Archive of SID

مدلهای بهینه‌سازی عملیات تعمیر و نگهداری پلها با استفاده از برنامه‌ریزی پویا

محمود صفارزاده ، دانشیار، دانشکده فنی- مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
بهروز کرباسی زاده، کارشناس ارشد، دانشکده فنی- مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
E-mail:saffar_m@modares.ac.ir

چکیده

مهم‌ترین هدف سیستم های مدیریت پل گردآوری تمامی داده‌ها و فعالیتهای مربوط به تعمیر و نگهداری پلهاست، به طریقی که تخصیص منابع با شیوه بهینه‌ای انجام شود و منافع حاصله در شبکه راهها نیز به حداکثر مقدار ممکن برسند. در این تحقیق مدلهای بهینه‌سازی به منظوراولویت‌دهی به انجام پروژه‌ها و فعالیتهای تعمیراتی و همچنین مناسب‌ترین زمان انجام این پروژه‌ها طراحی گردیده‌اند. افزون بر این، اثرات فعالیتهای تعمیراتی بر برنامه‌ریزیهای نگهداری در نظر گرفته شده‌اند. خصوصیت ویژه مدلهای ارائه شده، استفاده از برنامه‌ریزی پویا است که قادر به انجام بهینه‌سازی چند زمانه است. با ترکیب مدل داخلی و بیرونی برنامه‌ریزی پویا، یک روش جدید اولویت بندی به دست آمده است که استفاده از آن منجر به صرفه‌جوئی قابل ملاحظه‌ای در اتلاف سود کل سیستم خواهد گردید.

واژه‌های کلیدی : تعمیر و نگهداری، مدل بهینه‌سازی، سیستم مدیریت پل، برنامه‌ریزی پویا

۱. مقدمه

ابنیه فنی راهها در یک شبکهٔ بزرگراهی، از سرمایه‌گذاری های عمده به شمار می‌روند. این سازه‌ها با گذشت زمان نیاز به تعمیر و نگهداری پیدا می‌کنند. مشکل اصلی که بیشتر اداره‌های ترابری با آن رو به رو هستند این است که هزینهٔ انجام این قبیل فعالیت‌ها بیشتر از اعتبار موجود است. سیستم مدیریت پل، راه و روشی را برای سازماندهی و انجام فعالیتهای نگهداری، مرمت و بازسازی به منظور تأمین نیازهای شبکه با استفاده از سرمایه‌های موجود با مؤثرترین روش به کار می‌بندد. اولین هدف یک سیستم مدیریت پل، گردآوری تمام فعالیت‌های مربوط به مدیریت یک شبکه از پل‌ها در یک سیستم جامع کامپیوتری است که با استفاده از آن و به کار بستن منابع موجود بتوان نیازهای شبکه را تحت کارآمدترین و اقتصادی‌ترین روش تأمین کرد.

۲. بیان مسئله

عمده‌ترین مشکلی که اداره های ترابری با آن مواجه هستند این است که هزینهٔ تعمیر و نگهداری پلها بیش از اعتبار تخصیص داده شده به آنهاست. معوق ماندن فعالیت نگهداری و اولویت‌ندادن اعتبار تخصیص داده شده به پروژه‌های تعمیر پل، تنها باعث بدتر شدن این وضع می‌شود. در بازرسی از پلها ممکن است این نتیجه به دست آید که آنها از نظرسازه‌ای معیوب و یا از نظر عملکردی ناکارآ شده‌اند. اگر خرابی پل به حدی برسد که برای تحمل بعضی از وسایل نقلیه مناسب نباشد، پل از نظر سازه‌ای معیوب و فاقد ایمنی است. پل هنگامی از نظر عملکردی ناکارا تشخیص داده

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود که برای سرویس دادن به انواع ترافیک عبوری مناسب نباشد. این امر ممکن است به دلیل عرض یا ارتفاع آزاد ناکافی پل و یا امتداد نامناسب مسیر پل و جاده باشد[۱]. اخیراً گسترش سیستم های مدیریت پل به دلیل نبود توازن و تعادل بین نیازهای تعمیراتی شبکه‌های پل و منابع موجود اهمیت یافته است. مشکل اصلی و عمده، وجود تعداد بسیار زیاد پل معیوب است که بودجهٔ موجود برای برطرف کردن نارسائی های آنها کافی نیست. به منظور بررسی این مشکلات، فرضیات زیر در نظر گرفته شده‌اند:

۱- یک برنامه اولویت بندی جامع برای تخصیص بودجه به پروژه‌های پل ضرورت دارد تا بتوان منابع موجود را به صورت مؤثر و مقرون به صرفه مورد استفاده قرار داد. در نتیجه، به منظور کمینه کردن اتلاف سود، مدلهای بهینه‌سازی شبکه سیستم مورد نیاز هستند.

۲- نبود هماهنگی بین برنامه های تعمیراتی پل و برنامه‌ریزی نگهداری منجر به هدر رفتن منابع محدود اداره های ترابری یا انجام فعالیت های بی‌فایده می‌گردد. به همین منظور باید تاثیر برنامه های پروژه های تعمیر را بر روی برنامه ریزی نگهداری در مدل بهینه سازی در نظر گرفت [۲].

۳. ایده و اهداف

هدف اصلی سیستم مدیریت پل، برآوردن نیازهای شبکه پلها با استفاده از منابع موجود و مؤثرترین و کارآ ترین روش است، هدف سیستم، تخصیص اعتبار و منابع موجود به پروژه‌های تعمیر وفعالیت‌های نگهداری و تعیین زمان بهینه برای انجام هر پروژه یا فعالیت، در طی یک دورهٔ زمانی خاص است. در این سیستم تأثیر پروژه‌های تعمیر بر روی فعالیت‌های نگهداری در نظر گرفته می‌شود. تدابیر عملی برای تخصیص بهینهٔ اعتبار به فعالیت‌های تعمیر و نگهداری پلها، به تصمیم‌گیرندگان برای دستیابی به معیارهای سطح سرویس و کاهش حجم تراکم نیازهای تعمیر و نگهداری به تعویق افتاده کمک خواهد کرد [۳].

اولین هدف، ارائهٔ یک برنامهٔ اولویت دهی است که سود سیستم را به منظور تخصیص اعتبار موجود به پروژه‌های تعمیراتی پل بهینه کرده و بهترین زمان برای انجام این پروژه‌ها را تعیین نماید. این کار شامل فرمول‌نویسی یک مدل بهینه‌سازی شبکه برای فعالیت های تعمیراتی پلها است که با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا صورت می‌گیرد.

دومین هدف، پوشش دادن فعالیت های نگهداری پل‌ها و بررسی اثرات برنامه های تعمیراتی روی برنامه‌ریزی های نگهداری است. برای دستیابی به این هدف، یک مدل بهینه‌سازی نگهداری ارائه خواهد شد.

۴. مدل بهینه‌سازی نگهداری

در مدل بهینه‌سازی فعالیتهای نگهداری، تأثیر برنامه‌های پروژه‌های مرمّت و بازسازی بر روی برنامه‌ریزی نگهداری در نظر گرفته می‌شود و بر اساس آن تخصیص بهینهٔ منابع مربوط به نگهداری به این گونه فعالیت ها صورت می‌گیرد. روش ارائه مدل برای تهیهٔ برنامهٔ مربوط به فعالیت های نگهداری شامل سه مرحله است. مرحلهٔ اول تعیین فعالیت های نگهداری است که ضرورت دارد در کشمکش و رویارویی با پروژه‌های مرمت و بازسازی این گروه به طور موقت، معلق گذاشته شوند[۴]. این مرحله در یک زیرمدل به عنوان "زیر مدل تعلیق" مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس، یک ضریب تقدم برای هر فعالیت نگهداری، برای تعیین سود به دست آمده از انجام آن فعالیت تخمین زده خواهد شد[۵]. این مرحله در زیر مدل ضریب تقدّم انجام می‌شود. مرحلهٔ آخر توسط یک مدل برنامه‌ریزی پویا به منظور تخصیص منابع نگهداری به فعالیتهای مورد نیاز انجام می‌شود[۶ و۵]. هدف مدل بیشینه کردن ضریب تقدم کل روی تمام شبکه است و توسط زیرمدل بهینه‌سازی انجام می‌شود. منابع نگهداری به صورت کل نفر – ساعت های موجود در طول تمام سال تعریف می‌شوند. یک برنامهٔ کامپیوتری نیز برای شبیه‌سازی مدل بهینه‌سازی نگهداری تهیه شده است.

۴-۱ فرمول‌نویسی مدل

تابع هدف مسئله بهینه سازی برای هر سال می‌تواند به وسیلهٔ معادلهٔ زیر بیان شود:

$$Maximize \qquad K=\sum_{a=1}^{N} A_a * PF_a \qquad (۱)$$

مشروط بر این که:

$$\sum_{a=1}^{N} A_a ch_a \le CH \qquad (۲)$$

$$A_a = 1, 0 \qquad (۳)$$

که در آن:

www.SID.ir

Archive of SID

K = ضریب تقدم کل به دست آمده؛

N = تعداد کل فعالیتهای نگهداری پیشنهادی برای سال مورد مطالعه؛

A_a = یک، اگر فعالیت نگهداری (a) پیشنهاد گردد و در غیر این صورت صفر ؛

PF_a = ضریب تقدم برای فعالیت نگهداری (a)؛

Ch_a = تعداد «نفر ـ ساعتهای» مورد نیاز برای انجام فعالیت نگهداری (a) ؛

CH = تعداد کل «نفر ـ ساعتهای» موجود در طول سال تحلیل

را تعریف می‌کنند.

این مسئله را می‌توان با استفاده از برنامه‌ریزی با اعداد صحیح حل کرد، البته به شرطی که یا تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری کم باشد یا از فعالیتهای نگهداری خاص بیشتر استفاده شود. متأسفانه، در اکثر اداره‌های ترابری، تعداد این فعالیتها ممکن است به چندین هزار هم برسد. بنابراین برنامه‌ریزی با اعداد صحیح قادر به حل مسائلی این چنین بزرگ نخواهد بود. این بارنیز برنامه‌ریزی پویا برای حل این مسئله به کار گرفته خواهد شد. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره گردید، برنامه‌ریزی پویا یک روش بسیار قدرتمند برای حل مسائل بهینه‌سازی بزرگ با قیود کم است.

۴-۱-۱ *فرمول‌نویسی برنامه ریزی پویا*

مراحل (M) : فعالیتهای نگهداری.

حالتهای (S) : همهٔ سطوح ممکن «نفر- ساعتهای» موجود.

تصمیم در یک مرحله : انجام یا عدم انجام فعالیت به طوری‌که ضریب تقدم کل حداکثر گردد.

اتخاذ تصمیم : در صورت انجام دادن این فعالیت (PF) کل چه مقدار، و در صورت انجام ندادن (PF) کل چه مقدار است.

رابطهٔ بازگشتی :

$$f_M(S_M) = \text{Max}\,[U(M, S_M, A_M)] \quad \text{for } A_M = 0, 1 \qquad (۴)$$

$$U(M, S_M, A_M) = PF(A_M) + f_{M-1}(S_M - ch_M) \qquad (۵)$$

که در آن:

$f_M(S_M)$ = حداکثر (PF) کل که می‌تواند تا مرحلهٔ (M) در حالت (S_M) حاصل گردد؛

A_M = یک، اگر گزینهٔ (M) انجام شود و در غیر این صورت صفر؛

$(PF) = U(M, S_M, A_M)$ کل تا مرحله (M) هنگامی که (A_M) انتخاب شود؛

$PF(A_M)$ = ضریب تقدم فعالیت (M) اگر $A_M = 1$ ، و در غیر این صورت صفر؛ و

ch_M = «نفر- ساعتهای» مورد نیاز برای انجام فعالیت (M).

فرض بر این است که مراحل مدل، فعالیتهای نگهداری باشند. بنابراین، (N) مرحله وجود خواهد داشت. حالتها در هر مرحله، همه سطوح ممکن «نفر- ساعتها» را اختیارخواهند کرد. بنابراین، آنها از صفر شروع می‌شوند و به طور صعودی افزایش می‌یابند تا این که آخرین حالت معادل کل «نفر- ساعتهای» موجود (CH) در طول همهٔ سال شود. در هر مرحلهٔ (M) ، یک ماتریس دو ستونی، به معنی انجام یا عدم انجام فعالیت (M) وجود خواهد داشت. سطرهای این ماتریس حالتهای ممکن بوده و درایه‌های ماتریس مقادیر $U(M, S_M, A_M)$ هستند [۹و۸].

۵. مدل بهینه سازی شبکه برای پروژه‌های تعمیر

تخصیص اعتبارات محدود به پروژه‌های تعمیر پل یک مسئله بهینه‌سازی چند زمانه است، یک مدل بهینه‌سازی چند زمانه در این تحقیق ارائه شده، به گونه‌ای که تخصیص اعتبارات محدود به پروژه‌های تعمیر پل توسط کمینه کردن اتلاف سود سیستم انجام شود. مشکل پلها دارای دو بعد است؛ بعد زمان و بعد شبکه. بنابراین، مدل شامل دو مدل ترکیبی است؛ مدل بیرونی و مدل داخلی. مدل داخلی، بهینه‌سازی یکساله را انجام می‌دهد، در حالی که مدل بیرونی، سود سیستم را در دورهٔ تحلیل بهینه می‌کند. هر دو مدل با استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا فرمول‌سازی می‌شوند[۱۱و۱۰]. یک نرم‌افزار کامپیوتری نیز به منظور شبیه‌سازی مدل بهینه‌سازی شبکه تهیه شده است.

۵-۱ فرمول‌سازی مدل

تخصیص اعتبار به پروژه‌های پل انتخاب بهترین گزینهٔ اصلاحی برای هر پل موجود در شبکه به همراه تعیین زمان بهینه برای انجام

www.SID.ir

Archive of SID

آن را شامل می‌شود. تابع عمومی هدف به صورت زیر تعریف می‌گردد:

(۶)

$$Minimize \quad K=\sum_{y=1}^{Y}\sum_{b=1}^{B}\sum_{i=0}^{n(y,b)} C(y,b,i)* X(y,b,i)$$

که در آن :

K= کل اتلاف سود سیستم؛

Y= سالهای دورهٔ تحلیل؛

B= تعداد کل پلها؛

n(y,b)= تعداد گزینه‌های اصلاحی برای پل (b) در سال (y)؛

C(y,b,i)= مبلغ اتلاف سود سیستم اگر گزینه (i) برای پل (b) درسال (y) انتخاب شود؛ و

X(y.b.i) = یک، اگر گزینهٔ (i) انتخاب گردد و در غیر این صورت صفر.

اگر پل در هر سالی از دورهٔ تحلیل تعمیر شود، باید هزینه‌های اولیه و اتلاف سود سیستم برای همهٔ گزینه‌های ممکن هر پل تخمین زده شوند. اتلاف سود مربوط به انجام هر گزینهٔ اصلاحی توسط معادلهٔ (۷) تعیین می‌گردد[۱۱]:

(۷)

$$C(y,b,i)=[(LTC(y,b,i)-LTC(y,b,e))+(UC(y,b,i)-UC(y,b,e))]*(P/F,r,y)$$

که در آن:

LTC(y,b,i) =کل هزینهٔ دورهٔ عمر گزینهٔ پیشنهادی i برای پل b اگر در سال y انجام شود،

UC (y,b,i) = هزینه های کاربر برای گزینهٔ (y,b,i)،

e= گزینه‌ای برای پل b در سال y که دارای حداقل (LTC+UC) است، و

(P/F,r,y)= ضریب ارزش پولی کنونی برای نرخ واقعی بازده r در سال y است.

مدل فرمول سازی شده، روش برنامه‌ریزی پویا را مورد استفاده قرار می‌دهد. در حقیقت، دو مدل برنامه‌ریزی پویا با یکدیگر ترکیب شده‌اند. مدل بیرونی در مراحل خودش به سالهای دورهٔ تحلیل بر اساس مراحل مدل درونی می‌پردازد.

۵-۱-۱ مدل بیرونی

در ابتدا باید دانست که هیچ الگوریتم خاصی برای حل مسائل برنامه‌ریزی پویا مانند روش سیمپلکس که برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی به کار می‌رود، وجود ندارد. در هر حال، هدف مدل توسط معادلهٔ (۱) نشان داده شده است. برای هر سال یک بودجهٔ مشخص (D) بر حسب $\left(\frac{\text{واحد پول}}{\text{سال}}\right)$ وجود دارد. بودجهٔ کل (TP) برای یک دورهٔ تحلیل Y ساله توسط مجموع بودجه‌های سالیانهٔ Y سال محاسبه می‌گردد[۱۲]. مقدار مصرف بودجه در هر سال نباید از اعتبار آن سال به علاوهٔ اعتبار پس‌انداز شده از سالهای قبل تجاوز کند. این مطلب توسط معادلهٔ زیر بیان می‌گردد:

(۸)

$$\sum_{t=1}^{t=y}\sum_{b=0}^{B}\sum_{i=0}^{n(b,i)} fC(t,b,i) * X(t,b,i) \le \sum_{t=1}^{t=y} P_{tt} \qquad for \quad all \ y$$

که در آن:

FC(t,b,i)= هزینهٔ اولیهٔ گزینهٔ (i) برای پل (b) اگر در سال (t) انجام شود؛

X(t,b,i)= اگر گزینهٔ(i) برای پل (b) در سال (t) انتخاب شود یک و در غیر این صورت صفر؛ و

Pt= اعتبار موجود برای سال (t).

۵-۱-۲ فرمول‌سازی برنامه‌ریزی پویا

مراحل (y): سالها، از سال اول تا سال Y .

تصمیم در یک مرحله: سطح مصرف بهینه در هر مرحله چگونه است به صورتی که اتلاف سود سیستم حداقل گردد.

حالتهای (d): کل سطوح ممکن بودجه‌هائی که می‌توانند به سال بعد منتقل شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

اتخاذ تصمیم : با فرض این که سطح مصرف بودجه w_y $\left(\frac{\text{واحد پول}}{\text{سال}}\right)$ باشد کدام پروژه‌های پل باید انجام شوند.

رابطهٔ بازگشتی:

$$F_y(d_y) = \text{Minimum } [g(y,d_t, w_y] \quad \text{for all } w_t \qquad (۹)$$

$$g(y,d_y, w_y) = C(y,d_y, w_y) + f_{y-1}(d_y + w_y - P) \qquad (۱۰)$$

که در آن:

$f_y(d_y)$= حداقل اتلاف سودی که می‌تواند تا مرحلهٔ (y) در حالت (d_y) به دست آید؛

$g(y.d_y,w_y)$ = اتلاف سود تا مرحلهٔ (y) در حالت (d_y)

هنگامی که سطح مصرف بودجه w_y $\left(\frac{\text{واحد پول}}{\text{سال}}\right)$ باشد؛ و

$C(y,d_y,w_y)$= اتلاف سود برای مرحلهٔ (y) در حالت (d_y)

هنگامی که سطح مصرف بودجه w_y $\left(\frac{\text{واحد پول}}{\text{سال}}\right)$ باشد.

در هر مرحلهٔ (y)، ماتریسی با (d_y) سطر و (w_y) ستون وجود دارد. درایه‌های ماتریس مقادیر $g(y,d_y,w_y)$ هستند. هر درایه این ماتریس نیازمند دو قسمت نشان داده شده در معادلهٔ (۱۱) است؛ قسمت دوم از (y-1) مرحلهٔ قبلی به دست می‌آید، در حالی که قسمت اول توسط مدل داخلی حل می‌شود. انتخاب مدل داخلی $Dec(y,d_y,w_y)$ برای این درایه شامل سه قسمت است:

$D(y,d_y,w_y)$ = مجموعهٔ پروژه‌های پل انجام شده در مرحلهٔ (y) و حالت (d) اگر سطح مصرف بودجه w_y باشد.

$C(y,d_y,w_y)$ = اتلاف سود سیستم ناشی از انجام مجموعه پروژه‌های $D(y,d_y,w_y)$.

$FC(y,d_y,w_y)$ = هزینه‌های اولیهٔ انجام مجموعه پروژه‌های $D(y,d_y,w_y)$

هر پل توسط یک بردار {b,i,k} توصیف می‌شود که در این بردار:

b، مشخصه پل؛

i، گزینهٔ انجام شده؛ و

K ، سالی است که پل می‌تواند مورد رسیدگی مجدد برای اصلاح دیگری قرار گیرد و معادل (y+v) است.

V نیز تعداد سالهای بعد از رسیدگی مجدد است و اگر گزینهٔ (i) انتخاب شود، وارد مدل خواهد شد.

این مطلب باید مورد توجّه قرار گیرد که مدل با همهٔ پلهای شبکه در مرحلهٔ (۱) شروع می‌شود [۱۴]. در هر مرحلهٔ (y)، مجموعه پلهای $P(y,d_y,w_y)$ که توسط مدل داخلی برای حل سلول (y,d_y,w_y) به کار می‌روند می‌توانند به صورت زیر تعیین شوند:

(۱۱)

$$P(y,d_y,w_y) = P\left(t-1, d_y + w_y - P, w^*_{y-1}\right) - D\left(y-1, d_y + w_y - P, w^*_{y-1}\right)$$

که در آن:

W^*_{t-1}= سطح مصرف بودجه منطبق با $f_{y-1}(d_y+w_y-P)$ است.

در حقیقت، محاسبهٔ $P(y,d_y,w_y)$ با جایگذاری مقادیر k برای همهٔ پلها انجام می‌شود. اگر داشته باشیم$(k \le y)$ ، پس پل در مجموعه پلهای P به حساب می‌آید. پس از حل مدل داخلی مقادیر k در $D(y,d_y,w_y)$ به صورت زیر جایگذاری خواهد شد: اگر گزینهٔ « انجام ندادن فعالیت» انتخاب شود k = k؛ و در غیر این صورت k = y+v اختیار می‌شود.

گزینه «عدم انجام فعالیت» همیشه حداکثر اتلاف سود را ایجاد می‌کند، ولی دارای هزینه اولیه‌ای معادل صفر است [۱۵].

۵-۱-۳ مدل داخلی

از این مدل برای هر عضو (y,d_y,w_y) مدل بیرونی استفاده میشود، به صورتی که منجر به انتخاب بهینه برای آن عضو $Dec(y,d_y,w_y)$ شود. ورودی مدل شامل همهٔ اطلاعات مجموعه پل‌های $P(y,d_y,w_y)$، به علاوهٔ اعتبار موجودی که w_y (واحد پول) است، می‌شود. تابع هدف و قیود مدل نیز به صورت زیر تعریف می‌گردند.

(۱۲)

$$Minimize \quad K = \sum_{b=1}^{B} \sum_{i=0}^{n(b)} C(b,i) * X(b,i)$$

www.SID.ir

Archive of SID

مشروط به این که :

$$\sum_{b=1}^{B} \sum_{i=0}^{n(b)} FC(b,i) * X(b,i) \le W \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{i=0}^{n(b)} X(b,i) = 1 \qquad \text{for all b} \qquad (۱۴)$$

$$X(b,i) = 1,0 \qquad (۱۵)$$

که در آن:

K= اتلاف سود برای هر مرحلهٔ(y) در هر حالت (d_y) مدل بیرونی، هنگامی که سطح مصرف بودجه یا بودجهٔ موجود معادل W $\left(\frac{\text{واحد پول}}{\text{سال}}\right)$ باشد؛

B= تعداد کل پلها؛

n(b)= تعداد گزینه‌های اصلاحی برای پل (b)؛

C(b,i)= اتلاف سود سیستم اگر گزینهٔ (i) برای پل (b) انتخاب شود؛

X(b,i)= یک گزینهٔ (i) برای پل (b) انتخاب شود و در غیر این صورت صفر؛ و

W= بودجهٔ موجود $\left(\frac{\text{واحد پول}}{\text{سال}}\right)$.

۵-۱-۴ فرمول‌سازی برنامه‌ریزی پویا

مراحل (b) : پلها از پل اول تا پل B .

تصمیم در یک مرحله: گزینهٔ پیشنهادی برای آن پل (مرحله) چیست که اتلاف سود سیستم حداقل گردد.

حالت ها: اعتبار موجود

اتخاذ تصمیم : با فرض این که گزینهٔ (i) انتخاب شود، اتلاف سود سیستم چیست؟

رابطه بازگشتی:

$$f_b(S_b) = \text{Minimum}\,[v(b, S_b, i_b] \quad \text{for all } i_b \qquad (۱۶)$$

$$v(b, S_b, i_b) = C(i_b) + f_{b-1}(S_b - FC(i_b)) \qquad (۱۷)$$

که در آن :

$F_b(S_b)$= حداقل اتلاف سود تا مرحلهٔ (b) در حالت (S_b) ؛

$v(b,S_b,I_b)$= اتلاف سود تا مرحلهٔ(b) در حالت (S_b) هنگامی که گزینهٔ (i_b) انتخاب گردد؛

$C(i_b)$= اتلاف سود اگر گزینهٔ (i_b) برای پل (b) انتخاب شود؛ و

$fC(i_b)$= هزینهٔ اولیهٔ گزینهٔ (i_b).

حالت‌ها در هر مرحله از صفر شروع شده و به طور صعودی افزایش می‌یابند تا این که به اعتبار موجود W_y برسند [۱۵]. این افزایش باید به گونه‌ای صورت گیرد که هزینه پروژه‌ها مضربی از آن باشد. در هر مرحلهٔ (b)، ماتریسی با (S_b) سطر و (i_b) ستون وجود خواهد داشت. درایه‌های ماتریس مقادیر $v(b,S_b,i_b)$ هستند.

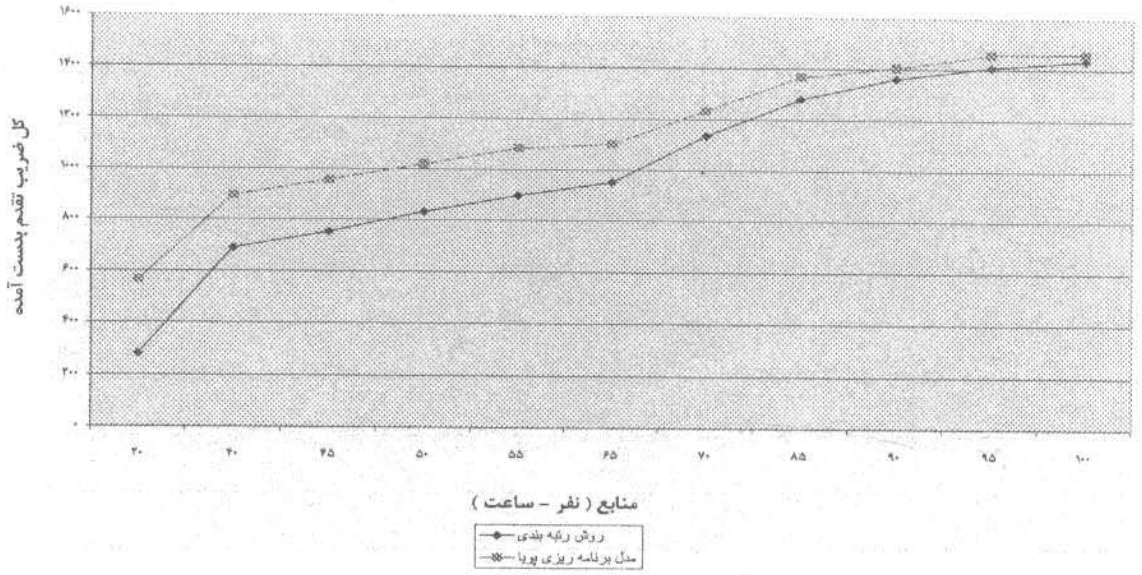
۶. مقایسه و ارزیابی مدلهای ارائه شده

۶-۱ مقایسهٔ مدل بهینه‌سازی نگهداری با روش رتبه‌بندی

در این قسمت با استفاده از اطلاعات ۳۰ فعالیت نگهداری که شامل ضریب تقدم و مقدار نفر – ساعت مورد نیاز برای انجام هر فعالیت است، مقایسه‌ای بین مدل ارائه شده و روش رتبه‌بندی که بر اساس تخصیص منابع به فعالیتهای نگهداری که به صورت نزولی بر حسب ضریب تقدم هر فعالیت مرتب شده‌اند، صورت گرفت. در این مقایسه برای ۹ سطح مختلف نفر – ساعت ضریب تقدم کل به دست آمده از دو روش، برتری مدل برنامه‌ریزی پویا را نسبت به روش رتبه‌بندی به اثبات رسانید. در مدل ارائه شده اکثر منابع به طور کامل به فعالیتهای نگهداری اختصاص می‌یابند و تعداد فعالیتهای بیشتری از روش رتبه‌بندی انجام می شوند. در شکل ۱ ضریب تقدم کل به دست آمده از دو روش برای ۹ سطح مختلف از منابع موجود رسم گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. مقایسه بین کل ضریب تقدم به دست آمده از روش رتبه‌بندی و مدل برنامه‌ریزی پویا

شکل۱ نشان می‌دهد که سود به دست آمده از کاربرد مدل ارائه شده، هنگامی که منابع موجود کمتر از مقدار مورد نیازند، در مقایسه با روش رتبه‌بندی بسیار بیشتر است. تنها در آخرین سطح که بیانگر منابع کافی برای انجام فعالیتهای مورد نیاز است دو روش منجر به نتیجهٔ یکسان می‌شوند.

۶-۲ مقایسه مدل بهینه‌سازی تعمیر با روش افزایش نسبت سود به هزینه

در این قسمت با استفاده از اطلاعات مربوط به ۵۰ پل که شامل برخی گزینه‌های اصلاحی برای هر پل و هزینه‌های اولیه و سود خالص به دست آمده از انجام هر گزینه می‌شد مقایسه‌ای بین مدل برنامه‌ریزی پویا و روش افزایش نسبت سود به هزینه انجام شد. در این مقایسه برای ۱۳ سطح مختلف اعتبار، سود خالص به دست آمده توسط انجام گزینه‌های پیشنهادی، برتری مدل برنامه‌ریزی پویا را نشان داد. شکل ۲ نشان می‌دهد که مدل برنامه ریزی پویا برای تمام سطوح اعتبار به استثنای آخرین سطح اعتبار سود بیشتری در مقایسه با روش افزایش نسبت سود به هزینه، عاید شبکه می‌کند. تنها در بالاترین سطح اعتبار دو روش دارای نتایج یکسان هستند. این نتیجه نشان می دهد که حل بهینه در روش افزایش نسبت سود به هزینه فقط هنگامی صورت می‌گیرد که اعتبار غیرمحدود یا کافی برای انجام بهترین گزینهٔ اقتصادی برای هر پل فراهم باشد.

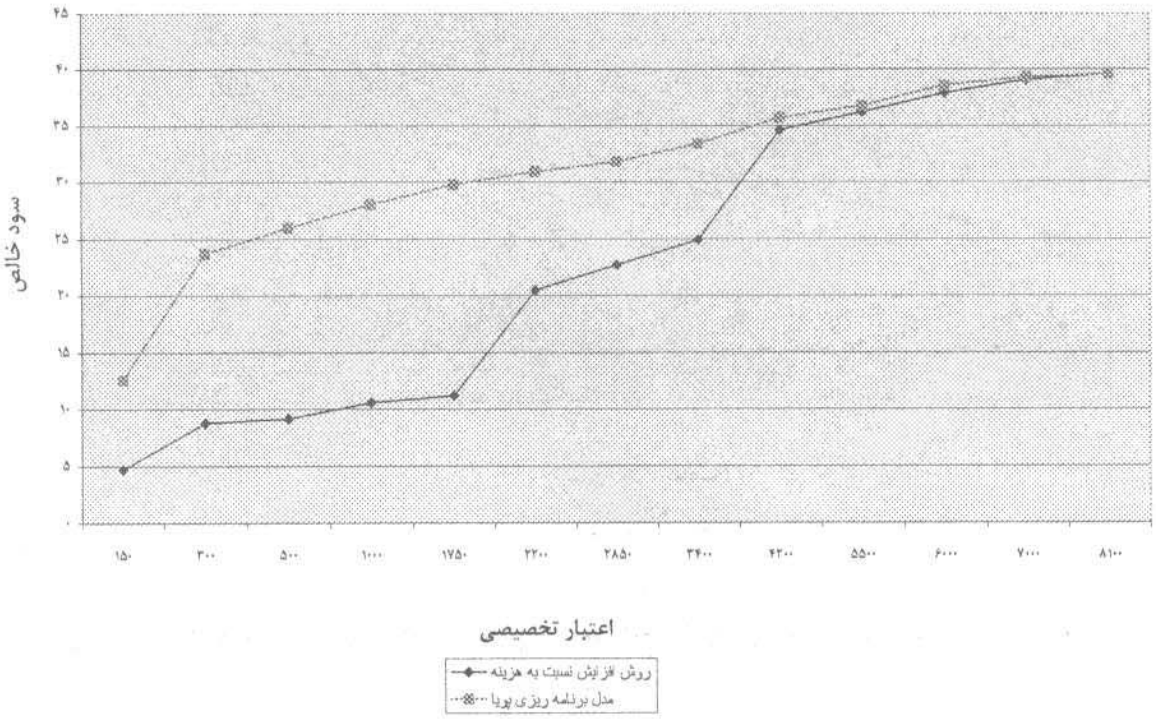
ضمناً در سطوح پایین اعتبار، مدل برنامه‌ریزی پویا، سود خالصی تقریباً معادل سه برابر سود خالص روش دوم حاصل می‌کند. شکل ۲ نشان می‌دهد که به ازاء یک تغییر جزیی در سطح اعتبار چگونه جهشی بیش از دو برابر در سود خالص حاصل از روش افزایش نسبت سود به هزینه به دست می‌آید. این مطلب نشان دهندهٔ ناپیوستگی این روش و چگونگی سرگردان شدن این روش توسط بعضی از انواع گزینه‌های اصلاحی و پیوستگی رفتار مدل برنامه‌ریزی پویا است.

۷. تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی داده‌ها

با تجزیه و تحلیل چارچوب سیستم مدیریت پل می‌توان نمودارهای جریان داده‌های سیستم را ترسیم و توسط آن اطلاعات مورد نیاز سیستم را تهیه کرد. اولین مدل، مدل محیطی است که محدودهٔ سیستم و اندرکنشهای بین سیستم و محیط اطراف آن را تعیین می‌کند، در حالی که مدل دوم، مدل رفتاری است و تشریح کنندهٔ رفتار درون سیستم است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. مقایسه بین سود خالص به دست آمده از روش افزایش نسبت سود به هزینه و مدل برنامه‌ریزی پویا

۷-۱ مدل محیطی

هر سیستم در یک محیط معین که شامل آن سیستم و سیستمهای دیگر است قرار دارد. اولین قدم در تجزیه و تحلیل سیستمها این است که آن چه به سیستم تعلق دارد را مشخص کنیم. این وظیفه بر عهدهٔ مدل محیطی است. مدل محیطی محدوده و اندر کنش بین سیستم و محیط احاطه‌کنندهٔ آنرا تعیین می‌کند. شکل ۳ نمودار محدودهٔ سیستم پیشنهادی مدیریت پل را نشان می‌دهد.

۷-۲ مدل رفتاری

مدل رفتاری، رفتار درون سیستم و تأثیر آن بر محیط اطراف را نشان می‌دهد. مدل رفتاری وظایف و اطلاعات سیستم را به گونه‌ای مدل‌سازی می‌کند که طراحان و برنامه‌ریزان سیستم ها بتوانند سیستم مربوطه را بسازند. شکل ۴ نشانگر مدل رفتاری و نمودار جریان داده‌های سیستم مدیریت پل پیشنهادی در بالاترین سطح است.

۸. نرم افزار کامپیوتری به منظور شبیه‌سازی مدل بهینه‌سازی شبکه تعمیر و نگهداری

۸- ۱ نرم‌افزار شبیه ساز کامپیوتری مدل بهینه‌سازی نگهداری

وظیفه اصلی این نرم‌افزار، تخصیص منابع محدود نگهداری به فعالیتهای نگهداری مورد نیاز شبکه‌ای از پلها است. داده‌های ورودی برنامه شامل تعداد کل فعالیتهای نگهداری و منابع مورد نیاز آنها به صورت «نفر- ساعت» مورد نیاز برای انجام آن فعالیت، کل منابع نگهداری موجود در طول هر سال و نیز ضریب تقدم هر فعالیت نگهداری است. اطلاعات خروجی برنامه پیشنهادی فعالیتهای نگهداری که باید در این سال انجام شوند، ضریب تقدم

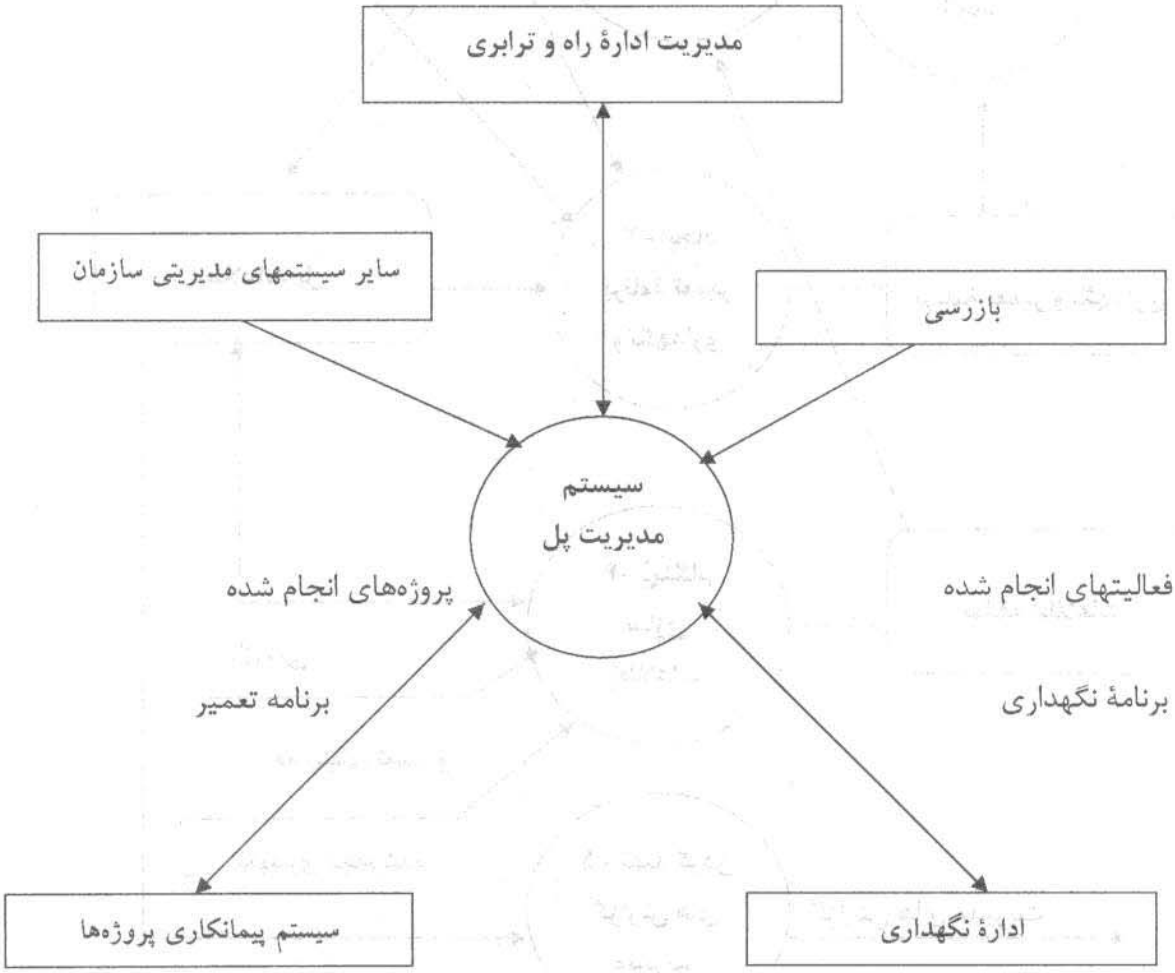
www.SID.ir

Archive of SID

کل حاصل شده توسط انجام گزینه‌های انتخابی و نیز مقدار منابع استفاده نشده را در بر می‌گیرند.

۸-۲ نرم‌افزار شبیه‌ساز کامپیوتری مدل بهینه‌سازی شبکه تعمیر

وظیفهٔ اصلی این نرم افزار، تخصیص اعتبارات محدود به پروژه‌های تعمیر شبکه‌ای از پلها در طول یک دورهٔ زمانی خاص است. تخصیص اعتبار، با انتخاب بهترین گزینهٔ اصلاحی، برای هر پل موجود در شبکه به همراه تعیین زمان بهینه برای انجام آن گزینه صورت می‌گیرد. داده‌های ورودی برنامه شامل تعداد کل پلها، طول دورهٔ تحلیل و اعتبار موجود برای هر سال دورهٔ تحلیل و نیز هزینه‌های اولیه و اتلاف سود وابسته به تمام گزینه‌های ممکن برای همهٔ پلها هستند. اطلاعات خروجی برنامه شامل پیشنهاد هزینه کردن بودجه برای هر سال دورهٔ تحلیل، انتخاب گزینهٔ اصلاحی برای هر پل در هر سال دورهٔ تحلیل، کل اعتبار مورد نیاز برای انجام گزینه‌های انتخاب شده در هر سال و نیز مقدار اعتبار باقیمانده برای هر سال است

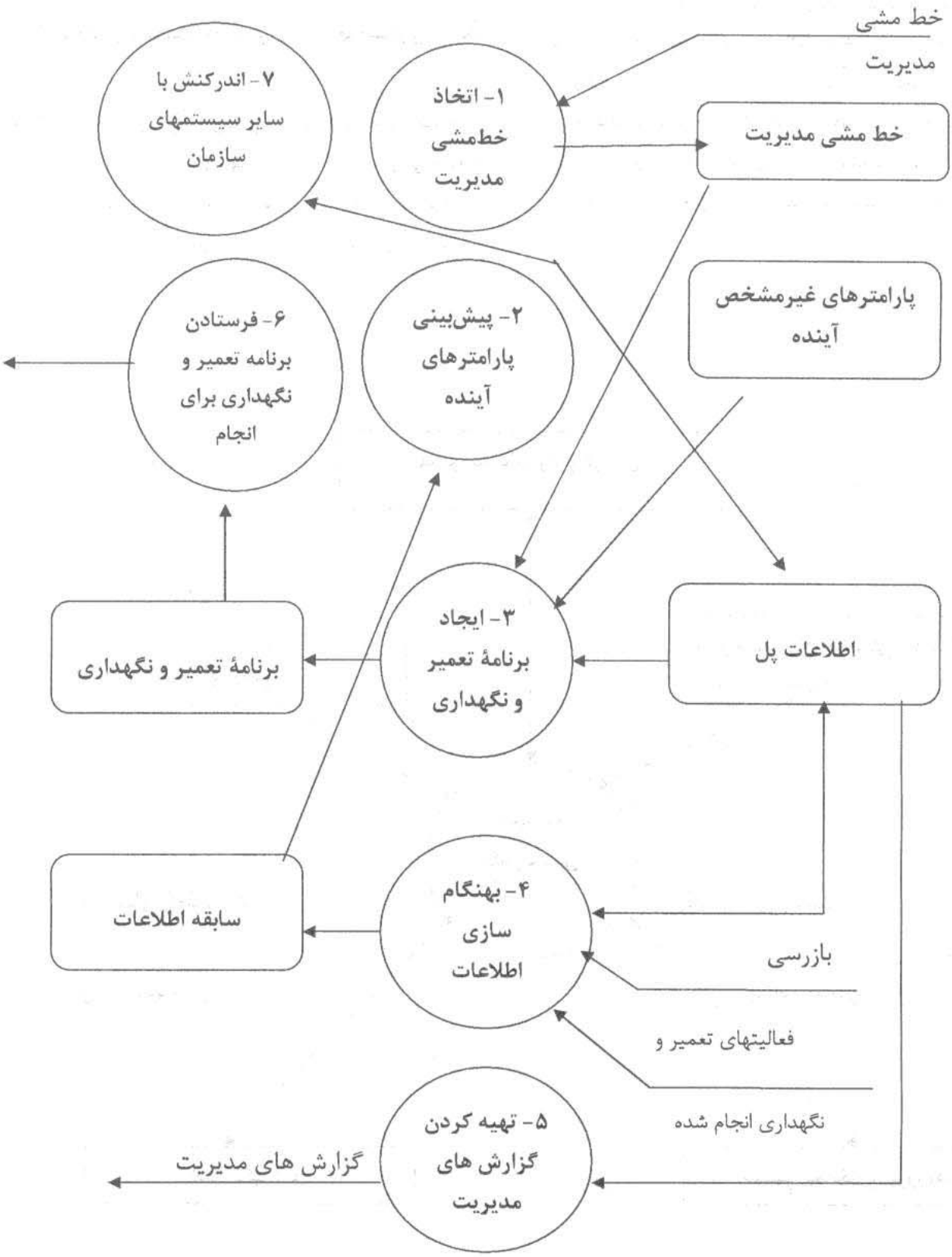


شکل ۳ . نمودار محدودهٔ سیستم مدیریت پل

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار سطح صفر:



شکل ٤ . نمودار جریان داده‌های سیستم مدیریت پل در بالاترین سط

SID.ir

Archive of SID

۹. نتیجه‌گیری و توصیه

نتایج عمده و اصلی متصور از اجرای سیستم مدیریت پل به شرح زیرند:

۱) روش اولویت‌دهی ارائه شده برای پروژه‌های تعمیر پلها که بیانگر هستهٔ سیستم مدیریت پل است، قادر به انجام بهینه‌سازی چند زمانه است و با بکاربردن آن تصمیم بهینه‌ای برای تخصیص اعتبارات محدود به پروژه‌های پل حاصل می‌گردد.

۲) برای بهینه‌سازی یکساله، با مقایسه مدل داخلی ارائه شده با روش افزایش نسبت سود به هزینه که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، برتری مدل داخلی برنامه‌ریزی پویا نسبت به روش افزایش نسبت سود به هزینه، نشان داده شد. در حقیقت مدل داخلی می‌تواند حل بهینه را برای یکسال با اعتباری محدود پیدا کند. در روش افزایش نسبت سود به هزینه حل بهینه فقط هنگامی حاصل می‌گردد که اعتبار غیر محدود یا کافی برای انجام بهترین گزینه اقتصادی برای هر پل فراهم باشد.

۳) وظیفهٔ مدل بیرونی نمی‌تواند توسط هیچیک از روشهای موجود انجام شود. این مدل قادر است زمان بهینه تعمیر برای هر پل و همچنین مقدار بهینه هزینه برای هر سال دوره تحلیل را تعیین کند.

٤) از طریق ترکیب مدل داخلی برنامه‌ریزی پویا با مدل بیرونی یک روش اولویت‌بندی جدید برای پروژه‌های تعمیر پلها ایجاد می شود که با استفاده از آن می‌توان تصمیمات بهینه‌ای را با توجه به اعتبارات محدود اتخاذ کرد. بکار گرفتن روش پیشنهادی در سیستم های مدیریت پل صرفه‌جویی زیادی را در اتلاف سود سیستم نتیجه خواهد داد.

۵) با انجام بهینه سازی چند مرحله‌ای به منظور تخصیص اعتبارات محدود به شبکه ای از پلها، نتایج نشان دادند که اولویت بندی پروژه‌های پل متأثر از نرخ بازده پول و نرخ زوال پلها است.

٦) با مقایسه مدل نگهداری ارائه شده با روش رتبه‌بندی فعالیتهای نگهداری مشخص گردید که سود به دست آمده از کاربرد مدل ارائه شده، هنگامی که منابع نگهداری موجود کمتر از مقدار مورد نیازند بسیار بیشتر از روش رتبه بندی است. هنگامی که منابع نگهداری به اندازه کافی موجودند نتایج دو روش یکسانند.

در نهایت به دلیل کمبود اطلاعات واقعی تعدادی از مدلها با استفاده از اطلاعات فرضی آزمایش شدند. گردآوری این قبیل اطلاعات کاربران سیستم‌های مدیریت پل را قادر می‌سازد که توانایی سیستم را در کاربرد اطلاعات واقعی امتحان کنند.

همچنین انجام تحقیقات بیشتر در رابطه با مدلهای پیش بینی وضعیت پل‌ها ضروری‌اند و پیشنهاد می‌شود که تأثیر حجم های ترافیک، نوع طبقه‌بندی راهها و وضعیت آب و هوایی منطقه درمدل پیش‌بینی در نظر گرفته شوند. همچنین پیشنهاد می‌گردد که کاربرد شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی وضعیت پل مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

۱۰. مراجع

1- Jones, William C. (2002) "Highway bridge replacement and rehabilitation program (HBRRP)" Division Administrator, Federal Highway Administration (FHWA), U.S.A.

2- Czepiel, Edward (2000) "Bridge management systems", Northwestern University BIRL Industrial Research Laboratory, U.K.

3- Transportation Research Center (2003) "Analysis of past NBI rating for predicting future bridge system preservation needs", Louisiana, USA.

4- Fraher, Michael (2002) "Asset management for bridges" FHWA, U.S.A,.

۵. برونسون، ریچارد، "پژوهش عملیاتی، جلد اول"، مجید پسران قادر،علیرضا جباری، عباس کحالزاده، نوبت چاپ اول، تهران، صنوبر، ۱۳۷٦.

۶. اصغر پور، محمد جواد "تحقیق در عملیات پیشرفته، جلد ٤"، تهران، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ۱۳۷٦.

7- Thompson, Paul (2003) "Multiple- objective optimization for bridge management system", Purdue University.

8- Dadson, Daniel (2003) "Project planning models of Florida's bridge management system"

9- Hawk,H. (2003) "Graphical probability Models for Bridge Management" NSF-REU, University of Delawar.

10- Odd, Ronnestad (2000) "Bridge management system in general and the Las-Brutus bridge management system in particular", Norwegian Public Roads Administration, Norway.

www.SID.ir

Archive of SID

11- Hudson S.W., et. al. (1997) "Bridge management systems" National Cooperative Highway Research Program Report 300, Transportation Research Board", Washington, D.C.

12- Bronson, Richard (2001) "Operational research", Vol. I, First Edition, McGraw-Hill, London, UK.

13- Asgharpoor, Mohammed (1998) "Advanced operational research", Vol. IV, Tehran University Press.

14- Hosny, Mohammed (1995) "Development of optimal strategies for bridge management systems", PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University, Ottawa, Canada,.

15- Fwa, T.A., Sinha, K.C. and Riverson, J.D.N. (1998) "Influence of rehabilitation decisions on pavement-maintenance planning", Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 116, No, 2, pp. 197-212.

www.SID.ir