

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 بهره برداری، 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 «هادسون» 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 = تعداد قطعات در شبکه راه،

M_k = تعداد گزینه های ترمیم و نگهداری، و

$NPV[X_{km}]$ = 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:

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

که در آن:

R_{kmqt} = مقدار تنزیل نیافته «سرفصل بودجه» q توسط اداره راه در دوره بودجه t ،

Q = تعداد کل عناوین اعتبارات،

T = تعداد کل دوره های بودجه بندی، و

TR_{qt} = حداکثر بودجه موجود تحت عنوان بودجه q 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]:

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

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 کوچکتر 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 مهم 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)			طبقه‌بندی راه
نگهداری روزمره + ترمیم	نگهداری پیشگیرانه	بازسازی	
$4 \leq IRI \leq 8$	$IRI < 4$	$IRI > 8$	شیرینایی یا درجه یک
$5 \leq IRI \leq 9$	$IRI < 5$	$IRI > 9$	اصلی یا درجه دو
$6 \leq IRI \leq 10$	$IRI < 6$	$IRI > 10$	فرعی یا درجه سه

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:

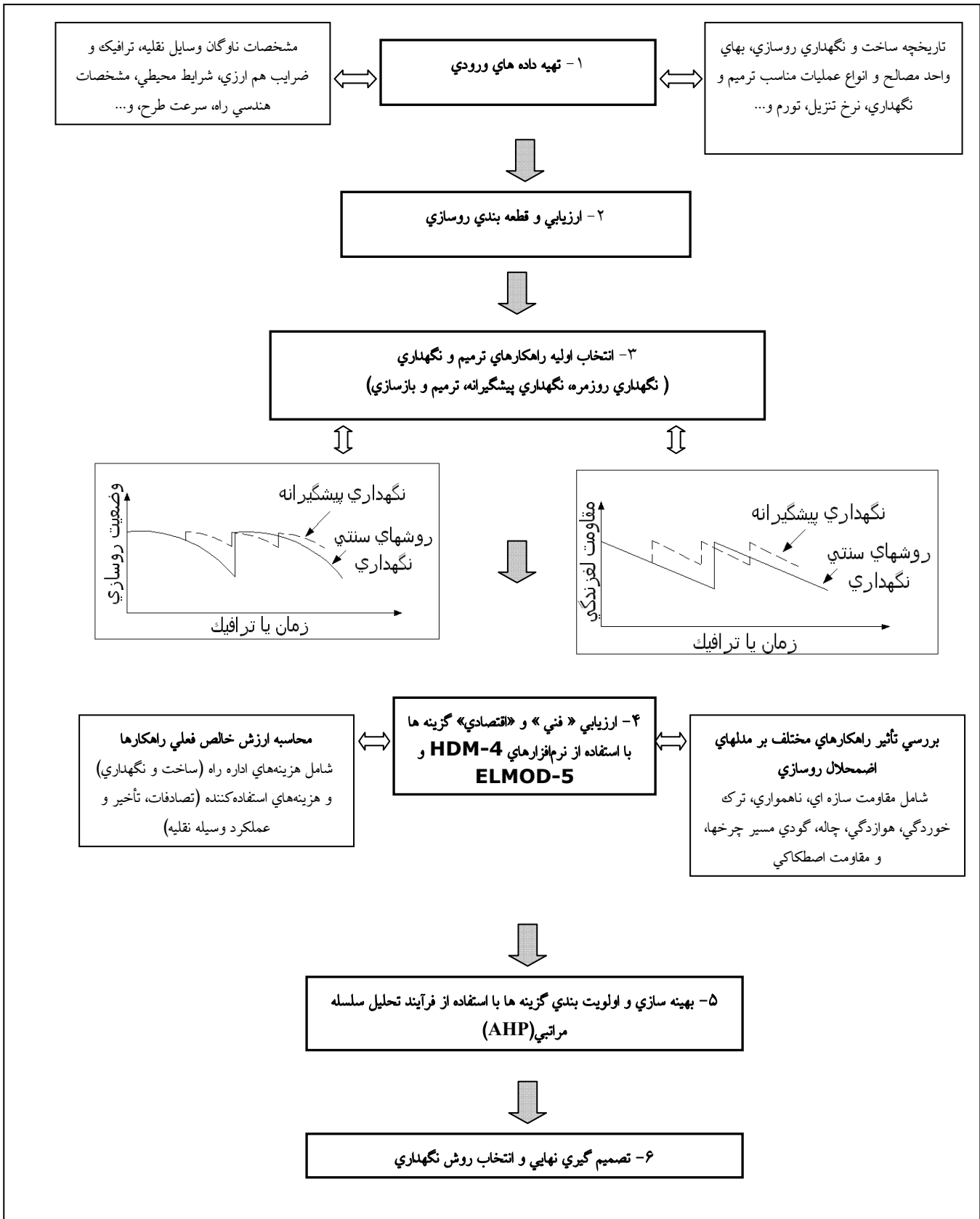
۳-۱ تهیه داده‌های ورودی

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 گزینه های 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 می باشد، به کار می رود.

در $HDM-4$ منافع اقتصادی ناشی از روش های مختلف نگهداری راه، به وسیله مقایسه هزینه کل اجرای پروژه های مختلف نگهداری، با یک گزینه مبنا که معمولاً نشان دهنده حداقل استانداردهای رایج نگهداری است، تعیین می شوند. همچنین هزینه های مربوط به طیف وسیعی از گزینه ها برای سالهای متوالی دوره تحلیل تخمین زده می شود و کلیه هزینه های آتی برای سال مبنا مشخص شده، برآورد می شوند.

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 لایه های روسازی و همچنین عدد ضخامت مؤثر روسازی تعیین می شود.

معمول ترین روش های محاسبات معکوس، شامل تحلیل اطلاعات به وسیله نرم افزارهای $Elmod-5$ ، $Modulus$ ، $Mich Back$ و روش آیین نامه طراحی روسازی آشتو (سال ۱۹۹۳) است.

در مدل جدید از دستگاه افت و خیز سنج ضربه ای و نرم افزار $Elmod5$ به منظور تعیین مدول الاستیسیته لایه ها استفاده می شود، به منظور تعیین مدول مؤثر کل روسازی و ضریب برجهنگی خاک بستر، در نرم افزار $Elmod5$ مجموعه روسازی به صورت یک لایه شامل لایه های آسفالتی و لایه های غیرچسبنده (اساس و زیراساس)، معرفی می شود. سپس با در اختیار داشتن E_p ، عدد سازه ای مؤثر روسازی (SN_{eff}) با استفاده از رابطه زیر که از آیین نامه طراحی روسازی آشتو ۱۹۹۳ استخراج شده است، به دست می آید [۶]:

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

که در آن:

D = ضخامت کل لایه های روسازی، برحسب اینچ، و

E_p = مدول مؤثر کل لایه های روسازی، برحسب psi.

عدد ضخامت مورد نیاز روسازی (SN_d) با استفاده از رابطه طرح روسازی آشتو (۱۹۹۳) و با سعی و خطا محاسبه می شود. 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 می شود:

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

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

۳-۵ اولویت بندی گزینه ها به روش AHP

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

الف- تعریف هدف

ب- انتخاب گزینه ها

ج- انتخاب معیارهای تصمیم گیری

د- تعیین وزن معیارها

ه- ساخت تابع هدف

و- اولویت بندی گزینه ها

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 گزینه ها به شرح زیر انتخاب شد:

الف - پارامتر اقتصادی: نتیجه تحلیل هزینه های چرخه عمر روسازی در نرم افزار $HDM - 4$ ، شاخص های اقتصادی متفاوتی است که مهم ترین آنها نسبت $(NPV / Cost)$ است. این نسبت که رابطه آن در زیر ارائه شده است، برای تمامی گزینه ها مشخص می شود و در مدل (HPMS) به عنوان شاخص معیار اقتصاد مورد استفاده قرار می گیرد.

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

در رابطه فوق NPV_j و NPV_i به ترتیب های ارزش خالص فعلی گزینه های ارزان تر و گران تر هستند و $cost_j$ و $cost_i$ نیز نشانگر هزینه آنها هستند.

ب - راحتی سرنشین: زمانی که خودرو بر سطحی ناهموار حرکت می کند، بیشترین ناراحتی سرنشینان ناشی از تغییر شتاب عمودی نسبت به زمان است که این امر تحت عنوان «لرزش» شناخته می شود. تحقیقات انجام شده توسط Herman و Lio [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 نمی تواند توصیف چندان خوبی از کیفیت سواری باشد.

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

در مدل (HPMS)، معیار راحتی سرنشین با استفاده از عدد سواری که بصورت زیر تعریف شده است، سنجیده می شود [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 jام دوره طرح روسازی، و
 RN_{is} = عدد سواری گزینه S در قطعه i، برای دوره طرح روسازی است.

ج - مقاومت سازه ای: یکی از مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد روسازی و طول عمر مفید آن، مقاومت سازه ای جسم راه است. در مدل HPMS پارامتر مورد استفاده برای مقاومت سازه ای، میانگین شاخص SNP طی دوره طرح روسازی است که با بکارگیری رابطه زیر برای هر یک از گزینه ها محاسبه می شود.

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

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 jام 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، مدل های تأثیر فعالیت های نگهداری و مدل های تأثیر استفاده کنندگان که با استفاده از ضرایب معرفی شده توسط تحلیل گر کالیبره می شوند، مقدار پارامتر SNP_{isj} را برای یک یک گزینه ها در سالهای دوره طرح محاسبه می کند.

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

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

سپس با انجام جدول مقایسه های زوجی به روش AHP گروهی، ضرایب اهمیت معیارها تعیین می شوند و ماتریس وزن معیارها به

بطوری که سالهای ابتدا و انتهای طرح به ترتیب ۲۰۰۵ و ۲۰۲۴ منظور شدند.

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).

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.

	اقتصاد	راحتی سواری	مقاومت سازه‌ای	کیفیت زهکشی	W α ₁ α ₂ α ₃ α ₄
اقتصاد	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	
راحتی سواری	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	
مقاومت سازه‌ای	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄	
کیفیت زهکشی	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄	

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.

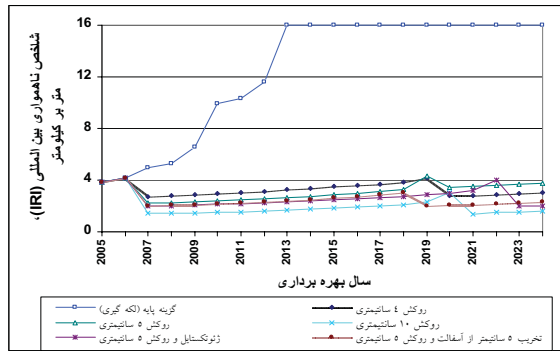
۳-۶ انتخاب روش نگهداری

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،

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 گزینه‌های 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 سازه‌ای 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
ژئوتکستایل 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

نتیجه تحلیل سلسله مراتبی نشان دهنده آنست که گزینه پنجم، یعنی اجرای یک لایه ژئوتکستایل 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 ارایه 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

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	زهکشی	کیفیت سازه ای	مقاومت	راحتی سرنشین	اقتصاد
۰.۴۶۰	۳.۲	۵.۵	۱.۷	۱.۰	اقتصاد
۰.۳۰۴	۲.۰	۵.۱	۱.۰	۱.۰	راحتی سرنشین
۰.۰۶۱	۰.۲۶	۱.۰	۱.۰	۱.۰	مقاومت سازه ای
۰.۱۷۴	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	کیفیت زهکشی

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

قطعه اول:

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

قطعه دوم:

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

قطعه سوم:

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

قطعه چهارم:

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

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.

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.

مبتنی بر تصمیم گیری چند معیاره را در امر مدیریت راهها 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- Hierarchial 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 Technical 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.

Development of a Pavement Management Model at the Project Level by Analytical Hierarchy Process (AHP)

M. Saffarzadeh, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

A. Kavousi, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran – Iran

M. Bagheri Sari, MSc. Student, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

E-mail: m_saffar@modares.ac.ir

ABSTRACT

To develop an optimal pavement management system, several factors such as economic indices, improved utilization parameters, improvement in structural situation of pavements and the effect of options on the environment, social and safety measures, etc.... should be considered. Inputting the above mentioned parameters into the priority chain of the determined options, requires a multi disciplinary decision making process. In this paper, a model on the basis of Analytical Hierarchy Process has been developed.

In order to evaluate the technical and economic aspects of the model's options, first of all the input data required for Elmod-5 and HDM-4 programs is prepared. Prioritization of repair and maintenance options and finally decision making for determination of the preferred option is done by AHP and Expert Choice Software, using the results obtained from implementation of the model.

The pavement management system is usually practiced in two network and project levels. In the pavement management at the network level, the priority of projects and the operations regarding their maintenance and time schedule is determined by the present limitations, while in the project level, the implementation of various methods of repair and maintenance for a specific project is evaluated and compared.

In this research a model has been designed for the pavement management in which by using the Life Cycle Cost Analysis and the AHP, the prioritization of options and decision making about the pavement management is improved. The construction phases of the MPHS Model are as follows:

- Supply of input data
- Preliminary evaluation and segmentation of pavement
- The preliminary selection of repair and maintenance options
- Techno economic evaluation of options
- Prioritization of options
- Choice of maintenance method
-

The HDM-4 and ELMOD-5 software have been used for techno economic evaluation of the various options. The analytical framework of the HDM-4 Model is based on the Pavement Life Cycle Cost Analysis. This model is used for prediction of factors such as road destruction and ageing, effects of the road situation on utilization, effects of the road users, and finally environmental, technical and economic effects on the life cycle of a pavement which is usually 15-40 years.

In the new model, on the basis of comprehensive literature review as well as the experiences of experts (direct interview), the most important factors for techno economic evaluation of options were selected. These factors include economic parameters, the comfort of vehicles' users, the structural stability and the drainage quality.

In this research, the Western – Eastern route of Shahid Babaiee Expressway in Tehran was chosen as the case study and the pavement life cycle analysis for a period of twenty years was implemented.

Using this model, the decision makers can choose the most suitable and optimal way for the improved management of pavements through changing the weight of decision measurements and recognition of the experts' experiences and viewpoints, using the group AHP Method.

This study is illustrative of the fact that the criteria of "economic output" is the most important parameter affecting the repair and maintenance choice and then some other parameters like the comfort of the vehicles attendants, the quality of drainage and the structural stability are accordingly the other important parameters in decision making process. Therefore, none of the above mentioned factors can merely be the suitable criterion for the prioritization of options and the choice of the suitable maintenance method.

Keywords: Pavements, pavement management systems, AHP, life-cycle-cost