

بررسی تأثیر پدیده گرمایش جهانی بر رده‌بندی عملکردی قیر در ایران

محمد مهدی دادائی، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
فریدون مقدس‌نژاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
پوریا حاجی کریمی*، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

Email: phajikarimi@aut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۹ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰

چکیده

در دهه‌های اخیر، افزایش جمعیت، توسعه فزاینده شهرها و صنایع آلاینده سبب افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای و ایجاد پدیده گرمایش جهانی در مناطق مختلف جهان شده است. روسازی‌های آسفالتی به عنوان زیرساخت اصلی سیستم حمل و نقل جاده‌ای، به دلیل خصوصیات رئولوژیک خود، می‌توانند تحت تأثیر این پدیده دچار خرابی‌هایی با هزینه ترمیم هنگفت شوند. در این مطالعه، با استفاده از مدل Prophet، دمای سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۱ در سه دوره ۷ ساله، تحت سه سناریوی خوش‌بینانه، میانه و بدبینانه پیش‌بینی شده است. دقت پیش‌بینی این مدل براساس ضریب برازش به طور متوسط بیش از $R^2=0.8$ بوده است. سپس، بر اساس پیش‌بینی انجام شده، نیاز کشور به قیرهای با رده‌بندی عملکردی متفاوت در مقایسه با مقادیر موجود نمایش داده شده است. همچنین، با پیش‌بینی و محاسبه رده‌بندی عملکردی قیر سال ۱۴۴۰ و ارائه نتایج در دو سطح اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪ برای ۳۴ ایستگاه هواشناسی در ۳۱ استان ایران، دید بلندمدتی از وضعیت دمایی و رده‌بندی عملکردی مورد نیاز قیر، بر اساس اطلاعات هواشناسی هر ایستگاه، ارائه شده است. افزایش دمای میانگین ایستگاه‌های مورد بررسی در پایان دوره ۲۱ ساله، ۰/۷۳ و ۱/۰۹۴ درجه سلسیوس، به ترتیب در سطوح اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪، بوده است. با توجه به این نتایج، اکثر مناطق مورد مطالعه در سال‌های آتی، افزایش دمای قابل توجهی را تجربه کرده و این پدیده، افزایش دمای زیاد و کم عملکردی قیر را سبب می‌شود که موجب نیاز به استفاده از قیرهای ۱۰-۷۶ و ۱۰-۸۲ می‌گردد. افزایش دمای زیاد و کم عملکردی لزوم استفاده از قیرهای جایگزین و افزودنی‌های مناسب قیر برای هر شرایط اقلیمی را ایجاب خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: گرمایش جهانی، پیش‌بینی دما، رده‌بندی عملکردی قیر، پروتکل سوپرپیو، مدل Prophet.

۱. مقدمه

راه‌های آسفالتی به دلیل دارا بودن سطح صاف، انعطاف-پذیری و راحتی بیشتر در حرکت، رایج‌ترین نوع روسازی در شبکه‌های جاده‌ای جهان هستند (ما و همکاران، ۲۰۲۱). در ایران نیز با توجه به سابقه استفاده از روسازی‌های آسفالتی و نیز منابع غنی نفتی که منشأ تولیدات قیری هستند، این نوع از روسازی، سطح غالب راه‌های کشور را پوشانده است. مطابق گزارش تفصیلی سال ۱۴۰۰ سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای وزارت راه و شهرسازی، کل طول جاده‌های کشور ۲۹۱۳۰۶ کیلومتر است که مقدار ۱۹۵۴۹۹ کیلومتر، یعنی حدود ۶۷ درصد از آن‌ها، جاده‌های آسفالتی هستند (سازمان راهداری، ۲۰۲۲). همچنین، مطابق گزارش این سازمان در سال ۱۳۹۸، هزینه تعمیر و نگهداری ۲۲۰ هزار کیلومتر از راه‌های کشور، معادل ۲۰ هزار میلیارد تومان بوده است (سازمان راهداری، ۲۰۱۹). بنابراین، با توجه به هزینه‌های زیاد تعمیر و نگهداری و وسعت روسازی‌های آسفالتی در ایران، جلوگیری از خراب شدن این روسازی‌ها پیش از پایان عمر طرح، مستلزم ارائه طرح اولیه با اشراف بر شرایط بارگذاری و محیطی است. از طرفی، افزایش جمعیت، توسعه سریع شهرها و مراکز صنعتی، افزایش گازهای گلخانه‌ای و مواد آلاینده را در پی داشته و موجب ایجاد تغییرات اقلیمی و آسیب‌های شدید زیست‌محیطی برای همه جانداران شده است (هاردی، ۲۰۰۳). مهم‌ترین اثر تغییرات اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای مانند متان و کربن‌دی‌اکسید، پدیده افزایش دمای جهانی موسوم به گرمایش جهانی است. مطابق مطالعات انجام شده، از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ دمای سطح زمین و اقیانوس‌ها به طور متوسط ۰/۸۵ درجه سلسیوس افزایش داشته است (استوکر، ۲۰۱۴). همچنین، پیش‌بینی می‌شود با نرخ رشد صنایع و تولید فزاینده گازهای گلخانه‌ای و در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در این زمینه، دما تا سال ۲۱۰۰، ۲/۵

الی ۷/۸ درجه سلسیوس افزایش یابد (ادنهوفر و همکاران، ۲۰۱۴). افزایش دمای ناشی از پدیده گرمایش جهانی می‌تواند از نظر فیزیوشیمیایی و رئولوژیک بر مواد و تجهیزات استفاده شده توسط انسان در سازه‌های مختلف آثار مخرب و جبران‌ناپذیری را وارد کند.

مخلوط آسفالتی متشکل از مصالح سنگی، ماده قیر به عنوان چسباننده و حفرات هوا است. قیر ماده‌ای ویسکوالاستیک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متغیر نسبت به زمان، دما و نرخ بارگذاری است. از این رو، قیر موجود در مخلوط آسفالتی نسبت به سایر اجزای آن ظرفیت بیشتری برای متأثر شدن از پدیده تغییرات اقلیمی و افزایش دمای ناشی از آن دارد. به همین دلیل، انتخاب قیر مناسب با توجه به شرایط دمایی و ترافیکی به منظور کنترل ترک‌ها و خرابی‌های مختلف ضروری است. روش‌های سنتی طبقه‌بندی قیرها که مبتنی بر درجه نفوذ و گرانش هستند، به دلیل عدم در نظر گرفتن شرایط دمایی روسازی در زمان بهره‌برداری نمی‌توانند عملکرد مناسب و دقیقی داشته باشند. به همین دلیل، روش رده‌بندی قیر مبتنی بر عملکرد آن در پروتکل سوپرپیو^۱ به عنوان بخشی از برنامه تحقیقات استراتژیک راه‌ها^۲ از سال ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۳ توسعه داده شده است (کندی و همکاران، ۱۹۹۴). این روش، با توجه به اطلاعات دمایی ۳۰ سال گذشته، رده‌بندی عملکردی قیرهای مختلف را ارائه می‌کند. با این حال، تغییرات دمایی در دوره طرح که معمولاً بین ۲۰ تا ۴۰ سال آینده است در تعیین رده‌بندی عملکردی قیر در نظر گرفته نمی‌شود.

به منظور توسعه مدل‌های پیش‌بینی دما بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی، داده‌های دمایی در برابر زمان به صورت پیوسته اندازه‌گیری و گزارش می‌شوند. این مجموعه داده با عنوان داده‌های سری زمانی شناخته می‌شوند. روش‌های مختلفی به منظور تحلیل این نوع از داده‌ها وجود دارد که روش‌های سری زمانی، شبکه‌های عصبی مصنوعی بازگشتی مانند RNNs و LSTMs جزو

^۲- Strategic Highway Research Program

^۱- Superpave Protocol

که مدل Prophet عملکرد مناسب تری از مدل‌هایی مانند Auto ARIMA و یا Bagged داشته است و نیز با افزایش بازه پیش‌بینی از ۱ روز به ۷ روز، نتایج مدل بهبود یافته است. مطابق این مطالعات، اگرچه مدل Prophet در برخی پیش‌بینی‌ها نسبت به مدل‌های شبکه عصبی دارای دقت ۵ الی ۱۰ درصد کمتری بوده است اما به سبب سرعت پردازش بیشتر و عدم نیاز به تنظیم هایپرپارامترهای مختلف، در مواجهه با مجموعه داده‌های بزرگ، روش بسیار مناسبی ارائه کرده است.

روش رایج انتخاب قیر با رده‌بندی عملکردی مناسب، به سبب در نظر گرفتن داده‌های دمایی پیشین و نادیده گرفتن تغییرات دمایی تا پایان دوره طرح ۲۰ الی ۴۰ ساله نمی‌تواند عملکرد مناسبی در ارائه طرح اختلاط روسازی‌های آسفالتی داشته باشد. از این رو، داشتن یک پیش‌بینی نسبتاً دقیق و سریع از شرایط دمایی محل مورد نظر در آینده با استفاده از داده‌های تاریخی دمایی منطقه، برای ارائه طرح اختلاط مناسب برای یک مخلوط آسفالتی بسیار حائز اهمیت است. بر این اساس، در مطالعه‌ای ویولا و سلاوور (۲۰۱۵) تأثیر شرایط آب‌وهوایی بر رده‌بندی عملکردی ۲۰ سال آبی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که رده‌بندی عملکردی ۶۴-۲۲ رایج‌ترین نوع مورد نیاز ایتالیا است زیرا ۵۵ درصد از سطح این کشور این رده‌بندی را نیاز داشته است. همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد که برای پوشش کل مناطق آب-وهوایی به قیرهای اصلاح شده با پلیمر نیاز است.

هدف از مطالعه حاضر، بررسی تأثیر پدیده گرمایش جهانی بر رده‌بندی عملکردی قیر در کشور ایران مطابق با نشریه ۲۳۴ (آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور) است. سپس پور و همکاران (۲۰۲۱) برای ۱۳ شهر ایران، با استفاده از روش سری زمانی، به پیش‌بینی دما با استفاده از اطلاعات اقلیمی MERRA موجود در پایگاه جامع بلندمدت اطلاعات

روش‌های متداول پیش‌بینی مجموعه‌های سری زمانی هستند. در این مطالعه، به منظور پیش‌بینی دما از مدل Prophet استفاده شده است که مطابق مطالعات پیشین در حالی که دقت نسبتاً مناسبی ارائه می‌کند، سرعت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها نیز دارد (منسولینی و همکاران، ۲۰۲۱). هریس و همکاران (۲۰۲۲)، در پژوهشی، به پیش‌بینی دمای هوای شهر جاکارتا با استفاده از مدل‌های LSTM و Prophet پرداخته‌اند. در این پژوهش، دمای هوا در بازه‌های زمانی ۲ تا ۱۶۸ ساعت مورد پیش‌بینی قرار گرفته‌اند که مطابق نتایج، با افزایش بازه زمانی پیش‌بینی، خروجی مدل Prophet دارای خطای کمتری نسبت به LSTM بوده است. او و فایو (۲۰۲۰)، با استفاده از مدل Prophet دمای شهر ماینتکینا، از شهرهای میانمار، را پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده است که پیش‌بینی دمای دو سال آینده بسیار نزدیک و منطبق بر داده‌های اندازه‌گیری شده است؛ اما با افزایش بازه زمانی، خطا بیشتر شده است. توهارودین و همکاران (۲۰۲۳)، با استفاده از روش‌های LSTM و Prophet به پیش‌بینی دمای هوای شهر باندونگ در کشور اندونزی پرداخته‌اند. اگر چه تفاوت قابل توجهی میان نتایج دو مدل وجود نداشته است اما عملکرد مدل Prophet در پیش‌بینی دمای بیشینه و مدل LSTM در پیش‌بینی دمای کمینه بهتر از دیگری بوده است. جاگانانتهان و دیویا (۲۰۲۱)، به تحلیل و پیش‌بینی اقلیمی با استفاده از مدل Prophet پرداخته‌اند. در این مطالعه، مدل‌های Prophet، LSTM، ARIMA و نیز EMP که به نوعی مدل بهبود یافته Prophet است، استفاده و مقایسه شده‌اند. بر این اساس، پارامترهای صحت مدل برای مدل‌های فوق‌الذکر به ترتیب ۹۷/۵، ۹۶/۹۵، ۸۷/۷۸ و ۹۹/۹ درصد بوده است که بیانگر دقت بالای مدل‌های Prophet ساده و بهبودیافته نسبت به مدل‌های سری زمانی است. تیاگاراچان و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل Prophet به پیش‌بینی دما و ردیابی ناهمسانی در سیستم‌های حسگر دمایی در سطح دریا پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده است

بدبینانه را گزارش و دید بهتری به محققین برای ارائه طراحی روسازی‌های آسفالتی در ۴ دهه آتی ارائه کند.

۲. داده‌های مورد استفاده و روش‌شناسی

پژوهش

۱-۲. مناطق مورد مطالعه و داده‌ها

داده‌های دمایی ایستگاه‌های هواشناسی شهرهای مختلف ایران از سازمان هواشناسی ایران اخذ شده است. برای هر شهر اطلاعات تمامی ایستگاه‌های موجود گرفته شده است. اما با توجه به اینکه در پروتکل سوپرپیو استفاده از دوره ۳۰ ساله دمایی مورد تأکید است با توجه به نقصان موجود در برخی از ایستگاه‌های جدید سازمان هواشناسی، از استان تهران چهار ایستگاه و از هر یک از دیگر استان‌ها یک ایستگاه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. در جدول ۱، نام ایستگاه‌های منتخب برای پیش‌بینی رده‌بندی عملکردی قیر در پایان سال ۱۴۴۰ نمایش داده شده است. در این جدول، مختصات جغرافیایی هر یک از ایستگاه‌های منتخب براساس سیستم مختصات جغرافیایی مطابق با مشخصات ثبت شده در مجموعه داده سازمان هواشناسی ایران آورده شده است.

روسازی ۱ و سپس تعیین رده‌بندی عملکردی قیر مورد نیاز آن پرداخته‌اند. علت استفاده از اطلاعات پایگاه MERRA عدم دسترسی به اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی ایران در زمان انجام مطالعه ذکر شده است. در مطالعه حاضر، پیش‌بینی دما در سال‌های ۱۴۰۷، ۱۴۱۴، ۱۴۲۱ و نیز ۱۴۴۰ به منظور بررسی آثار پدیده گرمایش جهانی در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلند-مدت انجام شده است. از آنجا که مجموعه دمایی موجود در پایگاه داده LTPP دقت کمی داشته و با دمای هوا در سطح زمین اختلاف زیادی دارد، استفاده از داده‌های دقیق دمایی استخراج شده از مجموعه داده‌های اقلیمی سازمان هواشناسی ایران در مطالعه پیش رو مورد توجه بوده است. در بخشی از نتایج، رده‌بندی عملکردی قیر در سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۴۰ به صورت کلی و با دید مدیریت تولیدات قیر کشور ارائه شده است تا صرفه اقتصادی تولید رده‌های مختلف عملکردی بیش از پیش مورد توجه تولیدکنندگان نیاز قیر کشور باشد. در بخش دیگر، نتایج رده‌بندی عملکردی قیر در سال ۱۴۴۰ به تفکیک هر ایستگاه در دو سطح اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪ ارائه شده است تا حداکثر افزایش دمای هر ایستگاه و رده‌بندی عملکردی مورد نیاز آن برای سه سناریوی خوش‌بینانه، میانه و

جدول ۱. اسامی ایستگاه‌های منتخب ۳۱ استان کشور به همراه مختصات جغرافیایی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه
اهواز	۴۸/۷۴۴	۳۱/۳۴۴	کرمان	۵۶/۳۷۳	۳۰/۲۵۶	شیراز	۵۲/۶۰۳	۲۹/۵۶۱
کرج	۵۰/۹۵۴	۳۵/۸۰۷	کرمانشاه	۴۷/۱۵۳	۳۴/۳۵۲	تبریز	۴۶/۲۴۲	۳۸/۱۲۲
اراک	۴۹/۷۸۳	۳۴/۰۷۲	خرم‌آباد	۴۸/۲۸۴	۳۳/۴۳۹	یاسوج	۵۱/۵۵۵	۳۰/۶۹۹
بندرعباس	۵۶/۳۷۳	۲۷/۲۱۴	مشهد	۵۹/۶۳۱	۳۶/۲۳۷	یزد	۵۴/۲۸۹	۳۱/۹۰۴
اردبیل	۴۸/۳۲۹	۳۸/۲۱۸	ارومیه	۴۵/۰۵۵	۳۷/۶۵۹	زاهدان	۶۰/۹۰۰	۲۹/۴۷۲
بیرجند	۵۹/۲۸۳	۳۲/۸۹۱	قزوین	۵۰/۰۲	۳۶/۳۱۹	زنجان	۴۸/۵۲۲	۳۶/۶۶۰
بجنورد	۵۷/۳۰۳	۳۷/۴۸۷	قم	۵۰/۸۵۵	۳۴/۷۷۵	فرودگاه مهرآباد	۵۱/۳۰۹	۳۵/۶۹۳
فرودگاه بوشهر	۵۰/۸۱۹	۲۸/۹۶۳	رشت	۴۹/۶۲۴	۳۷/۳۲۳	آبعلی	۵۱/۸۸۳	۳۵/۷۵

1- Long-Term Pavement Performance (LTPP)

۳۵/۷۹۹	۵۱/۴۸۵	شمیرانات	۳۵/۲۵۴	۴۷/۰۱۵	سندج	۳۲/۷۴۴	۵۱/۸۶۳	فرودگاه اصفهان
۳۵/۷۴۷	۵۱/۳۸۷	ژئوفیزیک	۳۶/۵۳۷	۵۲/۹۸۷	ساری	۳۶/۹۰۵	۵۴/۴۱۳	گرگان
			۳۵/۵۸۸	۵۳/۴۲۱	سمنان	۳۴/۸۶۹	۴۸/۵۳۵	فرودگاه همدان
			۳۲/۲۹۲	۵۰/۸۳۹	شهرکرد	۳۳/۵۸۸	۴۶/۳۹۸	ایلام

۲-۲. آماده سازی داده‌ها

از آن‌ها در مطالعه حاضر وجود نداشته است. پروتکل سوپرپیو به منظور رده‌بندی قیر از خصوصیات عملکردی مورد نیاز آن در شرایط محیط بهره‌برداری استفاده می‌کند. به این منظور، با استفاده از حداکثر میانگین دمای هفت روز متوالی و حداقل دمای هر سال در این بازه زمانی برای هر منطقه به ارائه حدود دمایی عملکردی بالا و پایین قیر می‌پردازد. در این پروتکل، دمای هوا مطابق با روابط (۱) و (۲) با در نظر گرفتن عرض جغرافیایی هر منطقه آب‌وهوایی به دمای روسازی در عمق ۲۰ میلی‌متری برای دمای بالا و سطح روسازی برای دمای پایین تبدیل می‌شود (آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور):

$$T_{20mm} = (T_{air} - 0.00618Lat^2 + 0.2289Lat + 42.2)(0.9545) - 17.78 \quad (1)$$

$$T_{Surface} = 0.859T_{air} + 1.7 \quad (2)$$

در رابطه (۱)، T_{20mm} ، T_{air} و Lat به ترتیب حداکثر دمای روسازی در عمق ۲۰ میلی‌متر بر حسب درجه سلسیوس، بیشینه میانگین دمای هفت روز متوالی سال بر حسب درجه سلسیوس و عرض جغرافیایی ناحیه بر حسب درجه است. در رابطه (۲) نیز $T_{Surface}$ و T_{air} به ترتیب حداقل دمای روسازی در سطح روسازی بر حسب درجه سلسیوس و حداقل دمای هوای روسازی بر حسب درجه سلسیوس می‌باشد.

بر اساس پروتکل سوپرپیو، طراحی در سطوح مختلف قابلیت اطمینان نظیر ۵۰٪ و ۹۸٪ می‌تواند انجام شود. انتخاب سطوح اطمینان با توجه به نوع جاده، دسترسی به قیر و بارگذاری ترافیکی بر اساس دستورالعمل سوپرپیو انجام می‌شود. به این منظور، برای طراحی در حالت با ریسک کمتر خرابی روسازی، یعنی سطح اطمینان ۹۸٪،

از آنجا که مدل Prophet نسبت به داده‌های ناقص حساس است، به منظور استفاده از این مدل و نیز پیش‌بینی هرچه دقیق‌تر دما در سال هدف، دما در روزهایی که ثبت و گزارش نشده است با توجه به دمای روز قبل از آن جایگزین می‌شود. این فرض با توجه به تغییرات محدود دما در فواصل کم زمانی مانند ۲۴ ساعت، خطای قابل ملاحظه‌ای در محاسبات وارد نمی‌کند. بدین ترتیب، برای تمامی ایستگاه‌ها ۱۰۹۵۸ داده دمایی روزانه (۳۰ سال کامل) حاصل شده که به عنوان ورودی مدل Prophet استفاده می‌شوند.

۲-۳. محاسبه رده‌بندی عملکردی (PG) مطابق

پروتکل سوپرپیو

در فصل پنجم آیین‌نامه روسازی راه‌های ایران (نشریه شماره ۲۳۴)، در توضیح جدول مشخصات قیر بر اساس عملکرد، عنوان شده که «دمای طرح روسازی را می‌توان از دمای هوا و با استفاده از الگوریتم ارائه شده در نرم‌افزار روسازی ممتاز یا روش‌های پیشنهادی مؤسسات مربوطه تخمین زد». بنابراین از منظر تنها ضابطه قابل استناد در کشور ایران، رابطه واسنجی شده‌ای برای تعیین دمای طرح روسازی وجود ندارد و می‌بایست به روابط پروتکل سوپرپیو مراجعه کرد. از طرفی، استفاده از مدل‌های بومی - محلی مانند مطالعات طباطبایی و همکاران (۲۰۰۸)، آصف‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) و صدیقیان‌فرد و صولتی‌فر (۲۰۲۱) نیازمند سطح بیشتری از اطلاعات هواشناسی مانند دمای سطح روسازی، زمان اندازه‌گیری دما، تابش آفتاب، نوع قیر و درصد آن بوده است، که این اطلاعات در دسترس نویسندگان نبوده و امکان استفاده

باید به دمای حاصل از معادلات (۱) و (۲)، دو برابر انحراف معیار داده‌های هفت روز متوالی و حداقل دمای روزانه، به ترتیب افزوده و کاسته شود. در جدول ۲، نمونه‌ای از محاسبات دمای حداکثر و حداقل روسازی

برای ایستگاه‌هایی از هر نوع اقلیم کشور (گرمسیر و سردسیر) به منظور نمایش چگونگی پراکندگی دمایی ارائه شده است.

جدول ۲. نمونه محاسبات دمای حداکثر و حداقل روسازی در سال ۱۴۰۱ شمسی

ایستگاه هواشناسی	عرض جغرافیایی (°)	حداکثر میانگین دمای ۷ روز متوالی (°C)		حداقل دمای هوا (°C)		دمای حداکثر روسازی (°C)		دمای حداقل روسازی (°C)	
		دما	انحراف معیار	دما	انحراف معیار	۵۰٪	۹۸٪	۵۰٪	۹۸٪
فرودگاه مهرآباد	۳۵/۶۹۳	۳۳/۱۴	۴/۱۵	-۱/۷	۱/۸۳	۵۴/۱۴	۶۲/۳۴	۰/۲۴	-۲/۹۱
فرودگاه اصفهان	۳۲/۷۴۴	۳۱/۴۲	۱/۰۶۲	-۴/۳۳	۲/۵۲	۵۳/۳۲	۵۵/۳۴	-۲/۰۲	-۶/۳۴
مشهد	۳۶/۲۳۶	۳۰/۸۲	۱/۱۸	-۶/۳۸	۳/۰۶۶	۵۲/۰۹	۵۴/۳۵	-۳/۷۸	-۹/۰۵
اهواز	۳۱/۳۴۴	۴۰/۰۱	۱/۰۴	۰/۰	۱/۷	۶۱/۷۴	۶۳/۷۲	۱/۷	۱/۷
تبریز	۳۸/۱۲۲	۲۹/۸۸	۱/۴	-۸/۹۶	۲/۶۷	۵۰/۷۸	۴۲/۴۵	-۵/۹۹	-۱۰/۵۸
کرمان	۳۰/۲۵۶	۳۱/۰۰	۰/۷۸	-۳/۰۳	۲/۳۳	۵۳/۳۰	۵۴/۷۸	-۰/۹۱	-۴/۹۱

در ادامه، با توجه به نتایج حداکثر و حداقل دمای روسازی برای تمامی ایستگاه‌ها، رده‌بندی عملکردی مورد نیاز در کشور در زمان حاضر (۱۴۰۰) و نیز رده‌بندی مورد نیاز با توجه به شرایط آب‌وهوایی آینده، در دو سطح اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪ ارائه می‌گردد.

۲-۴- مدل Prophet

ویژگی‌های این مدل سبب شده است که بتوان به راحتی و بدون دانستن جزئیات پیچیده مدل پایه، آن را مورد استفاده قرار داد (ساتریو و همکاران، ۲۰۲۱؛ ینیدوگان و همکاران، ۲۰۱۸). در این مطالعه، به منظور پیاده‌سازی این مدل، از زبان برنامه نویسی پایتون استفاده شده است. مؤلفه‌های مدل Prophet که در ادامه آورده می‌شود به ترتیب عبارتند از: روندها، $g(t)$ ، روندهای فصلی، $s(t)$ و تعطیلات، $h(t)$. همچنین، پارامتر $\epsilon(t)$ مربوط به خطای پیش‌بینی مدل است.

$$Y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon(t) \quad (3)$$

مدل Prophet روشی نسبتاً جدید و ساده برای پیش‌بینی داده‌های سری زمانی مبتنی بر روندهای سالانه، ماهانه، هفتگی و روزانه با در نظر گرفتن نامنظمی‌های تقویمی مرتبط با تعطیلات (کاربردی در پیش‌بینی داده‌های مرتبط با بازارهای مالی) است. این مدل در سال ۲۰۱۷ توسط تیم علم داده شرکت متا (Facebook) توسعه داده شده است (ویشواس و پاتل، ۲۰۲۰). از مزایای اصلی مدل Prophet سرعت و دقت مناسب آن در پیش‌بینی داده‌ها و نیز حفظ روابط فصلی داده‌ها است (ارسلان، ۲۰۲۲).

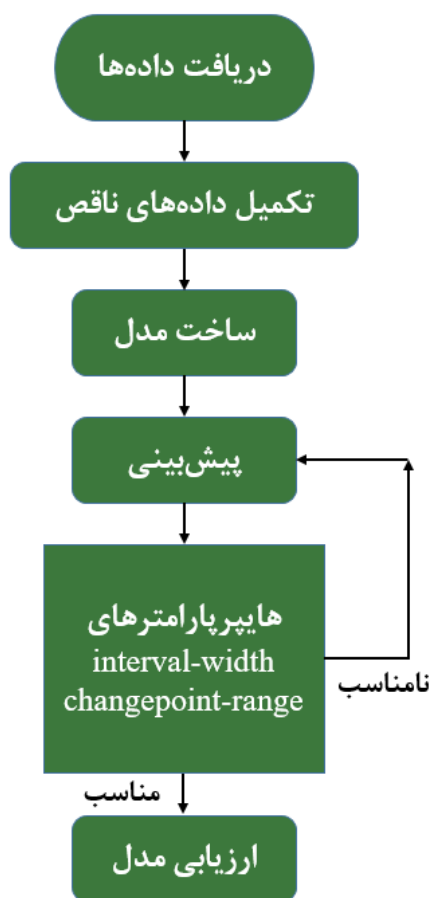
زیادی تنظیم شود مدل دچار بیش‌برازش خواهد شد. همچنین، $interval_width$ یکی از هایپرپارامترهایی است که در این پژوهش به منظور در نظر گرفتن اکثریت داده‌های پرت دمایی برای تنظیم از صفر تا ۱ در بازه‌های مختلفی در نظر گرفته شده است. هایپرپارامتر $change_point_range$ می‌تواند مقادیر صفر تا ۱ را دریافت کند که معرف میزان داده‌های تاریخی است که قادر هستند روند تشکیل شده را تغییر دهند و در تنظیم مدل برای هر ایستگاه هواشناسی مقادیر مختلفی داشته است. سایر هایپرپارامترها از جمله پارامترهای مربوط به شناسایی روندهای فصلی هفتگی، ماهانه و سالانه همه در حالت خودکار قرار گرفتند زیرا بهترین خروجی را در برابر تنظیمات دستی ارائه کرده‌اند. شکل ۱ مراحل مدل-سازی با استفاده از این مدل را نمایش داده است.

توابع روند فصلی با استفاده از تابع فوریه مطابق رابطه (۳) به تخمین ارتباط فصلی می‌پردازد و تابع روند کلی نیز می‌تواند خطی یا نمایی مانند رابطه (۴) با توجه به ارتباط موجود در داده‌های گذشته باشد.

$$s(t) = \sum_{n=1}^N (a_n \cos(\frac{2\pi n t}{p}) + b_n \sin(\frac{2\pi n t}{p})) \quad (4)$$

۲-۴-۱. تنظیم هایپرپارامترهای مدل

مدل Prophet دارای چندین هایپرپارامتر است و البته اکثر هایپرپارامترها به وسیله خود مدل و مقادیر پیش فرض تنظیم می‌شوند. به طور مثال، $change_point_prior_scale$ یکی از هایپرپارامترهایی است که بهتر است به طور اتوماتیک تنظیم گردد. این پارامتر معرف میزان تغییرات روند کلی مدل ساخته شده است و اگر مقدار کوچکی فرض شود مدل دقت کمی خواهد داشت و اگر با مقادیر



شکل ۱. مراحل مدل‌سازی با استفاده از مدل Prophet

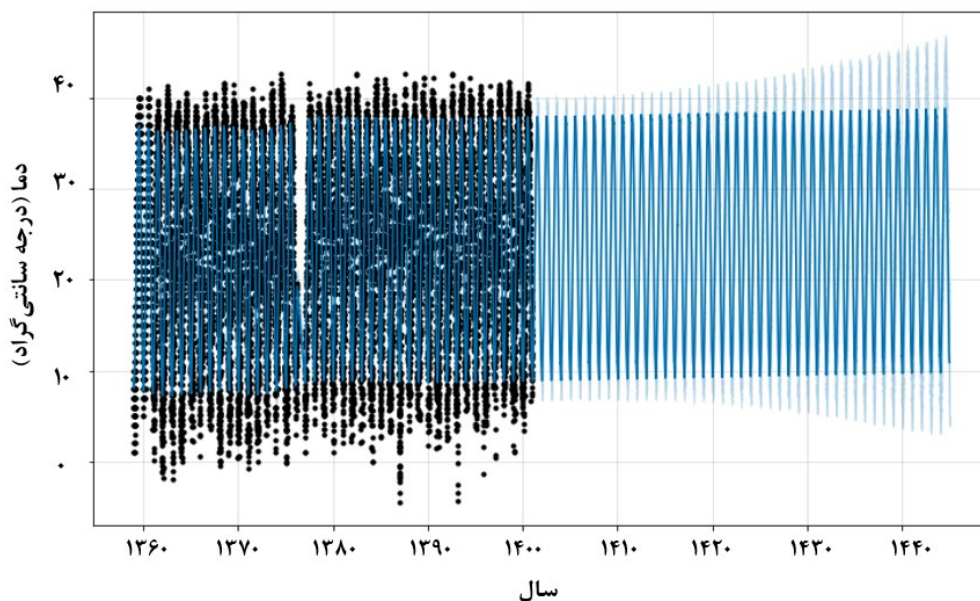
۳. یافته‌ها و بحث

۳-۱- اطلاعات دمایی شهرهای ایران در سال

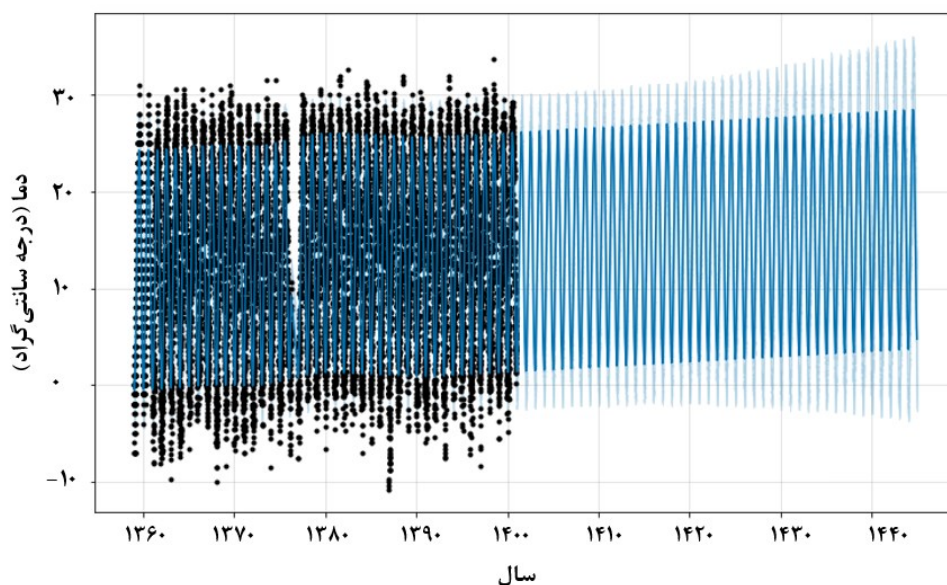
۱۴۴۰

پیش‌بینی با استفاده از مدل Prophet سه داده دمایی با عناوین دمای کمینه، دمای میانه و دمای بیشینه برای هر روز ارائه می‌کند که می‌توان با لحاظ کردن هر یک از این دماها به سناریوهای خوش‌بینانه، میانه و بدبینانه برای دما

در سال ۱۴۴۰ رسید. در این مرحله از مدل Prophet به منظور پیش‌بینی دمای سال‌های ۱۴۰۱ تا ۱۴۴۰ با استفاده از داده‌های دمایی سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۰ استفاده شده است. نتایج مدل در دمای زیاد و کم روزانه برای ایستگاه فرودگاه مهرآباد استان تهران (به عنوان یک نمونه از محاسبات انجام شده)، به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲. پیش‌بینی حدود دمایی بیشینه روزانه ایستگاه فرودگاه مهرآباد



شکل ۳. پیش‌بینی حدود دمایی کمینه روزانه ایستگاه فرودگاه مهرآباد

در ادامه، آماره‌های مشابه سال ۱۴۰۰ در جدول ۱ برای ایستگاه فرودگاه مهرآباد در سه سناریوی مد نظر در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. نمونه محاسبات دمای حداکثر و حداقل پیش‌بینی شده برای روسازی در سال ۱۴۴۰ شمسی در ایستگاه فرودگاه مهرآباد

سناریو	دمای بالا/پایین	حداکثر میانگین دمای ۷ روز متوالی (°C)		حداقل دمای هوا (°C)		دمای حداکثر روسازی (°C)		دمای حداقل روسازی (°C)	
		انحراف معیار	دما	انحراف معیار	دما	سطح اطمینان رده‌بندی عملکردی (%)	۵۰	۹۸	۵۰
خوش‌بینانه	بالا	۲۹/۳۳	۲/۹۷	-	-	۵۰/۷۶	۵۶/۴۵	-	-
	پایین	-	-	۰/۰	۰/۰	-	-	۱/۷	۱/۷
میانه	بالا	۳۸/۳۲	۰/۱۸۳	-	-	۵۹/۳۶	۶۳/۱۸	-	-
	پایین	-	-	۱/۸۴	-۱/۲۵	-	-	۰/۶۳	-۲/۵۳
بدبینانه	بالا	۴۶/۹۳	۲/۹۹	-	-	۶۷/۵۸	۷۳/۳۱	-	-
	پایین	-	-	۰/۵۳	-۲/۵۲	-	-	-۰/۴۶	-۱/۳۶

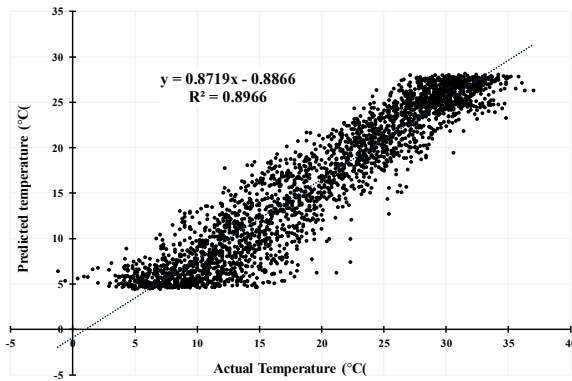
گرمایش جهانی را به ویژه در مناطق گرمسیر آشکار می‌سازد.

۲-۳. ارزیابی نتایج مدل پیش‌بینی دما

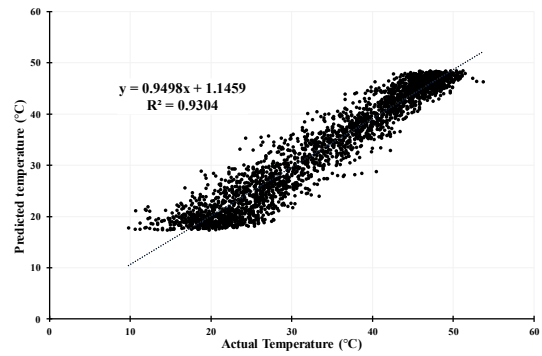
با تقسیم داده‌های هر ایستگاه به داده‌های آموزش (از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴) و داده‌های تست (از ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱) و پیش‌بینی داده‌های ۷ ساله منتهی به ۲۰۲۱ به ارزیابی مدل Prophet آن ایستگاه پرداخته شده است. بر این اساس ضریب برازش R^2 هر چقدر به مقدار یک نزدیک‌تر باشد، دقت مدل بیشتر است. در شکل ۴، نتایج ارزیابی چند ایستگاه در دمای زیاد عملکردی سناریوی میانه و نیز دمای کم عملکردی سناریوی میانه آورده شده است. دقت پیش‌بینی‌ها با توجه به معیار ضریب برازش و البته مطالعات مشابه در این مقیاس دقت مناسبی است.

همچنین، مطابق نتایج پیش‌بینی دمایی سال‌های ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۱ در سه دوره ۷ ساله، میزان افزایش متوسط دمای ۳۴ ایستگاه هواشناسی منتخب کشور، در دوره ۷ ساله اول یعنی تا سال ۱۴۰۷ برابر ۰/۳۲ و ۰/۵۸ درجه سلسیوس به ترتیب در سطوح اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪ بوده است. همچنین، میزان متوسط افزایش در کل مدت ۲۱ سال تا پایان سال ۱۴۲۱، برابر ۰/۷۳ و ۱/۰۹۴ درجه سلسیوس به ترتیب در سطوح اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪ بوده است. دمای متوسط کمینه روسازی نیز در دوره ۷ ساله در سطوح اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪ به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۰۸۵ و در دوره ۲۱ ساله، ۰/۶۹ و ۰/۵۱ درجه سلسیوس افزایش یافته است. این متوسط افزایش دما و نرخ افزایش در طول عمر حدودی یک روسازی مقدار بالایی در کل کشور محسوب می‌گردد و اهمیت بررسی موضوع پدیده

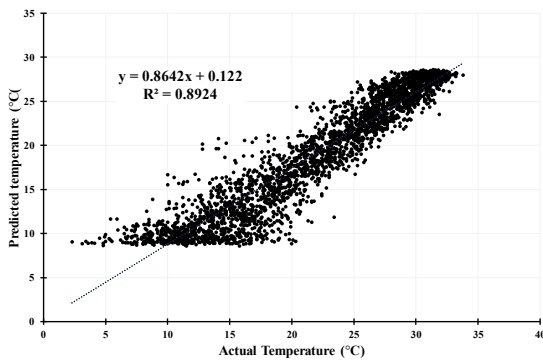
بررسی تأثیر پدیده گرمایش جهانی بر رده‌بندی عملکردی قیر در ایران



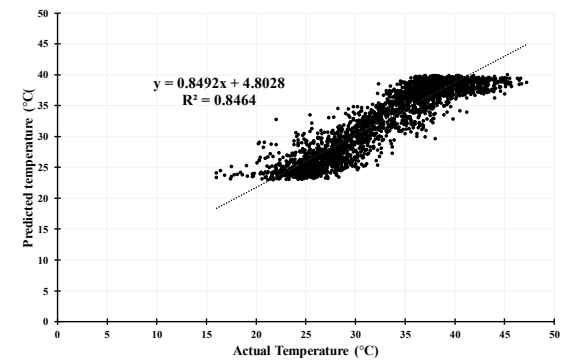
ب-۱



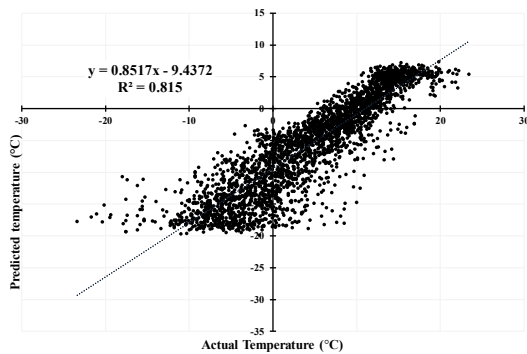
الف-۱



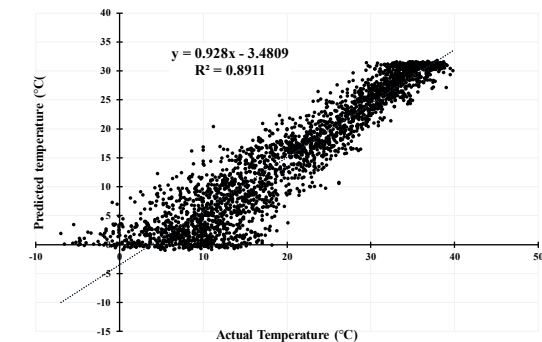
ب-۲



الف-۲



ب-۳



الف-۳

شکل ۴. مقادیر پیش‌بینی دما در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده در بازه ۲۰۲۱-۲۰۱۴؛ (۱) اهواز، (۲) بندرعباس، (۳) همدان؛ الف- دمای زیاد و ب- دمای کم

۳-۳. طبقه‌بندی عملکردی قیر مورد نیاز هر شهر

در سال ۱۴۴۰

میان و بدینانه پرداخته شده است. به منظور رده‌بندی عملکردی قیر در سال ۱۴۴۰ کمیته حدود عملکردی ۱۰- در نظر گرفته شده است، در حالی که در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی دمای حداقل به ۴- درجه سلسیوس هم نرسیده است. همچنین، به منظور مقایسه بهتر شرایط کنونی رده‌بندی عملکردی قیر با سال ۱۴۴۰

در این بخش، به ارائه نتایج نهایی مرتبط با رده‌بندی عملکردی قیر مورد نیاز هر ایستگاه هواشناسی در دو سطح اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪ در سه سناریوی خوش‌بینانه،

وضعیت طبقه بندی عملکردی سال ۱۴۰۰ نیز در کنار همدان، در بدترین سناریو ۲۲- و بیشترین حدود ۱۴۴۰ ارائه شده است. کمترین حدود عملکردی قیر در ایستگاه‌های سردسیر مانند اراک، اردبیل و فرودگاه ایستگاه‌های سردسیر مانند اراک، اردبیل و فرودگاه

جدول ۴. رده‌بندی عملکردی قیر مورد نیاز ایستگاه‌های منتخب ۳۱ شهر ایران در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۴۴۰

نام ایستگاه	طبقه بندی سال ۱۴۰۰												
	سال ۱۴۴۰ بدبینانه		سال ۱۴۴۰ میانه		سال ۱۴۴۰ خوش-بینانه		سطح اطمینان		مقادیر واقعی پیشینه دمای روسازی		مقادیر واقعی کمینه دمای روسازی		
	۹۸٪	۵۰٪	۹۸٪	۵۰٪	۹۸٪	۵۰٪	۹۸٪	۵۰٪	۹۸٪	۵۰٪	۹۸٪	۵۰٪	
اهواز	۸۲-۱۰	۸۲-۱۰	۸۲-۱۰	۷۶-۱۰	۷۶-۱۰	۷۶-۱۰	۷۶-۱۰	۷۶-۱۰	۷۶-۱۰	۱/۰۴	۱/۵۷	۷۱/۵۸	۷۰/۰۱
کرج	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۱۱/۷۳	-۶/۸۱	۶۱/۴۷	۵۹/۲۲
اراک	۷۶-۲۲	۷۰-۱۶	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۲۲	۶۴-۱۶	۶۴-۱۶	-۲۱/۰۸	-۱۱/۸۱	۶۱/۶۴	۵۹/۵۳
بندرعباس	۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۵۲-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۱/۷۰	۱/۷۰	۶۷/۲۷	۶۴/۵۷
اردبیل	۶۴-۲۲	۵۸-۱۶	۵۸-۱۶	۵۲-۱۰	۵۲-۱۰	۵۲-۱۰	۵۸-۲۸	۵۲-۲۲	۵۲-۲۲	-۲۴/۱۵	-۱۷/۱۳	۵۶/۱۳	۵۱/۸۰
بیرجند	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۱۴/۸۱	-۹/۶۸	۶۳/۰۹	۶۰/۹۱
بجنورد	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۵۲-۱۰	۵۲-۱۰	۶۴-۱۶	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	-۱۵/۸۵	-۹/۸۹	۵۹/۶۶	۵۶/۹۸
فرودگاه بوشهر	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۱/۷	۱/۷	۶۵/۶۰	۶۲/۸۲
فرودگاه اصفهان	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۱۳/۴۱	-۸/۹۷	۶۳/۵۲	۶۱/۵۸
گرگان	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۲-۱۰	۵۲-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۴/۹۳	-۱/۴۶	۶۱/۷۲	۵۸/۱۴
فرودگاه همدان	۷۶-۲۲	۷۰-۱۶	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۲-۱۰	۶۴-۲۸	۶۴-۱۶	۶۴-۱۶	-۲۳/۰۷	-۱۵/۱۶	۶۰/۴۲	۵۸/۳۴
ایلام	۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۱۰/۰۹	-۵/۰۵	۶۲/۷۵	۶۰/۲۲
کرمان	۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۱۳/۳۹	-۸/۶۷	۶۲/۶۷	۶۱/۰۸
کرمانشاه	۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۱۲/۸۸	-۸/۰۳	۶۳/۹۵	۶۲/۲۲
خرم‌آباد	۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۸/۴۹	-۴/۳۵	۶۵/۳۳	۶۳/۲۹
مشهد	۷۰-۱۶	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۲-۱۰	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۱۴/۲۵	-۷/۷۷	۶۱/۵۳	۵۹/۱۶
ارومیه	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۱۶	۵۸-۱۶	۵۸-۱۶	-۱۴/۸۳	-۱۰/۱۳	۵۸/۴۴	۵۵/۲۴

۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	-۱۴/۳۳	-۸/۸۲	۶۱/۴۱	۵۹/۳۲	قزوین
۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۷۰-۱۶	۷۰-۱۰	-۱۱/۶۰	-۵/۵۸	۶۶/۶۴	۶۴/۳۷	قم
۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۵۲-۱۰	۵۲-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	-۶/۸۹	-۱/۹۷	۵۷/۷۵	۵۴/۸۵	رشت
۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	-۱۵/۶۴	-۹/۳۸	۶۳/۰۶	۶۱/۰۷	سنندج
۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۲-۱۰	۵۲-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۵/۵۱	-۱/۵۷	۶۰/۱۵	۵۸/۴۹	ساری
۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۶/۸۵	-۳/۳۳	۶۳/۸۹	۶۱/۸۱	سمنان
۷۰-۱۶	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۲۸	۵۸-۱۶	-۲۵/۵۱	-۱۵/۸۶	۵۹/۶۴	۵۷/۶۱	شهرکرد
۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	-۵/۸۹	-۲/۸۱	۶۴/۲۳	۶۲/۴۱	شیراز
۶۴-۱۶	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۱۶	۵۸-۱۰	-۱۴/۹۲	-۹/۹۸	۶۰/۲۸	۵۷/۵۸	تبریز
۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۱۶	۶۴-۱۰	-۱۲/۱۴	-۶/۲۵	۶۱/۳۷	۵۹/۳۰	یاسوج
۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۷۰-۱۰	۷۰-۱۰	-۷/۳۰	-۳/۴۵	۶۶/۰۴	۶۴/۲۱	یزد
۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	-۹/۶۵	-۵/۹۸	۶۳/۳۷	۶۱/۸۹	زاهدان
۷۶-۱۶	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۶۴-۲۲	۵۸-۱۶	-۲۱/۵۱	-۱۵/۵۴	۵۹/۳۴	۵۶/۶۳	زنجان
۷۶-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۲-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	-۶/۵۴	-۳/۱۱	۶۸/۲۷	۵۹/۸۹	فرودگاه مهرآباد
۵۸-۱۰	۵۸-۱۰	۵۲-۱۰	۵۲-۱۰	۵۲-۱۰	۵۲-۱۰	۶۴-۲۲	۵۲-۱۶	-۱۷/۳۰	-۱۲/۱۸	۵۸/۵۹	۵۰/۰۴	آبعلی
۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۵۸-۱۰	۵۲-۱۰	۷۰-۱۰	۵۸-۱۰	-۸/۳۶	-۴/۵۷	۶۶/۷۸	۵۷/۹۲	شمیرانات
۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۶۴-۱۰	۷۰-۱۰	۶۴-۱۰	-۶/۹۷	-۳/۲۷	۶۸/۵۰	۵۸/۶۳	ژئوفیزیک

۳-۴. وضعیت رده‌بندی عملکردی قیرهای مورد

نیاز کشور در سالیان آتی

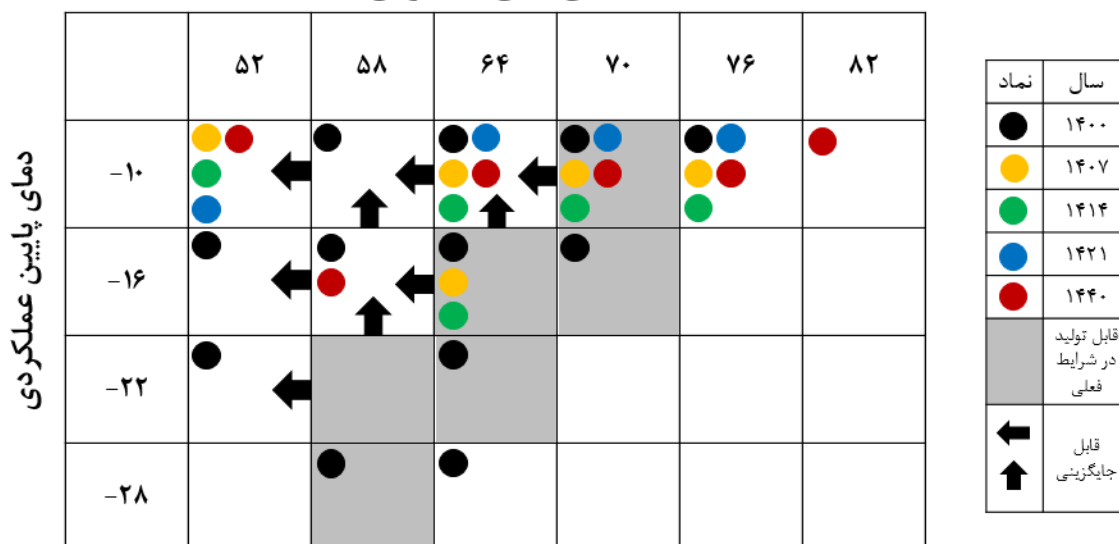
در این بخش، به مقایسه روند تغییرات رده‌بندی عملکردی کلی کشور پرداخته می‌شود. هدف از این بخش، ارائه دید کلی از وضعیت آتی قیر مورد نیاز کشور به منظور ایجاد زیرساخت‌های لازم برای تولید قیرهای مورد نیاز آینده کشور است زیرا ممکن است برخی از انواع رده‌بندی‌های مورد نیاز در سال‌های آینده، در حال حاضر در صنعت قیر کشور موجود نباشد. به این منظور، رده‌بندی‌های عملکردی مورد نیاز قیر کشور در سال‌های

۱۴۰۰، ۱۴۰۷، ۱۴۱۴، ۱۴۲۱ و نیز ۱۴۴۰ به ترتیب با ستاره‌های رنگی مشکی، نارنجی، سبز، آبی و قرمز در شکل ۵ نمایش داده شده است. علت انتخاب فواصل ۷ ساله زمانی برابری نسبی با تأثیر مراتب پیرشدگی تحت فشار قیر به روش PAV (باهیا و اندرسون، ۱۹۹۳) و مقایسه این دو پدیده با یکدیگر بوده است. محاسبات رده‌بندی عملکردی قیر در سال‌های آینده براساس سناریوی میانه پیش‌بینی دمایی بوده است. همچنین، رده‌بندی‌های عملکردی موجود در کشور مطابق با پژوهش افلاکی و طباطبایی (۲۰۰۹)، و نیز اطلاعات اخذ شده از

رده‌بندی‌ها را داشته‌اند با فلش مشکی رنگ مشخص شده‌اند. ضمن آن‌که در رده‌بندی عملکردی ۱۰-۷۶ و ۸۲-۱۰ که در سال‌های آتی مورد نیاز شرایط آب‌وهوایی است هیچ جایگزینی وجود نداشته و باید تولید یا با استفاده از افزودنی‌های مناسب به قیرهای موجود ایجاد شود. همچنین، قیر با رده‌بندی عملکردی ۲۸-۶۴ که تا ۱۴۰۷ همچنان مورد نیاز کشور است، هیچ جایگزینی ندارد و با توجه به عدم نیاز به این رده‌بندی در میان مدت و بلند مدت بهتر است با استفاده از افزودنی‌های مناسب ساخته و در مناطق مورد نیاز استفاده شود.

پالایشگاه‌های کشور با پس زمینه خاکستری مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گروهی از رده‌بندی‌های قیر یعنی ۱۰-۷۶، ۱۰-۷۰، ۱۰-۶۴ و ۱۰-۵۲ از سال ۱۴۰۷ تا ۱۴۴۰ مورد نیاز شرایط مختلف آب‌وهوایی کشور هستند و حاکی از اهمیت و صرفه اقتصادی تولید این رده‌بندی‌ها برای مجموعه‌های پالایشی کشور است. برخی از رده‌بندی‌های عملکردی مورد نیاز ایستگاه‌ها نیز در کشور موجود نیست و باید با استفاده از رده‌های دیگر موجود جایگزین شوند. همچنین، رده‌بندی‌هایی که امکان جایگزین شدن با سایر

دمای بالای عملکردی



شکل ۵. رده‌بندی عملکردی قیر مورد نیاز کشور در سال‌های مختلف در برابر شرایط موجود

و در دو سطح قابلیت اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪ محاسبه شده است. همچنین، با استفاده از داده‌های دمایی دوره‌های ۴۰ ساله و نیز مدل Prophet دمای سال‌های ۱۴۰۷، ۱۴۱۴، ۱۴۲۱ و ۱۴۴۰ محاسبه و رده‌بندی عملکردی هر یک از این سال‌ها پیش‌بینی شده است. نتایج به دست آمده عبارتند از:

- دمای متوسط بیشینه روسازی در سطح کشور، در دوره ۷ ساله در سطوح اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪ به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۵۸ و در دوره ۲۱ ساله، ۰/۷۳ و ۱/۰۹۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است.

۴. نتیجه‌گیری

افزایش دمای هوا ناشی از افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای سبب به خطر افتادن موقعیت زیست‌محیطی بشر شده است. علاوه بر آن، این پدیده در دوره‌های طولانی مدت می‌تواند بر سازه‌های ایجاد شده توسط بشر مانند روسازی راه‌ها، به‌ویژه روسازی‌های آسفالتی به دلیل اینکه حاوی مواد ویسکوالاستیک هستند، آثار مخربی وارد کند. در این پژوهش، با استفاده از داده‌های دمایی ۳۴ ایستگاه هواشناسی از ۳۱ استان ایران، رده‌بندی عملکردی متناسب با آن ایستگاه مطابق پروتکل سوپریو

رده‌بندی عملکردی ۱۰-۸۲ و نیز ۲۸-۶۴ به رده‌های موجود کشور، از طریق تولید قیر با رده‌های مذکور یا استفاده از افزودنی‌های مناسب به جهت ایجاد آن‌ها با توجه به عدم امکان جایگزینی آن‌ها با رده‌های موجود باید مورد توجه محققین و تولیدکنندگان قیر کشور قرار گیرد.

- بررسی دیگر پدیده‌های تأثیرگذار بر رفتار قیر در طول عمر طرح در کنار پدیده گرمایش جهانی به منظور شناسایی کامل رفتار این ماده ضروری است. پدیده پیرشدگی یکی از مهم‌ترین پدیده‌های مؤثر بر خصوصیات قیر است که برخلاف پدیده گرمایش جهانی موجب سخت شدن قیر و افزایش مدول دینامیک آن می‌شود. بررسی تأثیر توأم این دو پدیده بر رده‌بندی عملکردی قیر و مدول دینامیک آن، اطلاعات ارزشمندی از برهمکنش آن‌ها در تغییر خصوصیات قیر و روسازی‌های آسفالتی ارائه می‌کند که در پژوهش‌های آتی به این موضوع پرداخته خواهد شد.

تقدیر و تشکر

این مقاله، در طول تحقیقات مرتبط با پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد با عنوان «مدل‌سازی تأثیر همزمان شرایط آب‌وهوایی و رفتار پیرشدگی بر رده‌بندی عملکردی مورد نیاز قیر» در دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران) نگارش شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر خود را از سازمان هواشناسی کشور به سبب ارائه اطلاعات جامع برخی از ایستگاه‌های هواشناسی کشور جهت استفاده در این پژوهش اعلام کنند.

دمای متوسط کمینه روسازی نیز در دوره ۷ ساله در سطوح اطمینان ۵۰٪ و ۹۸٪ به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۰۸۵ و در دوره ۲۱ ساله، ۰/۶۹ و ۰/۵۱ درجه سلسیوس افزایش یافته است.

- به دنبال افزایش دما، رده‌بندی عملکردی قیر در دمای کم و زیاد در اکثر ایستگاه‌های مورد نظر افزایش رده را تجربه کرده است. این علت را می‌توان مطابق با شرایط تولیدی گازهای گلخانه‌ای نیز در این شهرها توجیه کرد. در ایستگاه‌های معدودی نیز رده‌بندی عملکردی کم قیر مورد نیاز ایستگاه تا سال ۱۴۴۰ ثابت مانده یا کاهش پیدا کرده است.
- دقت پیش‌بینی دما بر اساس معیار ضریب برازش، در شهرهای مورد هدف مقادیر بیش از ۰/۸ را ارائه کرده است که دقت مناسبی از پیش‌بینی سری‌های زمانی است.
- با توجه به افزایش رده عملکردی قیر مورد نیاز در بسیاری از شهرها، توجه به دمای انتهای دوره طرح در زمان طرح روسازی بسیار ضروری است و می‌تواند از تعمیر و نگهداری‌های طول عمر طرح و اعمال هزینه‌های زیاد به سیستم حمل و نقل جاده‌ای پیشگیری کند. همچنین، پیش‌بینی جامعی از قیرهای با رده‌های مختلف عملکردی مورد نیاز ایران در سالیان آینده ارائه شده است که می‌تواند به منظور تکمیل زیرساختی تولیدات قیر مورد توجه قرار گیرد و تولیدات قیر کشور به سمت نیاز غالب پیش رو سوق پیدا کند تا از اعمال هزینه‌های اضافی تعمیر و نگهداری، واردات قیر یا استفاده از افزودنی‌های گران‌قیمت جهت دستیابی به رده عملکردی مورد نیاز در زمان مقتضی پیش‌گیری به عمل آید. افزودن

- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. ۱۳۹۰. آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران، نشریه ۳۳۴.
- A. Asefzadeh, L. Hashemian, A. Bayat, *Development of statistical temperature prediction models for a test road in Edmonton, Alberta, Canada, International Journal of Pavement Research and Technology* (2017), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.05.0>. (n.d.).
- Aditya Satrio, C. B., W. Darmawan, B. U. Nadia, and N. H. (2021). *Time series analysis and forecasting of coronavirus disease in Indonesia using ARIMA model and PROPHET*. *Procedia Computer Science* 179:524–32. doi:10.1016/J.PROCS.2021.01.036.
- Aflaki, S., & Tabatabaee, N. (2009). Proposals for modification of Iranian bitumen to meet the climatic requirements of Iran. *Construction and Building Materials*, 23(6), 2141–2150. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.12.014>
- Arslan, S. (2022). *A hybrid forecasting model using LSTM and Prophet for energy consumption with decomposition of time series data*. *PeerJ Computer Science* 8:e1001. doi:10.7717/peerj-cs.1001.
- Bahia, H.U., Anderson, D. A. (1993). *The pressure ageing vessel (PAV): a test to simulate rheological changes due to field ageing*. In: *Physical Properties of Asphalt Cement Binders Symposium, Dallas, 1993*.
- Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Kadner S, Minx JC, Brunner S, et al. (2014). *Technical Summary*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contrib Work Gr III to Fifth Assess Rep Intergov Panel Clim Chang*. 33–107.
- Francesco Viola, C. C. (2015). *Effect of climate change on asphalt binder selection for road construction in Italy* (pp. 40–47). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.012>
- Jagannathan, J., & Divya, C. (2021). Time Series Analyzation and Prediction of Climate using Enhanced Multivariate Prophet. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 69(10), 89–96. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I10P212>.
- JT, H. (2003). *Climate change: causes, effects, and solutions*. John Wiley & Sons.
- Kennedy TW, Huber GA, Harrigan ET, Cominsky RJ, Hughes CS, Von Quintus H, et al. (1994). *Superior performing asphalt pavements (Superpave): The product of the SHRP asphalt research program*.
- Ma, L., et al. (2021). Comprehensive review on the transport and reaction of oxygen and moisture towards coupled oxidative ageing and moisture damage of bitumen. *Construction and Building Materials*, 283, 122632.
- Menculini, L., Marini, A., Proietti, M., Garinei, A., Bozza, A., Moretti, C., & Marconi, M. (2021). Comparing Prophet and Deep Learning to ARIMA in Forecasting Wholesale Food Prices. In *Forecasting* (Vol. 3, Issue 3, pp. 644–662). <https://doi.org/10.3390/forecast3030040>
- Mohammad Daffa Haris, Didit Adytia, A. W. R. (2022). *2022 International Conference on Data Science and Its Applications (ICoDSA) | 978-1-6654-8665-1/22/\$31.00 ©2022 IEEE |*. <https://doi.org/DOI:10.1109/ICoDSA55874.2022.9862869>.
- RMTO. (2022). *Iran's Road Maintenance and Transportation Organization (RMTO)*. Retrieved from <http://www.rmto.ir>.
- S.A. Tabatabaie, H. Z. and M. K. (2008). Modeling Temperature and Resilient Modulus of Asphalt Pavements for Tropic Zones of Iran. *Asian Journal of Scientific Research*, 1. pp, 577-588. <https://doi.org/10.3923/ajsr.2008.579.588>
- Sedighian-Fard M, S. N. (n.d.). Analysis of Regression-Based Models for Prediction of Depth Temperature of Asphalt Layers-A review. *Amirkabir J. Civil Eng.*, 3985-4006.
- Sepaspour, R, Hajikarimi, P, M. F. (2021). *Investigating the effect of global warming on the functional classification of bitumens using Time series method*. *The 13th Bitumen, Asphalt & Machinery Conference & Exhibition, 9-11 November 2021 -Roads, Hous*.
- T., S. (2014). *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge university press.
- Thiyagarajan, Karthick; kodagoda, sarath; Ulapane, Nalika; prasad, M. (2020). *A Temporal Forecasting Driven Approach Using Facebook's Prophet Method for Anomaly Detection in Sewer Air Temperature Sensor System*. *TechRxiv*. Preprint.
- Toni Toharudin , Resa Septiani Pontoh , Rezzy Eko Caraka , Solichatus Zahroh, Y. L. & R. C. C. (2021). *Employing long short-term memory and Facebook prophet model in air temperature forecasting*, *Communications in Statistics - Simulation and*.
- Vishwas, B., and A. Patel. 2020. *Hands-on Time Series Analysis with Python. From Basics to Bleeding Edge Techniques*. Berkeley, CA: Apress. doi: 10.1007/978-1-4842-5992-4. (n.d.).
- Yenidogan, I., A. Cayir, O. Kozan, T. Dag, and C. A. (2018). *Bitcoin forecasting using ARIMA and PROPHET*. *UBMK 2018 - 3rd International Conference on Computer Science and Engineering*, 621–24. 10.1109/UBMK.2018. 8566476.

Zar Zar Oo, S. P. (2020). Time Series Prediction Based on Facebook Prophet: A Case Study, Temperature Forecasting in Myintkyina. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers*, 8(4), 263–267.