شناسایی و بومی‌سازی عوامل فرسودگی قیر در روسازی آسفالت (مطالعه موردی: محور بابامیدان – یاسوج)

مقاله علمی – پژوهشی

*سید یعقوب ذوالفقاری‌فر (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی عمران و معماری، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
نوید شنبدی، گروه مهندسی عمران و معماری، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
محمد نگارچی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sy.zolfegharifar@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰– پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱
صفحه ۲۷۰-۲۶۱

چکیده

حمل و نقل جاده‌ای یکی از زیرساخت‌های مهم برای توسعه یافتگی کشورها است. وجود مسیرهای جاده‌ای متعدد هموار و صاف در تمام نقاط کشور، علاوه بر تسهیل مبادلات، نقش ویژه ای در پیشرفت، توسعه و آبادانی کشور دارد. آسفالت بعنوان محصولی استراتژیک و مهم در راهسازی برای ساخت، ترمیم و نگهداری روسازی راه‌ها کاربرد فراوانی دارد. بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت و کمیت قیر مورد استفاده در ترکیبات آسفالت به امری مهم تبدیل گردیده است. پرخطر بودن مسیر ارتباطی راه بابامیدان – یاسوج ایجاب نمود تا تحقیقی با هدف شناسایی و بومی‌سازی عوامل تاثیر گذار در خطرات ناشی از روسازی این محور صورت گیرد و عوامل فرسودگی قیر در روسازی آسفالتی این محور مورد مطالعه قرار گیرد. روش انجام تحقیق به لحاظ اجرا توصیفی - پیمایشی و به لحاظ هدف از نوع تحقیق کاربردی بود که بصورت کمّی انجام شد. جامعه آماری مورد تحقیق شامل متخصصان، کارشناسان و مهندسان حوزه راهسازی در استان فارس و کهگیلویه و بویراحمد بودند. به دلیل اینکه موضوع تحقیق حاضر یک موضوع خاص در زمینه راهسازی (مهندسی و جاده) بود از نمونه‌گیری غیراحتمالی از نوع قضاوتی استفاده شد و همچنین جهت بومی‌سازی عوامل از روش دلفی فازی استفاده شد. نتایج تحلیل پرسشنامه‌ها نشان داد که رعایت روش‌های نوین در ساخت قیر، شرایط آب و هوایی، حجم ترافیک، نوع وسیله نقلیه، واحدهای نظارت و آزمایشگاه در طول عملیات اجرایی، نوع قیر و افزودنی‌های مربوطه (کیفیت مصالح بکار رفته) مورد پذیرش قرار گرفت و سه عامل نحوه اجرا، درجه قیر و زیرسازی نیز با توجه به همپوشانی با سایر عوامل و اهمیت پایین‌تر در این پژوهش رد شدند. پیشنهاداتی جهت بهبود عمر بهینه قیر در روسازی آسفالتی مسیر بابامیدان – یاسوج ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: فرسودگی، پیرشدگی قیر، روسازی آسفالتی، دلفی فازی، بابامیدان–یاسوج

۱– مقدمه

امروزه بخش مهمی از تحقیقات حوزه راه معطوف به روسازی آسفالت در محورهای مختلف بوده و بررسی عوامل مؤثر بر کیفیت و کمیت قیر مورد استفاده در ترکیبات آسفالت به امری مهم تبدیل گردیده است. آسفالت مخلوطی از قیر، سنگدانـه و فیلر بوده که ازجمله رایج‌ترین روسازی مورد استفاده در جهان می‌باشد. این نوع روسازی با عوامل متعددی نظیر بار ترافیکی، شرایط آب و هوایی نامساعد و غیره دچار خرابی‌هایی می‌گردد که شروع این خرابی با بروز ترک‌های ریز همراه است (Menozzi & et al, 2015). این ترک‌ها به مرور با عوامل مختلف به ترک‌های بزرگ تبدیل شده و در نهایت منجر به فرسودگی و خرابی متداول در روسازی آسفالتی می‌گردند (Sarsam, 2015). با عنایت به خصوصیات کاربردی قیرها در

آسفالت، اصلاح کمیت و حتی کیفیت قیر سبب کاهش چشمگیر در هزینه‌های بهسازی و نگهداری و افزایش عمر سرویس‌دهی روسازی‌ها می‌گردد (Safaei, 2017). از تاریخچه و تعریف قیر اعتقاد بر این است که نام لاتین قیر یعنی (Bitumen) از زبان سانسکریت و از کلمه(Jate) به معنی (Pitch) گرفته شده است. همچنین ادعا می‌شود که معادل لاتین Pixtu-men بوده که بعداً به Bitumen خلاصه و سپس از زبان فرانسه وارد زبان انگلیسی شد. در ادبیات آمریکایی آن را (Asphalt) می‌نامند و در کشور ما معادل «مخلوط آسفالتی» برای آن در نظر گرفته می‌شود. قیر به صورت صنعتی از سال ۱۷۱۲ میلادی در فرانسه کشف و مورد استفاده قرار گرفت و امروزه مهمترین و اثربخش‌ترین جزء در عملکرد مخلوط‌های آسفالتی است (کی‌منش و شاکر، ۱۳۹۹). بیش از ۵۰۰۰ سال است که **قیر** به عنوان عایق رطوبتی و عامل اتصال به کار می‌رود. قدیمی‌ترین کاربرد ثبت شده به ۳۸۰۰ سال قبل از میلاد توسط سومری‌ها برمی‌گردد. اولین امولسیون**قیر** در سال ۱۹۲۲ توسط هیو الن مکی ثبت شد. در آن زمان صنایع اتومبیل‌سازی پیشرفت زیادی داشت و تعداد زیادی جاده در حال ساخته شدن بود. تولید امولسیون در فرانسه که به عنوان مهد این تکنولوژی معروف است از ۱۰۰۰۰ تن در سال ۱۹۲۳ به ۳۰۰۰۰۰ تن در زمان جنگ جهانی دوم افزایش یافت و در سال ۱۹۷۰ به ۱۲۰۰۰۰۰ تن رسید. قیر با خاصیت نفوذناپذیری در برابر آب و چسبندگی بالا در حوزه راهسازی حدود ۹۰ درصد استفاده می‌گردد (Bilkadi, 1984). قیر با کیفیت مناسب استفاده شده در آسفالت، کاربردهای متنوعی از جنبه اقتصادی، زیست‌محیطی، رانندگی، حفظ و نگهداری از مواد معدنی و منابع طبیعی و غیره دارد و با توجه به این مسائل می‌توان به اهمیت شناسایی عوامل فرسودگی قیر در روسازی آسفالتی پی برد و اهمیت آن را حوزه حمل و نقل بررسی نمود. لذا تحقیق حاضر در پی شناسایی و بومی‌سازی این عوامل در محور بابامیدان- یاسوج نظر به اینکه تحقیقات خیلی کمی در سطح داخلی و خارجی انجام گرفته، به مطالعه پرداخته است.

۲- پیشینه تحقیق

قیر، مخلوط شیمیایی پیچیده‌ای متشکل از مولکول‌های هیدروکربن طبیعی با مقدار جزئی از ترکیبات هیدروکسلی و گروه‌های عاملی شامل عناصری نظیر سولفور، نیتروژن و اکسیژن است و به صورت کلوئیدی در یکدیگر معلق هستند. همچنین حاوی مقدار کمی از فلزات نظیر وانادیوم، نیکل، آهن، منیزیم و کلسیم به شکل نمک‌های معدنی، اکسیدها می‌باشد (هراتی انارکی و کی‌منش، ۱۴۰۱). از مشخصات عمومی قابل توجه قیر می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود (هراتی انارکی، ۱۴۰۱).

- غیرقابل نفوذ بودن در مقابل آب و رطوبت
- مقاومت در مقابل اسیدها، بازها و نمک‌ها
- قابلیت ارتجاع
- چسبندگی
- محلول بودن در برخی از حلال‌ها (بدون از دست دادن خواص خود)
- عایق بودن در مقابل جریان‌های الکتریکی
- تشکیل دادن فیلم پایدار بر روی اجسام مختلف
- داشتن رنگ ثابت

فرسودگی و پیرشدگی فرآیندی است که بر ترکیب شیمیایی قیر اثرگذار است. قیر به عنوان یک مخلوط کلوئیدی شامل مولکول‌های بزرگی به نام آسفالتن فاز گسسته وستورات‌ها، آروماتیک‌ها و رزین‌ها فاز پیوسته می‌باشد. براساس تحقیقات صورت پذیرفته ترکیبات کربونیل و سولف‌اکسیدها در فرآیند فرسودگی افزایش می‌یابند و از سوی دیگرآروماتیک کاهش می‌یابد، میزان رزین و آسفالتن افزایش یافته و ستورات تغییر ناچیزی دارد. همچنین مقاومت قیر در برابر فرسودگی را می‌توان توسط افزودنی‌ها بالا برد (مودتیان و دانش‌پژوه، ۱۳۹۵). در واقع قیر تحت اثر شرایط فیزیکی و شیمیایی در فرآیند تولید و در زمان سرویس‌دهی در اثر اکسیده شدن و همچنین تأثیر اشعه ماوراء بنفش و مادون قرمز و تغییرات دما سخت‌تر شده و با تغییر خصوصیات ویسکوالاستیک از قبیل ویسکوزیته، کاهش درجه نفوذ و افزایش نقطه نرمی سخت‌تر، شکننده‌تر و به اصطلاح پیر و فرسوده می‌شود. فرسودگی قیر یک فرآیند برگشت‌ناپذیر است که باعث کاهش دوام روسازی و در نتیجه افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری می‌گردد (Kennedy, 1994). عارضه فرسودگی در مخلوط‌های آسفالتی پدیده‌ای است که از زمان ساخت مخلوط بتن آسفالتی در کارخانه شروع و با گذشت زمان در آسفالت پیشرفت می‌کند و در نهایت سبب تخریب و شکنندگی مخلوط می‌گردد (Airey & et al, 2005). توانایی فعل و انفعال بین قیر و سنگدانه در اثر پیرشدگی کاهش

یافته و در نتیجه مقاومت سیستم قیر و سنگدانه کمتر شده که باعث افزایش حساسیت رطوبتی مخلوط آسفالتی می‌شود (Miller & et al, 2012).

تراکسلر(Traxler) در سال ۱۹۶۱ دلایل فرسودگی قیر را موارد ذیل برشمرد:

- اکسیداسیون
- از بین رفتن مواد فرار
- تغییر ساختار قیر ناشی از زمان
- پلیمریزاسیون در اثر تابش نور به خصوص اشعه ماوراء بنفش
- پلیمریزاسیون تراکمی

به طور کلی، قیر در حضور اکسیژن، اشعهٔ ماوراءبنفش و تغیرات دما (تأثیرات زیست‌محیطی) تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این اثرات خارجی باعث سخت‌تر شدن قیر می‌گردد که نتیجهٔ آن تغیرات رئولوژیکی قابل توجه قیر می‌باشد. از میان فاکتورهای داخلی فاکتوری که در سخت‌شدگی قیر در روسازی تأثیرگذار است مقدار فضای خالی در مخلوط است. در روسازی‌های با درصد حفرات بیشتر نسبت به روسازی‌های متراکم‌تر، نرخ فرسودگی و پیرشدگی بیشتری پیشبینی می‌گردد (Cheng & et al, 2002). علاوه بر تأثیرات زیست‌محیطی (رطوبت)، فرسودگی در مخلوط‌های آسفالتی می‌تواند متأثر از خصوصیات قیر و شناخت مخلوط و خصوصیات سنگدانه‌ها مانند ارتباط داخلی فضای خالی، توزیع هوا و غیره قرار گیرد. میزان فرسودگی در قیرهای مختلف متفاوت است، اما نه تنها نوع قیر بلکه نوع سنگدانه نیز در میزان آن مؤثر است. علاوه بر موارد فوق‌الذکر، در پروسه فرسودگی قیر علاوه بر خود قیر، تعامل بین قیر و سنگدانه و سازگاری آنها نیز اثرگذار است. بسته به نوع سنگدانه‌ها (نوع کانی‌های سازنده سنگدانه‌ها و خصوصیات سطح آنها) عملکرد فرسودگی مخلوط‌های با قیرهای مشابه اما سنگدانه‌های متفاوت، به دلیل محتویات معدنی سنگدانه‌ها، خصوصیات جذب سنگدانه‌ها و جهت‌گیری مولکول‌های قطبی در قیر در مجاورت سطح رابط قیر و سنگدانه، می‌تواند متفاوت باشد (هراتی انارکی و کی‌منش، ۱۴۰۱). با توجه به آمار تصادفات دلخراش در محور بابامیدان- یاسوج در سطح بالایی می‌باشد، خرابی روسازی آسفالتی و پیر و فرسوده شدن آن نیز می‌تواند یکی از دلایل وقوع تصادف باشد. از آنجایی که شرایط اقلیمی و محیط خاصی بر این محور حاکم است. کوهستانی بودن، پیچ و خم زیاد داشتن، تردد زیاد خصوصاً وسایل نقلیه سنگین، عدم کیفیت در اجرای صحیح روسازی و نبود نظارت بر پیمانکاران مربوطه و غیره همگی می‌تواند دلایل اصلی در فرسودگی قیر در روسازی باشند. بنابراین، پرخطر بودن مسیر بابامیدان – یاسوج ایجاب می‌نماید که روسازی آسفالتی به نحوی با استانداردهای روز دنیا ساخته شود که عمر آن با عنایت به تردد و شرایط اقلیمی، در حد معقولی باشد.

۳- روش تحقیق

در این تحقیق عوامل فرسودگی قیر در روسازی آسفالتی از طریق مطالعات پیشین خارجی، داخلی و مطالعات تجربی شناسایی شدند (جدول۱). سپس با استفاده از روش دلفی فازی برای محور بابامیدان - یاسوج بومی‌سازی و بررسی گردید.

شکل۱. عکس راه ارتباطی محور بابامیدان – یاسوج

جدول۱. طیف اعداد فازی مثلثی ۹ گانه

عوامل	منبع
رعایت روش‌های نوین در ساخت قیر	صدقی قره چشمه (۱۳۹۵) – معظمی گودرزی و همکاران (۱۳۹۹) – دیبائی و کاووسی (۱۴۰۰)
شرایط آب و هوایی	Menozzi & et al (2015)- Sarsam(2015)
حجم ترافیک	Menozzi & et al (2015)- Sarsam(2015)
نوع وسیله نقلیه	Abo-Qudais & Suleiman (2005)- فخری و همکاران (۱۳۹۹)
نحوه اجرا	Abo-Qudais & Suleiman (2005)- فخری و همکاران (۱۳۹۹)
واحدهای نظارت و آزمایشگاه در طول عملیات اجرایی	Abo-Qudais & Suleiman (2005)- فخری و همکاران (۱۳۹۹)
درجه قیر	شعبانی و همکاران (۱۳۹۸) – فخری و همکاران (۱۳۹۹)
نوع قیر	شعبانی و همکاران (۱۳۹۸) – فخری و همکاران (۱۳۹۹)
افزودنی‌های مربوطه (کیفیت مصالح بکار رفته)	معظمی گودرزی و همکاران(۱۳۹۹)
زیرسازی	شعبانی و همکاران (۱۳۹۸) – فخری و همکاران (۱۳۹۹)

روش انجام تحقیق به لحاظ اجرا توصیفی – پیمایشی و به لحاظ هدف از نوع تحقیق کاربردی بود که بصورت کمّی انجام شد. جامعه آماری شامل متخصصان، کارشناسان و مهندسان حوزه راهسازی در استان فارس و کهگیلویه و بویراحمد بود. بدلیل اینکه موضوع تحقیق یک موضوع خاص در زمینه راهسازی (مهندسی و جاده) بود از نمونه‌گیری غیراحتمالی از نوع قضاوتی استفاده شد. پس تعداد خبرگان در این حوزه زیاد نمی‌باشند، لذا محققین قصد تعمیم به یک جامعه آماری خیلی بزرگتر را نداشته و بنابراین از روش‌های آماری جهت پیدا کردن حجم نمونه استفاده ننمودند(دری برنجگانی و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به سایر تحقیقات مشابه و محدود بودن تعداد جامعه خبرگان، محققین ۱۲ نفر را شناسایی و جهت تکمیل پرسشنامه انتخاب نمودند که عدد قابل قبولی بود. منطق فازی در مقابل منطق قطعی (سفید) اولین بار توسط پروفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ ارائه شد و اعداد فازی بیان شد.

هدف در منطق فازی، حذف و بی‌اثر کردن ابهامات کلامی بود. ابهام و عدم قطعیت همیشه در تصمیم‌گیری‌ها وجود داشته است. منطق فازی روشی جدید می‌باشد که شیوه‌هایی را که برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم نیازمند ریاضیات پیچیده و پیشرفته است، با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خبره جایگزین ساخته و یا تا حدود زیادی آن را تکمیل می‌کند. به بیانی دیگر، در منطق فازی می‌توان نتایج دقیق را با استفاده از مجموعه‌ای از معلومات نادقیق که با الفاظ و مقادیر کلامی تعریف شده‌اند، استخراج کرد. منطق فازی یک منطق چند ارزشی است. در این منطق به جای درست یا نادرست، صفر یا یک، طیف نامحدودی از خاکستری بین سیاه و سفید وجود دارد. لذا منطق فازی را می‌توان منطق خاکستری نیز نامید. منطق فازی یک جهان‌بینی جدید است که با نیازهای دنیای پیچیده امروز بسیار سازگارتر از منطق ارسطویی (منطق دو ارزشی درست یا نادرست) است. برخی از ویژگی‌های مهم این منطق عبارتند از:

–در منطق فازی، استدلال دقیق یا منطق معمولی حالت خاصی از استدلال تقریبی است.

–هر سیستم منطقی قابل تبدیل به منطق فازی است.

–در منطق فازی، دانش به عنوان مجموعه‌ای از محدودیت‌های فازی یا انعطاف‌پذیر روی متغیرها در نظر گرفته می‌شود.

–استنتاج به عنوان فرآیند انتشار این محدودیت‌ها در نظر گرفته می‌شود (عطائی، ۱۳۸۸).

–در منطق فازی تمام مسائل دارای راه‌حلی می‌باشند که درجه مطلوبیت را نشان می‌دهد (عطائی، ۱۳۸۸).

روش دلفی یک روش قوی مبتنی بر ساختار ارتباطی گروهی می‌باشد که در مواردی که دانشی ناکامل و نامطمئن در دسترس است، با هدف دستیابی به اجماع گروهی در بین خبرگان استفاده می‌گردد. در روش دلفی کلاسیک، نظرات خبرگان در قالب اعداد قطعی بیان می‌شوند، در حالی که افراد خبره از شایستگی‌های ذهنی خود برای بیان نظر استفاده نموده و این نشان دهنده احتمالی‌بودن عدم‌قطعیت حاکم بر این شرایط است. احتمالی‌بودن عدم‌قطعیت، با مجموعه‌های فازی سازگار می‌باشد. پس، بهتر است داده‌ها در قالب زبان طبیعی از خبرگان گرفته شده و با استفاده از مجموعه‌های فازی مورد تحلیل قرار بگیرند.

یکی از مهمترین مزیت‌های این روش نسبت به روش کلاسیک، جهت غربال عوامل این است که می‌توان از یک مرحله برای خلاصه و غربال موارد استفاده نمود (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۳). بر این اساس، پیشنهاد ادغام روش دلفی سنتی با تئوری فازی تحت عنوان روش دلفی فازی ارائه گردید. این روش ترکیبی از روش دلفی و نظریه مجموعه‌های فازی است، که برای اولین توسط کوفمن و گوپتا در سال ۱۹۸۸ ارائه شد (Kufmann & Gupta, 1988) و در سال ۱۹۹۳ ایشیکاوا سپس نظرات خبرگان جمع‌آوری شده و بصورت فازی ثبت گردید.

جدول ۲. طیف اعداد فازی مثلثی ۹ گانه (عطائی، ۱۳۸۸)

کد	عبارات کلامی	عدد فازی
۱	بی اهمیت	(۱,۱,۱)
۲	اهمیت کم تا متوسط	(۱,۱/۵,۱/۵)
۳	اهمیت متوسط	(۱,۲,۲)
۴	اهمیت متوسط تا زیاد	(۳,۳/۵,۴)
۵	اهمیت زیاد	(۳,۴,۴/۵)
۶	اهمیت زیاد تا خیلی زیاد	(۳,۴/۵,۵)
۷	اهمیت خیلی زیاد	(۵,۵/۵,۶)
۸	اهمیت خیلی زیاد تا کاملاً زیاد	(۵,۶,۷)
۹	اهمیت کاملاً زیاد	(۵,۷,۹)

حال با استفاده از معادلات شماره ۱ تا ۳ برای هر شاخص، نظرات خبرگان تجمیع گردید(Jassbi & et al, 2015).

$$l = \min\{l_i\} \quad (۱)$$

$$m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} m_i \quad (۲)$$

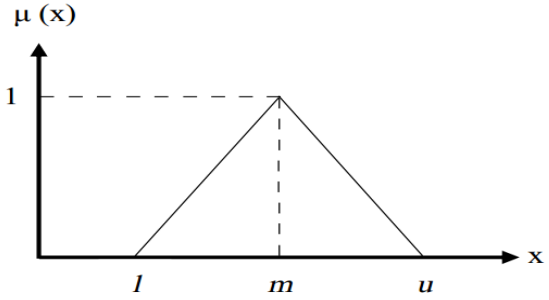
$$u = \max\{u_i\} \quad (۳)$$

مرحله ۳- فازی‌زدایی نمودن مقادیر: برای تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی از معادله (٤) استفاده شد.

$$S_i = \frac{l+m+u}{3} \quad (٤)$$

مرحله ٤- انتخاب مقدار آستانه (S_i) و غربال معیارها: پس از تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی، جهت غربال یا بومی‌سازی عوامل، آستانه پذیرش در نظر گرفته می‌شود. معمولاً مقدار این آستانه را در مقیاس ۰ الی ۱۰، ۸ در نظر می‌گیرند (با توجه به مقادیر طیف اعداد) که این مقدار از دیدگاه هر پژوهشگری می‌تواند متفاوت باشد و بدین معناست که اگر مقادیر اعداد تکنیک دلفی فازی را با اعداد فازی مثلثی توسعه داد (Ishikawa, 1993). مراحل روش انجام بصورت ذیل می‌باشد (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۳).

مرحله ۱- انتخاب طیف مناسب: در تکنیک دلفی فازی برای غربالگری، ابتدا باید طیف فازی مناسبی انتخاب و استفاده نمود. که در این پژوهش از طیف ۹ گانه لیکرت جدول۲ استفاده شد.



شکل ۲. اعدد فازی مثلثی (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۳)

مرحله ۲- تجمیع نظر خبرگان: نظر هر خبره شامل سه عدد حقیقی می‌باشد که بعنوان یک مثلث از آن یاد می‌شود. این اعداد بصورت فازی (l, m, u) نمایش داده می‌شوند. (u) کران بالا و بیشینه مقداری است که می‌تواند اختیار نمایند. (l) کران پایین و کمینه مقداری است که می‌تواند اختیار کند و (m) محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است (حبیب زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

این سه عدد در فضای هندسی بصورت شکل ۲ است.

قطعی بیشتر از ۸ باشد، عامل مورد نظر مورد "پذیرش" قرار می‌گیرد، در غیر اینصورت اگر مقدار مدنظر کمتر بوده، عامل مورد نظر "رد" می‌گردد.

در این پژوهش با استفاده از پژوهش‌های پیشین و طیف مورد استفاده، مقدار شدت آستانه ٦ در نظر گرفته شد.

٤- یافته‌های حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها

محققین در ابتدا با استفاده از مطالعه پژوهش‌های پیشین و مطالعات میدانی ۱۰ عامل فرسودگی قیر در روسازی آسفالتی را شناسایی نمودند؛ سپس با توزیع ۱۲ پرسشنامه دلفی فازی و دریافت آن‌ها به بومی‌سازی پرداختند. داده‌ها وارد نرم‌افزار اکسل ۲۰۱٦ شد.

جدول ۳. نتایج بومی‌سازی عوامل فرسودگی قیر در روسازی آسفالتی

عامل	u	m	l	Si	نتیجه
رعایت روش‌های نوین در ساخت قیر	۹	۶/۹۲	۵	۶/۹۷	پذیرفته شد
شرایط آب و هوایی	۹	۶/۹۲	۵	۶/۹۷	پذیرفته شد
حجم ترافیک	۹	۶/۳۳	۳	۶/۱۱	پذیرفته شد
نوع وسیله نقلیه	۹	۶/۱۷	۵	۶/۷۲	پذیرفته شد
نحوه اجرا	۹	۵/۰۴	۳	۵/۶۸	رد شد
واحدهای نظارت و آزمایشگاه در طول عملیات اجرایی	۹	۶/۵	۳	۶/۱۷	پذیرفته شد
درجه قیر	۹	۵/۲۹	۳	۵/۷۶	رد شد
نوع قیر	۹	۶/۱۳	۳	۶/۰۴	پذیرفته شد
افزودنی‌های مربوطه (کیفیت مصالح بکار رفته)	۹	۶/۴۶	۳	۶/۱۵	پذیرفته شد
زیرسازی	۹	۵	۳	۵/۶۷	رد شد

و سپس روابط مورد نیاز برای انجام تحلیل در ارتباط با فرآیند بومی‌سازی دلفی فازی که در قسمت قبلی تشریح گردید، در نرم‌افزار فوق‌الذکر تعریف شد. بر این اساس، در مرحله اول و دوم به ترتیب انتخاب طیف فازی مناسب و تجمیع نظر خبرگان با استفاده از معادلات ۱تا ۳ صورت گرفت. باتوجه به اینکه آستانه پذیرش ۶ بود، نتیجه نهایی نظرات خبرگان این بود که ۳ عامل طبق نظر پاسخگویان و متخصصین این حوزه به علت نزدیک، مکمل بودن و اهمیت خیلی کمتر به نسبت سایر عوامل برای محور بابامیدان – یاسوج رد و ۷ عامل مهمتر پذیرفته شدند. عوامل جدول۳ بعنوان عوامل فرسودگی قیر در روسازی آسفالتی محور بابامیدان – یاسوج اهمیت بالاتری داشتند و جهت بررسی و بومی سازی پذیرفته شدند.

۵- نتیجه‌گیری

با عنایت به جدول ۳، از سه عامل نوع وسیله نقلیه، نحوه اجرا و زیرسازی که محققین در مطالعات میدانی خود به عنوان عوامل عمومی خرابی و فرسودگی قیر در روسازی آسفالتی مطرح نمودند، فقط عامل نوع وسیله نقلیه در محور بابامیدان – یاسوج از نظر متخصصین این زمینه قابل پذیرش و دفاع بوده است. با تحلیل پرسشنامه این نتیجه به دست آمد که نقش عامل زیرسازی در فرسودگی قیر از نظر ٤ متخصص پاسخگو دارای اهمیت (نقش) زیاد، از نظر ٤ متخصص پاسخگو اهمیت زیاد تا خیلی زیاد، ۳ نفر اهمیت خیلی زیاد تا کاملاً زیاد و ۱ نفر اهمیت کاملاً زیاد می‌باشد. نقش عامل درجه قیر نیز از نظر ۵ پاسخ‌دهنده زیاد، ۲ پاسخگو خیلی زیاد، ٤ پاسخگو خیلی زیاد تا کاملاً زیاد و ۱ پاسخگو کاملاً زیاد بود و برخلاف نتیجه این تحقیق، در تحقیق شعبانی و همکاران (۱۳۹۸) و فخری و همکاران (۱۳۹۹) این عامل مورد تأیید قرار گرفته بود. همچنین اهمیت عامل نحوه اجرا در پیرشدگی قیر از نظر ٤ پاسخ‌دهنده زیاد، ۲ پاسخ‌دهنده زیاد تا خیلی زیاد، ۲ پاسخ‌دهنده خیلی زیاد، ۳ پاسخ‌دهنده خیلی زیاد تا کاملاً زیاد و ۱ پاسخ‌دهنده کاملاً زیاد می‌باشد. این تحلیل حاکی از آن است که با توجه به سطح قابل پذیرش مقدار آستانه با اینکه عوامل رد شدهٔ فوق‌الذکر نمرات خوبی در تحلیل فازی بومی‌سازی گرفته‌اند، ولی در نهایت این عوامل مورد پذیرش قرار نگرفتند. با توجه به جدول ۳ از سه عاملی که رد شدند، مقدار آستانه رد زیرسازی و نحوه اجرا تا حدودی نزدیک به هم می‌باشد و این امر می‌تواند دلیل بر نزدیکی این دو عامل با هم در رد شدن آنها باشد. از بین سه عاملی که رد شده‌اند، درجه قیر به نسبت مقدار آستانه بالاتری را کسب نموده است که با مقدار قابل پذیرش فاصله اندکی داشته است.

دیگر عاملی که از تحقیقات میدانی محققین به دست آمد و مورد پذیرش نهایی نیز قرار گرفت، نوع وسیله نقلیه بوده است. این عامل به لحاظ مقدار آستانه جایگاه سوم را بین ۷ عامل پذیرفته شده به دست آورده است. تردد وسایل نقلیه سنگین، نیمه سنگین و سبک با توجه به عامل حجم ترافیک که در این مجموعه نیز به عنوان عامل پذیرفته شده مطرح است، همپوشانی کاملی دارد و بالا بودن مقدار ترافیک و تردد بیش از حد وسایل نقلیه سنگین تأثیر بسزایی در فرسودگی قیر دارد. رعایت روش‌های نوین در ساخت قیر که به لحاظ مقدار آستانه در حد بالایی همراه با عامل شرایط آب و هوایی قرار گرفته است، همپوشانی بالایی با عامل افزودنی‌های مربوطه (کیفیت مصالح بکار رفته) دارد و معظمی گودرزی و همکاران (۱۳۹۹) نیز در تحقیق خود به مرتبط بودن این دو عامل اشاره نموده‌اند. نوع قیر نیز دیگر عاملی است که خود می‌تواند مکمل سایر عوامل دیگر باشد و چه مستقیم و چه غیر مستقیم تمامی عوامل را تحت تأثیر کیفیت و کمیت خود قرار دهد؛ زیراکه این عامل اگر همراه با نظارت در ساخت و اجرا همراه باشد، به تنهایی می‌تواند بار زیادی در جلوگیری از فرسودگی قیر در روسازی آسفالتی را بر دوش بکشد و عوامل آب و هوا و ترافیک نیز با نظارت صحیح می‌توانند نقش این عامل مهم که در اکثر تحقیقات به اهمیت بالای آن اشاره شده است و شعبانی و همکاران (۱۳۹۸) و فخری و همکاران (۱۳۹۹) نیز در تحقیقات خود به این مهم اشاره نموده‌اند، بالا برده و مکمل خوبی برای اثرگذاری بهینه آن باشند. همچنین واحدهای نظارت و آزمایشگاه در طول عملیات اجرایی با توجه به تمامی ابعاد زیرسازی و روسازی آسفالتی می‌توانند نقش به مراتب مهمتری نسبت به سایر عوامل در جلوگیری از فرسودگی زودرس قیر داشته باشند و Abo-Qudais & Suleiman (2005) و فخری و همکاران (۱۳۹۹) به صورت مستقیم و سایر محققین به صورت غیر مستقیم به این موضوع اشاره نموده و نقش بی بدیل نظارت در تمامی مراحل را مورد بحث و تأیید قرار داده‌اند. تمامی ۱۰ عاملی که محققین در این تحقیق در فرسودگی قیر دخیل دانسته‌اند، همه چه به صورت مستقیم و چه غیر مستقیم در تمامی تحقیقات داخلی و خارجی آمده است و وحدت نظر روی آنها زیاد است. لذا برخی عوامل ممکن است در شرایط آب و هوایی و جوی یک منطقه با مناطق دیگر کم‌اهمیت یا پراهمیت‌تر و ممکن است در موارد مطالعه گوناگون نتایج این تحقیق کاملاً متفاوت باشد.

پدیده پیرشدگی یا فرسودگی قیر روسازی آسفالتی در سرتاسر دنیا به رویکردی تبدیل شده است که از لحاظ مادی و غیرمادی همه ابعاد در زندگی را تحت تأثر قرار داده است. زمان و هزینه در هر بُعدی از زندگی افراد جوامع خیلی با اهمیت است و برای مواردی که نیاز به طی مسافتی از طریق جاده وجود دارد، کیفیت روسازی آسفالتی نقش خود را نمایان می‌کند و هم به لحاظ زمانی برای تسریع زمان سفر و هم هزینه‌ها از قبیل هزینه استهلاک پایین وسیله نقلیه می‌تواند رضایت خاطر شهروندان را فراهم نماید. در این تحقیق به نقش روسازی آسفالتی جاده در حمل و نقل پرداخته شده است و دلایل فرسودگی قیر روسشازی آسفالتی بررسی شد. نتیجه بومی‌سازی عوامل فرسودگی قیر در روسازی آسفالتی محور بابامیدان – یاسوج نشان داد که رعایت روش‌های نوین در ساخت قیر، شرایط آب و هوایی، حجم ترافیک، نوع وسیله نقلیه، واحدهای نظارت و آزمایشگاه در طول عملیات اجرایی، نوع قیر و افزودنی‌های مربوطه (کیفیت مصالح بکار رفته) مورد پذیرش قرار گرفته و سه عامل نحوه اجرا، درجه قیر و زیرسازی نیز با توجه به همپوشانی با سایر عوامل و اهمیت پایین‌تر در مورد مطالعه تحقیق حاضر، رد شدند. اگر استفاده از روسازی با آسفالت نیمه گرم با رعایت ملاحظات فنی، به درستی مورد توجه قرار گیرد، می‌تواند با صرفه‌جویی در مصرف انرژی سبب کاهش هزینه تولید گردد. استفاده از قیر امولسیونی به عنوان اندودهای سطحی و حفاظتی و جایگزین کردن قیرهای محلول و توسعه این فرآیند می‌تواند از نشت مقادیر زیادی حلال نفتی به سفره آب‌های زیرزمینی جلوگیری کند. آسفالت‌های سرد ساخته شده با قیرهای امولسیونی می‌توانند در مصارف تعمیر و نگهداری روسازی درمناطق مختلف به خصوص در مناطق سردسیری بابامیدان – یاسوج مورد استفاده قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در شرایط جوی این منطقه از آسفالت‌های پودر لاستیکی که سبب افزایش عمر روسازی می‌گردد استفاده شود؛ زیرا افزودن پودر لاستیک به مخلوط آسفالت و قیر در روش تر آن، خواص جذب انرژی مخلو ط های آسفالتی را به شدت بهبود بخشیده و عملکرد مخلوط آسفالتی را در هر سه محدوده دمایی بالا، متوسط و پایین بهبود می‌دهد. طبق تحقیقات صورت پذیرفته درصد مطلوب افزودن پودر لاستیک به قیر، حدود ۱۵ الی ۲۰

درصد وزنی قیر معرفی شده است. شرایط آب و هوایی و نوع قیر ارتباط تنگاتنگی با هم دارند و نیاز است تا تحقیقات جامع و کاملی برای آب و هوا در بخش نظارت صورت گیرد و واحد اجرا هم نظر به سرد بودن یا گرم بودن هوا حین کار تمام اصول مربوط به این کار را رعایت نمایند. یکی از پیشنهادات محققین در استفاده از آسفالت‌های سرد این است که آسفالت سرد از اختلاط سنگدانه‌ها با قیرهای محلول یا قیرآبه‌ها در دمای محیط تهیه و در همین دما پخش و متراکم می‌شود. سنگدانه‌ها در زمان اختلاط با قیرابه می‌تواند مرطوب باشد ولی با قیرهای محلول، در دمای محیط و یا تحت اثر حرارت باید خشک شده باشد. مخلوط‌های آسفالت سرد که با قیرهای محلول غلیظ مانند MC۳۰۰۰ یا SC۳۰۰۰ تهیه می‌شود، عملاً مانند آسفالت گرم باید در درجه حرارت ۹۵ درجه سانتیگراد یا بیشتر با قیر مخلوط شده و در محدوده همین دما، پخش و متراکم شود. برای طرح آسفالت بازیافت سرد با امولسیون قیر از روش اصلاح شده مارشال مطابق ASTM-D1559 یا آشتو T245 که با روش طراحی آسفالت گرم تفاوت دارد استفاده می‌شود. دامنه کاربرد این دستورالعمل محدود به مخلوط‌هایی است که برای تهیه آنها امولسیون قیر یا امولسیون‌های جوان کننده منطبق با مشخصات ASTM-D5505، مصالح RAP و در صورت لزوم مصالح سنگی جدید مصرف می‌شود. مقدار امولسیون مصرفی در این روش معمولاً از ۱ تا ۲ درصد و امولسیون‌های جوان کننده از ۰/۵ تا ۱/۲۵ درصد نسبت به وزن مخلوط قیری متغیر است. مقادیر بیشتر برای مخلوط‌هایی است که درصد مصالح سنگی شکسته آن زیاد و مقدار قیر موجود در RAP کمتر است و درصدهای پایین برای مخلوط‌های با میزان زیاد ریزدانه و گرد گوشه مصرف می‌شود. وقتی که مصالح سنگی جدید به RAP اضافه شود از امولسیون‌های جوان کننده استفاده نمی‌شود ضمن اینکه درصد امولسیون قیر را نیز باید افزایش داد. همچنین بر طبق اعلام ستاد نانو و تحقیقات آنها در بالا بردن مقاومت آسفالت در برابر فرسودگی و گیرشدگی، زایکوترم یک افزودنی اورگانوسیلان به قیر بوده که باعث مقاوم شدن سطح آسفالت در برابر صدمات مختلف مانند عریان‌شدگی به‌دلیل ایجاد پیوند شیمیایی قوی بین قیر و مصالح سنگی، اکسیداسیون (پیرشدگی) به‌دلیل پوشش‌دهی کامل قیر روی مصالح سنگی و همچنین خستگی به‌دلیل ایجاد تراکم یکدست و منسجم در آسفالت طی عملیات روسازی می‌شود. علاوه بر این زایکوترم محصولی دوستدار محیط زیست است که امکان تولید آسفالت در دمای پایین‌تر (۱۰ تا ۱۵ درجه سانتیگراد) و نیز تراکم آسفالت در دمای کمتر (۳۰ تا ۴۰ درجه سانتیگراد) را فراهم می‌کند. زایکوترم سطح مصالح سنگی را در ابعاد نانومتری اصلاح می‌کند و آنها را از حالت آب‌دوستی به قیردوستی تغییر می‌دهد. پیوند دائمی ایجاد شده بین قیر و مصالح سنگی منجر به کارایی بالای آسفالت در برابر پدیده عریان‌شدگی می‌شود. و استفاده از این موارد جهت بهبود عمر مفید قیر در روسازی آسفالتی پیشنهاد می‌گردد.

٦- مراجع

- حبیب‌زاده، الناز، انصاری، رضا و اسماعیلیان، مجید (۱۳۹۵). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل درون سازمانی تأثیرگذار بر یادگیری تکنولوژیک - مورد مطالعه: شرکت فولاد مبارکه، *فصلنامه مدیریت توسعه فناوری*، دوره سوم، شماره ٤.
- حبیبی، آرش، ایزدیار، صدیقه و سرافرازی، اعظم (۱۳۹۳). تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، چاپ اول. تهران، *کتیبه گیل*.
- دانش پژوه، وحید و مودتیان، مهدی (۱۳۹۵). بررسی خستگی و پیرشدگی قیر در مخلوط آسفالت، *چهارمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری*.
- دری برنجگانی، نوشین، یوسفی، همایون، رزمجویی، همایون و قاسمی ورنامخواستی، جعفر (۱۳۹۹). بررسی عوامل موثر بر هاب شدن بنادر جنوبی ایران. مجله علوم و فنون دریایی، ۱۹(٤)، ۱۲-۱.

– دیبائی، محمّدمهدی و کاووسی، امیر (۱۴۰۰). روشی تسریع شده برای تعیین عمر خستگی قیر به کمک رویکرد خرابی محیط پیوسته، *مجله علمی پژوهشی مهندسی عمران مدرس*، دوره ۲۱، شماره ۳.

– شعبانی، شاهین، افرا، رضا، قاسمی، مجید و میرزایی، داود (۱۳۹۸). ارزیابی مقاومت شیار شدگی و خستگی قیر لاستیکی ترکیب شده، *پژوهشنامه حمل و نقل*، شماره ۲.

– صدقی قره چشمه، صادق (۱۳۹۵). بررسی روش‌های نوین در روسازی راه، *سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی*، برلین، آلمان.

– عطائی، محمد (۱۳۸۸). تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، *انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود*.

– فخری، منصور، شاه ابراهیمی، ابراهیم و چاوشیان نائینی، سید فرهاد (۱۳۹۹). بررسی شیارشدگی و اثر خود ترمیمی بر خستگی در مخلوط‌های آسفالتی اصلاح شده، *فصلنامه علمی پژوهشنامه حمل و نقل*، سال هفدهم، دوره اول، شماره ۶۲.

– کی‌منش، محمودرضا و شاکر، سعید (۱۳۹۹). تکنولوژی و مواد روسازی، *مرکز چاپ و توزیع دانشگاه پیام نور*، چاپ پنجم.

– معظمی گودرزی، مهدی، مقدس نژاد، فریدون، نادری، کوروش و احمدی، سعید (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات افزودن نانورس به قیر لاستیکی فراترکیبی، *فصلنامه علمی پژوهشی حمل و نقل*، سال هفدهم، دوره چهارم، شماره ۶۵.

– هراتی انارکی، عرفان و کی منش، محمودرضا (۱۴۰۱). مطالعه تأثیرات خستگی و پیرشدگی قیر در روسازی‌های آسفالتی، *دومین کنفرانس بین المللی معماری، عمران، شهرسازی*، محیط زیست و افق های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب.

-Abdollah JassbiJavad JassbiJavad JassbiPeyman AkhavanPeyman AkhavanMorteza PiriMorteza Piri (2015). An empirical investigation for alignment of communities of practice with organization using fuzzy Delphi panel, *VINE,* Vol. 45. Iss. 3. 322 – 343.

-Akira Ishikawa, Michio Amagasa, Tetsuo Shiga, Giichi Tomizawa, Rumi Tatsuta, Hiroshi Mieno (1993). The Max-Min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration, *Fuzzy Sets and Systems 55*: North-Holland, 241-253.

-Alessandro Menozzi, Alvaro Garcia, Manfred N. Partl, Gabriele Tebaldi, Philipp Schuetz (2015). Induction healing of fatigue damage in asphalt test samples. *Construction and Building Materials*, 74, 162-168.

- Dingxin ChengDallas LittleDallas LittleRobert L. LyttonRobert L. Lytton (2002). Use of Surface Free Energy Properties of the AsPHaltAggregate System to Predict Moisture Damage Potential. *Journal of Association of asphalt Paving Technologists*, Vol. 71, 88-59.

- Kaufmann, Arnold, and Madan M. Gupta (1988). Fuzzy mathematical models in engineering and management science, *Amsterdam: North-Holland.*

-Farinaz Safaei (2017). Characterization and Modeling of Asphalt Binder Fatigue, a doctoral dissertation submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy Civil Engineering Raleigh, *North Carolina.*

-Gordon D. Airey, Young K. Choi (2005). Combined Laboratory Ageing/Moisture Sensitivity Assessment of High Modulus Base Asphalt Mixtures (With Discussion). *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists: From the Proceedings of the Technical Sessions.*

-R. N., Traxller (1967), Relation between Asphalt Composition and Hardening by Volalitization and Oxidation, *Association of Asphalt Paving Technologists,* 30, 359-377.

- Miller, Clint, Dallas N. Little, Amit Bhasin, Nathan Gardner and Bruce Herbert (2012). Surface Energy Characteristics.

- Saad Issa Sarsam (2015). Crack healing potential of asphalt concrete pavement. *International Journal of Scientific Research in Knowledge,* 3(1), 001-012.

- T. W. Kennedy, G. Huber, J. Moulthrop (1994). Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave), *the Product of the SHRP.*

- Zayn Bilkadi (1984). Bitumen- A History, Saudi Aramco World, November/December, Vol. 35, No. 6.

Identification and Localization of Bitumen Wear Factors in Asphalt Pavement with Fuzzy Delphi Method (Case Study: Babamaidan-Yasuj axis)

Sayyed Yaghoub Zolfegharifar, *Department of Civil Engineering and Architecture, Yasuj, C., Islamic Azad University, Yasuj, Iran.*

Navid Shanbadi, Department of Civil Engineering and Architecture, Yasuj, C., Islamic Azad University, Yasuj, Iran.

Mohammad Negarchi, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: sy.zolfegharifar@iau.ac.ir

Received: September 2025- Accepted: February 2026

ABSTRACT

Transportation is one of the important infrastructures for the development of countries. Asphalt is used in road construction both for road construction and road repair and maintenance, and it is considered as a strategic and important product. Investigating factors affecting the quality and quantity of bitumen used in asphalt compounds has become an important matter. The high risk of the Babamidan-Yasuj route required a research to be carried out with the aim of identification and localization and to study the factors of bitumen wear in the asphalt pavement of this axis. The research method is descriptive-survey in terms of execution and applied research in terms of purpose. The statistical population includes specialists, experts and engineers in the field of road construction in Fars, K and BA provinces. to the fact that the subject of the present research is a specific subject in the field of road construction (engineering and roads), non-probability sampling is a judgmental type. Also, the fuzzy Delphi method was used to localize the factors. After the distribution, collection and analysis of the questionnaires, the result was that compliance with new methods in bitumen production, weather conditions, traffic volume, type of vehicle, monitoring units and laboratories during executive operations, type of bitumen and The relevant additives were accepted and the three factors of implementation method, grade of bitumen and substructure were also rejected due to overlap with other factors and lower importance in the case of the current research study.

Keywords: Exhaustion, Bitumen Aging, Asphalt Pavement, Fuzzy Delphi, Babamaidan-Yasuj