



ارائه مدل جهت مدیریت و بهبود روسازی مسیرها در سطح شبکه مبتنی بر پیش بینی شاخص IRI

افشین عندلیبی^۱

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش راه و ترابری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند، ایران afshinandalibi@gmail.com

چکیده

اهمیت پیش بینی وضعیت روسازی سبب توجه به برنامه ریزی های بلندمدت در خصوص زمان و گزینه های ترمیم و نگهداری روسازی می شود مدل های متفاوتی ارائه شده است از جمله این مدل ها می توان به برونمایی مستقیم (برای پیش بینی های کوتاه مدت) و مدل رگرسیونی اشاره کرد. هدف اصلی این مقاله یافتن مدلی است که بتواند وضعیت روسازی را در سطح شبکه در آینده پیش بینی کند. برای این منظور از شبکه های عصبی مصنوعی که بر گرفته از شرایط بیولوژیکی است استفاده شده است. با توجه به آنکه شبکه های عصبی مصنوعی امروزه به صورت گسترده در علوم مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است. روسازی مورد استفاده در این مقاله از نوع انعطاف پذیر است و متغیرهای ورودی شامل عمر روسازی به صورت یک عدد، تعداد محور، میزان بارندگی و ضخامت معادل روسازی با استفاده از ضرایب انستیتو آسفالت است. البته عوامل دیگری همچون کیفیت آسفالت، کیفیت اجرا، تکنولوژی ساخت و... می تواند در پروسه زوال روسازی نقش داشته باشند که به علت عدم دسترسی به این عوامل در این مقاله لحاظ و بررسی نشده است.

واژه های کلیدی

روش آموزش، اندازه حرکت، مدل رگرسیونی، شرایط روسازی، شبکه عصبی.

۱. مقدمه

به علت عدم توجه به نگهداری درست و عدم آگاهی مدیران از فنون مدیریت های صحیح و علمی بهره برداری، روسازی های ساخته شده در برخی موارد حتی به نصف عمر مفید و طبیعی خود نیز نرسیده و به سرعت فرسوده و مستهلک می شوند. به عنوان مثال، تحقیقات اخیر بانک جهانی نشان می دهد که یک غفلت کوچک و عدم نگهداری یک قطعه راه در موقع مناسب آن و افزایش ضریب زبری از ۲۵۰۰ به ۴۰۰۰، نیاز به یک بودجه نگهداری معادل ۵ برابر بودجه ای که در صورت نگهداری به موقع لازم بود، داشته و حتی عدم تخصیص این بودجه ۵ برابر در این موقع هم باز به معنای افزایش سرعت استهلاک و در نهایت نابودی راه مزبور خواهد شد (Brown, 1996; Mallick & El-Korchi, 2013). به عبارت دیگر در صورت تخصیص به موقع بودجه نگهداری و انجام به موقع نگهداری شبکه راهها، با همان بودجه می توان شبکه ای با طول ۵ برابر را نگهداری نمود. بدین منظور روش های متفاوتی از جمله روش برونمایی مستقیم و روشهای رگرسیونی برای پیش بینی وضعیت روسازی بوجود آمد. با توجه به اینکه روش هایی که برای پیش بینی و تخمین در علوم مختلف استفاده می شود خالی از اشکال نمی باشند، محققان همواره در تلاش بوده اند تا به روش های مناسب تری دست یابند. یکی از این روش ها که در سالهای اخیر در علوم مهندسی به شدت گسترش یافته رویکرد شبکه عصبی مصنوعی است که از اواخر دهه ۸۰ در مهندسی عمران نیز شروع به رشد نمود. شبکه های عصبی از نظر ساختاری دارای انواع مختلفی می باشند که شبکه های عصبی پرسپترون، کوهون و هاپفیلد از مهمترین آنها هستند. از کاربرد شبکه های عصبی در



هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران

مهندسی عمران می توان به بهینه سازی سازه ها، تخمین هزینه های اجرا، پیش بینی در روسازی و تخمین جریان ترافیکی نام برد (Doré & Zubeck, 2009).

مدل های پیش بینی شرایط روسازی راه که شبیه سازی فرآیند زوال روسازی را عملی ساخته و شرایط روسازی راه را با گذشت زمان مورد پیش بینی قرار می دهند در واقع نقش مهمی را در سیستم مدیریت روسازی راه ایفا می کنند. اما پیش بینی فرآیند زوال روسازی آنچنان پیچیده است که یافتن شکل عملی مناسبی برای آن، کاری سخت و بعضاً غیر ممکن است از این رو در این مقاله یافتن مدل مناسبی که با الهام از شرایط بیولوژیکی بتواند شرایط روسازی را پیش بینی کند در دستور کار قرار دارد (Doré & Zubeck, 2009).

مدل های پیش بینی وضعیت روسازی هم در سطح شبکه و هم در سطح پروژه برای تحلیل وضعیت روسازی و همچنین ضروریات ترمیم و نگهداری به کار می روند. در واقع در سطح شبکه از مدل های پیش بینی به منظور پیش بینی وضعیت روسازی در آینده، برنامه ریزی برای اختصاص بودجه زمان بندی بازرسی و برنامه ریزی های کاری استفاده می شود و در سطح پروژه برای انتخاب گزینه های خاص ترمیم برای مقابله با شرایط زوال روسازی ناشی از عواملی همچون بارگذاری های ترافیکی و شرایط جوی می باشد (Capitão, Picado-Santos, & Martinho, 2012).

کاربرد شبکه های عصبی در مهندسی راه

امروزه شبکه های عصبی بطور گسترده در بخش های مختلف مهندسی راه از جمله طراحی روسازی، پیش بینی های ترافیکی، تخمین در حمل و نقل کالا و مسافر، مدیریت روسازی و...

بکار گرفته می شود. در این قسمت به چند نمونه از تحقیقاتی که در این زمینه صورت گرفته شده پرداخته می شود (Xiang & Xiao, 2020).

استفاده از شبکه عصبی برای یافتن همبستگی میان IRI و خرابی های روسازی

اگر نوعی همبستگی بین انواع خرابی ها و ناهمواری به دست آید در آن صورت می توان IRI را به عنوان یک شاخص ویژه عملکرد روسازی در نظر گرفت و تغییر وضعیت روسازی را به عنوان تغییر و تحول IRI نشان داد. خرابی هایی که در یکی از تحقیقات انجام شده مورد بررسی قرار گرفته اند شامل موارد زیر می باشد (Zuoren, 1984):

- شیار گودی
- ترک های پوست سوسماری
- ترک خوردگی
- حفاری یا وصله کاری (حفاری به منظور نصب لوله ها، سیم کشی ها و غیره)
- حفره
- موجی شدن
- حفره های بازدید
- عریان شدگی
- لکه برداری
- روزدگی

۱۲۵ مقطع راه با طولی معادل با یک کیلومتر در گردآوری داده ها مورد استفاده قرار گرفته اند.

کل کار گردآوری اطلاعات روسازی به وسیله ARAN۲ (سیستم تحلیلگر خودکار راه) - که مورد تأیید بانک جهانی و اداره فدرال بزرگراه ها (FHWA) ۳ است - به انجام رسیده است (Ceylan, Bayrak, & Gopalakrishnan, 2014).

داده های خرابی به وسیله نرم افزار VIEW4.5 با هم یکپارچه و نتیجه گیری شده اند و فرض بر این بوده که شرایط روسازی دارای توزیع نرمال است. به منظور آموزش شبکه عصبی، سری داده های ۱۲۵ فایل ثبتي به ۲ مجموعه تقسیم شده اند: ۱۰۰ نمونه به عنوان مجموعه داده های آموزشی، و ۲۵ نمونه دیگر به عنوان مجموعه داده های آزمایشی. در یک سطح مقطع راه یک کیلومتری، برای ترک های



هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران

پوست سوسماری ، ترک ، حفاری وصله کاری ، موجی شدن سطح راه ، لکه گیری ، روزدگی ، و بازرسی های عریان شدگی ، نسبتی از سطح جاده در نظر گرفته شده که شامل این نوع از خرابی ها بوده اند. مقیاس ۲۰ متر به عنوان یک واحد در نظر گرفته شد (Ceylan et al., 2014).

برای نمونه ، اگر یک حفاری یا وصله کاری ۲۰۰ متر در سطح جاده ای به طول ۱ کیلومتر صورت گیرد، در آن صورت مقدار وصله کاری آن ۱۰ است . حفره های بزرگ به حفره های وخیم و متوسط تقسیم بندی شده و تعداد دفعات وقوع آن ها در ۱ کیلومتر از جاده به ثبت رسیده اند. حفره های انسانی نیز به حفره های وخیم و متوسط تقسیم می شوند و متغیر مورد نظر برابر با تعداد این حفره ها می باشد. از آنجا که ۱۲۵ نمونه داده شامل بزرگراه های استانی و راه های روستایی بوده اند، یک ویژگی اضافی ، یعنی سطح جاده ، به تحلیل افزوده شده تا بزرگراه های استانی و راه های روستایی به دسته های ۱ و ۲ تقسیم بندی شوند. فقط مساحت ترک های پوست سوسماری ، ترک خوردگی ، حفاری یا وصله برداری، موجی شدن، لکه برداری، روزدگی و عریان شدگی بدون لحاظ کردن شدت آن ها در تحلیل شبکه عصبی در نظر گرفته شده است . برای اینکه شدت خرابی یا میزان آن قابل سنجش است ولی درجه ی آن مقیاسی نامعین است و به آسانی تحت تأثیر ایده های نظری محققان قرار می گیرد. یک شبکه عصبی از نوع انتشار برگشتی در این مورد استفاده شده است. پارامترهای طراحی شبکه در جدول ۱ ارائه شده است. لایه ورودی دارای ۱۴ گره (متغیر) است (Mohod & Kadam, 2016): سطح راه، شیار یا گودی سمت چپ و راست، ترک سوسماری، ترک برداری، حفاری یا وصله برداری، حفره های متوسط، حفره های شدید، روزدگی، چین خوردگی، عریان شدگی، حفره های انسانی متوسط، و حفره های انسانی پر شدت. ۶ نرون نیز در لایه ی پنهان قرار دارند، که به طور کلی بر اساس دانش معیار این حوزه مقرر می شوند. لایه ی خروجی فقط یک متغیر - شاخص ناهمواری - دارد. اتصالات عصبی مصنوعی به اندازه $(1 \times 6 + 6 \times 14) = 90$ با استفاده از ۱۴ متغیر در لایه ی ورودی ، ایجاد شده اند و تابع انتقالی سیگموئید مورد استفاده قرار گرفته است (Mohod & Kadam, 2016).

جدول ۱: ساختار پارامترهای شبکه عصبی انتشار برگشتی

مقدار پارامتر	
تعداد لایه های شبکه	۳
تعداد نرون ها در لایه ورودی	۱۴
تعداد نرون هادر لایه پنهان	۶
تعداد نرون هادر لایه پنهان	۱
سیگموئید	تابع فعال سازی
۹۰	تعداد اتصالات
۱۰۰	داده های آموزش
۲۵	داده های آزمایش
۱۰۰۰ و ۵۰۰۰ و ۷۵۰۰ و ۱۰۰۰۰	تعداد تکرار برای یادگیری
۱۲۵۰۰ و ۱۵۰۰۰ و ۲۵۰۰۰	
۰/۰۱	نرخ یادگیری

در مرحله ی آموزش ، ۱۰۰ داده ی ثبتي آموزشی با ۱،۰۰۰، ۵،۰۰۰، ۷۵۰۰، ۱۰،۰۰۰، ۱۲۵۰۰، ۱۵۰۰۰، ۲۵۰۰۰ تکرار به کاررفته اند تا اینکه شبکه عصبی بتواند رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی را بیاموزد. در مرحله آزمایش ، ۲۵ داده ی ثبتي به عنوان ورودی برای شبکه عصبی آموزش دیده ، به کار رفته اند. تکرارهایی کمتر از ۱۰۰۰۰ برای آموزش شبکه کفایت نمی کنند، در حالی که تکرارهایی بالاتر از ۱۰۰۰۰ نشانگر گرایش به آموزش فوق العاده می باشد یعنی اینکه شبکه عصبی در حد فوق العاده ای به حفظ کردن همبستگی بین متغیرهای ورودی و خروجی می پردازد و از اینرو انعطاف خود را در قیاس ها و استنتاج های پیش بینی از دست داده است . برای بالغ بر ۵۲٪ (۱۳،۲۵) از داده های آزمایشی ، مقادیری از IRI که به وسیله ی شبکه عصبی پیش بینی شده اند و مقادیر حقیقی IRI در مقیاسی بالاتر از ۰،۳ با هم تفاوتی نخواهند داشت . فقط یک داده ی ثبتي از ۲۵ ثبت دار ای یک مقدار پیش بینی است که تا بالغ بر مقیاس ۱، با مقدار حقیقی فرق می کند. پس تکرار مناسب برای این مقاله در حدود ۱۰۰۰۰ است . ضریب همبستگی بین ۲۵ نمونه آزمایشی متغیر ورودی و مقادیر پیش بینی آن ها به ۰،۹۴۴ می رسد که بیشتر از



هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران

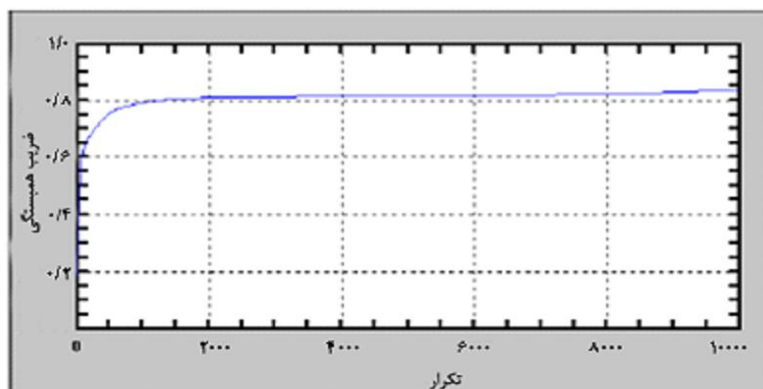
ضریب همبستگی داده های آموزشی (۰,۸۴) است. این نشان می دهد که این یک معماری موفق شبکه ای محسوب می شود. ۴۰ درصد خطاها بیشتر از ۰,۲ نیستند، ۷۲ درصد از خطاها بیشتر از ۰,۵ و ۹۶ درصد از آن ها نیز بیشتر از ۰,۷ نمی رسند. اثر ۱۴ متغیر بر روی IRI هدف عمده ی تحلیل هابوده است. بیشترین دخالت از سوی متغیر ورودی «حفره های بزرگ» صورت می گیرد. به عبارتی دیگر، یک سطح مقطع جاده ای که دارای یک IRI وخیم است معمولاً با «حفره های بزرگ» دیده می شوند. از نقطه نظر دیگر، IRI یک راه که در آن «حفره های بزرگ» مشاهده می شود غالباً و همواره در حد زیادی صورت می پذیرند. ترتیب رو به کاهش دخالت درصدی متغیرهای ورودی که بر حسب «حفره های بزرگ» مطرح می باشند عبارتند از (Adlinge & Gupta, 2013):

شیار یا گودی سمت چپ (متغیر دوم)، حفاری، وصله کاری جاده (متغیر ششم)، و شیار یا گودی سمت چپ راست (متغیر سوم). در این مقاله دیده می شود که یک جاده ای با ناهمواری قابل توجه روسازی از شیار یا گودی عمیقی نیز برخوردار است. روند تخریب شیار راه به ضعیف بودن مواد و مصالح روسازی، ساخت نامناسب، قدرت ناکافی لایه ی اساس، بار بیش از حد ترافیکی و دیگر عوامل بستگی دارد. شیار عمقی راه به میزان شدید تا حدودی نشانگر کیفیت ضعیف روسازی است و از اینرو به ناهمواری روسازی ارتباط دارد. از بین ۱۴ متغیر ورودی، متغیرهایی با تأثیرگذاری ناچیز روی ناهمواری روسازی عبارت از ترک سوسماری، ترک خوردگی، حفره های گرد و متوسط، و روزدگی می باشند. ناهمواری روسازی تحت تأثیر سطح جاده نیز قرار می گیرد. هر یک از انواع خرابی ها و ناهمواری روسازی از یک رابطه ی سببی دو طرفه برخوردار می باشند. حتی تحت شرایط غیرممکن بودن استفاده از تجهیزات اندازه گیری سریع برای انجام بازرسی روسازی، نتایج فعلی ممکن است به عنوان متغیرهای ورودی شبکه عصبی استفاده شوند. از اینرو IRI حاصله را می توان به عنوان نوعی شاخص بحرانی یک سیستم مدیریت توسعه ی روسازی استفاده کرد. برای تحلیل حساسیت متغیرها از یک شبکه عصبی انتشار برگشتی استفاده شده است. نتیجه ی مطلوب مدل شبکه عصبی به وسیله ی ۱۰۰۰ تکرار آموزشی حاصل شده است (Adlinge & Gupta, 2013).

جدول ۲: مقدار واقعی و مقدارپیش بینی ۲۵ داده آزمایشی

مقدار پیش بینی مقدار واقعی IRI نمونه شده IRI بوسیله شبکه عصبی

۱	2.97	3.04
2	2.78	3.22
3	2.76	2.56
4	3.34	3.31
5	3.15	3.76
6	4.07	3.62
7	2.86	3.00
8	5.18	5.69
9	4.87	4.31
10	3.07	3.02
11	5.69	5.15
12	3.92	4.38
13	7.28	7.30
14	4.08	3.96
15	3.44	2.90
16	2.76	2.54
17	3.58	3.86
18	4.15	3.81
19	6.40	6.26
20	4.91	4.15
21	2.34	2.42
22	3.12	2.92
23	6.34	5.90
24	5.68	7.02
۲۵	۴,۷۶	۴,۶۰



شکل ۱: ارتباط میان ضریب همبستگی و تعداد تکرار

استفاده از شبکه های عصبی برای تحلیل و طراحی روسازی های انعطاف پذیر

در تحقیقی که تحت عنوان فوق انجام گرفته با استفاده از شبکه عصبی انتشار برگشتی ، تحلیل روسازی انعطاف پذیر مورد بررسی قرار گرفته شده است . حدود مقادیر ضریب ارتجاعی و

ضخامت لایه های مقطع روسازی که در تحلیل ها از آن استفاده شده است به صورت زیر است :

$$3100 \geq E \geq kpa \quad 3450 \text{ kpa}$$

a

$$kpa \geq Eb \geq 145kpa \quad 170$$

$$kpa \geq Esb \geq 75kpa \quad 100$$

$$kpa \geq EsG \geq 35kpa \quad 55$$

$$cm \geq D \geq 7.5cm \quad 15$$

a

$$15 \geq D \geq cm \quad 30 \text{ cm}$$

a

$$17.5 \quad D \geq cm \quad 5 \geq b \quad 37.5 \text{ cm}$$

ضریب پواسون خاک بستر برابر ۰,۳۵ و برای سایر لایه ها ۰,۴۵ در نظر گرفته شده است .

فشار وارده تایر بین ۴۱۰ تا ۵۵۰ کیلوپاسکال (۶۰ تا ۸۰ پوند بر اینچ مربع) با شعاع سطح تماس بین ۵ تا ۱۲ سانتی متر (۲ تا ۴ اینچ مربع) در نظر گرفته شده است . از آنجایی که هدف از تحلیل به دست آوردن تنش ها و کرنش های بحرانی در مقطع مورد نظر و سپس استفاده از آنها برای طراحی روسازی می باشد فقط کرنش کششی افقی در زیرلایه تثبیت شده روسازی (لایه رویه) و کرنش فشاری قائم روی سطح خاک بستر به عنوان پارامترهای تحلیل مورد استفاده قرار گرفته اند. در حقیقت این دو پارامتر (کرنش کششی افقی زیرلایه رویه و کرنش فشاری قائم روی خاک بستر) که به ترتیب معرف خستگی و تغییر شکل های دایمی روسازی می باشند به عنوان پارامترهای بحرانی در تحلیل سازه روسازی مدنظر هستند. تحلیل این مقطع توسط نرم افزار رایانه ای KENLAYER انجام شده است . بار وارده به صورت یک بار گسترده یکنواخت که بر روی یک سطح دایره ای شکل در نظر گرفته شده است . در تحلیل های انجام شده در این پژوهش ضریب ارتجاعی لایه های روسازی مستقل از سطح تنش ناشی از بارگذاری روسازی و همچنین تنش هایی که در اثر بارگذاری در لایه های روسازی ایجاد می شوند در نظر گرفته شده است. برای آموزش شبکه عصبی ۳۲۰ تحلیل مختلف برای روسازی انتخاب شده است . در تمامی این تحلیل ها ضخامت لایه های روسازی متغیر در نظر گرفته شده و مقادیر مختلف ضخامت و ضریب



هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران

ارتجاعی لایه های تشکیل دهنده روسازی ، فشارهای مختلف با شعاع تماس متفاوت استفاده شده است . تعداد ۳۲۰ تحلیل انجام شده به ازای ورودی های لازم در تحلیل روسازی ها، خروجی مورد نظر که کرنش کششی افقی زیرلایه رویه آسفالتی و کرنش کششی قائم بالای خاک بستر هستند را ارائه می دهد. این مجموعه به عنوان یک پایگاه داده برای آموزش شبکه عصبی استفاده شده است . برای پیش بینی کرنش های بحرانی مقطع روسازی را با خطای قابل قبول پیش بینی کند. بهتر است از شبکه عصبی انتشار برگشتی که به اختصار BPNN۴ نامیده می شود استفاده شده است . از آنجایی که در تحلیل مقطع مورد نظر هدف تعیین کرنش کششی افقی زیرلایه رویه و همچنین کرنش فشاری قائم روی خاک بستر روسازی بوده بنابراین شبکه دارای دو خروجی می باشد.

از سوی دیگر برای تعیین این دو پارامتر بایستی موقعیت آنها معلوم باشد. در حقیقت ارتفاع دو مقطع مذکور (زیرلایه رویه و بالای خاک بستر) به عنوان ورودی های مساله می باشند.

سایر ورودی های در نظر گرفته شده برای شبکه عبارتند از: فشار وارده ، شعاع سطح تماس و مدول لایه رویه . شبکه در نظر گرفته شده در این مقاله دارای دو لایه پنهان است که تابع انتقال آنها از نوع سیگموئید می باشد و در لایه خروجی از نوع تابع خطی ساده است . درواقع شبکه عصبی انتخاب شده دارای ساختار ۲-۵-X-X-۵ می باشد به این معنی که شبکه دارای ۵ ورودی (فشار چرخ ، شعاع سطح تماس ، مدول رویه و ارتفاع نقاط متناظر با کرنش های بحرانی) و دو لایه پنهان است . لایه خروجی شامل دو نرون (کرنش کششی افقی و کرنش فشاری قائم روی خاک بستر) می باشد (Goodey & Benkovic, 2008).

مدل پیش بینی شیارچرخ در روسازی های انعطاف پذیر

شیار چرخ در روسازی انعطاف پذیر در واقع فرورفتگی سطحی در مسیر چرخ ها است . شیار چرخ دو نوع است ، یکی مربوط به تغییر شکل دائمی خاک بستر یا یکی از لایه های زیرین

(اساس یا زیر اساس) که نمی تواند بارگذاری های ترافیکی را تحمل کند، نوع دیگر ناشی از لایه رویه است که در نتیجه بارهای ترافیکی منجر به تغییر شکل به دلیل لغزش و غلتیدن اجزاء مدور بین ۷۵ تا ۱۰۰ میلیمتر از روسازی های با ضخامت کم یا تغییر در شکل و فشردگی اجزای روسازی های ضخیم می شود. مهمترین علت شیار نوع دوم طرح یا ساخت مخلوط های نامناسب (برای مثال مقدار زیاد قیر یا فیلر یا مقدار نامناسب سنگدانه های شکسته) . این مقاله بر روی شیاهای نوع دوم یا شیار در مخلوط های آسفالتی داغ متمرکز است (Gilje, Han, Wang, Wang, & Kaner, 2007).

در این بخش شیار با قرار دادن مخلوط های آسفالتی داغ در معرض بارهای ترافیکی و اندازه گیری تغییر شکل دائمی در نقاط مسیر چرخ ها مشخص شده است (Goodey & Benkovic, 2008).

اگر چه ترجیح داده می شود که آزمایش های تحلیل روسازی های آسفالتی به پیش بینی پتانسیل شیاهای یک مخلوط هدایت شوند اما این آزمایشات به دلایل اقتصادی همیشه عملی نیست . یک مدل پیش بینی شیار چرخ ها می تواند ابزار مفیدی برای این چنین مواقعی باشد. پیش بینی سنتی شیار یک ترکیب و کار طاقت فرسا ست . زیرا فیزیک شیار چرخ هنوز کاملاً شناخته نشده و بنابراین یافتن یک فرمول ساده برای آن مشکل است. تحقیقات صورت گرفته چند مدل تجربی پیشنهاد کرده اند، اما هیچ کدام از این مدل ها نمی تواند شیارچرخ را در مخلوط های آسفالتی داغ با دقت خوبی پیش بینی کند، زیرا پتانسیل شیار چرخ در مخلوط های آسفالتی داغ تحت تأثیر تعداد زیادی از عوامل بستگی دارد. اگر چه متغیرهای فراوان برای مدل سازی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی مشکلی ایجاد نمی کند. در این مقاله یک مدل شبکه عصبی با استفاده از داده های تحلیلگر روسازی آسفالتی آموزش و آزمایش شده و سپس از مدل برای پیش بینی شیار چرخ در مخلوط های آسفالتی داغ استفاده شده است (Cameron, 2005).

عوامل مطرح شده شامل موارد زیر است :

1. درصد سنگدانه های گذرنده از الک ۳,۴
2. درصد سنگدانه های گذرنده از الک ۱,۲
3. درصد سنگدانه های گذرنده از الک ۳,۸
4. درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۴
5. درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۸
6. درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۱۶



هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران

۷. درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۳۰
۸. درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۵۰
۹. درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۱۰۰
۱۰. درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۲۰۰
۱۱. درصد شکستگی مصالح ریز دانه
۱۲. درصد شکستگی مصالح درشت دانه
۱۳. چگالی نسبی سنگدانه ها
۱۴. درجه کارایی قیر
۱۵. چگالی نسبی قیر
۱۶. درصد قیر
۱۷. حداکثر چگالی نسبی مخلوط
۱۸. چگالی نسبی نمونه های حجمی
۱۹. بار چرخ
۲۰. فشار لوله
۲۱. دمای آزمایش

البته این لیست کاملی از عوامل آزمایش و طراحی نیست. عوامل دیگری نیز همچون میزان رطوبت، روش تراکم و... می توانند مؤثر باشند. در این مقاله سعی شده عوامل ورودی که بیشترین تأثیر را دارند در نظر گرفته شوند. با استفاده از تحلیلگر روستازی های آسفالتی ۱۵۸۶ نمونه استوانه ای تحت آزمایش قرار گرفتند از هر دو نمونه یک میانگین گرفته شد و به موجب آن ۷۹۳ داده جمع آوری شد، پس از حذف داده های مخدوش ۷۶۹ داده برای آنالیز باقی ماند. نتایج مقاله در جداول و اشکال زیر دیده می شود (Gilje et al., 2007).

جدول ۳: عوامل ورودی و محدوده آنها

حداقل حداکثر میانگین انحراف استاندارد				فاکتورهای ورودی	
3.9	۹۸	۱۰۰	۸۲	درصد سنگدانه های گذرنده از الک ۳,۴	۱
7.6	۸۹	۱۰۰	۶۷	درصد سنگدانه های گذرنده از الک ۱,۲	۲
۸	۸۰	۱۰۰	۵۹	درصد سنگدانه های گذرنده از الک ۳,۸	۳
8.9	۵۷	۹۲	۳۶	درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۴	۴
7.5	۳۸	۶۶	۲۲	درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۸	۵
6.1	۲۷	۴۷	۱۴	درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۱۶	۶
5.3	۲۰	۳۴	۷	درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۳۰	۷
3.8	۱۳	۲۴	۳	درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۵۰	۸
1.8	۸	۱۳	۴	درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۱۰۰	۹
0.86	4.8	۷	2.2	درصد سنگدانه های گذرنده از الک شماره ۲۰۰	۱۰

هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران



0.9	45.3	49.3	41.3	۱۱ درصد شکستگی مصالح ریز دانه
4.1	۹۹	۱۰۰	۷۹	۱۲ درصد شکستگی مصالح درشت دانه
0.054	2.629	2.812	2.483	۱۳ چگالی نسبی سنگدانه ها
-	70-22	76-22	64-22	۱۴ درجه کارایی قیر
0.006	1.013	1.032	0.994	۱۵ چگالی نسبی قیر
0.57	4.8	6.8	3.4	۱۶ در صد قیر
0.046	2.468	2.607	2.339	۱۷ حداکثر چگالی نسبی مخلوط
0.051	2.289	2.484	2.156	۱۸ چگالی نسبی نمونه های حجمی
۱	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰	۱۹ بار چرخ
1.4	۱۰۰	۱۱۰	۱۰۰	۲۰ فشار لوله
0.3	۶۴	۶۴	۶۰	۲۱ دمای آزمایش
1.2	7.2	11.1	2.5	۲۲ هوا
2.8	16.2	22.2	6.6	۲۳ فضای خالی در سنگدانه های معدنی

جدول ۴: بردارهای خروجی و محدوده آنها

شماره	خروجی ها	حداقل حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد
۱	عمق شیار تحت ۵۰۰سیکل	0.0	5.4	1.1
۲	عمق شیار تحت ۱۰۰۰سیکل	0.1	6.7	1.4
۳	عمق شیار تحت ۱۵۰۰سیکل	0.1	7.4	1.7
۴	عمق شیار تحت ۲۰۰۰سیکل	0.1	7.8	1.9
۵	عمق شیار تحت ۴۰۰۰سیکل	0.2	10.1	2.4
۶	عمق شیار تحت ۶۰۰۰سیکل	0.2	12.0	2.8
۷	عمق شیار تحت ۸۰۰۰سیکل	0.3	13.5	3.0

هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران



جدول ۵: ضریب همبستگی میان داده های واقعی و داده های پیش بینی

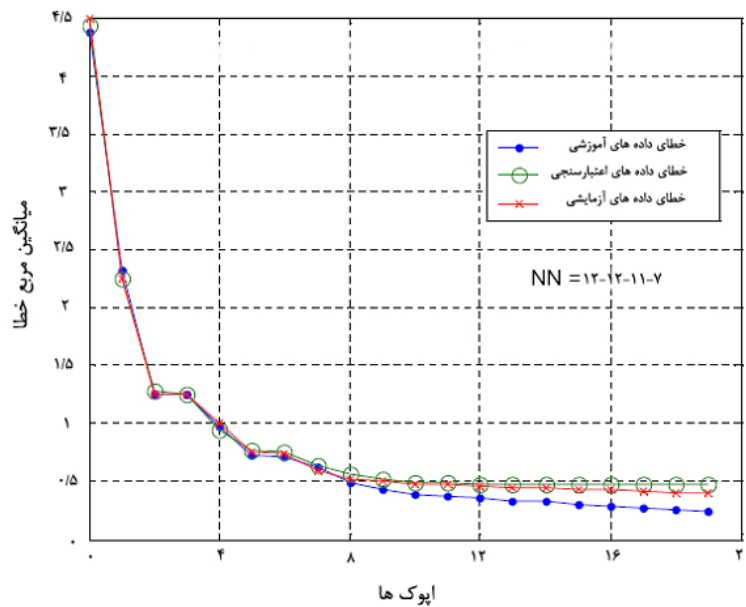
مقدار ضریب همبستگی

خروجی شبکه

بهترین تخمین میانگین تخمین ها تخمین دارای کمترین تخمین دارای کمترین

میانگین خطای نسبی	میانگین مربع خطا	عمق شیار تحت ۵۰۰ سیکل
0.8581	0.8577	0.8719
0.8820	0.8796	0.8933
0.8911	0.8892	0.9041
0.8935	0.8973	0.9067
0.8969	0.9055	0.9113
0.8951	0.9021	0.9096
0.8915	0.8989	0.9047

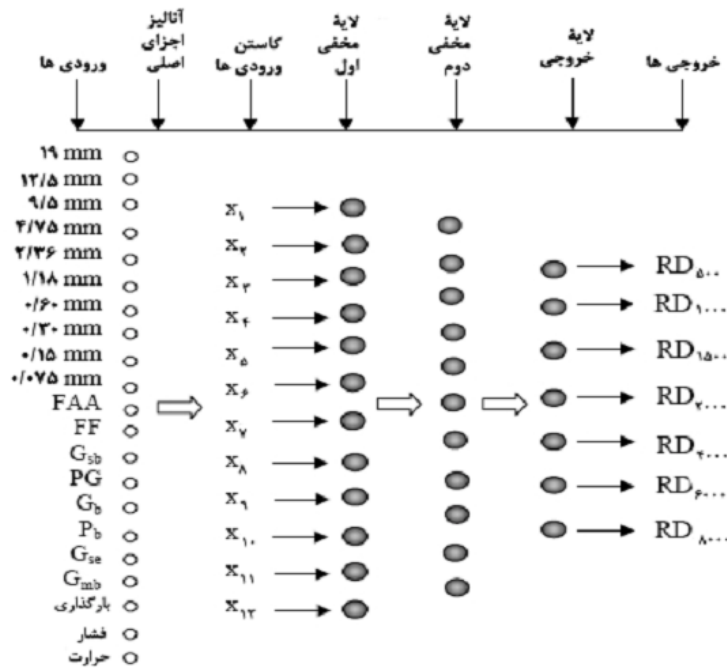
شکل ۲: معماری شبکه عصبی (۷-۱۱-۱۲-۱۲)



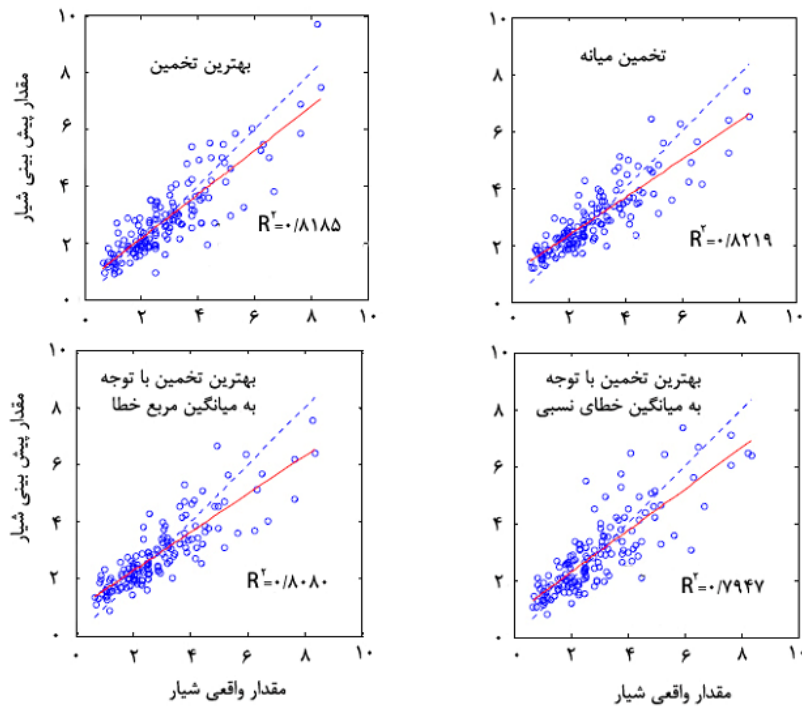


هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران

شکل ۳: عملکرد شبکه عصبی در آموزش، اعتبارسنجی و آزمایش



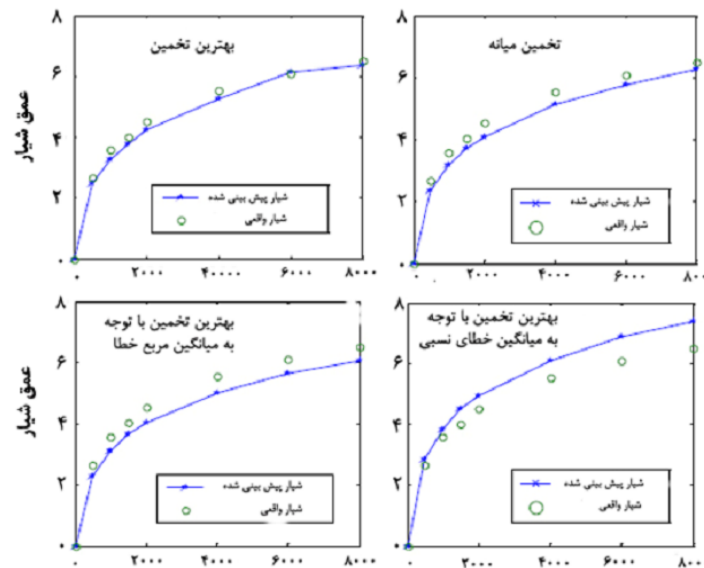
شکل ۴: پیش بینی های داده های شیار



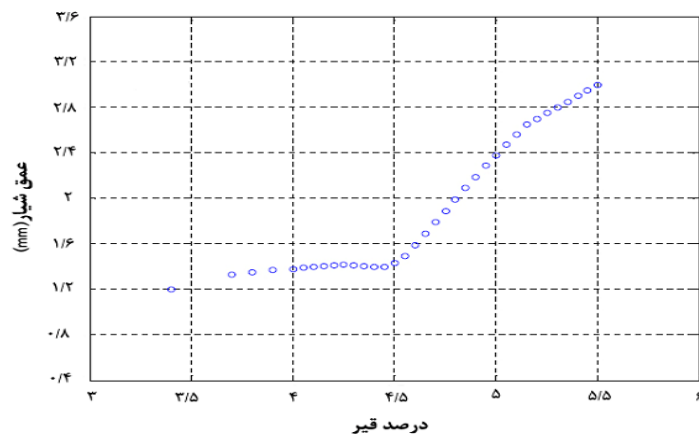


هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران

شکل ۵: مقایسه بین داده های پیش بینی و داده های واقعی تحت ۸۰۰۰ سیکل



شکل ۶: عملکرد شبکه عصبی در تعیین درصد بهینه قیر



معرفی روش IRI

شاخص IRI که در دهه ۸۰ توسط بانک جهانی ارائه شد برای تعریف خصوصیات پروفیل طولی راه در طول مسیر پیمایش چرخ وهمچنین برای شکل گیری یک استاندارد جهت ناهمواری سطح راه به وجود آمد. واحدهای رایج و پیشنهادی برای این شاخص واحد متر بر کیلومتر (mkm) یا میلیمتر بر متر (mmm) می باشد. شاخص بین المللی ناهمواری میانگین شیب تصحیح شده پروفیل راه است به این معنا که حرکات قائم سیستم تعلیق اتومبیل در طول یک مسیر خاص اندازه گیری شده و مقادیر برداشت شده با روش های ریاضی تصفیه می شود، سپس از جمع مقادیر تصفیه شده یک میانگین برای کل مسیر پیموده شده بر حسب (کیلومتر، متر و...) محاسبه می شود. این میانگین که با عنوان شیب اصلاح شده (ARS) شناخته می شود و بر حسب یا میلیمتر بر متر همان مقدار می باشد (Gilje et al., 2007).

با توجه به آنچه بانک جهانی در نتیجه تحقیقات و آزمایشات خود ارائه نمود IRI یک مدل ریاضی است که در مورد یک نیمرخ اندازه گیری شده به کار گرفته می شود. این مدل یک سیستم ربع ماشین را که با سرعت ثابت ۸۰ کیلومتر در ساعت حرکت می کند شبیه



هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران

سازی می کند. در این مدل ریاضی افت و خیزهای سیستم تعلیق با یکدیگر جمع می شوند و بر مسافت طی شده توسط وسیله نقلیه تقسیم می شوند تا یک شاخص را که دارای واحد شیب می باشد ($inmillamm\ on\ km$) ارائه نمایند. پارامترهایی که در این زمینه برای مدل سازی وسیله ربع ماشین به کار می رود به عنوان پارامترهای ماشین طلایی شناخته می شوند. در حین شکل گیری IRI محققین نوعی از فنرها را برای وسیله ربع ماشین انتخاب نمودند که فرکانس پرش بدنه و محور را در این وسیله هماهنگ نمایند. سرعت حرکت این وسیله در حین آزمایش ۸۰ کیلومتر بر ساعت تعیین شد، چون در آزمایشات انجام شده مشخص گردید که در این سرعت IRI به طول موج های ناهمواری که باعث لرزش وسایل نقلیه می شود حساس است.

در حین عملیات جمع آوری اطلاعات با پروفیل نگارهای متحرک، اطلاعات پروفیل راه در طول مسیر پیمایش چرخ های چپ و راست اندازه گیری می شود. این اطلاعات برای اندازه گیری IRI برای مسیر پیمایش هر کدام از چرخ ها و همچنین برای کل راه استفاده می شود که IRI راه عبارت است از میانگین به دست آمده برای مسیر چرخ های چپ و راست (Ryu, Ku, Lee, & Park, 2010).

مبانی اساسی شاخص IRI

همان طور که گفته شد شاخص IRI یک مقیاس ناهمواری بر اساس واکنش وسیله نقلیه به ناهمواری سطح راه می باشد. برای تعیین مقدار حقیقی IRI ابتدا با یک روش اندازه گیری مناسب و دقیق پروفیل سطح راه را برداشت می نمایند. سپس با یک الگوریتم نحوه ی واکنش وسیله مبنا را در مواجهه با پروفیل برداشت شده شبیه سازی نموده و مجموع حرکات سیستم تعلیق این وسیله را محاسبه می نمایند. به این ترتیب نحوه ی عملکرد راه سنج را به روش ریاضی مدل می نمایند. در حقیقت تمام وسایل تعریف شده در قسمت های قبل ناهمواری راه را با اندازه گیری انحرافات قائم سطح راه تعیین می کنند. مجموع انحرافات قائم در مایل بیان کننده شیب انحرافات قائم مسیر است. تمام وسایل اندازه گیری ناهمواری از تیغه صاف گرفته تا راه سنج آمار شیب را برداشت می کنند. لیکن به دلیل اینکه در گستره ی کامل طول موج ها مقادیر نامحدودی به دست می آید نمی توان یک شیب انحراف حقیقی را تعریف کرد (Cascetta, Nuzzolo, Russo, & Vitetta, 1996).

لیکن این مقادیر را می توان در حین عملیات اندازه گیری با تعیین یک بازه برای طول موج ها محدود نمود. این عمل در اندازه گیری ناهمواری ها با سیستم های مختلف خود به خود صورت می گیرد. به این دلیل که وسایل مختلف در مواجهه با ناهمواری ها در محدوده ی خاصی از طول موج ها از خود واکنش نشان می دهند. راه سنج ها، مجموع تکان های سیستم تعلیق اتومبیل که به خصوصیات واکنشی وسیله نقلیه بستگی دارد را در بخش مورد بررسی از راه اندازه گیری می نمایند. این همان چیزی است که در محاسبات IRI انجام می گیرد. خصوصیات واکنشی مورد نظر از وسیله نقلیه با استفاده از یک مدل دینامیکی تحت عنوان مدل ربع ماشین که در شکل زیر نمایش داده شده است به دست می آید. در موقعیت هر چرخ وسیله نقلیه مانند یک جرم با حالت فنری عمل می کند که بر روی یک سیستم تعلیق دارای سخت کننده و میراگر قرار گرفته است که این سیستم خود به جرم غیرفنری چرخ، ترمز و ملحقات آن متصل شده است. چرخ ها توسط لاستیک با سطح راه در تماس هستند که این لاستیک خود مانند یک فنر عمل می کند. ناهمواری های سطح راه باعث انعطاف لاستیک، ضربه به سیستم تعلیق و لرزش جرم های فنری و غیرفنری در امتداد قائم می گردد.

واکنش ربع ماشین به ناهمواری ها در محدوده فرکانس های از ۰.۵ تا ۲۰ هرتز صورت می گیرد که با در نظر گرفتن ناهمواری ها می توان گفت این واکنش در فرکانس پرش اتاق و فرکانس تشدید لرزش محور است. محبوبیت منطقی مدل ربع ماشین به این دلیل است که گستره مناسبی از فرکانس، چه فرکانس هایی که سبب لرزش وسیله نقلیه می شوند و چه آنهایی که به طور خاص باعث لرزش مدل می شوند را پوشش می دهد (Ryu et al., 2010).

به دلیل تشابه موجود بین پاسخ مودهای متفاوت عملکرد وسیله نقلیه، ناهمواری اندازه گیری شده در مقیاس IRI رابطه نزدیکی با هر کدام از آن ها دارد. شکل زیر ارتباط اطلاعات به دست آمده از آزمایشات شاخص ناهمواری بین المللی را با شاخص سرویس دهی فعلی روسازی (PSI) نشان می دهد. از آنجایی که شاخص سرویس دهی فعلی با توجه به احساسی که از سواری وسیله نقلیه به دست می آید تعیین می شود انتظار می رود رابطه نزدیکی بین PSI با شاخص IRI وجود داشته باشد [۱]. شکل زیر رابطه دقیقی را بین این دو شاخص نشان می دهد.

مشخصه های مهم شاخص IRI

• IRI با استفاده از پروفیل طولی به دست آمده و با انواع مختلف تجهیزات قابل برداشت است.



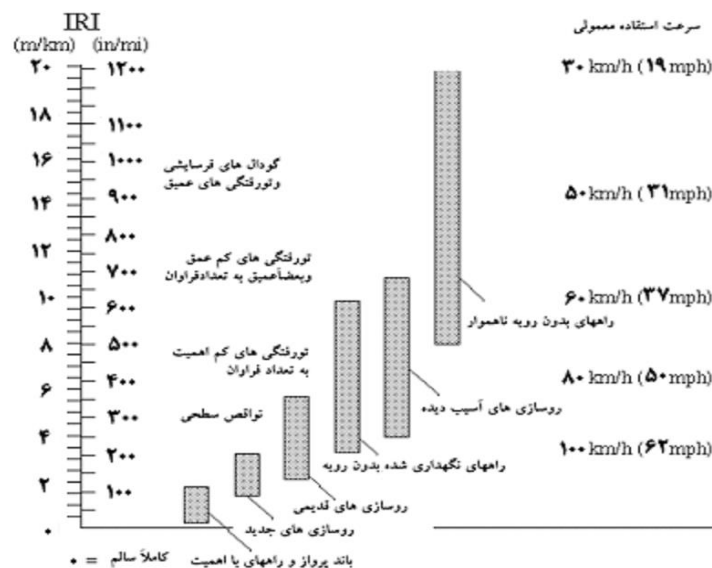
هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران

- مقدار IRI با گذشت زمان و عوض شدن ابزار مورد استفاده تغییر نمی کند، به این دلیل که IRI حقیقی بر اساس پروفیل طولی واقعی محاسبه می شود و تغییر خصوصیات فیزیکی تجهیزات اندازه گیری در این مقدار تأثیری ندارد.
- اطلاعات ناهمواری ها، ورودی های خوبی برای سیستم مدیریت روسازی که توسط شرکت های حمل و نقلی استفاده می شود می باشد.
- مقدار IRI به دست آمده از ناهمواری مسیر عبور در اداره کل فدرال بزرگراه ها (FHWA) به عنوان اطلاعات ورودی در سیستم بازرسی عملکرد راه ها مشخص شده است .
- در جایی که وسایل نقلیه و ابزار فیزیکی جایگزین مدل های ریاضی می شوند، IRI می تواند به عنوان خروجی یک سیستم واکنشی اندازه گیری ناهمواری ایده آل تفسیر شود. واحدهای آن با نسبت مجموع حرکت های کمک فنرها (مانند متر) به مسافت پیموده شده (مانند کیلومتر) مطابقت دارد.
- IRI یک درجه بندی مفید است و برای سیستم واکنشی اندازه گیری ناهمواری که در آن با وسیله نقلیه ناهمواری برآورد می شود مورد استفاده قرار می گیرد.
- IRI همچنین می تواند از میانگین مطلق شیب پروفیل تفسیر شود. این میانگین با روش های ریاضی تصفیه می شوند به نحوی که دامنه هایی را که با طول موج های مختلف همراه می باشند را اصلاح نماید.

مقیاس ناهمواری در سیستم IRI

در مقیاس اندازه گیری IRI که در شکل زیر نشان داده شده است حدود IRI راه های مختلف برحسب سن و نوع تعمیر و نگهداری اعمال شده و اهمیت آنها بیان شده است .

شکل ۷: مقیاس شاخص بین المللی ناهمواری IRI



ارزیابی روسازی

روش های مختلفی برای ارزیابی وضعیت روسازی وجود دارد که بسته به کشورها و سازمان های مختلفی که از آنها استفاده می کنند متفاوت است. اکثر این روش ها پس از تحلیل و پردازش عددی ارائه می دهند که نشان دهنده وضعیت روسازی است. در فصل گذشته این روش ها مورد بررسی قرار گرفت .

پیش بینی وضعیت روسازی شرط لازم برای یک سیستم کامل مدیریت روسازی محسوب می شوند. برای اینکه مدیران بتوانند تصمیم گیری های خود را در بهترین زمان انجام دهند و همچنین بتوانند وضعیت بودجه را به گونه ای تنظیم نمایند که مدیریت روسازی در



هشتمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در مهندسی عمران

سال های آینده با مشکل مواجه نشود. روشی که در این مقاله برای ارزیابی وضعیت روسازی مورد استفاده قرار گرفت شاخص بین المللی ناهمواری IRI است که در دهه ۸۰ توسط بانک جهانی برای تعریف خصوصیات پروفیل طولی راه و همچنین شکل گیری یک استاندارد جهت اندازه گیری ناهمواری سطح راه ارائه شد (Ryu et al., 2010).

متدولوژی شبکه های عصبی

شبکه عصبی مصنوعی عبارت از یک سیستم موازی پردازنده اطلاعات می باشد که مشابه با شبکه های عصبی بیولوژیکی از ویژگیهای خاص اجرایی برخوردار است. یک شبکه عصبی متشکل از تعداد زیادی از عناصر ساده پردازشگر معروف به نرون می باشد. هر نرون به وسیله پیوندهای مستقیمی به نرون های دیگر متصل می شود و هر پیوند مستقیم نیز از وزن مربوط به خود برخوردار است. به منظور ساخت یک شبکه عصبی برای حل یک مسئله خاص لازم است سه عنصر معماری، روش یادگیری و تابع محرک یا فعال سازی مشخص شود.

معماری

معماری شبکه عصبی شامل تعیین متغیرهای ورودی و خروجی، تعداد لایه های پنهان و تعداد نرون ها در هر لایه می باشد. معمولاً یک شبکه عصبی که تعداد نرون های کمی در لایه یا لایه های پنهان دارد از توانایی کمتری برخوردار است و چنانچه تعداد نرون ها بسیار زیاد شود ممکن است شبکه مورد نظریکدامی تعمیم دانش اکتسابی، مجموعه آموزشی مورد نظر را از بر کند.

انتخاب تعداد نرون ها و تعداد لایه ها از قاعده خاصی برخوردار نیست. اگر چه محققان نظراتی در این زمینه پیشنهاد کرده اند. برای مثال Haykin استفاده از دو لایه پنهان را توصیه کرده است. در این مقاله به منظور کسب بهترین نتیجه، تعداد مختلف لایه های پنهان به همراه تعداد نرون های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و با توجه به اینکه معمولاً برای سادگی و گاهی برای کسب نتایج بهتر از تعداد نرون های مساوی در لایه های مختلف شبکه عصبی استفاده می شود در این مقاله نیز این گونه عمل شده است (Ryu et al., 2010).

لایه ورودی شامل پارامترهایی است که در پروسه زوال روسازی نقش اساسی ایفا می کنند. این پارامترها شامل عمرروسازی (AGE)، میزان بارندگی (BRAIN)، تعداد محور هم ارز ۸،۲ تنی (ESAL) و ضخامت معادل روسازی (THICK) می باشند که هم بصورت تکی و هم بصورت ترکیبی مورد بررسی قرار گرفتند. خروجی شبکه عصبی شاخص بین المللی ناهمواری روسازی IRI است که نشان دهنده وضعیت روسازی است (Ryu et al., 2010).

تابع فعال سازی نرون

هریک از نرون های موجود در یک شبکه عصبی، یک عنصر پردازشگر مستقل محسوب می شوند که از ورودی و خروجی های خاص خود برخوردار است. تابع فعال سازی مورد استفاده در این مقاله تانژانت هیپربولیک می باشد که مشتق پذیر بوده و از پرکاربردترین توابع انتقال در شبکه عصبی می باشد. البته تابع فعال سازی سیگموئید هم توسط نگارنده تحت بررسی قرار گرفت که با توجه به نتایج آن که در سطح پایین تری نسبت به \tanh قرار داشت، در این مقاله منعکس نشده است (Cascetta et al., 1996).

پیش پردازش داده ها

پیش پردازش داده ها برای مدل کردن شبکه عصبی از طریق یک سلسله مراتب صورت گرفت. ابتدا نقاط غیرموجود داده ها بوسیله درون یابی تکمیل شدند. سپس برای عملکرد بهتر شبکه عصبی اعداد بسیار بزرگ داده ها کوچک نمایی شدند برای این منظور اعداد مربوط به تعداد محور هم ارز ۸،۲ تنی بر حسب میلیون وسیله نقلیه و میزان بارندگی بر حسب متر وارد شبکه شدند. در این مقاله مشخص شد چنانچه اندازه ورودی ها در شبکه عصبی مقادیر واقعی بزرگی باشد نمی توان نتایج مطلوبی گرفت.

داده ها

داده های استفاده شده در این مقاله از LTPP^۱ گرفته شده که شامل مشخصات ۲۵ قطعه راه در آمریکا است. اطلاعات برداشت شده از این ۲۵ قطعه شامل سن روسازی، میزان تجمعی بارندگی از زمان بهره برداری راه تا زمان برداشت IRI، میزان کل محور هم ارز ۸،۲ تنی از زمان ساخت راه تا زمان برداشت IRI، ضخامت معادل روسازی که در آن از ضرایب انستیتو آسفالت استفاده شده و آخرین داده شامل IRI راه در چند سالی که از قطعه های مختلف راه برداشت شده می باشد. تعداد ۹۷ سری از داده ها برای آموزش شبکه عصبی و تعداد ۳۸ سری از داده ها به منظور آزمایش مدل استفاده شده است.

ارزیابی وارزشیابی مدل

وزن پیوندهای بین نرون ها از طریق فرآیند آموزش، مقرر و تثبیت می شوند. فرآیند آموزش مورد نظر شامل ارائه کلیه نمونه های الگو در مجموعه داده های آموزشی در زمینه شبکه و تنظیم وزن های پیوندها بر اساس قاعده تنظیم وزن تعریف شده است. فرآیند آموزش زمانی کامل تلقی خواهد شد که ضریب همبستگی مناسبی بین داده های اصلی و پیش بینی در مجموعه داده های آموزشی برقرار شود یا کل خطای موجود تا حد قابل قبول کاهش پیدا کند.

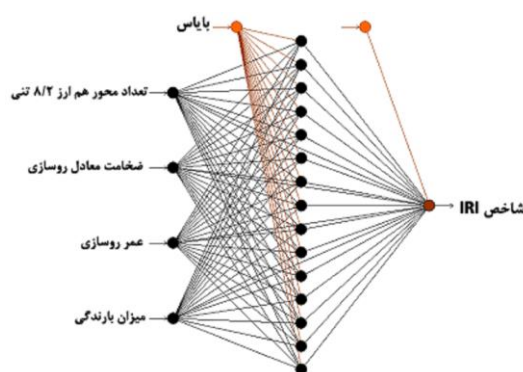
پس از اتمام آموزش، شبکه آموزش یافته در چارچوب داده های آزمایش قرار می گیرد تا میزان موفقیت شبکه مورد کنترل و بررسی قرار گیرد. اگر ضریب همبستگی یا خطا همچنان در حد قابل قبول باشد مدل شبکه یک مدل معقول تلقی می شود.

در این مقاله مدل های متفاوتی برای پیش بینی بوسیله شبکه عصبی ارائه شده و میزان دقت هر کدام مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج هر کدام در شکل ها و جدول های جداگانه آورده شده است.

در مدل های اولیه هر کدام از داده های عمر روسازی، میزان بارندگی، تعداد کل محور هم ارز ۸،۲ تنی و ضخامت روسازی به تنهایی در ساخت مدل استفاده شد و در مدل ها بعدی ترکیبی از این داده ها مورد استفاده قرار گرفت و در آخر تمام ورودی ها در ساخت مدل مورد بررسی قرار گرفت که بهترین نتیجه را کسب کرد. در این مقاله برای مدل سازی شبکه عصبی از نرم افزار Neural Power استفاده شد که از سرعت بیشتری نسبت به جعبه ابزار شبکه عصبی نرم افزار MATLAB برخوردار است.

شبکه عصبی با یک لایه پنهان

در این شبکه همان طور که در شکل زیر دیده می شود تنها یک لایه پنهان وجود دارد. این نوع از شبکه های عصبی از سرعت آموزش زیادی برخوردار بوده ولی عموماً دقت قابل قبولی در تعمیم داده ها ندارند. در جدول زیر پارامترهای این نوع شبکه نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود شبکه ای که ۱۵ نرون در لایه های پنهان دارد از قابلیت تعمیم بیشتری نسبت به سایرین برخوردار است. نمودار های مربوط به داده های آموزش و آزمایش آن در شکل ها و نمودارهای زیر نشان داده شده است.



شکل ۸: ساختار شبکه عصبی با یک لایه پنهان و ۱۵ نرون در لایه پنهان

جدول ۶: مشخصات شبکه هایی با یک لایه پنهان

تکرار نرخ یادگیری میانگین مربع ضریب همبستگی ضریب ساختار شبکه

خطا داده های آزمایشی همبستگی داده

های آموزشی

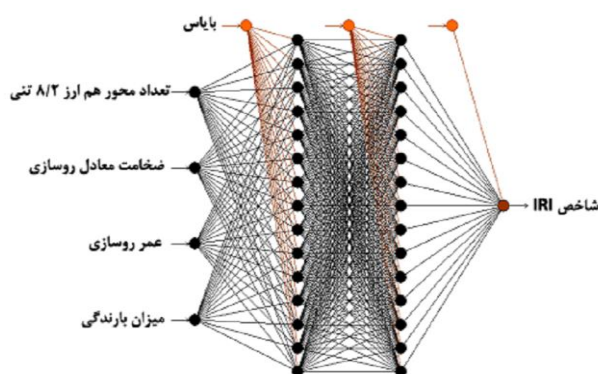
۵۰۰۰۰	0.1	0.1034	0.6619	0.9156
۵۰۰۰۰	0.1	0.2844	0.6770	0.7524
۵۰۰۰۰	0.1	0.0633	0.8538	0.9549
۵۰۰۰۰	0.1	0.0738	0.7308	0.9380

۵۰۰۰۰ 0.1 0.0615 0.8313 0.9504

۵۰۰۰۰ 0.1 0.0634 0.8535 0.9548

شبکه عصبی با دو لایه پنهان

در این شبکه همان طور که در شکل زیر دیده می شود دو لایه پنهان وجود دارد. این نوع از شبکه های عصبی از سرعت آموزش کمتری نسبت به شبکه قبلی برخوردار بوده ولی دقت بهتری در تعمیم داده ها دارند. این نوع شبکه از عمومیت زیادی در میان محققان برخوردار است. در جدول زیر پارامترهای این نوع شبکه نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود شبکه ای که ۱۵ نرون در لایه های پنهان دارد از قابلیت تعمیم بیشتری نسبت به سایرین برخوردار است. نمودار های مربوط به داده های آموزش و آزمایش آن در شکل های زیر نشان داده شده است.



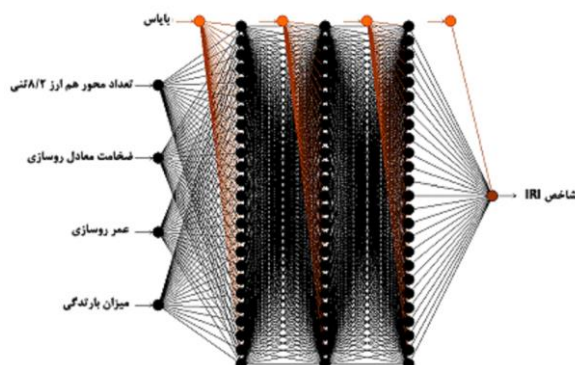
شکل ۹: ساختار شبکه عصبی با دو لایه پنهان و ۱۵ نرون در هر لایه پنهان

جدول ۷: مشخصات شبکه هایی با دو لایه پنهان

تکرار	نرخ یادگیری	میانگین مربع ضریب همبستگی	ضریب ساختار شبکه خطا	داده های آزمایشی	همبستگی داده های آموزشی
۲۵۰۰۰	0.1	0.00686	0.8109	۰.۹۹۶۶	
۲۵۰۰۰	0.1	0.00020	0.8700	۰.۹۹۹۴	
۲۵۰۰۰	0.1	0.00048	0.9353	۰.۹۹۹۸	
۲۵۰۰۰	0.1	0.00039	0.6823	۰.۹۹۹۳	
۲۵۰۰۰	0.1	0.00011	0.9066	۰.۹۹۹۸	
۲۵۰۰۰	0.1	0.00598	0.5834	0.8668	

شبکه عصبی با سه لایه پنهان

در این شبکه سه لایه پنهان وجود دارد. این نوع از شبکه های عصبی از سرعت آموزش کمی برخوردار بوده ولی ممکن است دقت بهتری در تعمیم داده داشته باشند. این نوع از شبکه ها بدلیل سرعت آموزش پایین از عمومیت کمتری در مقایسه با شبکه عصبی قبلی برخوردارند. در جدول زیر پارامترهای این نوع شبکه با توجه به مسئله این مقاله نشان داده شده است.



شکل ۱۰: ساختار شبکه عصبی با سه لایه پنهان و ۵ نرون در هر لایه پنهان

جدول ۸: مشخصات شبکه هایی با سه لایه پنهان

تکرار نرخ میانگین مربع ضریب همبستگی داده ضریب ساختار شبکه

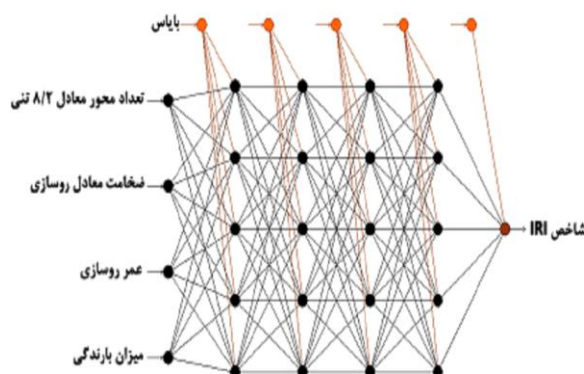
یادگیری خطا های آزمایشی همبستگی داده

های آموزشی

۱۰۰۰۰	0.1	0.011270	0.8035	0.9910
۱۰۰۰۰	0.1	0.000624	0.8036	0.9995
۱۰۰۰۰	0.1	0.000123	0.7973	0.9999
۱۰۰۰۰	0.1	0.000650	0.8601	0.9996
۱۰۰۰۰	0.1	0.000450	0.9394	0.9996
۱۰۰۰۰	0.1	0.014520	0.8540	0.9906

شبکه عصبی با چهار لایه پنهان

در این شبکه ها همان طور که در شکل زیر دیده می شود چهار لایه پنهان وجود دارد. این نوع از شبکه های عصبی از سرعت آموزش بسیار کمی برخوردار می باشند. به همین علت از عمومیت بسیار کمی در مقایسه با شبکه عصبی قبلی برخوردارند. بهترین ساختار این نوع شبکه در این مقاله ساختار ۱-۵-۵-۵ است که مشخصات آن در شکل های زیر دیده می شود.



شکل ۱۱: ساختار شبکه عصبی با چهار لایه پنهان و ۵ نرون در هر لایه پنهان



جدول ۹: مشخصات شبکه هایی با چهار لایه پنهان

تکرار نرخ میانگین مربع خطا ضریب ضریب ساختار شبکه

همبستگی داده همبستگی داده				یادگیری
های آموزشی های آموزشی				
۵۰۰۰	0.1	0.002750	0.9643	0.9977
۵۰۰۰	0.1	0.000269	0.8469	0.9998
۵۰۰۰	0.1	0.000062	0.9376	0.9999
۵۰۰۰	0.1	0.000144	0.8348	0.9999
۵۰۰۰	0.1	0.010930	0.9013	0.9937
۵۰۰۰	0.1	0.009560	0.8191	0.9961

می توان از این مقاله برداشت نمود به صورت زیر می باشند:

۱- افزایش تعداد نرون های لایه مخفی در شبکه های در شبکه های دارای یک ، دو و سه لایه مخفی در آغاز باعث افزایش کارایی شبکه و پس از مدتی باعث کاهش کارایی مدل می شود به طوری که شبکه های دولایه و سه لایه (دارای یک و دو لایه مخفی) با تعداد ۱۵ نرون در لایه مخفی و شبکه های چهار لایه (دارای سه لایه مخفی) با تعداد ۲۵ نرون در لایه مخفی دارای بیشترین ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی می باشند. اگر چه در مورد شبکه های پنج لایه ای (چهار لایه مخفی) که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت این مسئله به صورت تصادفی اتفاق افتاد.

۲- با اینکه یکی از مهمترین پارامترها در تعیین بهترین ساختار شبکه ، میانگین مربع خطا است اما با توجه به نتایج بدست آمده می توان گفت ساختاری که دارای کمترین مربع خطا است لزوماً بهترین ساختار نیست و چنانچه دیده شد در شبکه های با چهار لایه مخفی بهترین ساختار، ساختاری است که در هر لایه مخفی ۵ نرون وجود دارد در صورتی که کمترین میانگین مربع خطا مربوط به ساختاری است که تعداد ۱۵ نرون در لایه های مخفی خود دارد.

۳- در مورد چگونگی انتخاب تعداد لایه های مخفی باید به تجربه و تکرار متکی شد. اما برخی از محققین تعداد یک یا دو لایه مخفی را پیشنهاد کرده اند که یکی از دلایل آن می تواند زمان کوتاه آموزش و سرعت همگرایی بالای این نوع ساختار باشد. با این حال ساختاری که در این مقاله به بهترین نتیجه رسید دارای چهار لایه مخفی است .

۴- با بررسی مقادیر پیش بینی شده توسط شبکه عصبی و مقایسه آن با نتایج مدل رگرسیون خطی که در انتها به آن پرداخته شد می توان به قابلیت بیشتر شبکه عصبی پی برد و همین طور اظهار داشت که شبکه عصبی توانایی قابل قبولی در پیش بینی شرایط روسازی دارد.

۵- داده هایی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت مربوط به ۲۵ قطعه از راههای آمریکا است که اطلاعات آنها در طول چندین سال برداشت شده است . داده هایی که در آزمایش توانایی شبکه مورد استفاده قرار گرفت نشان داد که مدل شبکه عصبی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفت قابلیت پیش بینی شرایط روسازی حداکثر به مدت چهار سال را دارد.

منابع

- Adlinge, S. S., & Gupta, A. (2013). Pavement deterioration and its causes. *International Journal of Innovative Research and Development*, 2(4), 437-450.
- Brown, S. (1996). Soil mechanics in pavement engineering. *Géotechnique*, 46(3), 383-426.
- Cameron, N. R. (2005). High internal phase emulsion templating as a route to well-defined porous polymers. *Polymer*, 46(5), 1439-1449.
- Capitão, S., Picado-Santos, L., & Martinho, F. (2012). Pavement engineering materials: Review on the use of warm-mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 36, 1016-1024.



- Cascetta, E., Nuzzolo, A., Russo, F., & Vitetta, A. (1996). *A modified logit route choice model overcoming path overlapping problems. Specification and some calibration results for interurban networks*. Paper presented at the Transportation and Traffic Theory. Proceedings of The 13th International Symposium On Transportation And Traffic Theory, Lyon, France, 24-26 July 1996.
- Ceylan, H., Bayrak, M. B., & Gopalakrishnan, K. (2014). Neural Networks Applications in Pavement Engineering: A Recent Survey. *International Journal of Pavement Research & Technology*, 7(6).
- Doré, G., & Zubeck, H. K. (2009). *Cold regions pavement engineering*.
- Gilje, S., Han, S., Wang, M., Wang, K. L., & Kaner, R. B. (2007). A chemical route to graphene for device applications. *Nano letters*, 7(11), 3394-3398.
- Goodey, N. M., & Benkovic, S. J. (2008). Allosteric regulation and catalysis emerge via a common route. *Nature chemical biology*, 4(8), 474-482.
- Mallick, R. B., & El-Korchi, T. (2013). *Pavement engineering: principles and practice*: CRC Press.
- Mohod, M. V., & Kadam, K. (2016). A comparative study on rigid and flexible pavement: A review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 13(3), 84-88.
- Ryu, J., Ku, S. H., Lee, H., & Park, C. B. (2010). Mussel-inspired polydopamine coating as a universal route to hydroxyapatite crystallization. *Advanced Functional Materials*, 20(13), 2132-2139.
- Xiang, Q., & Xiao, F. (2020). Applications of epoxy materials in pavement engineering. *Construction and Building Materials*, 235, 117529.
- Zuoren, Y. (1984). Analysis of the temperature field in layered pavement system [J]. *Journal of Tongji University*, 3, 76-85.
- Cosimo Anichini, Alessandro Aliprandi, Sai Manoj Gali, Fabiola Liscio, Vittorio Morandi, Andrea Minoia, David Beljonne, Artur Ciesielski, Paolo Samorì. Ultrafast and Highly Sensitive Chemically Functionalized Graphene Oxide-Based Humidity Sensors: Harnessing Device Performances via the Supramolecular Approach. *ACS Applied Materials & Interfaces* **2020**, 12 (39) , 44017-44025. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c11236>
- Mingxia Lu, Shanshan Liu, Jing Chen, Xia Zhang, Jingchao Zhang, Zhe Li, Bo Hou. Rational-Designed Hybrid Aerogels for Ultra-Flyweight Electrochemical Energy Storage. *The Journal of Physical Chemistry C* **2020**, 124 (29) , 15688-15697. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c02217>
- Kader Dağcı Kıranşan, Ezgi Topçu. Conducting Polymer-Reduced Graphene Oxide Sponge Electrode for Electrochemical Detection Based on DNA Hybridization. *ACS Applied Nano Materials* **2020**, 3 (6) , 5449-5462. <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c00782>
- David López-Díaz, M. Dolores Merchán, M. Mercedes Velázquez, Armando Maestro. Understanding the Role of Oxidative Debris on the Structure of Graphene Oxide Films at the Air–Water Interface: A Neutron Reflectivity Study. *ACS Applied Materials & Interfaces* **2020**, 12 (22) , 25453-25463. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c05649>
- Myung-Joo Park, Youngjun Park, Jang-Sik Lee. Solution-Processed Multiterminal Artificial Synapses Based on Ion-Doped Solid Electrolytes. *ACS Applied Electronic Materials* **2020**, 2 (2) , 339-345. <https://doi.org/10.1021/acsaelm.9b00788>