$net_i^n = \sum_{j=1}^m W_{ji}^n \times O_j^{n-1} \quad (28-3)$$

که در آن net_i^n مقدار ورودی نرون i ام لایه n ام، W_{ji}^n وزن متصل شده بین نرون i ام لایه n ام و $n-1$ ام و O_j^{n-1} خروجی j ام لایه $n-1$ ام و همچنین m تعداد نرون‌های لایه $n-1$ ام است. در این تحقیق نیز از تابع انتقال سیگموئیدی در لایه مخفی و تابع انتقال خطی در لایه خروجی استفاده شده است [Haykin, 1994].



شکل (۳-۱۲) نمای شماتیک شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP)

همچنین هیچ قاعده و قانون سیستماتیکی برای به دست آوردن تعداد نرون‌های لایه مخفی وجود ندارد. تعداد نرون‌های کم ممکن است کم برازش^۱ و تعداد نرون‌های زیاد ممکن است فرابرازش^۲ برای شبکه ایجاد کنند.

^۱ Under-fit

^۲ Over-fit

فصل چهارم:

داده‌ها و نتایج

۱-۴ مقدمه

در این تحقیق نحوه مدل‌سازی با روش خانواده در معابر شهر ساری اجرا شده است. در هر خانواده روسازی یکبار با روش رگرسیون و یکبار با شبکه عصبی مدل‌سازی انجام شده است. فصل حاضر شامل توضیحاتی راجع به داده‌ها، عکس‌هایی از خرابی خیابان‌ها و معابر مورد بررسی و جداول مربوط به داده‌های جمع‌آوری و نتایج مدل‌سازی می‌باشد.

۲-۴ داده‌ها

در ابتدای تحقیق برای شاخه‌بندی و قطعه‌بندی معابر چندین خیابان اصلی و فرعی انتخاب شد و تصمیم بر آن شد که به ازای هر ۵۰۰ متر از هر قطعه یک واحد نمونه به طول ۱۰۰ متر مورد ارزیابی قرار گیرد. در این تحقیق هر خط عبور از هر خیابان یک قطعه در نظر گرفته شد. در مجموع ۳۲ خیابان و ۱۲۵ واحد نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت که می‌توان گفت تقریباً تمام خیابان‌های اصلی و فرعی‌های مهم را شامل می‌شود. در جدول (۱-۴) تعداد واحد نمونه‌ی هر قطعه نشان داده شده است. خطوط عبور واقع در هر واحد به طور جداگانه ارزیابی شده است.

جدول (۱-۴) قطعه‌ها و تعداد واحدهای نمونه

تعداد واحد نمونه	نام قطعه	تعداد واحد نمونه	نام قطعه	تعداد واحد نمونه	نام قطعه	تعداد واحد نمونه	نام قطعه
۶	خ سلمان فارسی	۴	مازیار	۴	بلوار خزر	۴	بلوار آزادی
۳	خ جهان آرا	۳	خ طبرسی	۳	خ مدرس	۱	خ فردوسی
۲	خ شهبابی	۶	خ رودکی	۶	بلوار امیر مازندرانی	۱	خ جمهوری اسلامی
۶	بلوار عسگر محمدیان	۴	بلوار مطهری	۴	خ فرهنگ	۱	خ ۱۸ دی
۲	بلوار دولت	۲	خ پیام نور	۱	خ ملامجدالدین	۶	بلوار طالقانی
۲	خ امیرکبیر	۲	خ باغ سنگ	۲	خ قارن	۴	بلوار دانشگاه
۲	خ آزادی	۸	خ معلم	۱	خ انقلاب	۱۲	کمربندی غربی
۴	بلوار جام جم	۵	خ ۱۵ خرداد	۴	بلوار ارتش	۱۰	کمربندی شرقی

به دلیل قدیمی بودن معابر، در شهرداری هیچ‌گونه اطلاعاتی از قبیل دانه‌بندی اساس و زیراساس، خاک بستر، ضخامت لایه‌ها و همچنین حتی آخرین زمان روکش هر خیابان که مهم‌ترین قسمت برای مدل‌سازی عملکرد روسازی بود وجود نداشت. برای رفع این مشکل از طریق مصاحبه زمان آخرین روکش خیابان‌ها مشخص شد. ضمناً معلوم شد که زیرسازی تمام خیابان‌ها طبق یک نقشه یکسان و مشابه انجام شده است و تفاوت عمده در روسازی آن‌ها به ویژه ضخامت آسفالت است. شرط استفاده از مدل خانواده این است که قطعه‌ها را بر اساس شرایطی (مانند یکسان بودن ترافیک، سال ساخت، مصالح و ...) بتوان در یک خانواده قرار داد. برای این کار ترافیک به عنوان عامل اصلی تفکیک روسازی‌ها به خانواده‌های مختلف در نظر گرفته شد و قطعه‌ها به دو خانواده با ترافیک سنگین و سبک تقسیم شد. در مورد ترافیک خیابان‌ها نیز در تابستان سال ۱۳۹۴ برای اولین بار در ساری طرح جمع‌آوری اطلاعات ترافیکی انجام شد که آن هم در سطح کوچکی از شهر بود که معابر مورد بررسی را پوشش نمی‌داد. به همین دلیل بر اساس وضعیت عبور و مرور فعلی، خیابان‌ها به دو گروه ترافیکی سبک و سنگین تقسیم‌بندی شد. در جدول (۴-۲) میانگین زمان آخرین روکش که از طریق مصاحبه میدانی بدست آمده قابل رؤیت است.

جدول (۴-۲) میانگین زمان آخرین روکش

ردیف	قطعه	مصاحبه زمان آخرین روکش تا کنون						میانگین
۱	بلوار آزادی	۱	۲	۲	۲	۱	۳	۱/۸۳
۲	خیابان فردوسی	۱۵	۱۶	۱۵	۱۶	۱۷	۱۶	۱۵/۸۳
۳	خیابان جمهوری اسلامی	۲۱	۲۲	۲۰	۲۱	۲۲	۲۰	۲۱
۴	خیابان ۱۸ دی	۱۸	۲۰	۱۷	۱۸	۱۷	۱۵	۱۷/۵
۵	بلوار آیت ... طالقانی	۵	۴	۴	۶	۴	۳	۴/۳۳
۶	بلوار دانشگاه (م امام-سه راه جویبار)	۸	۵	۷	۹	۷	۶	۷
	بلوار دانشگاه (سه راه جویبار-م امام)	۱	۱	۳	۲	۱	۱	۱/۵
۷	بزرگراه ولیعصر (کمربندی غربی) (سه راه جویبار-م خزر)	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱/۵
	بزرگراه ولیعصر (کمربندی غربی) (م خزر-سه راه جویبار)	۳	۳	۳	۱	۲	۱	۲/۱۷

جدول (۴-۲) ادامه

ردیف	مصاحبه زمان آخرین روکش تا کنون						میانگین	قطعه
۸	۱۷	۱۶	۱۶	۱۷	۱۵	۱۶	بزرگراه ولیعصر (کمربندی شرقی) (م خزر-م هلال احمر)	
	۵	۴	۳	۲	۳	۳/۵	بزرگراه ولیعصر (کمربندی شرقی) (م هلال احمر-م خزر)	
۹	۲	۳	۵	۳	۴	۳/۵	بلوار خزر (م خزر-سه راه کشاورزی)	
	۳	۲	۳	۳	۱	۲/۵	بلوار خزر (سه راه کشاورزی-م خزر)	
۱۰	۱۷	۱۶	۱۷	۱۶	۱۶	۱۶/۵	خیابان مدرس	
۱۱	۷	۴	۵	۵	۷	۵/۵	بلوار امیر مازندرانی	
۱۲	۳	۴	۴	۳	۵	۴	خیابان فرهنگ	
۱۳	۵	۵	۵	۴	۵	۴/۸۳	خیابان ملامجدالدین	
۱۴	۶	۷	۶	۹	۶	۶/۸۳	خیابان قارن	
۱۵	۲۰	۲۰	۲۰	۱۹	۲۰	۲۰	خیابان انقلاب	
۱۶	۱۸	۱۹	۱۷	۱۸	۲۱	۱۸/۳۳	بلوار ارتش (م امام حسین-م راه آهن)	
	۶	۶	۷	۷	۵	۶	بلوار ارتش (م راه آهن-م امام حسین)	
۱۷	۴	۳	۲	۳	۴	۳	خیابان مازیار (م راه آهن-خ شیخ طبرسی)	
	۱۸	۱۹	۱۷	۱۷	۱۶	۱۷/۳۳	خیابان مازیار (خ شیخ طبرسی-م راه آهن)	
۱۸	۷	۷	۶	۵	۷	۶/۱۷	خیابان شیخ طبرسی (م امام حسین-دروازه بابل)	
	۵	۵	۴	۳	۵	۴/۵	خیابان شیخ طبرسی (دروازه بابل-م امام حسین)	
۱۹	۱۶	۱۵	۱۵	۱۶	۱۴	۱۵	خیابان رودکی (شهبند) (بلوار امیر-کمربندی غربی)	
	۱۷	۱۶	۱۷	۱۸	۱۵	۱۶/۵	خیابان رودکی (شهبند) (کمربندی غربی-بلوار امیر)	

جدول (۴-۲) ادامه

میانگین	مصاحبه زمان آخرین روکش تا کنون						قطعه	ردیف
۳/۳۳	۳	۲	۳	۴	۴	۴	بلوار آیت ا... مطهری (دانشگاه محمدباقر-بلوار خزر)	۲۰
۱۷/۵	۱۷	۱۷	۱۶	۱۹	۱۸	۱۸	بلوار آیت ا... مطهری (بلوار خزر-دانشگاه محمدباقر)	
۲۰	۱۹	۲۰	۲۱	۲۱	۲۰	۱۹	خیابان پیام نور	۲۱
۲	۳	۲	۲	۳	۱	۱	۳۰ متری ولیعصر (باغ سنگ) (ولیعصر ۱-۶)	۲۲
۱۸	۲۰	۱۹	۱۹	۱۶	۱۸	۱۶	۳۰ متری ولیعصر (باغ سنگ) (ولیعصر ۱-۶)	
۴/۵	۴	۳	۴	۵	۶	۵	خیابان معلم	۲۳
۶	۵	۵	۷	۷	۶	۶	خیابان ۱۵ خرداد	۲۴
۳/۳۳	۴	۳	۴	۵	۲	۲	خیابان سلمان فارسی (بلوار طالقانی-م سعدسلیمان)	۲۵
۱۶/۵	۱۷	۱۵	۱۸	۱۷	۱۶	۱۶	خیابان سلمان فارسی (م سعدسلیمان-بلوار طالقانی)	
۵/۱۷	۶	۴	۴	۶	۵	۶	خیابان جهان آرا	۲۶
۷/۵	۶	۶	۷	۹	۹	۸	خیابان شهید صدیقی (شهابی) (ک احسان-ک خالقی)	۲۷
۲	۳	۲	۲	۳	۱	۱	بلوار عسگرمحمدیان (راه آهن-بلوار عسگری)	۲۸
۱۴/۱۷	۱۶	۱۳	۱۲	۱۳	۱۵	۱۶	بلوار عسگرمحمدیان (بلوار عسگری-راه آهن)	
۳	۲	۳	۳	۲	۳	۵	بلوار دولت	۲۹
۱۴	۱۳	۱۴	۱۵	۱۴	۱۳	۱۵	خیابان امیرکبیر	۳۰
۱۴	۱۴	۱۳	۱۳	۱۵	۱۴	۱۵	خیابان آزادی	۳۱
۳	۳	۲	۵	۳	۳	۲	بلوار جام جم (م امام-صدا و سیما)	۳۲
۱۷/۶۷	۱۷	۱۸	۱۸	۱۸	۱۷	۱۸	بلوار جام جم (صدا و سیما-م امام)	

بر اساس بازدیدهای میدانی و ارزیابی معابر شهر ساری که از اوایل تیر ماه تا پایان شهریور ماه سال ۱۳۹۳ انجام شده است شاخص وضعیت روسازی (PCI) هر قطعه به تفکیک خطوط کندرو، وسط و تندرو محاسبه شده است. همچنین شدت ترافیک هر خیابان به صورت ترافیک سنگین و سبک با توجه به حجم تردد وسایل نقلیه به ویژه تریلی و کامیون تفکیک و نتایج آن در جدول (۳-۴) درج شده است.

جدول (۳-۴) میانگین شاخص وضعیت روسازی و نوع ترافیک

ردیف	قطعه	خطوط	میانگین PCI	خانواده روسازی (ترافیک)
۱	بلوار آزادی (م امام-م ساعت)	کند رو	۹۵/۵	سنگین
		وسط	۹۶	سنگین
		تند رو	۹۶/۵	سبک
	بلوار آزادی (م ساعت-م امام)	کند رو	۱۰۰	سنگین
		وسط	۹۳	سنگین
		تند رو	۹۵	سبک
۲	خیابان فردوسی	یک خط عبور	۶۵	سنگین
۳	خیابان جمهوری اسلامی	یک خط عبور	۳۵	سنگین
۴	خیابان ۱۸ دی	یک خط عبور	۵۸	سنگین
۵	بلوار آیت ... طالقانی (م شهدا-م هلال احمر)	کند رو	۸۸	سنگین
		تند رو	۹۷/۸۳	سنگین
	بلوار آیت ... طالقانی (م هلال احمر-م شهدا)	کند رو	۸۴/۶۷	سنگین
		تند رو	۸۷/۳۳	سنگین
۶	بلوار دانشگاه (م امام-سه راه جویبار)	کند رو	۷۲	سنگین
		تند رو	۸۳/۵	سنگین
	بلوار دانشگاه (سه راه جویبار-م امام)	کند رو	۹۷	سنگین
		تند رو	۹۹	سنگین
۷	بزرگراه ولیعصر (کمربندی غربی) (سه راه جویبار-م خزر)	کند رو	۱۰۰	سنگین
		وسط	۹۳/۲۵	سنگین
		تند رو	۹۸/۸۳	سبک
	بزرگراه ولیعصر (کمربندی غربی) (م خزر-سه راه جویبار)	کند رو	۹۱	سنگین
وسط		۹۸/۵	سنگین	
تند رو		۸۵/۶۷	سبک	
۸	بزرگراه ولیعصر (کمربندی شرقی) (م خزر-م هلال احمر)	کند رو	۶۴/۲	سنگین
		تند رو	۶۳/۳	سنگین
	بزرگراه ولیعصر (کمربندی شرقی) (م هلال احمر-م خزر)	کند رو	۹۹/۶	سنگین
		تند رو	۸۹/۷	سنگین

جدول (۳-۴) ادامه

ردیف	قطعه	خطوط	میانگین PCI	خانواده روسازی (ترافیک)
۹	بلوار خزر (م خزر-سه راه کشاورزی)	کند رو	۸۲	سنگین
		وسط	۹۳/۵	سنگین
		تند رو	۷۰	سبک
	بلوار خزر (سه راه کشاورزی-م خزر)	کند رو	۸۹/۵	سنگین
		وسط	۹۹/۵	سنگین
		تند رو	۱۰۰	سبک
۱۰	خیابان مدرس (ملا مجدالدین-سه راه کشاورزی)	کند رو	۶۶	سنگین
		تند رو	۵۷	سنگین
۱۰	خیابان مدرس (سه راه کشاورزی-ملا مجدالدین)	کند رو	۶۸	سنگین
		تند رو	۶۰	سنگین
۱۱	بلوار امیر مازندرانی (م امام-سه راه کشاورزی)	کند رو	۸۷/۶۷	سنگین
		تند رو	۹۱/۶۷	سنگین
	بلوار امیر مازندرانی (سه راه کشاورزی-م امام)	کند رو	۷۴	سنگین
		تند رو	۸۵/۳۳	سنگین
۱۲	خیابان فرهنگ (خ فرهنگ-م شهدا)	کند رو	۹۲	سنگین
		تند رو	۸۵	سنگین
		کند رو	۸۲	سنگین
۱۳	خیابان فرهنگ (م شهدا-خ فرهنگ)	تند رو	۸۱	سنگین
		یک خط عبور	۸۶	سنگین
۱۴	خیابان قارن	یک خط عبور	۷۸/۵	سنگین
۱۵	خیابان انقلاب	یک خط عبور	۴۰	سنگین
۱۶	بلوار ارتش (م امام حسین-م راه آهن)	کند رو	۵۱/۷	سنگین
		تند رو	۶۰	سنگین
	بلوار ارتش (م راه آهن-م امام حسین)	کند رو	۹۲/۵	سنگین
		تند رو	۸۴	سنگین
۱۷	خیابان مازیار (م راه آهن-خ شیخ طبرسی)	کند رو	۹۱	سبک
		تند رو	۷۹	سبک
	خیابان مازیار (خ شیخ طبرسی-م راه آهن)	کند رو	۱۴/۵	سبک
		تند رو	۵۶/۵	سبک
۱۸	خیابان شیخ طبرسی (م امام حسین-دروازه بابل)	کند رو	۸۱	سنگین
		تند رو	۷۷/۲۵	سنگین
	خیابان شیخ طبرسی (دروازه بابل-م امام حسین)	کند رو	۸۸/۵	سنگین
		تند رو	۸۶	سنگین

جدول (۳-۴) ادامه

ردیف	قطعه	خطوط	میانگین PCI	خانواده روسازی (ترافیک)
۱۹	خیابان رودکی (شهیند) (بلوار امیر-کمربندی غربی)	کند رو	۶۸	سبک
		تند رو	۶۲/۳۳	سبک
	خیابان رودکی (شهیند) (کمربندی غربی - بلوار امیر)	کند رو	۵۹	سبک
		تند رو	۶۵	سبک
۲۰	بلوار آیت ... مطهری (دانشگاه محمدباقر-بلوار خزر)	کند رو	۸۵	سبک
		تند رو	۸۲/۵	سبک
	بلوار آیت ... مطهری (بلوار خزر-دانشگاه محمدباقر)	کند رو	۵۴/۵	سبک
		تند رو	۵۳	سبک
۲۱	خیابان پیام نور	یک خط عبور	۳۸	سبک
۲۲	۳۰ متری ولیعصر (باغ سنگ) (ولیعصر ۶-۱)	کند رو	۹۰	سبک
		تند رو	۹۵	سبک
	۳۰ متری ولیعصر (باغ سنگ) (ولیعصر ۱-۶)	کند رو	۴۶	سبک
		تند رو	۵۶	سبک
۲۳	خیابان معلم (بلوار طالقانی-کمربندی شرقی)	کند رو	۷۱	سبک
		تند رو	۷۶	سبک
۲۳	خیابان معلم (کمربندی شرقی- بلوار طالقانی)	کند رو	۶۹/۷۵	سبک
		تند رو	۸۱	سبک
۲۴	خیابان ۱۵ خرداد (خ فرهنگ-خ پیروزی)	کند رو	۷۵	سبک
		تند رو	۶۰	سبک
	خیابان ۱۵ خرداد (خ پیروزی-خ فرهنگ)	کند رو	۸۰/۶۷	سبک
		تند رو	۶۳/۳۳	سبک
۲۵	خیابان سلمان فارسی (بلوار طالقانی-م سعدسلیمان)	کند رو	۸۲	سبک
		تند رو	۸۱/۳۳	سبک
	خیابان سلمان فارسی (م سعدسلیمان- بلوار طالقانی)	کند رو	۵۷	سبک
		تند رو	۶۰	سبک
۲۶	خیابان جهان آرا (راه آهن-خ صبا)	کند رو	۷۲	سبک
		تند رو	۷۲/۵	سبک
	خیابان جهان آرا (خ صبا-راه آهن)	کند رو	۶۷	سبک
		تند رو	۷۷	سبک
۲۷	خیابان شهید صدیقی (شهابی) (ک احسان-ک خالقی)	کند رو	۶۹	سبک
		تند رو	۶۶	سبک
	خیابان شهید صدیقی (شهابی) (ک خالقی - ک احسان)	کند رو	۷۲	سبک
		تند رو	۶۴	سبک

جدول (۳-۴) ادامه

ردیف	قطعه	خطوط	میانگین PCI	خانواده روسازی (ترافیک)
۲۸	بلوار عسگر محمدیان (راه آهن-بلوار عسگری)	کند رو	۹۳/۳۳	سنگین
		تند رو	۹۶/۳۳	سنگین
	بلوار عسگر محمدیان (بلوار عسگری- راه آهن)	کند رو	۶۳	سنگین
		تند رو	۷۴	سنگین
۲۹	بلوار دولت	یک خط عبور	۸۵/۵	سیک
۳۰	خیابان امیر کبیر	یک خط عبور	۶۶/۵	سنگین
۳۱	خیابان آزادی	یک خط عبور	۶۷	سنگین
۳۲	بلوار جام جم (م امام-صدا و سیما)	کند رو	۸۵	سنگین
		تند رو	۹۸/۵	سنگین
	بلوار جام جم (صدا و سیما- م امام)	کند رو	۶۴/۵	سنگین
		تند رو	۵۴/۵	سنگین

۳-۴ عکس‌هایی از خرابی واحدهای نمونه

در ادامه چند نمونه از خرابی‌هایی که در معابر شهر ساری ثبت شده در شکل‌های (۴-۱) تا

(۴-۱۰) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱) بلوار آزادی واحد شماره ۱، وصله کاری



شکل (۲-۴) خیابان جمهوری واحد شماره ۶، ترک طولی



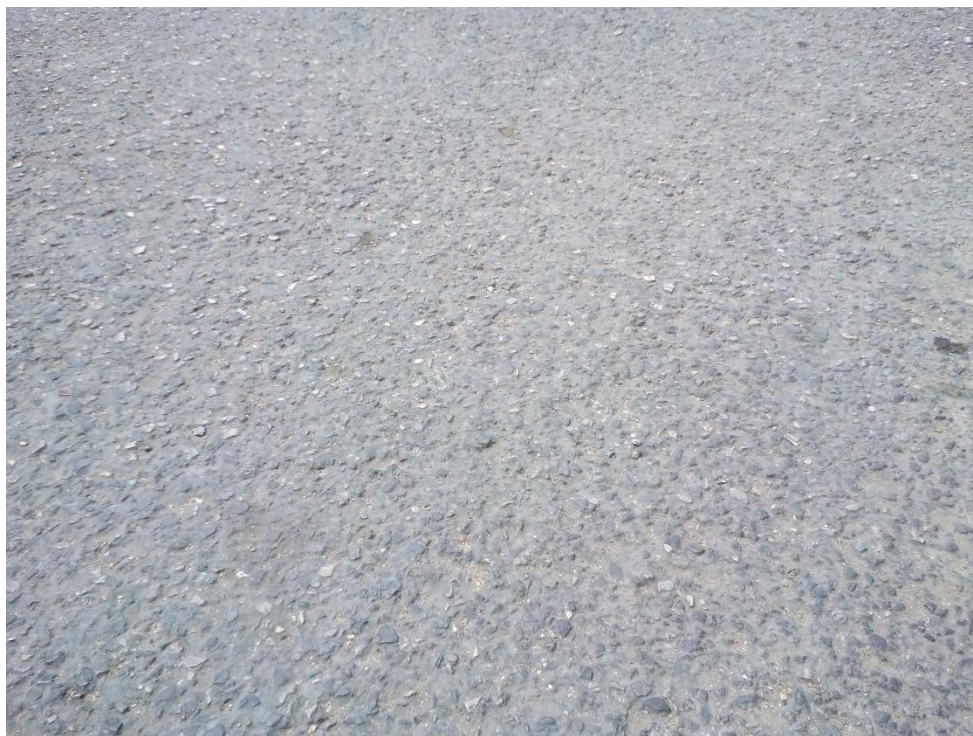
شکل (۳-۴) بلوار دانشگاه واحد شماره ۱۷، قیر زدگی



شکل (۴-۴) خ قارن واحد شماره ۵۸، وصله کاری



شکل (۵-۴) خ معلم واحد شماره ۸۶، ترک پوست سوسماری



شکل (۴-۶) خ فرهنگ واحد شماره ۵۶، هوازدگی و دانه‌دانه شدن



شکل (۴-۷) خ مازیار واحد شماره ۶۶، چاله



شکل (۸-۴) خ جهان آرا واحد شماره ۱۰۶، ترک پوست سوسماری



شکل (۹-۴) خ معلم واحد شماره ۹۲، ترک طولی



شکل (۴-۱۰) بلوار آزادی واحد شماره ۲، ترک عرضی و طولی

۴-۴ بررسی نرمال بودن داده‌ها

در ابتدا برای استفاده از مدل رگرسیون باید شرط نرمال بودن داده‌ها را کنترل کرد. برای این کار ابتدا باید چولگی^۱ و کشیدگی^۲ داده‌ها در بازه‌ی (-۲،۲) قرار داشته باشد. سپس با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (KS) نرمال بودن داده‌ها کنترل می‌شود. مقدار P-Value در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مبنای پذیرش یا عدم پذیرش نرمال بودن داده‌ها است. به بیان دیگر قبول یا رد فرض اولیه H_0 مقایسه با مقدار ۰/۰۵ هست. اگر P-Value کوچک‌تر از ۰/۰۵ باشد، فرض اولیه H_0 (نرمال بودن داده‌ها) رد می‌شود و اگر P-Value بزرگتر از ۰/۰۵ فرض اولیه رد نمی‌شود. در جدول (۴-۴) داده‌های هر دو گروه مورد بررسی قرار گرفت و نرمال بودن داده‌ها تأیید شد. در آخر با رسم نمودار جعبه برای هر دو مدل می‌توان از نرمال بودن داده، محدوده‌ی داده‌های مهم و اگر داده‌ای خارج از محدود وجود دارد، کامل آگاه شد که معمولاً در این صورت آن داده را حذف و پس از آن مدل‌سازی رگرسیون انجام می‌شود.

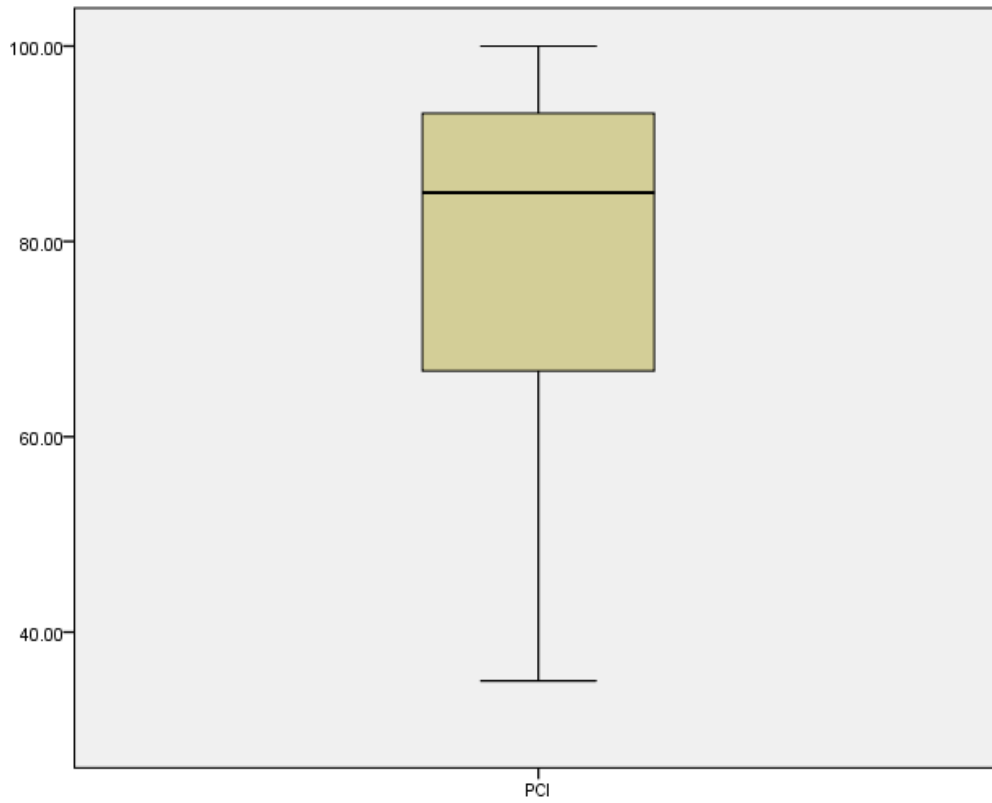
^۱ skewness

^۲ kurtosis

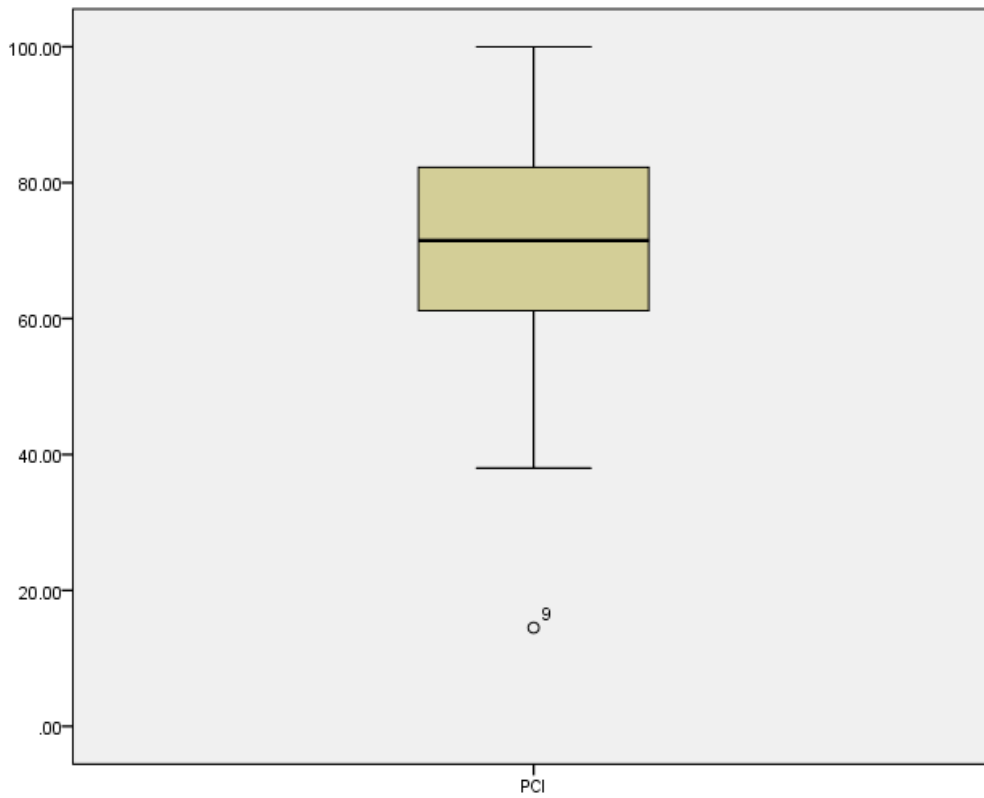
جدول (۴-۴) بررسی نرمال بودن داده‌ها

نام متغیر	آماره	تعداد داده‌ها	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	P-value (KS)
خانواده یک: معاير با ترافیک سنگین		۶۰	۸۰٫۵۶	۱۵٫۸۷	-۰٫۸۵۴	۰٫۰۹۵	۰٫۱۶۴
خانواده دو: معاير با ترافیک سبک		۴۴	۷۱٫۴۴	۱۶٫۹	-۰٫۷۷۳	۱٫۷۸۴	۰٫۹۸۴

شکل (۴-۱۱) نمودار جعبه‌ای مربوط به خانواده ترافیک سنگین را نشان می‌دهد که هیچ داده‌ای خارج از محدود وجود ندارد، اما در شکل (۴-۱۲) که مربوط به خانواده ترافیک سبک است، داده شماره ۹ را به عنوان داده‌ای خارج از محدوده نشان داده شده است. با حذف این داده می‌توان مدل‌سازی رگرسیون را انجام داد.



شکل (۴-۱۱) نمودار جعبه‌ای مربوط به خانواده یک (ترافیک سنگین)

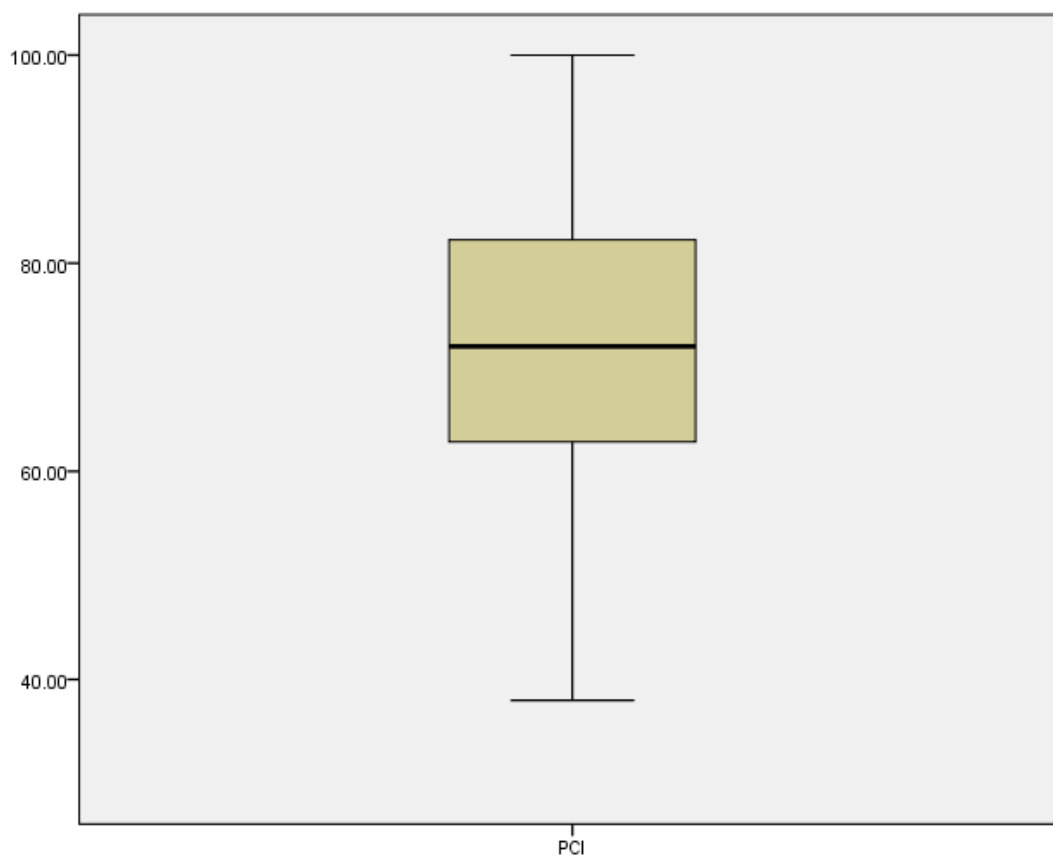


شکل (۴-۱۲) نمودار جعبه‌ای مربوط به خانواده دو (ترافیک سبک)

پس از حذف داده‌ی خارج از محدوده برای مدل خانواده ترافیک سبک دوباره مراحل نرمال بودن داده‌ها را بررسی شد که نتایج آن در جدول (۴-۵) قابل مشاهده است. از همین داده‌ها نیز برای مدل‌سازی با روش شبکه عصبی استفاده خواهد شد.

جدول (۴-۵) نتایج خانواده دو، پس از حذف داده خارج از محدوده

تعداد	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	P-value (KS)
۴۳	۷۲,۷۶	۱۴,۶۱	-۰,۰۳۴	-۰,۳۹۷	۰,۹۹۳



شکل (۴-۱۳) نمودار جعبه‌ای مربوط به خانواده دو، بعد از حذف داده خارج از محدوده

۴-۵ تعیین وجود رابطه بین داده‌ها (همبستگی داده‌ها)

در فصل سوم در مورد ضریب همبستگی پیرسون توضیحاتی داده شد. به منظور تعیین میزان رابطه، نوع و جهت رابطه‌ی بین دو متغیر که در این پایان‌نامه شاخص وضعیت روسازی و عمر است می‌توان از این ضریب استفاده کرد. این ضریب با کمک نرم‌افزار SPSS محاسبه شد. سپس مقدار P-Value نیز محاسبه شد که در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مبنای پذیرش یا عدم پذیرش همبستگی بین متغیرها است. به عبارتی دیگر قبول یا رد فرض اولیه H_0 مقایسه با مقدار ۰/۰۵ است. فرض صفر در SPSS عدم همبستگی می‌باشد. اگر P-Value کوچک‌تر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر H_0 (عدم همبستگی) رد می‌شود و اگر P-Value بزرگتر از ۰/۰۵ فرض اولیه رد نمی‌شود. نتایج این آزمون در جدول (۴-۶) نشان داده شده است.

جدول (۴-۶) نتایج ضریب همبستگی پیرسون

نام متغیر	آماره	تعداد داده‌ها	ضریب پیرسون	P-value	نتیجه
خانواده یک: معاير با ترافیک سنگین		۶۰	-۰,۹۳۹	۰	فرض صفر رد شد
خانواده دو: معاير با ترافیک سبک		۴۳	-۰,۸۵۱	۰	فرض صفر رد شد

در هر دو مدل ضریب پیرسون عددی منفی و نزدیک به یک است که این خود نشان دهنده‌ی رابطه‌ای معکوس بین زمان و شاخص وضعیت روسازی می‌باشد. از طرفی مقدار P-Value در هر دو مدل کوچک‌تر از ۰/۰۵ بدست آمد که فرض صفر را رد کرد و وجود همبستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد.

۴-۶ بررسی اختلاف بین دو گروه

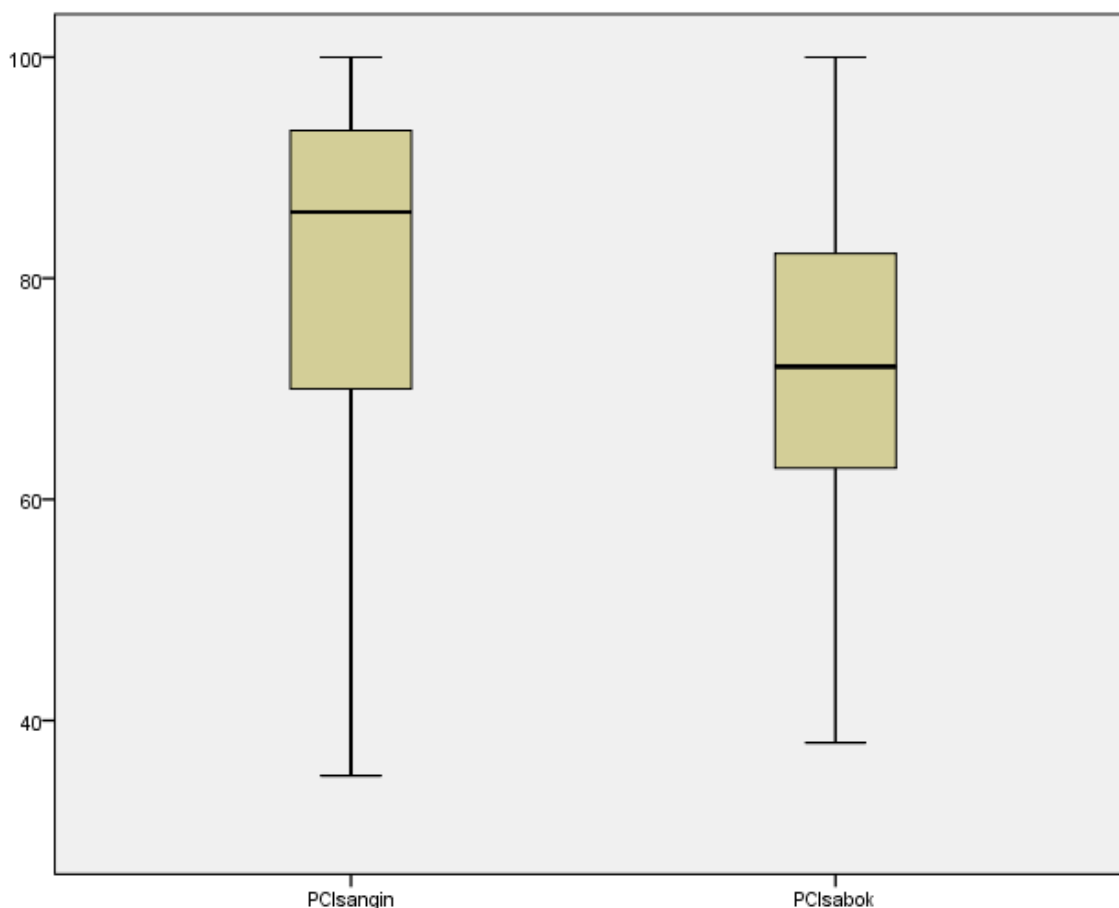
در این بخش به بررسی اختلاف بین میانگین دو متغیر که یکی مدل خانواده ترافیک سنگین و دیگری مدل خانواده ترافیک سبک است پرداخته شد. این کار برای دانستن اختلاف بین داده‌های دو گروه است و یا به عبارتی دیگر آیا این دو گروه از هم متفاوت هستند یا داده‌های آن‌ها به گونه‌ای است که می‌توان آن‌ها را در یک گروه قرار داد. در صورت تفاوت بین دو گروه می‌توان نتیجه گرفت که این دو خانواده به درستی به دو گروه تقسیم شده است و در غیر این صورت این دو گروه در واقع یک گروه هستند.

برای این کار از آزمون t برای مقایسه میانگین‌های این دو مدل استفاده شده است. در نرم‌افزار SPSS فرض صفر برای آزمون t یکسان بودن میانگین داده‌ها و فرض مقابل آن متفاوت بودن میانگین می‌باشد. در سطح معنی‌داری $0,05$ اگر P -value کوچک‌تر از $0,05$ باشد فرض اولیه رد و در نتیجه برابری میانگین داده رد می‌شود که این بدان معناست که این دو گروه را می‌توان به عنوان دو گروه متفاوت در نظر گرفت و در صورتی که P -value بزرگ‌تر از $0,05$ باشد آنگاه فرض صفر تأیید می‌شود که این نشان دهنده این است که داده‌ها همپوشانی زیادی داشته و می‌توان آن‌ها را یک گروه فرض کرد. در جدول (۴-۷) نتایج آزمون t برای دو گروه ترافیک سنگین و سبک قابل مشاهده است که P -value با مقدار $0,013$ نشان دهنده تفاوت میانگین دو گروه می‌باشد. در شکل (۴-۱۴) نمودار جعبه‌ای هر دو گروه در کنار هم رسم شده است که این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد.

جدول (۴-۷) نتایج آزمون t برای دو خانواده روسازی با ترافیک سنگین و سبک

نتیجه	P-value	آماره t	درجه آزادی	انحراف معیار	میانگین	تعداد داده‌ها	آماره نام متغیر
فرض صفر رد شد	0,013	2,53	101	15,87	80,56	60	ترافیک سنگین
				16,9	71,44	43	ترافیک سبک

با توجه به جدول (۷-۴) و شکل (۱۴-۴) می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های مربوط به دو خانواده روسازی با ترافیک سنگین و ترافیک سبک با یکدیگر همپوشانی نداشته و دو خانواده مستقل از یکدیگر بشمار می‌روند. حال برای هر خانواده روسازی می‌توان یک مدل پیش‌بینی خرابی جداگانه ارائه نمود.



شکل (۱۴-۴) نمودار جعبه‌ای دو خانواده روسازی با ترافیک سنگین و سبک

۷-۴ معیارهای مورد استفاده برای ارزیابی نتایج

نتایج حاصل از مدل‌سازی باید بر اساس معیاری مورد ارزیابی قرار گیرد. دو معیار برای ارزیابی نتایج در این پایان‌نامه استفاده شده است. معیار اول آزمون نکویی برازش^۱ (R^2) و معیار دوم مجذور میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) است. روابط (۱-۴) و (۲-۴) معادلات این آماره‌ها را نشان می‌دهند.

^۱ Goodness of Fit Test

^۲ Root Mean Square Error

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (X_{0i} - \bar{X}_0)(X_{Si} - \bar{X}_S))^2}{(\sum_{i=1}^n (X_{0i} - \bar{X}_0)^2)(\sum_{i=1}^n (X_{Si} - \bar{X}_S)^2)} \quad (1-4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{Si} - X_{0i})^2}{n}} \quad (2-4)$$

که X_0 مقدار مشاهداتی، X_S مقدار تخمینی، \bar{X} میانگین مقادیر مشاهداتی یا تخمینی می‌باشد.

۸-۴ نتایج مدل رگرسیون

پس از نرمال بودن داده‌ها و بررسی وجود رابطه بین آن‌ها (ضریب پیرسون) می‌توان مدل‌سازی را انجام داد. در مدل‌سازی رگرسیون توابعی زیادی مورد بررسی قرار گرفت. از رگرسیون خطی گرفته تا رگرسیون درجه ۲، درجه ۳، درجه ۴، درجه ۵، توابع مرکب، توابع نمایی و لگاریتمی و توانی. در ادامه مدل‌هایی که نتایج بهتری داشته‌اند معرفی می‌شوند.

۱-۸-۴ مدل رگرسیون برای خانواده روسازی یک (ترافیک سنگین)

۱-۱-۸-۴ رگرسیون درجه ۲

فرم کلی این معادله به صورت رابطه‌ی (۳-۴) می‌باشد. در جدول (۸-۴) ضرایب و معیارهای ارزیابی برای این معادله قابل رؤیت است. در شکل (۴-۱۵) نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان برای این تابع رسم شده است. نقاط روی نمودار مقادیر ارزیابی شده از بازدید میدانی و خط رسم شده مدل رگرسیون درجه ۲ می‌باشد.

$$PCI = at^2 + bt + c \quad (3-4)$$

که در آن:

PCI = شاخص کیفیت روسازی

t = عمر روسازی بر حسب سال

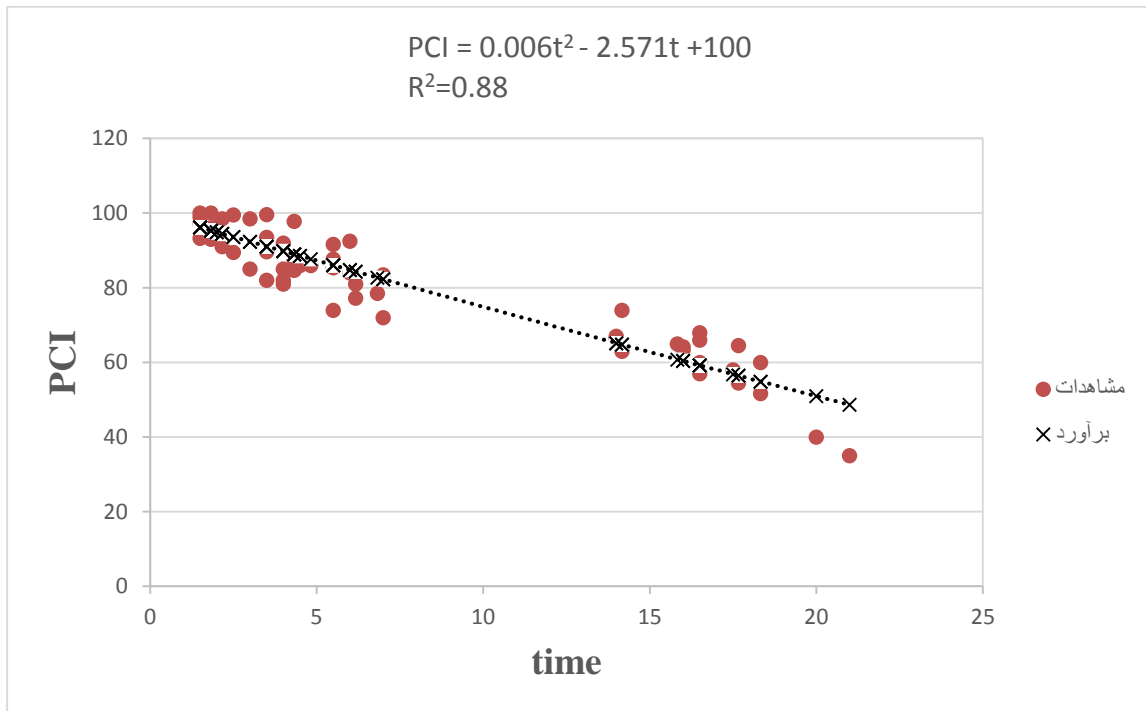
a,b,c = ضرایب ثابت مدل

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۸-۴) این مدل به صورت فرمول (۴-۴) بدست می‌آید.

$$PCI = 0.006t^2 - 2.571t + 100 \quad (۴-۴)$$

جدول (۸-۴) رگرسیون درجه ۲، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)

a	b	c	R ²	RMSE
۰/۰۰۶	-۲/۵۷۱	۱۰۰	۰/۸۸	۰/۰۸۳



شکل (۱۵-۴) مدل رگرسیون درجه ۲، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)

۴-۸-۱-۲ رگرسیون درجه ۳

فرم کلی این معادله به صورت رابطه‌ی (۴-۵) می‌باشد. در جدول (۴-۹) ضرایب و معیارهای ارزیابی

برای این معادله قابل رؤیت است. در شکل (۴-۱۶) نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان برای این

تابع رسم شده است. نقاط روی نمودار مقادیر ارزیابی شده از بازدید میدانی و خط رسم شده مدل رگرسیون درجه ۳ می‌باشد.

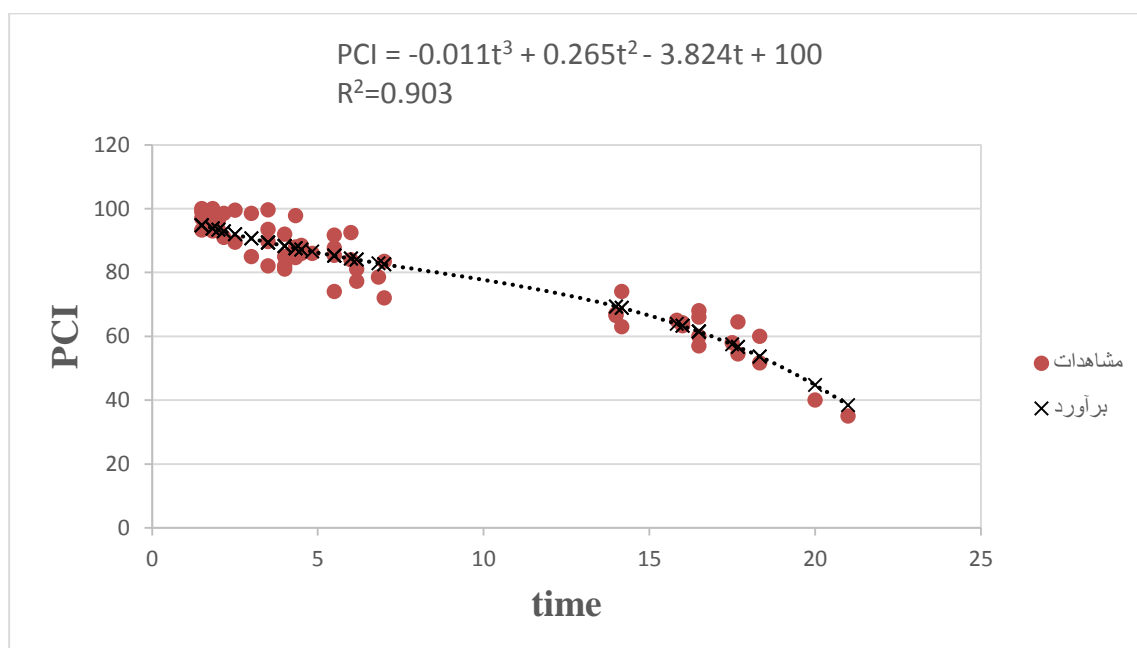
$$PCI = at^3 + bt^2 + ct + d \quad (5-4)$$

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۹-۴) این مدل به صورت فرمول (۶-۴) بدست می‌آید.

$$PCI = -0.011t^3 + 0.265t^2 - 3.824t + 100 \quad (6-4)$$

جدول (۹-۴) رگرسیون درجه ۳، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)

a	b	c	d	R^2	RMSE
-۰/۰۱۱	۰/۲۶۵	-۳/۸۲۴	۱۰۰	۰/۹۰۳	۰/۰۷۵



شکل (۱۶-۴) مدل رگرسیون درجه ۳، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)

۴-۸-۱-۳ رگرسیون درجه ۴

فرم کلی این معادله به صورت رابطه‌ی (۷-۴) می‌باشد. در جدول (۱۰-۴) ضرایب و معیارهای

ارزیابی برای این معادله قابل رؤیت است. در شکل (۱۷-۴) نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان

برای این تابع رسم شده است. نقاط روی نمودار مقادیر ارزیابی شده از بازدید میدانی و خط رسم شده مدل رگرسیون درجه ۴ می باشد.

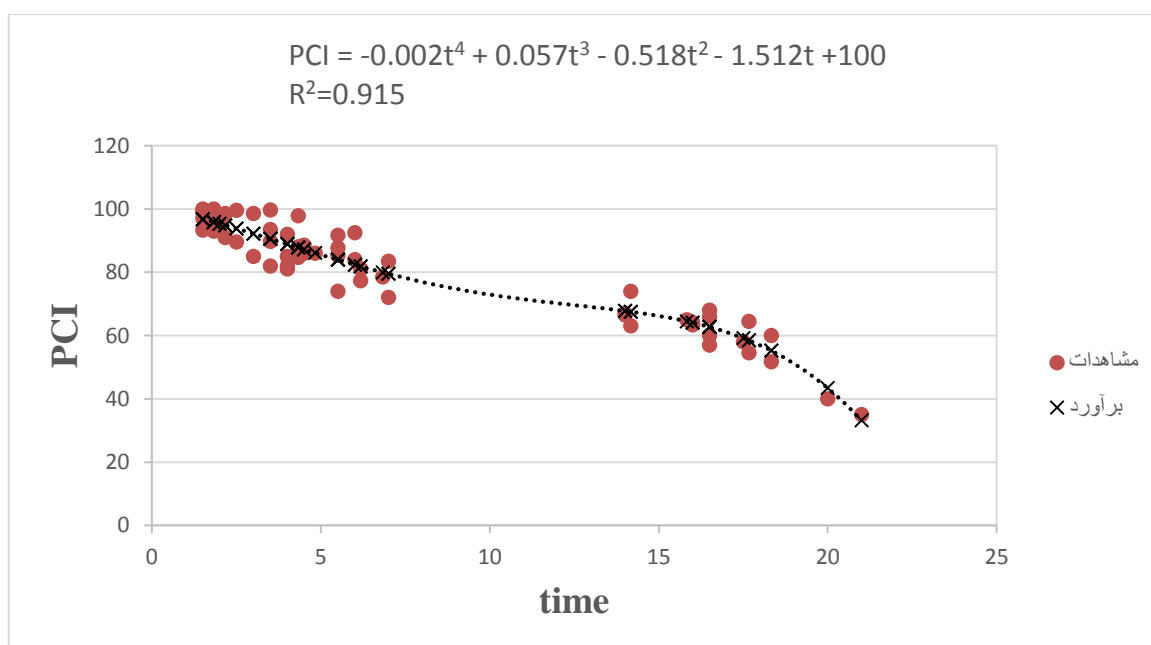
$$PCI = at^4 + bt^3 + ct^2 + dt + e \quad (7-4)$$

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۱۰-۴) این مدل به صورت فرمول (۸-۴) بدست می آید.

$$PCI = -0.002t^4 + 0.057t^3 - 0.518t^2 - 1.512t + 100 \quad (8-4)$$

جدول (۱۰-۴) رگرسیون درجه ۴، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	R^2	RMSE
-۰/۰۰۲	۰/۰۵۷	-۰/۵۱۸	-۱/۵۱۲	۱۰۰	۰/۹۱۵	۰/۰۶۷



شکل (۱۷-۴) مدل رگرسیون درجه ۴، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)

۲-۸-۴ مدل رگرسیون برای خانواده روسازی دو (ترافیک سبک)

۱-۲-۸-۴ رگرسیون درجه ۲

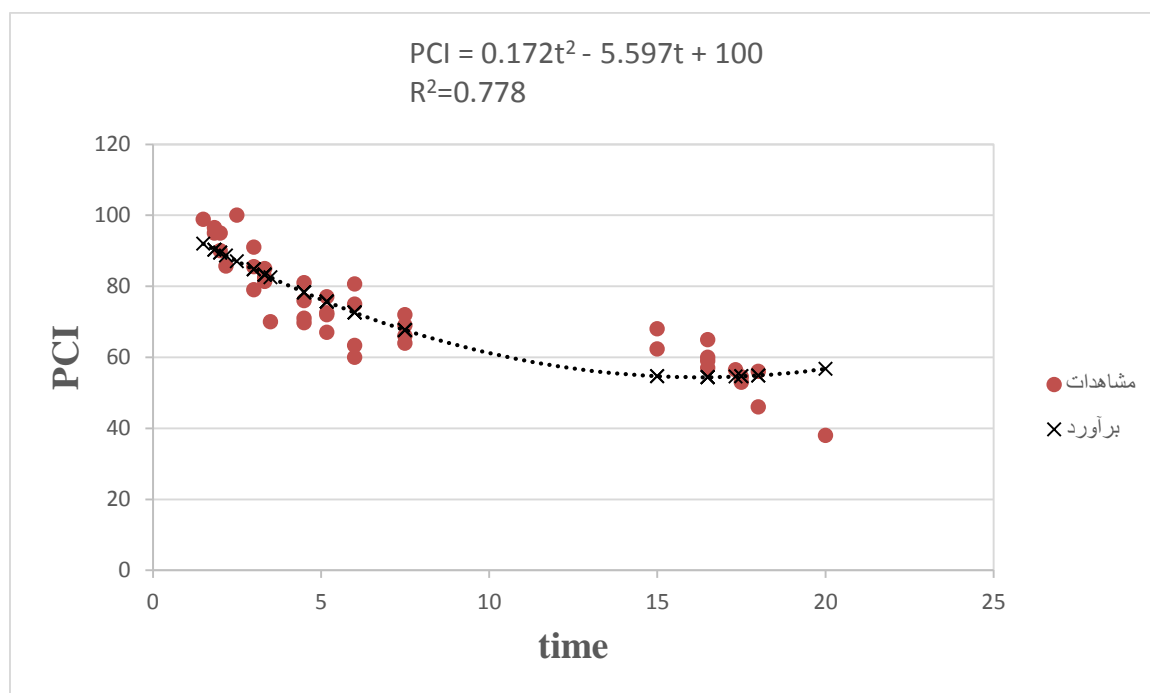
در جدول (۱۱-۴) ضرایب و معیارهای ارزیابی برای این معادله قابل رؤیت است. در شکل (۱۸-۴) نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان برای این تابع رسم شده است. نقاط روی نمودار مقادیر ارزیابی شده از بازدید میدانی و خط رسم شده مدل رگرسیون درجه ۲ می‌باشد.

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۱۱-۴) این مدل به صورت فرمول (۹-۴) بدست می‌آید.

$$PCI = 0.172t^2 - 5.597t + 100 \quad (9-4)$$

جدول (۱۱-۴) رگرسیون درجه ۲، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	R^2	RMSE
۰/۱۷۲	-۵/۵۹۷	۱۰۰	۰/۷۷۸	۰/۱۰۹



شکل (۱۸-۴) مدل رگرسیون درجه ۲، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)

۴-۸-۲-۲ رگرسیون درجه ۳

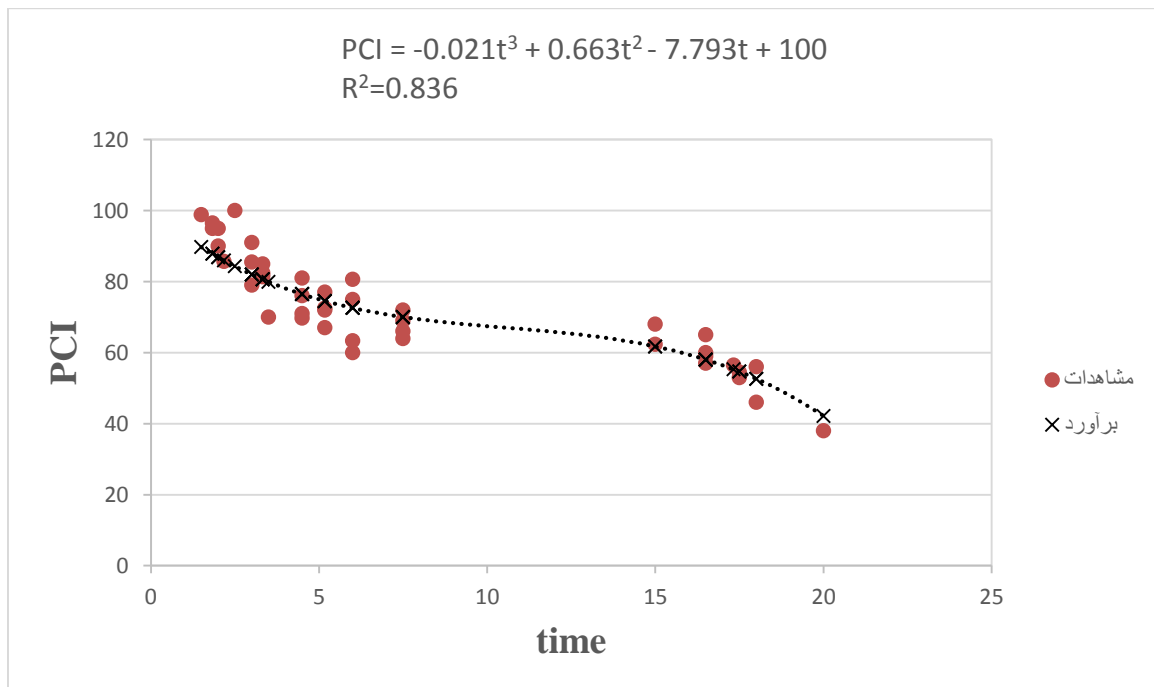
در جدول (۴-۱۲) ضرایب و معیارهای ارزیابی برای این معادله قابل رؤیت است. در شکل (۴-۱۹) نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان برای این تابع رسم شده است. نقاط روی نمودار مقادیر ارزیابی شده از بازدید میدانی و خط رسم شده مدل رگرسیون درجه ۳ می‌باشد.

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۴-۱۲) این مدل به صورت فرمول (۴-۱۰) بدست می‌آید.

$$PCI = -0.021t^3 + 0.663t^2 - 7.793t + 100 \quad (۴-۱۰)$$

جدول (۴-۱۲) رگرسیون درجه ۳، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	R^2	RMSE
-۰/۰۲۱	۰/۶۶۳	-۷/۷۹۳	۱۰۰	۰/۸۳۶	۰/۰۹۴



شکل (۴-۱۹) مدل رگرسیون درجه ۳، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)

۴-۸-۲-۳ رگرسیون درجه ۴

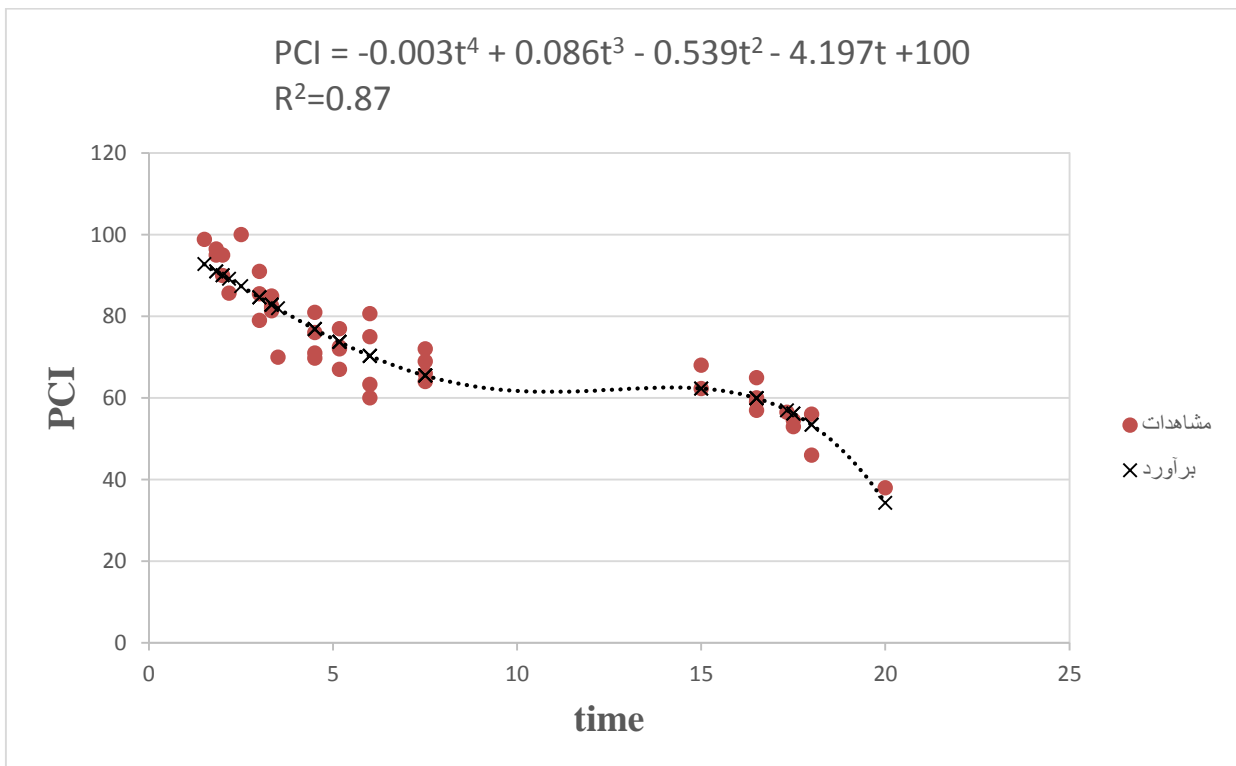
در جدول (۴-۱۳) ضرایب و معیارهای ارزیابی برای این معادله قابل رؤیت است. در شکل (۴-۲۰) نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان برای این تابع رسم شده است. نقاط روی نمودار مقادیر ارزیابی شده از بازدید میدانی و خط رسم شده مدل رگرسیون درجه ۴ می‌باشد.

با توجه به نتایج مندرج در جدول (۴-۱۳) این مدل به صورت فرمول (۴-۱۱) بدست می‌آید.

$$PCI = -0.003t^4 + 0.086t^3 - 0.539t^2 - 4.197t + 100 \quad (۴-۱۱)$$

جدول (۴-۱۳) رگرسیون درجه ۴، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	R ²	RMSE
-۰/۰۰۳	۰/۰۸۶	-۰/۵۳۹	-۴/۱۹۷	۱۰۰	۰/۸۷	۰/۰۸۳



شکل (۴-۲۰) مدل رگرسیون درجه ۴، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)

همانطور که در شکل (۴-۲۰) مشاهده می‌شود مدل دارای دو شیب نزولی تند می‌باشد. در حالی که در منحنی نرمال و استاندارد فقط یک شیب نزولی تند وجود دارد که بعد از خرابی‌های سازه‌ای اتفاق می‌افتد. شیب نزولی اول در این مدل نشان دهنده‌ی خوب نبودن کیفیت آسفالت و یا اجرای نامناسب آسفالت می‌باشد که در ۴ سال اول کیفیت روسازی چنین افتی کرده است.

۴-۹ نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی

برای اینکه بتوان جواب منطقی و مطلوب از مدل به دست آورد، لازم است پیش از آغاز آموزش شبکه، ورودی‌ها و مخصوصاً خروجی‌ها توسط روش‌های آماری به بازه‌ی خاصی محدود شوند. هدف از این تصحیح کاهش خطای مدل‌سازی شبکه است. این عمل استاندارد سازی یا نرمال‌سازی داده‌ها نامیده می‌شود. به این منظور تمام داده‌ها با استفاده از رابطه‌ی (۴-۶) نرمال می‌شوند [Haykin, 1994].

$$a_i = 0.1 + 0.8 \left(\frac{A_i - A_{min}}{A_{max} - A_{min}} \right) \quad (۴-۶)$$

که در آن:

a_i مقدار نرمال شده داده‌ها، A_i مقدار واقعی داده‌ها، A_{min} حداقل داده‌ها مربوط به پارامتر مورد نظر،

A_{max} حداکثر داده‌ها مربوط به پارامتر مورد نظر است. داده‌ها بین ۰,۱ و ۰,۹ استاندارد می‌شوند.

اولین گام در آموزش یک شبکه عصبی ارائه الگوهایی است که شبکه بتواند با استفاده از آن‌ها آموزش داده شود. برای این منظور ۶۰ داده در مدل خانواده سنگین و ۴۳ داده در مدل خانواده سبک وجود داشت. در وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار در مدل خانواده سنگین ۵۱ داده معادل ۸۵٪ برای آموزش مدل و ۹ داده معادل ۱۵٪ برای آزمایش و صحت‌سنجی بکار رفته است. برای مدل خانواده سبک نیز ۳۷ داده برای آموزش و ۶ داده برای صحت‌سنجی بکار رفت. پس از ایجاد پایگاه داده‌ها ویژه آموزش شبکه، بایستی شبکه انتخاب شود. برای این کار در این مرحله از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP) استفاده شد. الگوریتم آموزش در این شبکه پیشرو و روش انتشار برگشتی می‌باشد. پس از سعی و خطاهای فراوان و ساختارهای متفاوت نتیجه نهایی بهینه این شد که شبکه دارای یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک

لایه خروجی به عنوان مدل پیش‌بینی باشد. همچنین تعداد نرون‌های لایه میانی با سعی و خطا ۱۰ نرون به دست آمد. در این تحقیق نیز از تابع انتقال سیگموئیدی در لایه مخفی و تابع انتقال خطی در لایه‌ی خروجی استفاده شده است. نتایج حاصل از بررسی‌ها در جدول (۴-۱۴) نشان داده شده است. مقادیر تابع عملکردی خطا در شبکه عصبی استفاده شده در این تحقیق میانگین مربعات خطا^۱ (MSE) و ضریب همبستگی^۲ (R) می‌باشد که با توجه به روابط (۴-۷) و (۴-۸) به دست می‌آیند.

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{Si} - X_{0i})^2}{n} \quad (۴-۷)$$

$$R = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n (X_{0i} - \bar{X}_0)(X_{Si} - \bar{X}_S))^2}{(\sum_{i=1}^n (X_{0i} - \bar{X}_0)^2)(\sum_{i=1}^n (X_{Si} - \bar{X}_S)^2)}} \quad (۴-۸)$$

در جدول (۴-۱۴) نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی هم برای مدل خانواده ترافیک سنگین و ترافیک سبک آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌کنید این جدول از ۳ قسمت آموزش، آزمون و کل داده‌ها تشکیل شده است. هر چقدر که ضریب همبستگی نزدیک به عدد ۱ و میانگین مربعات خطا به عدد صفر نزدیک باشد، مدل‌سازی انجام شده از دقت و اعتبار خوبی برخوردار است. در اینجا مشاهده می‌شود که در هر سه قسمت نتایج قابل قبولی بدست آمده است.

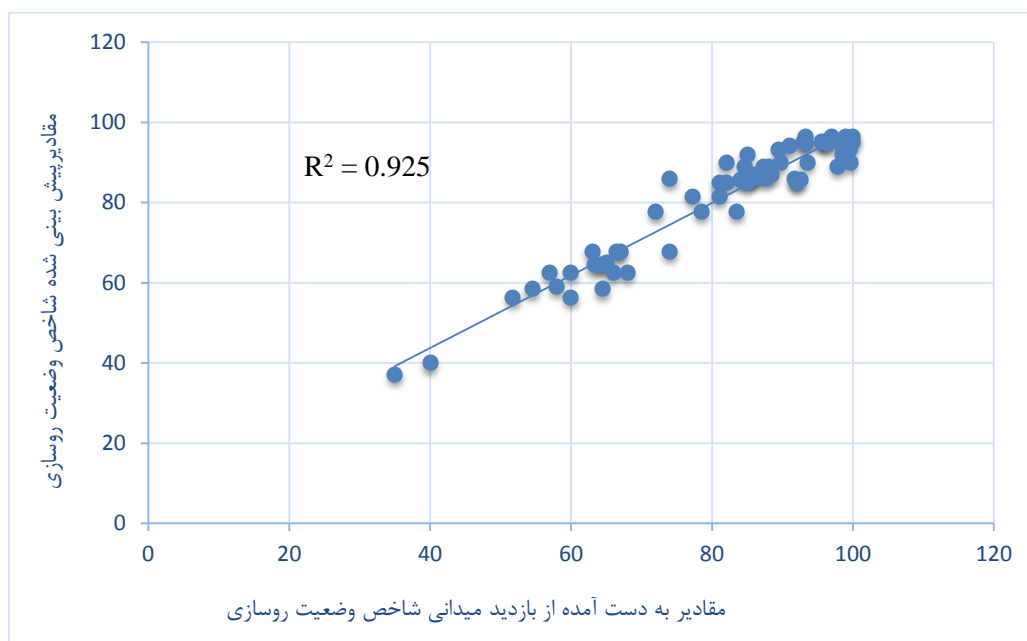
جدول (۴-۱۴) نتایج حاصل از بررسی شبکه عصبی مصنوعی

کل داده‌ها		آزمون		آموزش		مدل
MSE	R	MSE	R	MSE	R	
۰/۰۰۵	۰/۹۶	۰/۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۰۶	۰/۹۵	مدل خانواده یک: ترافیک سنگین
۰/۰۰۴	۰/۹۵	۰/۰۰۱	۰/۹۹	۰/۰۰۵	۰/۹۵	مدل خانواده دو: ترافیک سبک

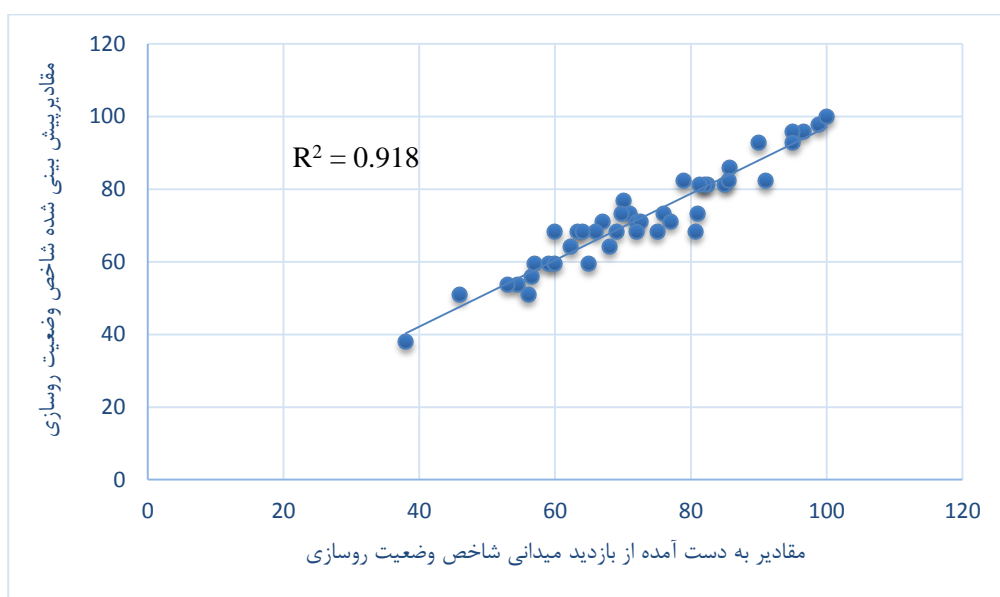
^۱ Mean Square Error

^۲ Correlation Coefficient

در دو شکل (۲۱-۴) و (۲۲-۴) نمودار معیار آموزش نکویی برازش برای هر دو مدل خانواده ترافیک سنگین و سبک نشان داده شده است. تجمع نزدیک نقاط حول خط و مقادیر آزمون نکویی برازش نشان دهنده نتایج خوبی برای شبکه عصبی می باشد.

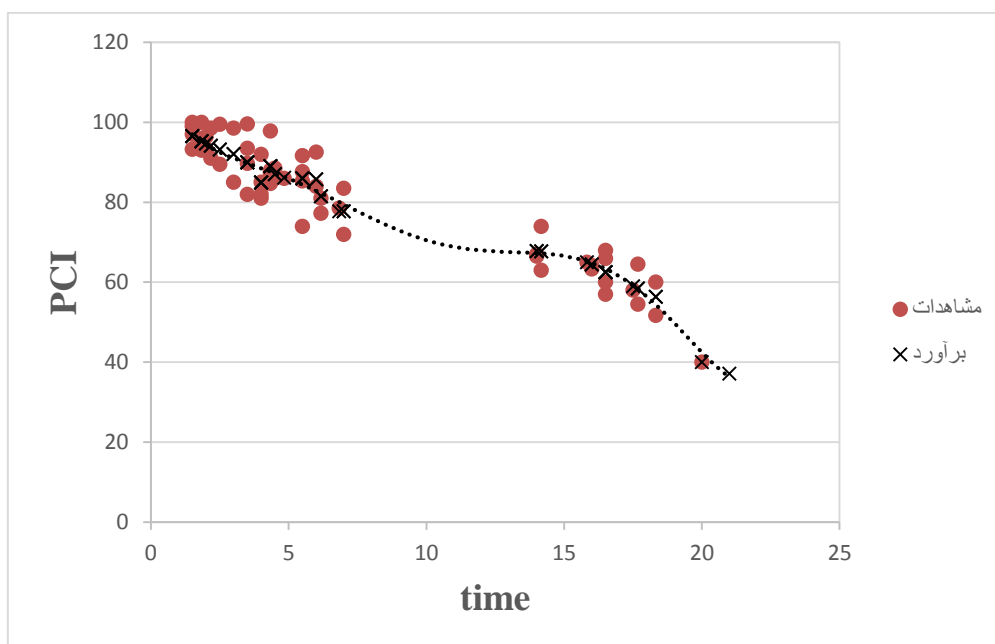


شکل (۲۱-۴) نمودار آزمون نکویی برازش، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)

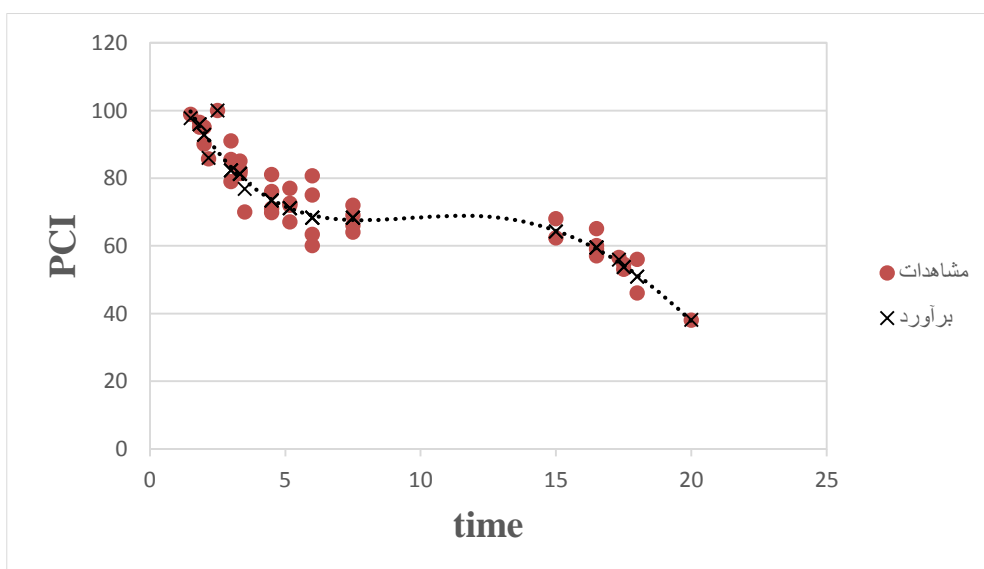


شکل (۲۲-۴) نمودار آزمون نکویی برازش، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)

در شکل (۲۳-۴) و (۲۴-۴) نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان برای دو مدل خانواده ترافیک سنگین و سبک بر اساس مدل سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود شاخص وضعیت در سال های اول که روسازی انجام شده نزدیک به ۱۰۰ و دارای کیفیت بالایی می باشد اما به مرور زمان بر اساس شرایط بارگذاری و ترافیکی، شرایط جوی و ... افت کرده و کیفیت خود را از دست می دهد.



شکل (۲۳-۴) نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان، مدل خانواده یک (ترافیک سنگین)



شکل (۲۴-۴) نمودار شاخص وضعیت روسازی بر حسب زمان، مدل خانواده دو (ترافیک سبک)

در مدل شبکه عصبی در خانواده دو (ترافیک سبک) نیز همانند رگرسیون دو شیب نزولی تند وجود دارد و که نامرغوب بودن آسفالت و یا عدم اجرای صحیح را می‌رساند.

نکته مهمی که باید بر آن تاکید شود این است که مدل‌های پیش‌بینی عملکرد که در این فصل معرفی شدند، چه رگرسیون و چه شبکه عصبی، فقط بر اساس داده‌های حاصل از یک مرتبه ارزیابی روسازی بدست آمده است و دقت خوبی را نشان داد ($0.925 < R^2 < 0.987$). در حالی که در روش‌های مرسوم مدل‌سازی عملکرد روسازی لازم است حداقل سه تا پنج سال مختلف ارزیابی صورت گیرد تا بتوان مدل مناسبی را ارائه داد. در صورتی که در سال‌های بعد ارزیابی مجدد روسازی انجام گیرد، مدل‌ها بهبود یافته و دقت بسیار بیشتری خواهند داشت. علت این امر در نتایج به دلیل استفاده از ایده خانواده روسازی میسر شده است. در این نوع مدل‌سازی با روش ساده، ارزان و سریع به بیشترین دقت ممکن در پیش‌بینی عملکرد روسازی می‌توان دست یافت.

فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

در فصل چهارم در دو بخش پایانی مدل‌سازی به روش رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی برای هر دو مدل خانواده ترافیک سنگین و سبک انجام شد. در اینجا به نتایج آن پرداخته خواهد شد.

- در مدل رگرسیون ترافیک سنگین با توجه به آزمون نکویی برازش (R^2) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) نتایج نشان داد که رگرسیون درجه ۳ و ۴ نسبت به رگرسیون درجه ۲ از دقت بهتری برخوردار هستند. مقدار آزمون نکویی برازش برای رگرسیون درجه ۳ و ۴ به ترتیب ۰/۹۰۳ و ۰/۹۱۵ بدست آمد که همین معیار برای رگرسیون درجه ۲ برابر ۰/۸۸ می‌باشد. همچنین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برای رگرسیون درجه ۳ و ۴ به ترتیب ۰/۰۷۵ و ۰/۰۶۷ و برای رگرسیون درجه ۲ برابر ۰/۰۸۳ می‌باشد.

- در مدل رگرسیون ترافیک سبک، با توجه به معیارهای ($RMSE, R^2$) برای رگرسیون درجه ۲ تا حدودی می‌توان گفت مدل از دقت تقریباً خوبی برخوردار است اما با نگاه به نمودار شاخص وضعیت بر حسب زمان، شکل (۴-۱۸) مشاهده می‌شود که نمودار از سال ۱۱۵م به بعد روند صعودی داشته و همین قضیه پیش‌بینی مدل را زیر سؤال می‌برد که چگونه شاخص وضعیت روسازی می‌تواند از سال ۱۵م به بعد افزایش پیدا کند؛ تنها زمانی شاخص وضعیت صعود خواهد داشت که ترمیمی صورت گرفته باشد. با توجه نتایج بدست آمده می‌توان گفت که رگرسیون درجه ۳ و ۴ نسبت به رگرسیون درجه ۲ از دقت بسیار بالایی برخوردار هستند. مقدار آزمون نکویی برازش برای رگرسیون درجه ۳ و ۴ به ترتیب ۰/۸۳۶ و ۰/۸۷ و بدست آمد که همین معیار برای رگرسیون درجه ۲ برابر ۰/۷۷۸ می‌باشد. همچنین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برای رگرسیون درجه ۳ و ۴ به ترتیب برابر ۰/۰۹۴ و ۰/۰۸۳ و برای رگرسیون درجه ۲ برابر ۰/۱۰۹ می‌باشد.

- در مدل شبکه عصبی مصنوعی در هر دو مدل خانواده یک و دو (ترافیک سنگین و سبک) با توجه به معیارهای (MSE, R) مقادیر قابل قبولی بدست آمد که دقت این روش را در مدل‌سازی بیان

می‌کند. در مدل خانواده یک (ترافیک سنگین) مقدار R و MSE برای کل داده‌ها به ترتیب برابر $0,96$ و $0,005$ و مدل خانواده دو (ترافیک سبک) نیز به ترتیب برابر $0,95$ و $0,004$ می‌باشد.

- با توجه به نمودارها، چه از طریق مدل رگرسیون و چه مدل شبکه عصبی مصنوعی افت شدید در ۵ سال اول مدل خانواده ترافیک سبک مشاهده می‌شود؛ تا آنجا که شاخص وضعیت روسازی به نزدیکی 70 می‌رسد. در حالی که در مدل خانواده ترافیک سنگین در همین مدت این شاخص نزدیک به 85 می‌باشد. با توجه به شرایط ترافیکی، از آنجا که شرایط آب و هوایی برای هر دو روسازی یکسان است، تنها عامل این افت می‌تواند نوع ساخت و اجرا باشد و این نشان دهنده‌ی آن است که روسازی خیابان‌های ترافیک سبک از کیفیت مناسبی برخوردار نبوده که بعد از ۵ سال این‌گونه شاخص کیفیت روسازی افت می‌کند.

- در مقایسه بین دو مدل رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی برای مدل خانواده یک (ترافیک سنگین) با توجه به معیارهای $(RMSE, R^2)$ می‌توان به این نتیجه رسید که تا حدودی شبکه عصبی مصنوعی نتیجه‌ی خوبی نسبت به رگرسیون درجه ۳ و ۴ داشته است. مقدار آزمون نکویی برازش برای رگرسیون درجه ۳ و ۴ به ترتیب $0,903$ و $0,915$ بدست آمد که همین معیار برای شبکه عصبی برابر $0,925$ می‌باشد. همچنین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برای رگرسیون درجه ۳، ۴ به ترتیب $0,075$ و $0,067$ و برای شبکه عصبی مصنوعی برابر $0,073$ می‌باشد.

- در مقایسه بین دو مدل رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی برای مدل خانواده دو (ترافیک سبک) با توجه به معیارهای $(RMSE, R^2)$ می‌توان گفت شبکه عصبی مصنوعی نتیجه‌ی بهتری نسبت به رگرسیون درجه ۳ و ۴ داشته است. مقدار آزمون نکویی برازش برای رگرسیون درجه ۳ و ۴ به ترتیب $0,836$ و $0,87$ بدست آمد که همین معیار برای شبکه عصبی مصنوعی برابر $0,918$ می‌باشد. همچنین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا برای رگرسیون درجه ۳ و ۴ به ترتیب برابر $0,094$ و $0,083$ و برای شبکه عصبی مصنوعی برابر $0,067$ می‌باشد.

- در حالت کلی می‌توان گفت که مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل رگرسیون نتایج بهتری داشته است.

۵-۲ پیشنهادات

پیشنهادهای موجود برای پژوهش‌های آینده و بسط این مطالعات به شرح زیر می‌باشد:

- استفاده از سایر روش‌های هوش محاسباتی یا سیستم‌های خبره
- استفاده از سایر شاخص‌های عملکرد روسازی و مدل‌سازی منحنی زوال روسازی با این شاخص‌ها
- استفاده از مدل‌های شبه مارکوف و مارکوف برای مدل‌سازی عملکرد روسازی با استفاده از داده‌های موجود
- برداشت شاخص ناهمواری (IRI) از سطح روسازی و مدل‌سازی عملکرد با استفاده از تلفیق این شاخص با شاخص کیفیت روسازی (PCI).

پیوست الف

فرم‌های بازدید میدانی و ارزیابی خرابی‌ها

فرم جمع آوری خرابی های روسازی آسفالتی

صفحه: 1	تاریخ: ۹۳, ۴, ۷	کیلومترها:	نام محور: بلوار آزادی	
شماره عکس: 101-102	آدرس یا کروکی: میدان امام - ساعت خ نخصت - کوچه اندیشه		عرض خط	طول واحد
			11 m	100 m

نوع شانه: آسفالتی شنی وضعیت شانه: _____

خط تندرو			خط وسط			خط کندرو			واحد	خرابی
									مترمربع	ترک پوست سوسماری
									متر	ترک طولی
									متر	ترک عرضی
									مترمربع	ترک بلوکی
									متر	ترک انعکاسی
									متر	ترک خوردگی لبه
									تعداد	چاله
		10 L			12 L			15 L	مترمربع	لکه گیری
									مترمربع	لکه گیری
									مترمربع	قیرزدگی
									مترمربع	دانه دانه شدن (هوازگی)
									مترمربع	صیقلی شدن دانه ها
									متر	پایین افتادگی شانه
									مترمربع	شیارافنادگی
									متر	برآمدگی و فرورفتگی
									مترمربع	کنار رفتگی
									مترمربع	موج زدگی
									مترمربع	ترک خوردگی لفضی
					1 1 1				تعداد	دریچه فلزی
93			92			91			ملاحظات:	

مسول ارزیاب: _____

کمک ارزیاب: _____

فرم جمع آوری خرابی های روسازی آسفالتی			
صفحه: 2	تاریخ: ۹۳/۱۷	کیلومتر:	نام محور: بلوار آزادی
شماره عکس: 103-104-105	آدرس یا کروکی: ساعت - میدان امام		عرض خط
	خ کنفت - کوچی اندیشه		11m
وضعیت شانه: <input type="checkbox"/> شنی <input type="checkbox"/> آسفالتی			طول واحد 100m

خط تندرو					خط وسط					خط کندرو					واحد	خرابی
															مترمربع	ترک پوست سوسماری
			5 L		3 L	3 L	4.5 L	5 L							متر	ترک طولی
								2 L							متر	ترک عرضی
															مترمربع	ترک بلوکی
															متر	ترک انعکاسی
															متر	ترک خوردگی لبه
															تعداد	چاله
															مترمربع	لکه گیری
															مترمربع	لکه گیری
															مترمربع	قیرزدگی
								40 L							مترمربع	دانه دانه شدن (هوازگی)
															مترمربع	صیقلی شدن دانه ها
															متر	پایین افتادگی شانه
															مترمربع	شیارافتادگی
															متر	برآمدگی و فرورفتگی
															مترمربع	کنار رفتگی
															مترمربع	موج زدگی
															مترمربع	ترک خوردگی لغزشی
															تعداد	دریچه فلزی
97					17					100					ملاحظات:	

کمک ارزیاب:

مسول ارزیاب:

فرم جمع آوری خرابی های روسازی آسفالتی

نام محور: بلوار آزادی	کیلومترها: _____	تاریخ: ۹۳، ۴، ۱	صفحه: 3
طول واحد: 100m	عرض خط: 11m	آدرس یا کروکی: میدان امام - ساعت	شماره عکس: _____
		پارک آفتاب - فروشگاه رفاه	106

نوع شانه: آسفالتی شنی وضعیت شانه: _____

خرابی	واحد	خط کندرو	خط وسط	خط تندرو
ترک پوست سوسماری	مترمربع			
ترک طولی	متر			
ترک عرضی	متر			
ترک بلوکی	مترمربع			
ترک انعکاسی	متر			
ترک خوردگی لبه	متر			
چاله	تعداد			
لکه گیری	مترمربع			
لکه گیری	مترمربع			
قبرزدگی	مترمربع			
دانه دانه شدن (هوازدهی)	مترمربع			
صیقلی شدن دانه ها	مترمربع			
پایین افتادگی شانه	متر			
شیارافتادگی	مترمربع			
برآمدگی و فرورفتگی	متر			
کنار رفتگی	مترمربع			
موج زدگی	مترمربع			
ترک خوردگی لنگشی	مترمربع			
دریچه فلزی	تعداد		1 1	1
ملاحظات:	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	

کمک ارزیاب:

مسول ارزیاب:

فرم جمع آوری خرابی های روسازی آسفالتی			
صفحه: 4	تاریخ: ۹۳,۴,۱	کیلومتر:	نام محور: بلوار آزادی
شماره عکس: 103	آدرس یا کوچه: ساعت - میدان امام پارک آفتاب - فروشگاه رفاه	عرض خط	طول واحد
		11 m	100 m
نوع شانه: آسفالتی <input type="checkbox"/> شنی <input type="checkbox"/> وضعیت شانه:			

خط تندرو				خط وسط				خط کندرو				واحد	خرابی
												مترمربع	ترک پوست سوسماری
		8	L			1	L			1	L	متر	ترک طولی
												متر	ترک عرضی
												مترمربع	ترک بلوکی
												متر	ترک انعکاسی
												متر	ترک خوردگی لبه
												تعداد	چاله
												مترمربع	لکه گیری
												مترمربع	لکه گیری
												مترمربع	قیرزدگی
												مترمربع	دانه دانه شدن (هوازگی)
												مترمربع	صیقلی شدن دانه ها
												متر	پایین افتادگی شانه
												مترمربع	شیارافتادگی
												متر	برآمدگی و فرورفتگی
												مترمربع	کنار رفتگی
												مترمربع	موج زدگی
												مترمربع	ترک خوردگی لنگرشی
												تعداد	دریچه فلزی
9۴				99				100				ملاحظات:	

کمک ارزیاب:

مسول ارزیاب:

فرم جمع آوری خرابی های روسازی آسفالتی			
نام محور: بخ خردوسی	کیلومترها:	تاریخ: ۹۳, ۴, ۱	صفحه: 5
طول واحد: 100 m	عرض خط: 12 m	آدرس یا کروکی:	شماره عکس:
		از سینما سپهر تا کوچه شهید گلمایی	201-202

نوع شانه: آسفالتی شنی وضعیت شانه:

میزان خرابی										واحد	خرابی			
										مترمربع	ترک پوست سوسماری			
										متر	ترک طولی			
										متر	ترک عرضی			
										مترمربع	ترک بلوکی			
										متر	ترک انعکاسی			
										متر	ترک خوردگی لبه			
										1 m	تعداد	چاله		
										8 L	12 m	مترمربع	لکه گیری	
												مترمربع	لکه گیری	
												مترمربع	قیرزدگی	
												مترمربع	دانه دانه شدن (هوازگی)	
												مترمربع	صیقلی شدن دانه ها	
												متر	پایین افتادگی شانه	
												مترمربع	شیار افتادگی	
												متر	برآمدگی و فرورفتگی	
												مترمربع	کنار رفتگی	
												مترمربع	موج زدگی	
												مترمربع	ترک خوردگی لغزشی	
										1	1	1	تعداد	دریچه فلزی
45										ملاحظات:				

کمک ارزیاب:

مسول ارزیاب:

پیوست ب

خروجی‌های نرم افزار SPSS

نرمال بودن داده‌ها (خانواده یک، ترافیک سنگین):

Statistics

PCI

N	Valid	60
	Missing	0
Mean		80.5610
Std. Deviation		15.87845
Variance		252.125
Skewness		-.854
Std. Error of Skewness		.309
Kurtosis		.095
Std. Error of Kurtosis		.608
Minimum		35.00
Maximum		100.00

Skewness $-2 < -0.854 < 2$ Kurtosis $-2 < 0.095 < 2$ ok

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		PCI
N		60
Normal Parameters	Mean	80.5610
	Std. Deviation	15.87845
Most Extreme Differences	Absolute	.144
	Positive	.110
	Negative	-.144
Kolmogorov-Smirnov Z		1.118
Asymp. Sig. (2-tailed)		.164

$0.164 > 0.05$ ok

نرمال بودن داده‌ها (خانواده دو، ترافیک سبک):

Statistics

PCI

N	Valid	44
	Missing	0
Mean		71.4411
Std. Deviation		16.90306
Variance		285.714
Skewness		-.773
Std. Error of Skewness		.357
Kurtosis		1.784
Std. Error of Kurtosis		.702
Minimum		14.50
Maximum		100.00

Skewness $-2 < -0.773 < 2$ Kurtosis $-2 < 1.784 < 2$ ok

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		PCI
N		44
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	71.4411
	Std. Deviation	16.90306
	Absolute	.069
Most Extreme Differences	Positive	.046
	Negative	-.069
Kolmogorov-Smirnov Z		.461
Asymp. Sig. (2-tailed)		.984

0.984 > 0.05 ok

نرمال بودن داده‌ها بعد از حذف داده خارج از محدوده (خانواده دو، ترافیک سبک):

Statistics

PCI

N	Valid	43
	Missing	0
Mean		72.7653
Std. Deviation		14.61244
Variance		213.524
Skewness		-.034
Std. Error of Skewness		.361
Kurtosis		-.397
Std. Error of Kurtosis		.709
Minimum		38.00
Maximum		100.00

Skewness $-2 < -0.034 < 2$ Kurtosis $-2 < -0.397 < 2$ ok

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		PCI
N		43
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	72.7653
	Std. Deviation	14.61244
Most Extreme Differences	Absolute	.065
	Positive	.065
	Negative	-.055
Kolmogorov-Smirnov Z		.429
Asymp. Sig. (2-tailed)		.993

$0.993 > 0.05$ ok

آزمون همبستگی پیرسون:

خانواده یک، ترافیک سنگین:

		time	PCI
time	Pearson Correlation	1	-.939**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	60	60
PCI	Pearson Correlation	-.939**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	60	60

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Time -1 < -0.939 < 1 PCI -1 < -0.939 < 1 ok

خانواده دو، ترافیک سبک:

		time	PCI
time	Pearson Correlation	1	-.851**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	43	43
PCI	Pearson Correlation	-.851**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	43	43

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Time -1 < -0.851 < 1 PCI -1 < -0.851 < 1 ok

آزمون معنی داری اختلاف بین دو گروه خانواده (آزمون t):

Group Statistics

	time	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
PCI	1.00	60	80.5610	15.87845	2.04990
	2.00	43	72.7653	14.61244	2.22838

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
PCI	Equal variances assumed	.534	.466	2.539	101	.013	7.79565	3.06995	1.70569	13.88562
	Equal variances not assumed			2.575	94.822	.012	7.79565	3.02783	1.78450	13.80680

رگرسیون درجه ۲، خانواده یک:

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	.006	.016	-.027	.039
b	-2.571	.266	-3.104	-2.039

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	402501.306	2	201250.653
Residual	1778.570	58	30.665
Uncorrected Total	404279.876	60	
Corrected Total	14875.393	59	

Dependent variable: PCI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .880.

رگرسیون درجه ۳، خانواده یک:

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	-.011	.003	-.016	-.005
b	.265	.073	.120	.411
c	-3.824	.420	-4.665	-2.983

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	402837.680	3	134279.227
Residual	1442.197	57	25.302
Uncorrected Total	404279.876	60	
Corrected Total	14875.393	59	

Dependent variable: PCI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .903.

رگرسیون درجه ۴، خانواده یک:

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	-.002	.001	-.003	.000
b	.057	.024	.008	.106
c	-.518	.288	-1.096	.060
d	-1.512	.917	-3.350	.325

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	403014.340	4	100753.585
Residual	1265.536	56	22.599
Uncorrected Total	404279.876	60	
Corrected Total	14875.393	59	

Dependent variable: PCI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .915.

رگرسیون درجه ۲، خانواده دو:

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	.172	.024	.123	.221
b	-5.597	.387	-6.379	-4.815

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	234656.250	2	117328.125
Residual	1987.966	41	48.487
Uncorrected Total	236644.216	43	
Corrected Total	8967.988	42	

Dependent variable: PCI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .778.

رگرسیون درجه ۳، خانواده دو:

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	-.021	.006	-.032	-.010
b	.663	.132	.396	.930
c	-7.793	.674	-9.155	-6.430

ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	235175.488	3	78391.829
Residual	1468.728	40	36.718
Uncorrected Total	236644.216	43	
Corrected Total	8967.988	42	

Dependent variable: PCI

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .836.

رگرسیون درجه ۴، خانواده دو:

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	-.003	.001	-.005	-.001
b	.086	.034	.018	.154
c	-.539	.394	-1.337	.258
d	-4.197	1.278	-6.781	-1.612

ANOVA^a

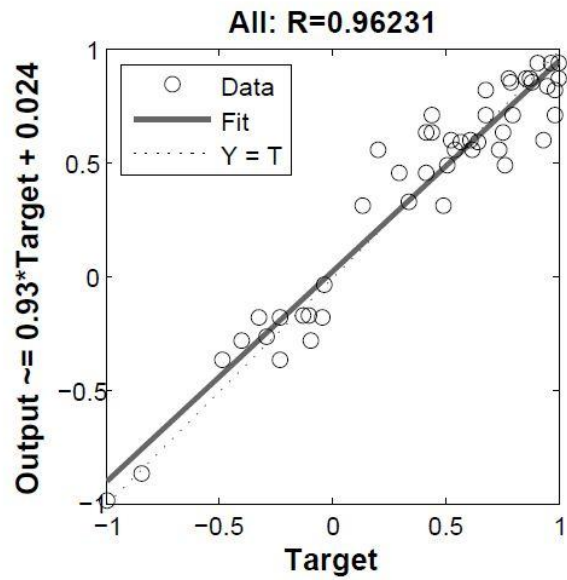
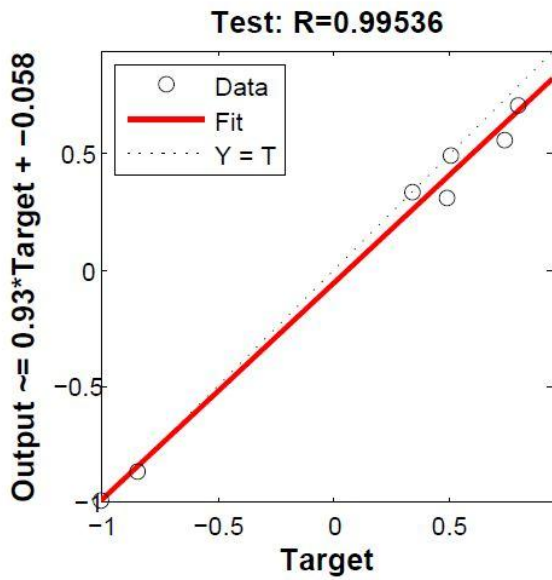
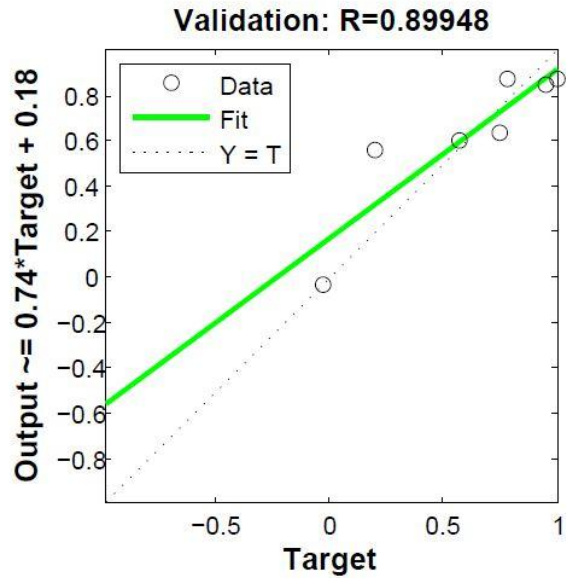
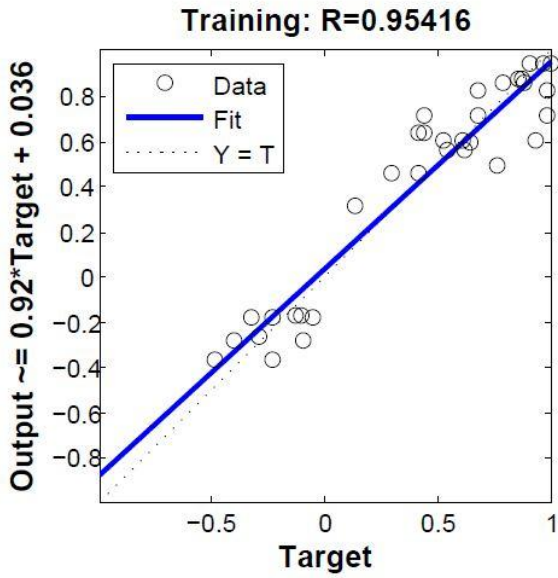
Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	235480.901	4	58870.225
Residual	1163.315	39	29.829
Uncorrected Total	236644.216	43	
Corrected Total	8967.988	42	

Dependent variable: PCI

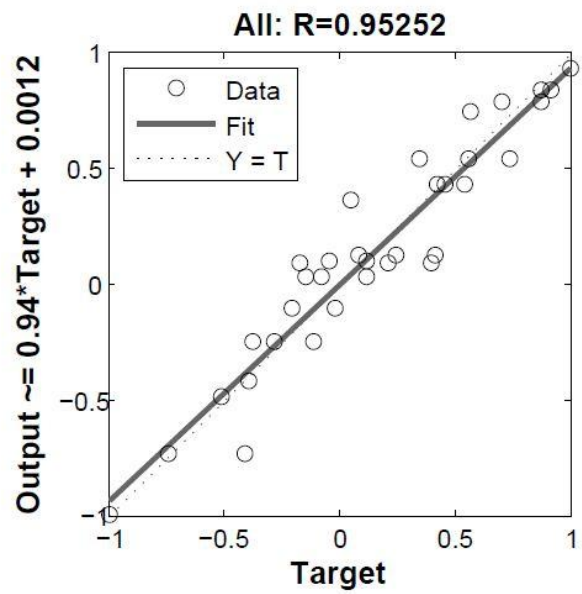
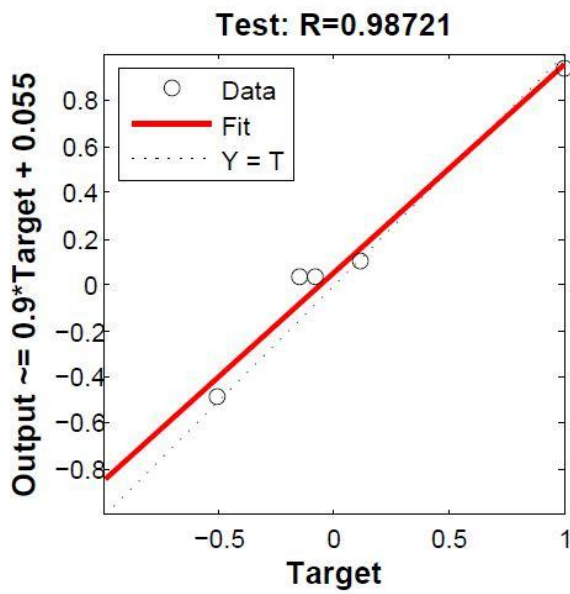
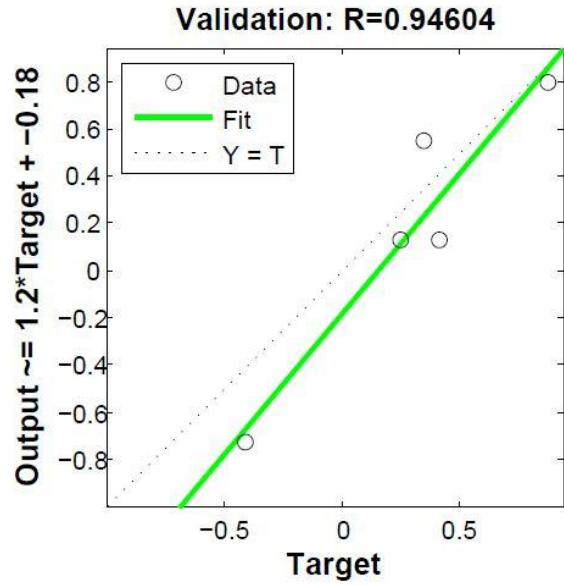
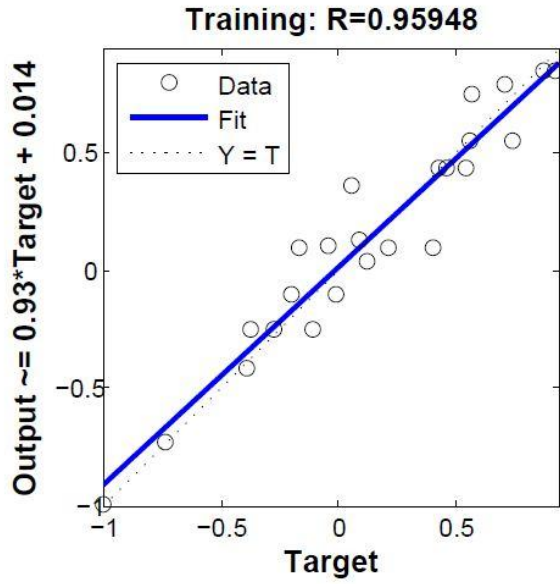
a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares) = .870.

پوست ج

خروجی های نرم افزار MATLAB



خانواده دو، ترافیک سبک:



منابع و مراجع:

هاس، رالف، هادسن، رونالد، زانیوسکی، جان (۱۳۸۸)، "مدیریت نوین روسازی". ترجمه م. عامری، تهران: وزارت راه و ترابری، پژوهشکده حمل و نقل.

شاهین، محمد (۱۳۷۸)، "مدیریت روسازی برای راه‌ها، فرودگاه‌ها و پارکینگ‌ها". ترجمه م. عامری، ف. افتخارزاده، تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

مقدس‌نژاد، فریدون و همکاران (۱۳۸۷)، "چارچوب سیستم مدیریت روسازی راه‌ها در ایران". تهران: وزارت راه و ترابری، پژوهشکده حمل و نقل.

قاسم‌زاده طهرانی، حسین (۱۳۸۸)، "مدل‌های پیش‌بینی عملکرد روسازی". سمینار دوره دکتری، تهران: دانشگاه تربیت مدرس.

قاسم‌زاده طهرانی، حسین، حسینی، ابوالفضل (۱۳۸۹)، "ارائه‌ی مدل پیش‌بینی مدول مرکب برشی (G^*) و زاویه فازی قیر تحت اثر فرسودگی". مجله مهندسی حمل و نقل.

افندی‌زاده، شهریار، احمدی‌نژاد، محمود، آتش خیر، اشکان (۱۳۹۰)، "ارائه مدل بهینه سازی تعمیر و نگهداری شبکه راه با هدف افزایش ایمنی راه‌های برون‌شهری". فصلنامه علمی-ترویجی راهور، سال هشتم، شماره ۱۵.

فخری، منصور، سیدالحسینی، ادريس (۱۳۸۷)، "کاربرد شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی ناهمواری در روسازی‌های انعطاف‌پذیر". چهارمین کنگره مهندسی عمران.

فخری، منصور، ارباب‌زاده، سینا (۱۳۸۸)، "تعیین شاخص ناهمواری بهینه روسازی راه برای شرایط آب و هوایی ایران". هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران.

Yoder, E.J., Witczak, M.W., (1975), "Principles of pavement design". John Wiley & Sons Pub. Inc., USA.

Haykin, S. (1994). "Neural Networks: A Comprehensive Foundation". 1st edition, MacMillan Publishing Company.

Demuth, H. Beale, M. (2000). "Neural Network Toolbox Users Guide".

Schalkoff, R.J. (1997). "Artificial neural networks". McGraw-hill, N. Y.

Xiao, F., Amirkhanian, S. and Juang, (2009) "Prediction of fatigue life of rubberized asphalt concrete mixtures containing reclaimed asphalt pavement using artificial neural networks" J .Mater. Civ. Eng., 21(6), pp. 253–261.

Kerali, Henry G. R. (2000). "Overview of HDM-4". the World Road Association.

Robinson, R., Danielson, U., Snaith, M., (1998),"Road maintenance management." Macmillan Pub., UK.

Madanat, S. M., Karlaftis, M. G., and McCarthy, P. S. (1997) "Probabilistic infrastructure deterioration models with panel data". Journal 1 of Infrastructure Systems, Vol. 3, No. 1, pp. 4-9

Haas, R. (2003) "Good technical foundations are essential for successful pavement management". Key note paper, proceedings of MAIREPAV' 03, Guimaraes, Portugal.

Butt, A.A. et al., (1987), "Pavement performance prediction model using the markov process". TRR-1123, pp: 12-19.

Madanat, s. Mishalani, R. Wan Ibrahim, W., (1995) "Estimation of infrastructure transition probabilities from condition rating data". Journal of Infrastructure system 1, pp: 120-125.

Yang, J. Guranaratne, M. John LU, J., (2005) "Use of Recurrent Markov Chains for Modeling the Crack Performance of Flexible Pavements". Journal of Transportation Engineering, Volume 131, pp: 861-872

Goktepe, A.B., Lav, A.H., (2004), "Comparison of multilayer perceptron and adaptive neuro-fuzzy system on backcalculating the mechanical properties of flexible pavements". The Bulletin of the Istanbul Technical University, Vol: 54, pp: 65-77.

Smith, R. E. (1986). "Structuring a microcomputer Based Pavement Management System for Local Agencies". Ph.D. Thesis, university of Illinois at Urbana-Champaign, IL.

Lytton, R. L. (1987). "Concepts of Pavement Performance Prediction and Modellings Proceeding of the second North American conference on Managing Pavements". November.

Butt, A. A. (1991). "Application of Markov process to Pavement Management System at the Network Level." Ph.D. Thesis, University of Illinois.

Henry G.R. kerali, Derek Mc McMullen, J.B. (2001), "Highway Development & Management Manual, HDM –4." Volume 1, 2, 4.

Shah, Y.U., et al (2013) "Development of Overall Pavement Condition Index for Urban Road Network", Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol: 104, pp: 332 – 341.

Setyawan, A., et al (2015) "Predicting the remaining service life of road using pavement condition index", Procedia Engineering, Vol: 125, pp: 417 – 423.

Abstract:

Pavement management system enables choosing the most economic and efficient method for maintaining and recovery by deep indication of pavement condition and prediction its condition in the future. For a pavement management system, condition prediction models are like engines for a vehicle. Generally, pavement performance model express the pavement deterioration process during the period of using the road. In this paper, family model has been used for estimating performance of passages in the sari city. Pavement of different pieces which are similar in technical and loading settings are placed in the same family using modeling by family, and decrement in pavement quality is modeled based on pavement condition index in set of pieces of one family. During a case study, passages of the sari city has been divided into two groups based on their traffic data, including: first, passages with heavy traffic and second, passages with light traffic. Each group was modeled using regression model and artificial neural network. In regression model, 4th degree model had a better quality and comparing regression model with artificial neural network, it was observed that artificial neural network roughly had better results than regression model. In all cases correlation coefficient was in 0.87 - 0.925 range which is mostly because of input data limitation. Still, considering the amount of data, time and money spent for maintaining them, it can be stated that models have a very good accuracy.

Keywords: Pavement performance prediction models, pavement condition index, family model, artificial neural network.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

Modeling of asphalt pavement performance prediction

(Case Study: Sari Street)

Written by:

Milad Jafarnejad

Supervisor:

Dr. H. Ghasemzadeh Tehrani

February 2016