

ارائه مدلی برای مدیریت روسازی راه در سطح پروژه به روش تحلیل سلسله مراتبی*

محمود صفارزاده، دانشیار، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
امیر کاووسی، دانشیار، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
محمد باقری ساری، کارشناس ارشد، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail: saffar_m@modares.ac.ir

چکیده

به منظور مدیریت بهینه روسازی راه‌های موجود لازم است علاوه بر شاخص‌های اقتصادی، عوامل دیگری چون بهبود در شاخص‌های بهره‌برداری، بهبود در وضعیت سازه‌های روسازی و تأثیرات گزینه‌ها بر محیط زیست، شرایط اجتماعی، ایمنی و ... مد نظر قرار گرفته و در تصمیم‌گیری نقش داشته باشند. وارد نمودن موارد فوق در اولویت بندی گزینه‌ها، نیازمند یک تصمیم‌گیری چند معیاره است که در این مقاله مدلی براساس روش سلسله مراتبی (AHP) برای آن ارائه شده است.

در این تحقیق با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مدلی برای مدیریت روسازی راه طراحی و ساخته شده است. در این مدل به منظور ارزیابی فنی و اقتصادی گزینه‌ها، ابتدا اطلاعات ورودی مورد نیاز نرم افزارهای 5-ELMOD و 4-HDM تهیه می‌شوند. سپس با بکارگیری نتایج به دست آمده از اجرای مدل، اولویت بندی گزینه‌های تعمیر و نگهداری و نهایتاً تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینه برتر، به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)¹ و با استفاده از نرم افزار Expert Choice انجام می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت روسازی، مدیریت نگهداری راه، تحلیل سلسله مراتبی، تصمیم‌گیری چند معیاره و تعمیر و نگهداری راه

۱. مقدمه

ب- ارزیابی وضعیت راه‌ها و تعیین بودجه و منابع مورد نیاز،
ج- انتخاب استانداردهای مناسب برای نگهداری راه و طراحی فعالیتهای مرتبط،
د- تخصیص بهینه منابع و امکانات، و
ه- بازنگری مداوم سیاستها، استانداردها و نحوه تأثیر فعالیتها.
تحقیقات خارجی نشان میدهند که افزایش سرمایه گذاری برای نگهداری زیرساختهای راه، می‌تواند منافع اقتصادی زیادی را به همراه داشته باشد. به طور ساده، با تخصیص هر ۱ دلار به امر

عملیات نگهداری راه‌ها چنانچه در موعد لازم انجام شده و با انتخاب گزینه مناسب برای روش نگهداری صورت گیرد علاوه بر آنکه تخریب آنها را به تأخیر می‌اندازد، به دلیل افزایش کیفیت سطح راه، موجب کاهش هزینه‌های عملکردی وسایل نقلیه و باز بودن مداوم راه می‌شود. مهم‌ترین اهداف مدیریت راه را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد [۱]:
الف- استفاده از رویکردهای سازمان یافته برای تصمیم‌گیری در چارچوبی مناسب و مشخص،

حفظ و نگهداری راهها، ۳ دلار از هزینه های استفاده کنندگان از راه کاسته می شود [۲].

«هاس» و «هاسون» در کتاب «سیستم مدیریت روسازی»، مدیریت روسازی را اینگونه تعریف کرده اند: «سیستم مدیریت روسازی مجموعه ای کامل و هماهنگ از فعالیت های همچون طراحی، برنامه ریزی، ساخت، نگهداری و ترمیم، ارزیابی، بازسازی و تحقیقات مربوط به روسازی است» [۳].

سیستم مدیریت روسازی در دو سطح «شبهه» و «پروژه» به اجرا در می آید. در مدیریت روسازی در سطح شبکه، تقدم و تأخر پروژه ها و فعالیت های نگهداری و زمان بندی آنها با توجه به محدودیت های موجود تعیین می شود، در حالی که در سطح پروژه، انجام روشهای مختلف ترمیم و نگهداری برای یک پروژه خاص مورد ارزیابی و مقایسه قرار می گیرد.

۲. مدل HDM-4

یکی از معتبرترین سیستم های مدیریت روسازی، مدل استفاده شده در نرم افزار (HDM-4) بانک جهانی است که نخستین بار توسط «واتاناتادا» و همکاران در سال ۱۹۸۷ ارائه گردید. در این مدل، تابع هدف میتواند به یکی از سه شکل زیر باشد:

الف- به حداکثر رساندن ارزش خالص فعلی (NPV): در این حالت ترکیبی از گزینه های سرمایه گذاری انتخاب می شود که با توجه به محدودیت بودجه، پارامتر یادشده برای کل شبکه یا پروژه بیشینه می شود. رابطه ریاضی تابع هدف یادشده به شکل زیر است [۴]:

$$\text{Maximize } NPV[X_{km}] = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_k} NPV_{km} X_{km} \quad (1)$$

که در آن:

$$K = \text{تعداد قطعات در شبکه راه،}$$

$$M_k = \text{تعداد گزینه های ترمیم و نگهداری، و}$$

$$NPV[X_{km}] = \text{ارزش خالص فعلی ناشی از اجرای عملیات}$$

نگهداری (m) در قطعه (k) در سطح «حداقل فعالیت لازم».

محدودیت بودجه موجود با رابطه زیر نشان داده می شود:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_k} R_{kmt} X_{km} \leq TR_{qt}, \quad q = 1, \dots, Q; \quad t = 1, \dots, T \quad (2)$$

که در آن:

$$R_{kmt} = \text{مقدار تنزیل نیافته «سرفصل بودجه» } q \text{ توسط اداره راه}$$

در دوره بودجه t،

$$Q = \text{تعداد کل عناوین اعتبارات،}$$

$$T = \text{تعداد کل دوره های بودجه بندی، و}$$

$$TR_{qt} = \text{حداکثر بودجه موجود تحت عنوان بودجه } q \text{ در دوره}$$

بودجه t.

در روابط بالا، (X_{km}) متغیر تصمیم گیری است که مقدار آن تنها میتواند «صفر» یا «یک» باشد. یعنی برای هر قطعه k از شبکه راه، تنها یک عملیات ترمیم و نگهداری به عنوان گزینه برتر انتخاب می شود. این محدودیت با رابطه زیر وارد محاسبات می شود:

$$\sum_{m=1}^{M_k} X_{km} \leq 1, \quad k = 1, \dots, K \quad (3)$$

ب- به حداکثر رساندن بهبود در شاخص ناهمواری (IRI): در این حالت برای بیشینه کردن بهبود در وضعیت شبکه یا پروژه، میزان کاهش ناهمواری (DIRI) معیار اولویت بندی قرار می گیرد و ترکیبی از گزینه ها انتخاب می شوند که بیشترین کاهش ناهمواری را به همراه داشته باشند. رابطه ریاضی تابع هدف فوق به شکل زیر است [۴]:

$$\text{Maximize } \Delta IRI[X_{km}] = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^{M_k} \Delta IRI_{km} X_{km} \quad (4)$$

پارامترهای این مدل همان پارامترهای تعریف شده یاد شده در بالا هستند.

ج- کمینه کردن هزینه به ازای IRI هدف: در این حالت گزینه ها به طریقی انتخاب می شوند که ضمن در نظر گرفتن کمینه هزینه ممکن، میانگین شاخص ناهمواری در طول دوره تحلیل کوچک تر یا مساوی IRI هدف باشد.

در مدل HDM-4 به دلیل توجه بسیار زیاد به اقتصادی بودن فعالیت های تعمیر و نگهداری، برخی عوامل فنی مانند وضعیت سازه ای راه کمتر مورد توجه قرار گرفته اند. تحلیل حساسیت های انجام شده حاکی از آنست که علی رغم تعریف شاخص هایی مانند عدد سازه ای اصلاح شده روسازی (SNP)^۱، با تغییر در پارامترهای

درحالی که در ارزیابی سازه‌ای، توانایی روسازی در تحمل بارهای وارده از وسایل نقلیه بررسی می‌شود. در مدل (HPMS) عوامل زیر تعیین کننده نحوه قطعه‌بندی پروژه هستند: سازه روسازی، ترافیک، تاریخچه ساخت، رتبه یا طبقه بندی عملکردی روسازی، ناهمواری، تأسیسات زهکشی و وضعیت روسازی و شانه‌ها.

۳-۳ انتخاب اولیه گزینه های ترمیم و نگهداری

معمولاً گزینه‌های ترمیم و نگهداری با توجه به دو عامل انتخاب می‌شوند. اول، سطوح استاندارد نگهداری هر کشور که در مورد نوع راه مورد نظر اعمال می‌شود. دوم، روشهای نگهداری که با توجه به نحوه تأثیر آنها بر روسازی و امکانات و توانایی های موجود قابل انجام هستند.

استانداردهای نگهداری به اهداف و شرایط مورد نظر مؤسسات راه بستگی دارد. به طور کلی، سطوح رسیدگی به معنی حداقل سطوح خدمت‌دهی قابل قبول از دیدگاه مؤسسات راه است. از مهم‌ترین معیارهای مطرح برای سطوح رسیدگی که در نرم افزار HDM-4 نیز مورد استفاده قرار گرفته است، می‌توان به شاخص IRI اشاره کرد. در این پژوهش، سطوح رسیدگی پیشنهادی بر اساس همین شاخص و به شرح مندرجات جدول شماره (۱) در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۱. سطوح رسیدگی پیشنهادی، بر اساس طبقه بندی راه و

شاخص ناهمواری بین المللی [۵]

راهکار مناسب بر اساس محدوده شاخص IRI (m/km)		نگهداری روزمره+نگهداری پیشگیرانه	نگهداری روزمره + ترمیم	بازسازی
طبقه‌بندی راه				
شیرینایی یا درجه یک	$IRI < 4$	$4 \leq IRI \leq 8$	$IRI > 8$	
اصلی یا درجه دو	$IRI < 5$	$5 \leq IRI \leq 9$	$IRI > 9$	
فرعی یا درجه سه	$IRI < 6$	$6 \leq IRI \leq 10$	$IRI > 10$	

ورودی منجمله تغییر شکل در مرکز بارگذاری دستگاه افت و خیزسنج ضربه‌ای (FWD)^۷، تغییرات بسیار ناچیزی در نتایج تحلیل حاصل می‌شود. بنابراین، استفاده از مدل‌های جامع تر برای اصلاح روند تصمیم گیری در مدیریت روسازی ضروری به نظر می‌رسد.

۳. ساختار مدل مدیریت روسازی سلسله مراتبی

در این تحقیق، مدلی برای مدیریت روسازی تهیه شده که در آن با بکارگیری تحلیل هزینه‌های چرخه عمر (LCCA)^۸ و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روند اولویت بندی گزینه ها و تصمیم گیری در مدیریت روسازی بهبود می‌یابد. ساختار کلی مدل طراحی شده در این پژوهش با عنوان سیستم مدیریت روسازی سلسله مراتبی (HPMS)^۹ در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. مراحل ساخت مدل HPMS به شرح ذیل می‌باشد:

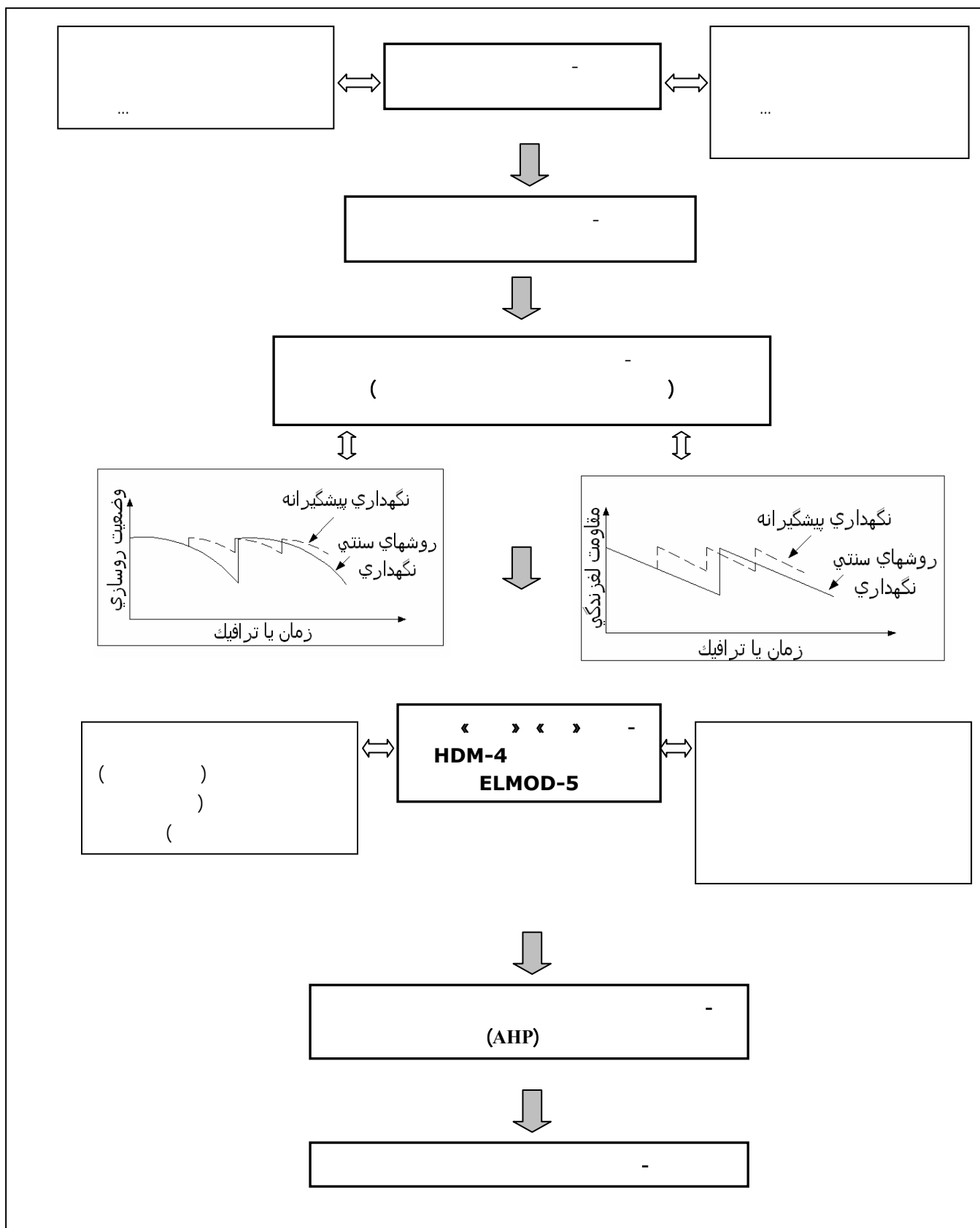
۳-۱ تهیه داده‌های ورودی

اولین گام در اجرای مدل (HPMS)، تعیین متغیرهای ورودی و شناخت قیدها و محدودیت‌های موجود است. اطلاع از تاریخچه ساخت و نگهداری یک روسازی برای پیشرفت یک پروژه از اهمیت زیادی برخوردار است. اطلاعاتی که در مورد تاریخچه روسازی باید جمع آوری شوند عبارتند از:

- سازه روسازی و تاریخ اولین ساخت،
- ضخامت و زمان اجرای روکش‌های بعدی،
- تاریخچه نگهداری: شامل وصله‌کاری و درزگیری، اجرای آسفالت‌های حفاظتی و...
- خصوصیات مصالح به کار رفته در هر یک از مراحل اجرایی.

۳-۲ ارزیابی و قطعه بندی روسازی

انتخاب گزینه‌های ترمیم و نگهداری لازم است بر اساس نتایج ارزیابی وضعیت موجود روسازی صورت گیرد. ارزیابی روسازی راهها به دو بخش «کیفی» و «سازه‌ای» تقسیم بندی شده است. برای ارزیابی کیفی روسازی، وضعیت ناهمواری‌ها، ترکها و در مجموع خرابی‌های ظاهری سطح راه مورد توجه قرار می‌گیرد،



شکل ۱. ساختار کلی سیستم مدیریت روسازی سلسله مراتبی (HPMS) [۵].

۳-۴ ارزیابی فنی و اقتصادی گزینه‌ها

به منظور ارزیابی فنی و اقتصادی گزینه‌های مختلف در این تحقیق، از نرم افزارهای $HDM - 4$ و $ELMOD - 5$ استفاده شده است.

چارچوب تحلیلی مدل $HDM - 4$ مبتنی بر مفهوم تحلیل چرخه عمر روسازی است. این مدل برای پیش بینی مواردی همچون روند اضمحلال راه، اثرات وضعیت راه در بهره برداری، اثرات استفاده کنندگان، و اثرات اقتصادی، اجتماعی و محیطی، در خلال چرخه عمر یک روسازی که عموماً ۱۵ تا ۴۰ سال می‌باشد، به کار می‌رود.

در $HDM - 4$ منافع اقتصادی ناشی از روش‌های مختلف نگهداری راه، به وسیله مقایسه هزینه کل اجرای پروژه‌های مختلف نگهداری، با یک گزینه مبنا که معمولاً نشان دهنده حداقل استانداردهای رایج نگهداری است، تعیین می‌شوند. همچنین هزینه‌های مربوط به طیف وسیعی از گزینه‌ها برای سالهای متوالی دوره تحلیل تخمین زده می‌شود و کلیه هزینه‌های آتی برای سال‌های مشخص شده، برآورد می‌شوند.

پس از برداشت اطلاعات مربوط به افت و خیز روسازی با استفاده از دستگاه FWD، با انجام محاسبات معکوس^{۱۱}، مدول الاستیسیته هر یک از لایه‌های روسازی و همچنین عدد ضخامت مؤثر روسازی تعیین می‌شود.

معمول‌ترین روش‌های محاسبات معکوس، شامل تحلیل اطلاعات به وسیله نرم‌افزارهای $Elmod - 5$ ، $Mich Back$ ، $Modulus$ و روش آیین‌نامه طراحی روسازی آشتو (سال ۱۹۹۳) است.

در مدل جدید از دستگاه افت و خیز سنج ضربه ای و نرم‌افزار $Elmod5$ به منظور تعیین مدول الاستیسیته لایه‌ها استفاده می‌شود، به منظور تعیین مدول مؤثر کل روسازی و ضریب برجهندگی خاک بستر، در نرم‌افزار $Elmod5$ مجموعه روسازی به صورت یک لایه شامل لایه‌های آسفالتی و لایه‌های غیرچسبنده (اساس و زیراساس)، معرفی می‌شود. سپس با در اختیار داشتن E_p ، عدد سازه‌ای مؤثر روسازی (SN_{eff}) با استفاده از رابطه زیر که از آیین‌نامه طراحی روسازی آشتو ۱۹۹۳ استخراج شده است، به دست می‌آید [۶]:

$$SN_{eff} = 0.0045D \sqrt[3]{E_p} \quad (5)$$

که در آن:

D = ضخامت کل لایه‌های روسازی، برحسب اینچ، و

E_p = مدول مؤثر کل لایه‌های روسازی، برحسب psi.

عدد ضخامت مورد نیاز روسازی (SN_d) با استفاده از رابطه طرح روسازی آشتو (۱۹۹۳) و با سعی و خطا محاسبه می‌شود. این رابطه به شکل زیر است [۶]:

$$\log_{10} \frac{w}{18} = Z_R \times S_0 + 9.36 \log_{10}(SN_d + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{1094} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

$$0.4 + \frac{1}{(SN_d + 1)^{5.19}} \quad (6)$$

با کسر عدد ضخامت مؤثر از عدد ضخامت مورد نیاز روسازی، کمبود عدد ضخامت مورد نیاز به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$dSN = SN_d - SN_{eff} \quad (7)$$

نهایتاً مقادیر کمبود عدد ضخامت، به عنوان شاخصی جهت تعیین ضریب اهمیت معیار مقاومت سازه ای در تابع هدف مدل (HPMS) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۵ اولویت بندی گزینه‌ها به روش AHP

استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در مدل HPMS شامل مراحل زیر است:

الف- تعریف هدف

ب- انتخاب گزینه‌ها

ج- انتخاب معیارهای تصمیم‌گیری

د- تعیین وزن معیارها

ه- ساخت تابع هدف

و- اولویت بندی گزینه‌ها

در مدل جدید پس از بررسی معیارهای متعدد و تحقیقات پیشین و با توجه به تجربه کارشناسان راه (با اخذ نظرخواهی مستقیم) مهمترین معیارهای ارزیابی فنی و اقتصادی گزینه‌ها به شرح زیر انتخاب شد:

الف- پارامتر اقتصادی: نتیجه تحلیل هزینه‌های چرخه عمر روسازی در نرم افزار $HDM - 4$ ، شاخص‌های اقتصادی متفاوتی است که مهم‌ترین آنها نسبت $(NPV / Cost)$ است. این

RN_{is} = عدد سواری گزینه S در قطعه i، برای دوره طرح روسازی است.

ج- مقاومت سازه‌ای: یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد روسازی و طول عمر مفید آن، مقاومت سازه‌ای جسم راه است. در مدل HPMS پارامتر مورد استفاده برای مقاومت سازه‌ای، میانگین شاخص SNP طی دوره طرح روسازی است که با بکارگیری رابطه زیر برای هر یک از گزینه‌ها محاسبه می‌شود.

$$SNP_{is} = \frac{\sum_{j=1}^N SNP_{isj}}{N} \quad (10)$$

که در آن:

SNP_{isj} = عدد ضخامت اصلاح شده روسازی در فصول غیر بارانی سال (فصول خشک) برای گزینه S در قطعه i و در سال j ام دوره طرح روسازی، و

SNP_{is} = میانگین عدد ضخامت اصلاح شده روسازی در فصول خشک، برای گزینه S در قطعه i و طی دوره طرح است.

نرم افزار $HDM - 4$ با استفاده از مدل های اضمحلال، مدل‌های تأثیر فعالیت‌های نگهداری و مدل‌های تأثیر استفاده کنندگان که با استفاده از ضرایب معرفی شده توسط تحلیل گر کالیبره می‌شوند، مقدار پارامتر SNP_{isj} را برای یک یک گزینه ها در سالهای دوره طرح محاسبه می‌کند.

د- کیفیت زهکشی: در مدل (HPMS)، تأثیرات هر یک از گزینه ها بر کیفیت زهکشی، مستقیماً به کمک قضاوت مهندسی اولویت بندی و امتیازدهی می‌شوند. در این مدل، پارامتر (DF)^{۱۳} به عنوان معیار امتیازدهی تأثیر گزینه‌ها بر کیفیت زهکشی تعریف می‌شود.

پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز و اجرای نرم افزار $HDM - 4$ ، مقادیر پارامترهای شاخص معیارها با استفاده از نتایج خروجی نرم افزار محاسبه می‌شوند.

سپس با انجام جدول مقایسه های زوجی به روش AHP گروهی، ضرایب اهمیت معیارها تعیین می‌شوند و ماتریس وزن معیارها به صورت نشان داده شده در شکل ۲ تکمیل می‌شود. وزن دهی معیارها با توجه به میزان اهمیت هر یک از آنها برای مسئولان مربوطه و با در نظر گرفتن علت خرابیهای روسازی موجود انجام می‌شود.

نسبت که رابطه آن در زیر ارائه شده است، برای تمامی گزینه‌ها مشخص می‌شود و در مدل (HPMS) به عنوان شاخص معیار اقتصاد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$E_{ji} = \frac{(NPV_j - NPV_i)}{(cost_j - cost_i)} \quad (8)$$

در رابطه فوق NPV_i و NPV_j به ترتیب‌های ارزش خالص فعلی گزینه‌های ارزان‌تر و گران‌تر هستند و $cost_i$ و $cost_j$ نیز نشانگر هزینه آنها هستند.

ب- راحتی سرنشین: زمانی که خودرو بر سطحی ناهموار حرکت می‌کند، بیشترین ناراحتی سرنشینان ناشی از تغییر شتاب عمودی نسبت به زمان است که این امر تحت عنوان «لرزش» شناخته می‌شود. تحقیقات انجام شده توسط Lio و Herman [۷] نشان داده است که انحراف معیار استاندارد لرزش، به طور مستقیم با عدد سواری (RN)^{۱۲} تعریف شده توسط مؤسسه NCHRP در ارتباط است [۸]. در همین تحقیقات اثبات شد که از دیدگاه استفاده کنندگان، IRI به طور مستقیم نمی‌تواند توصیف چندان خوبی از کیفیت سواری باشد.

در $HDM - 4$ ، عدد IRI به عنوان شاخصی برای ناهمواری سطح جاده استفاده می‌شود که بخش عمده ای از هزینه های استفاده کنندگان متناسب با آن محاسبه می‌شود. نرخ افزایش IRI مستقیماً با بار ترافیک، یعنی تعداد بار محوری هم‌ارز طی چرخه عمر روسازی، سن رویه راه، عدد سازه ای، و شدت خرابی‌ها متناسب است.

در مدل (HPMS)، معیار راحتی سرنشین با استفاده از عدد سواری که بصورت زیر تعریف شده است، سنجیده می‌شود [۷].

$$RN_{is} = \frac{\sum_{j=1}^N \left(5 - 2.63 \times \log \frac{IRI_{isj}}{0.343} \right)}{N}, \quad (j = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (9)$$

که در آن:

IRI_{isj} = شاخص ناهمواری بین المللی بر حسب متر بر کیلومتر، برای گزینه S در قطعه i و در سال j ام دوره طرح روسازی، و

مؤسسه IBRD^{۱۴}، نرخ تنزیل برای پروژه‌های عمرانی در ایران را برابر ۱۲ درصد تعیین کرده و بنابراین این عدد در ارزیابی اقتصادی طرح ترمیم و نگهداری بزرگراه شهید بابایی مورد استفاده قرار گرفت [۸].

عملیات اجرایی ساخت بزرگراه بابایی در سال ۱۳۷۰ آغاز شده و بهره برداری از آن، در سال ۱۳۷۳ آغاز شده است. این بزرگراه در هر جهت دارای سه خط عبور است. عرض خطوط عبوری ۳/۶۰ متر و طول کل مسیر برابر ۱۶ کیلومتر است.

بر اساس نتایج آزمایش‌های انجام شده، میانگین ضخامت لایه‌های روسازی اجرا شده در بزرگراه بابایی به شرح زیر گزارش شده است:

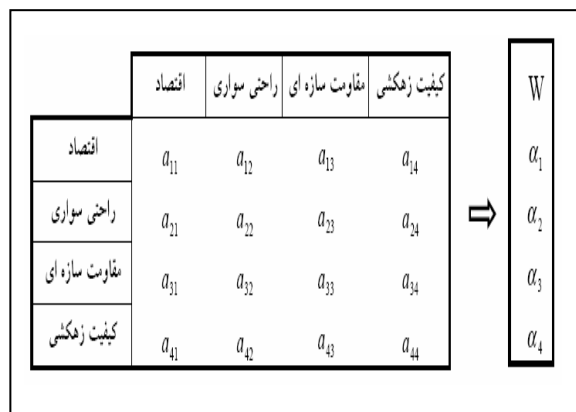
- لایه‌های آسفالتی اجرا شده مشتمل بر سه لایه بیندر، به ضخامت‌های ۷ و ۶ و ۶ سانتی متر، و یک لایه ۵ سانتی متری توپکا می‌باشد. در مجموع قشرهای آسفالت اولیه دارای ضخامتی برابر ۲۴ سانتیمتر هستند.
- ضخامت قشرهای مصالح دانه‌ای اساس و زیر اساس مجموعاً حدود ۲۸ سانتی متر است، اما تفکیک آنها از یکدیگر بسیار مشکل است.

از زمان آغاز بهره برداری تا انتهای سال ۱۳۸۳، هیچگونه عملیات ترمیم اساسی (روکش و یا بازسازی) بر روی آن صورت نگرفته است، اما عملیات لکه‌گیری تاکنون سه بار و طی سالهای ۱۳۷۷، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۳، در تمام سطح سواره‌رو مسیر انجام شده است.

به منظور ارزیابی شرایط آب و هوایی حاکم بر بزرگراه، از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی مستقر در شمال تهران استفاده شد. بر این اساس بزرگراه شهید بابایی به علت میزان بارندگی، در منطقه نیمه خشک واقع شده و از نظر درجه حرارت، در محدوده نیمه استوایی گرم قرار گرفته است.

ارزیابی روسازی بزرگراه شهید بابایی از طریق انجام یک سری آزمایش‌های مخرب و غیرمخرب به شرح زیر انجام شد:

- برداشت خرابی‌ها و محاسبه PCI طبق استاندارد (ASTM D6433-99).
- برداشت میدانی شاخص‌های کیفی راه، شامل میزان ناهمواری بین المللی (IRI)، عمق شیارشدگی (Rutting) و عمق بافت رویه راه (Macro Texture) توسط دستگاه نیمرخ‌یاب سطح راه (RSP).
- ارزیابی سازه‌ای روسازی با استفاده از دستگاه افت و خیز سنج ضربه ای (FWD)، و
- آزمایش دینامیکی نفوذ مخروط (DCP).



شکل ۲. ماتریس وزن معیارها

تابع هدف تصمیم‌گیری در مدل HPMS، به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Maximize}(Z) = \alpha_1(E_{ji}) + \alpha_2(RN) + \alpha_3(SNP) + \alpha_4(DF) \quad (6-4)$$

در رابطه فوق α_1 و α_2 و α_3 و α_4 ضرایب اهمیت معیارها هستند که با نظر گروهی کارشناسان مربوطه و تشکیل ماتریس معیارها تعیین می‌شوند.

در مورد هر بخش از راه، با قرار دادن مقادیر به دست آمده برای شاخص معیارها و ضریب وزنی معیارها در تابع هدف، امتیاز نسبی هر گزینه مشخص شده و گزینه‌ها به ترتیب امتیاز اولویت‌بندی می‌شوند. گزینه‌ای که بیشترین امتیاز را به دست می‌آورد، از نظر فنی و اقتصادی مناسب‌ترین گزینه برای ترمیم و نگهداری روسازی مورد نظر است.

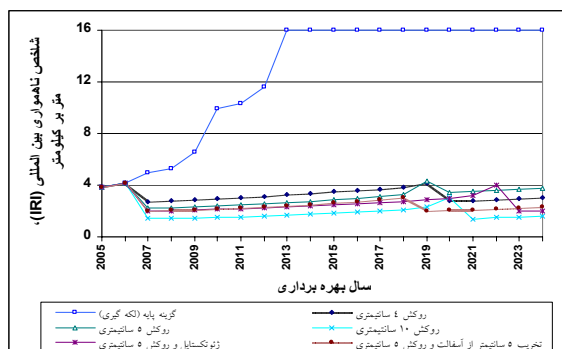
۳-۶ انتخاب روش نگهداری

با کنار هم گذاشتن اولویت‌های به دست آمده برای هر یک از بخش‌های راه تحت بررسی و با در نظر گرفتن مسائل اجرایی، روش نگهداری هر بخش از پروژه انتخاب می‌شود.

۴. اجرای آزمایشی مدل

در این تحقیق مسیر غرب به شرق بزرگراه شهید بابایی تهران (حد فاصل میدان نوبنیاد تا پل آبعلی) به عنوان مطالعه موردی انتخاب و تحلیل چرخه عمر روسازی طی یک دوره ۲۰ ساله انجام شد، بطوری که سالهای ابتدا و انتهای طرح به ترتیب ۲۰۰۵ و ۲۰۲۴ منظور شدند.

گزینه‌ها، وضعیت شاخص ناهمواری بین المللی طی چرخه عمر ۲۰ ساله روسازی مشخص شده است.



شکل ۳. روند اضمحلال روسازی و نحوه تأثیر گزینه های مختلف

ترمیم و نگهداری بر شاخص IRI، در قطعه ۱ بزرگراه شهید بابایی [۵]

نرم افزار HDM-4 شاخص های اقتصادی زیر را برای هر یک از گزینه ها محاسبه می کند:

- ارزش کنونی کل هزینه های اداره راه
- افزایش در هزینه های اداره راه
- کاهش در هزینه های کاربران راه
- ارزش خالص کنونی NPV
- نسبت «NPV/Cost»

مقدار شاخصهای اقتصادی فوق به همراه سایر شاخصهای فنی گزینه های مطرح شده برای ترمیم و نگهداری بزرگراه شهید بابایی، مطابق مندرجات جدول (۲) به دست آمدند.

جدول ۲. مشخصات فنی و برآورد هزینه‌های مختلف ترمیمی و بهسازی، در قطعه یک بزرگراه شهید بابایی [۵].

شماره گزینه	نوع عملیات	ارزش کنونی کل هزینه‌های اداره راه (COST)	افزایش یا کاهش در هزینه های اداره راه (A)	کاهش در هزینه‌های استفاده کنندگان (B)	ارزش خالص کنونی (NPV=B-A)	نسبت NPV/Cost	عدد سواری راه طی دوره طرح (RN)	میانگین عدد سازه‌های روسازی (SNP)
۱	لکه گیری آسفالت	۱۵۷۸,۷۳۶	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰۰	۱,۰۲	۵,۶۴
۲	روکش ۴ سانتیمتری	۱۰۱۳,۱۸۹	-۵۷۴.۵۵	۴۸۶۶۹۲.۴۲	۴۸۷۲۶۶.۹۷	۴۸۰.۹۲۴	۲,۴۳	۶,۴۱
۳	روکش ۵ سانتیمتری	۱۱۸۰,۱۴۸	-۴۰۷.۵۹	۴۸۷۲۸۹.۴۹	۴۸۷۶۹۷.۰۸	۴۱۳.۲۵۱	۲,۵۱	۶,۵۴
۴	روکش ۱۰ سانتیمتری	۱۹۶۷,۶۰۲	۳۷۹.۸۷	۴۹۵۲۵۶.۰۴	۴۹۴۸۷۶.۱۸	۲۵۱.۵۱۲	۳,۰۶	۷,۳۳
۵	ژئوتکتایل بعلاوه روکش ۵ سانتیمتری	۱۴۷۹,۲۲۳	-۱۰۸.۵۱	۴۹۲۶۲۹.۰۷	۴۹۲۷۳۷.۵۸	۳۳۳.۱۰۶	۲,۷۰	۷,۳۰
۶	تخریب و جایگزینی روکش ۵ سانتیمتری	۱۲۷۹,۹۲۱	-۳۱۲.۸۲	۴۹۴۴۳۶.۵۸	۴۹۴۷۴۹.۴۰	۳۸۸.۰۶۳	۲,۷۶	۶,۵۴

قطعه بندی بزرگراه بابایی به روش دینامیکی و بر اساس شیوه مطرح شده در آیین نامه آشتو ۱۹۹۳ به شرح زیر صورت گرفت:

- الف- قطعه اول : از کیلومتر ۰ تا ۴
- ب- قطعه دوم : از کیلومتر ۴ تا ۱۰
- ج- قطعه سوم : از کیلومتر ۱۰ تا ۱۴
- د- قطعه چهارم : از کیلومتر ۱۴ تا ۱۶

با توجه به تاریخچه تعمیر و نگهداری روسازی بزرگراه شهید بابایی و با در نظر گرفتن نظرات کارشناسان، شش گزینه زیر بعنوان گزینه‌های اولیه ترمیم و نگهداری انتخاب شدند:

- ۱- نگهداری روزمره شامل عملیات لکه‌گیری آسفالت
- ۲- نگهداری روزمره به علاوه روکش آسفالتی با دانه بندی پیوسته به ضخامت ۴ سانتیمتر،
- ۳- نگهداری روزمره به علاوه روکش آسفالتی با دانه بندی پیوسته به ضخامت ۵ سانتیمتر،
- ۴- نگهداری روزمره به علاوه دو روکش آسفالتی با دانه بندی پیوسته به ضخامت ۱۰ سانتیمتر،
- ۵- نگهداری روزمره به علاوه اجرای یک لایه ژئوتکتایل و روکش آسفالتی با دانه بندی پیوسته به ضخامت ۵ سانتیمتر، و
- ۶- نگهداری روزمره، بعلاوه تخریب ۵ سانتیمتر از قشر رویه موجود و جایگزینی آن با ۵ سانتیمتر رویه آسفالتی جدید.

شکل شماره ۳ روند اضمحلال روسازی را در قطعه اول بزرگراه نشان می‌دهد. در این نمودار با توجه به تأثیرات هر یک از

جدول ۴. اولویت بندی گزینه‌های ترمیم و نگهداری بزرگراه بابایی

شرح گزینه	قطعه ۱		قطعه ۲		قطعه ۳		قطعه ۴	
	امتیاز نهایی	شماره اولویت	امتیاز نهایی	شماره اولویت	امتیاز نهایی	شماره اولویت	امتیاز نهایی	شماره اولویت
لکه گیری آسفالت	۰,۰۴۰	۶	۰,۰۳۷	۶	۰,۰۳۹	۶	۰,۰۴۹	۶
روکش ۴ سانتیمتری	۰,۱۹۷	۲	۰,۲۰۴	۲	۰,۱۹۷	۲	۰,۱۸۹	۲
روکش ۵ سانتیمتری	۰,۱۸۵	۴	۰,۱۸۷	۴	۰,۱۹۲	۴	۰,۱۸۵	۴
روکش ۱۰ سانتیمتری	۰,۱۷۸	۵	۰,۱۷۵	۵	۰,۱۷۶	۵	۰,۱۸۰	۵
ژئوتکتایل بعلاوه روکش ۵ سانتیمتری	۰,۲۰۵	۱	۰,۲۰۶	۱	۰,۲۰۲	۱	۰,۲۱۳	۱
تخریب و جایگزینی روکش ۵ سانتیمتری	۰,۱۹۶	۳	۰,۱۹۰	۳	۰,۱۹۳	۳	۰,۱۸۴	۳

با انجام AHP گروهی، ماتریس معیارها برای قطعه اول بزرگراه بابایی بشرح جدول شماره (۳) تکمیل می‌شود.

جدول ۳. ماتریس مقایسه معیارها در مورد قطعه اول بزرگراه بابایی

W	کیفیت زهکشی	مقاومت سازه ای	راحتی سرنشین	اقتصاد
۰,۴۶۰	۳,۲	۵,۵	۱,۷	۱,۰
۰,۳۰۴	۲,۰	۵,۱	۱,۰	۱,۰
۰,۰۶۱	۰,۲۶	۱,۰		
۰,۱۷۴	۱,۰			

نهایتاً توابع هدف تصمیم گیری برای قطعات چهارگانه بزرگراه شهید بابایی، به شرح زیر به دست می‌آید:

قطعه اول:

$$Maximize(Z) = 0.460(E_{ji}) + 0.304(RN) + 0.061(SNP) + 0.174(DF)$$

قطعه دوم:

$$Maximize(Z) = 0.472(E_{ji}) + 0.300(RN) + 0.054(SNP) + 0.175(DF)$$

قطعه سوم:

$$Maximize(Z) = 0.462(E_{ji}) + 0.304(RN) + 0.060(SNP) + 0.175(DF)$$

قطعه چهارم:

$$Maximize(Z) = 0.375(E_{ji}) + 0.243(RN) + 0.249(SNP) + 0.133(DF)$$

پارامترهای E_{ji} ، RN ، SNP و DF پیش‌تر در ردیف (۳-۵) تعریف شده‌اند.

با قرار دادن مقادیر به دست آمده برای شاخص معیارها و ضریب وزنی معیارها در نرم‌افزار Expert Choice، امتیاز نهایی گزینه‌ها مطابق جدول شماره (۴) محاسبه می‌شود.

نتیجه تحلیل سلسله مراتبی نشان دهنده آنست که گزینه پنجم، یعنی اجرای یک لایه ژئوتکتایل بعلاوه روکش آسفالتی به ضخامت ۵ سانتیمتر، در هر چهار قطعه بزرگراه به عنوان اولویت نخست شناخته شده است. بنابراین با در نظر گرفتن تمام جوانب فنی و اقتصادی، این گزینه جهت اجرا در هر چهار قطعه مسیر انتخاب می‌شود.

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق مدلی ارائه شد که با استفاده از آن به منظور مدیریت بهینه و جامع روسازی راههای موجود، علاوه بر شاخصهای اقتصادی، سایر پارامترهای مهم مانند بهبود کیفیت بهره‌برداری، بهبود وضعیت سازه‌ای روسازی و تأثیرات گزینه‌ها بر زهکشی راه، مبنای تصمیم‌گیری و اولویت بندی گزینه‌های ترمیم و نگهداری قرار می‌گیرند.

نرم افزار HDM-4 که توسط بانک جهانی تهیه شده است، سیستمی مفید و کارآمد برای تنظیم برنامه سرمایه‌گذاری در امور ساخت و نگهداری راههاست، اما وجود عوامل و معیارهایی که قابل تبدیل به ارزش پولی نیستند، بیش از پیش استفاده از مدل‌های مبتنی بر تصمیم‌گیری چند معیاره را در امر مدیریت راهها ضروری ساخته است.

۵. باقری ساری، محمد، (۱۳۸۴) "مدل مدیریت روسازی راه در سطح پروژه به روش تحلیل هزینه های چرخه عمر"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

6. American Association of State Highway and Transportation Officials (1993) "AASHTO guide for design of pavement structures". Washington, D.C, USA.

7. Cafiso, S. [et.al.] (2002) "Multicriteria analysis method for pavement maintenance management", TRR, No-1816, Transportation Research Laboratory, Crowtorne, UK.

8. National Cooperative Highway Research Program [NCHRP] (2004) "Guide for mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures, Part 1 to 4", Washington, D.C., USA.

۹. سازمان حمل و نقل و ترافیک، (۱۳۸۲) "گزارش مطالعات انجام شده توسط بانک بین المللی ژاپن؛ پروژه قطار هوایی تهران"، پیوست شماره دو.

مهم ترین دستاورد این پژوهش ارایه مدلی جدید برای استفاده از خروجی نرم افزارهای HDM-4 و ELMOD-5 در تصمیم گیری چندمعیاره است که این کار به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عملی می شود. هر چند مدل ارائه شده ویژه مدیریت روسازی در سطح پروژه است، اما به دلیل انعطاف پذیری بسیار زیاد آن، و با در نظر گرفتن معیارها و گزینه های مناسب، در سطح شبکه راهها نیز قابل استفاده است.

با استفاده از این مدل تصمیم گیرندگان می توانند با تغییر در وزن معیارهای تصمیم گیری، و همچنین با آگاهی از دیدگاه های تمامی صاحب نظران به روش AHP گروهی، مناسب ترین و بهینه ترین راه حل ممکن را برای مدیریت بهتر راهها انتخاب کنند.

مطالعه موردی انجام شده حاکی از آنست که معیار «بازدهی اقتصادی» مهم ترین پارامتر تاثیرگذار بر انتخاب روش ترمیم و نگهداری راههاست و سپس معیارهای «راحتی سرنشین»، «کیفیت زهکشی» و «مقاومت سازه ای» به ترتیب دارای بیشترین اهمیت در تصمیم گیری ها هستند. بنابراین هیچیک از عوامل یاد شده به تنهایی نمی توانند معیار مناسبی برای اولویت بندی گزینه ها و انتخاب روش نگهداری باشند.

۶. مراجع

- پانویس ها:
- 1- Analytical Hierarchy Process
 - 2- Watanatada
 - 3- Net Present Value
 - 4- Budget head
 - 5- International Roughness Index
 - 6- Adjusted structural number of pavements
 - 7- Falling Weight Deflectometer
 - 8- Life cycle cost analysis
 - 9- Hierarchical Pavement Management System
 - 10- Evaluation of layer moduli and overlay design
 - 11- Back calculations
 - 12- Ride number
 - 13- Drainage factor
 - 14- International Bank for Reconstruction and Development

1. Robinson, R., Danielson, U. and Snaith, M.(1998) "Road maintenance managment", First Edition, Macmillan, London, UK.
2. Heggie, I.G. (1995) "Management and financing of roads: An agenda for reform", World Bank Tachnical Paper, No-275, Washington D.C, USA.
3. Haas, R. [et.al.] (1994) "Modern pavement management", Krieger Publishing Co.
4. World Road Association [PIARC] (2000) "HDM-4 User's manual, Volumes I to IV; The Highway Development and Management Series", Paris, France.