برنامه‌ریزی اولویتی سیاستهای

سرمایه‌گذاری در حمل و نقل[1]

ترجمه و نقد از: دکتر محمد سید حسینی-عادل آذر

John H. Shortreed & Richard F. Crowther

روش برنامه‌ریزی اولویتی تشریح شده در ذیل، در حال حاضر توسط وزارت حمل و نقل وارتباطات کانادا اجرا می‌شود. این شیوه برنامه‌ریزی در آغاز برای سرمایه‌گذاری در بزرگراه‌های بین شهرها طراحی شد، اما امروزه توان بکارگیری در نواحی شهری و حمل و نقل عمومی را نیز پیدا کرده است. مقاله حاضر، یک زمینه کلی از شیوهٔ مورد نظر ارائه می‌دهد. این مقاله همچنین نشان می‌دهد که تا چه اندازه مدل سازی برنامه‌ریزی خطی[2] برای تجزیه و تحلیل هزینه - منفعت می‌تواند مفید واقع گردد.

این شیوه توجه دقیقی به «بده - بستان[3]» میان زمان شروع سرمایه‌گذاری در بهبودها[4] دارد. مدل همچنین برای نرخهای برگشت مختلف جهت تنزیل منافع و هزینه‌ها تهیه شده است. این مقاله کاربرد برنامه‌ریزی خطی را، در حالی که رفتار شقوق مختلف[5]، بودجه‌های محلی و تعهدات در تصمیم‌گیری دخیلند، نیز تشریح می‌کند. مقاله، همچنین رفتار منافع مشترک یا مرتبط بهم[6] بهبودها را بحث می‌کند. سرانجام، در این مقاله شیوه محاسبه منافع کلیدی - زمان مصرفی و هزینه‌های عملیاتی وسایل حمل ونقل معرفی می‌شود. این شیوه تغییرات حجم ترافیک را بطور ساعتی در سرتاسر سال در نظر گرفته و از اطلاعات موجود به عنوان داده[7] سیستم استفاده می‌کند.

انتخاب پروژه‌های حمل و نقل برای ساخت، یک مسأله عمده برای همهٔ مراکز حمل و نقل بشمار می‌رود. مشکلات اصولاً با توجه به عوامل زیر پیچیده‌تر می‌شوند:

الف - افزایش بی شائبه در تعداد تسهیلات موجود که مستلزم هزینه نگهداری روزمره است.

ب - کاهش نسبی در بودجه‌های حمل و نقل، به خاطر افزایش تقاضا برای منابع مالی جهت آموزش، خدمات، بهداشت و رفاه عمومی.

ج - افزایش روز افزون تقاضا برای تسهیلات حمل و نقل.

در رویارویی با این مشکل، ایالات اُنتاریو در کانادا، یک متدلوژی برنامه‌ریزی اولویتی برای تسهیلات جاده‌سازی و حمل و نقل عمومی تدارک دیده است[۲و۱]. این متدلوژی در حال حاضر کاربرد پیدا کرده است و بکار گرفته می‌شود. نتیجه جالب بکارگیری متدلوژی این بود که به عنوان یک ابزار مدیریتی برای سازماندهی سرمایه‌گذاری در تسهیلات حمل و نقل مورد استفاده قرار گرفت و همچنین پیوستگی بین مطالعات برنامه‌ریزی، طراحی و فعالیتهای ساخت را فراهم کرد. هدف از این مقاله ارائه خلاصه‌ای از جنبه‌های فنی متدلوژی، اشاره به انعطاف پذیری روش برای دخالت دادن متغیرهای سیاست‌گذاری و اتخاذ تصمیم در خصوص پروژه‌های وابسته به هم، مستقل و مشابه آن است. این مقاله همچنین محاسن و معایب تکنیک برنامه‌ریزی اولویتی را بحث می‌کند.

مسأله برنامه‌ریزی اولویتی

هر مرکز تصمیم‌گیری حمل و نقل باید لیستی از بهبودهای حمل و نقل (IMP_j ها جایی که j از ۱ تا n تعریف می‌شود) را فراهم کند. سپس برای هر IMP_j داده‌های غیر احتمالی زیر باید محاسبه شود.

C_{jkt} = هزینهٔ ساخت بهبود j ام در سال K به شرط اینکه

ساخت بهبود در سال t ام شروع شده باشد. برای یک بهبود که برای ساخت آن سه سال مورد نیاز است، $C_{j,t,t}$ ، $C_{j,t+1,t}$ ، $C_{j,t+2,t}$ نباید صفر باشد.

C_{jt} = ارزش فعلی هزینه‌های ساخت j امین بهبود که ساختش در سال t شروع شده باشد، همهٔ این هزینه‌ها باید با نرخ بهره مشخص R تنزیل شوند. به عبارت دیگر:

$$C_{jt} = \sum_{k=t}^{k=t+p} \frac{C_{jkt}}{(1+r)^{k-t}} \quad (۱)$$

P = دوره ساخت

t = شاخص سال شروع ساخت با ۱ = t. معمولاً t از ۱ تا m سال قابل تعریف است. نوعاً ارزش m، ۲۰ سال است.

MC_{jt} = ارزش فعلی هزینه‌های نگهداری سالانه j امین بهبود برای سال t تا ۲۵+t، همهٔ این هزینه‌ها باید با نرخ بهره R به سال t برگردند.

B_{jt} = ارزش فعلی منافع سالانه j امین بهبود برای سال t تا ۲۵+t، همهٔ آنها باید با نرخ مشخص R به سال پایه t تنزیل شود.

اطلاعات جدول شماره یک و شکل شماره یک نمونه‌ای از بهبود j را نشان می‌دهد. مثال، دو سال را برای ساخت برگزیده است. هزینه ۴۰۰۰۰۰ دلار را برای اولین سال ساخت، ۲۰۱۰۰۰ دلار را برای دومین سال ساخت تعریف کرده است. در حالی که سال شروع آن سال یک (سال پایه) بوده است. با قبول این فرض که هزینه‌های ساخت در پایان هر سال اتفاق می‌افتد، ارزش فعلی آنها محاسبه خواهد شد. بنابر این در جدول شماره یک، ارزش C_{j1}، هزینه ساخت j امین پروژه در سال اول، $[(\frac{۱}{۱/۰۸})۴۰۰۰۰۰] + [(\frac{۱}{۱/۰۸^۲})۲۰۱۰۰۰]$ یا ۵۴۱۸۰۰۰ دلار است. به طریق مشابه C_{jt} برابر ۵۴۳۶۰۰۰ دلار محاسبه شده است تا آخر.

اگر بهبود در سال اول شروع شود، منافع و هزینه‌های سالانه آن دو سال بعد یعنی در ابتدای سال سوم شروع خواهد گردید، در این صورت منافع آن ۷۳۰۰۰ دلار و هزینه‌های نگهداری ۲۰۴۰۰ دلار در اولین سال عملیات خواهد بود. منافع و هزینه‌های سالانه را برای ۲۵ سال فرض کرده، ارزش فعلی آنها مقادیر B_{jt} و MC_{jt} را به ما می‌دهد؛ برای مثال:

$$B_{j1} = \sum_{t=۳}^{۲۵} \frac{\text{منافع سالانه در سال t}}{(۱/۰۸)^t} = ۷۵۲۸۰۰ \text{ دلار} \quad (۲)$$

متشابهاً، اگر ساخت در سال t=۱۹ شروع شده باشد، پس $B_{j۱۹}$ ، ۹۹۲۹۰۰ دلار خواهد شد (جدول شماره یک). جدول شماره یک، همچنین ارزش فعلی خالص را بر حسب سال شروع ساخت به ما می‌دهد؛ یعنی اینکه $B_{jt} - C_{jt} - MC_{jt}$ که در شکل شماره یک نشان داده شده است. هر سال شروع برای ساخت می‌تواند به عنوان یک پروژه در نظر گرفته شود. برای مقایسه شقوق مختلف ساخت پروژه j ام در سالهای $t=1,...,x,y,z,...,m$ تصمیم گیرنده باید ارزش فعلی خالص هر یک از آلترناتیوها را در یک برههٔ زمانی یکسان انجام دهد. بنابر این برای هر دو آلترناتیو

ارزش فعلی منافع پس‌ازکسرهزینه‌ها در سال‌اول برای‌ساخت‌درسال t	ارزش فعلی منافع در t امین سال ساخت	ارزش فعلی در سال t			هزینه		منافع	هزینه‌های	هزینه‌های‌اولین	
		B_{jt}	MC_{jt}	C_{jt}	نگهداری‌سالانه		سالانه	دومین‌سال ساخت	سال‌ساخت	سال
۱۵۸۰۰	۱۵۸۰۰	۷۵۲۸۰۰	۱۹۵۲۰۰	۵۴۱۸۰۰					۴۰۰۰۰۰	۱
۲۳۶۰۰	۲۵۵۰۰	۷۶۶۲۰۰	۱۹۷۰۰۰	۵۴۳۶۰۰				۲۰۱۰۰۰	۴۰۱۰۰۰	۲
۳۰۳۰۰	۳۵۳۰۰	۷۷۹۵۰۰	۱۹۸۸۰۰	۵۴۵۴۰۰	۲۰۴۰۰		۷۳۰۰۰	۲۰۲۰۰۰	۴۰۲۰۰۰	۳
۵۲۹۰۰										۱۲
۴۸۰۰۰	۱۹۱۷۰۰	۹۹۲۹۰۰	۲۲۷۲۰۰	۵۷۳۹۰۰	۲۳۶۰۰		۹۷۰۰۰	۲۱۸۰۰۰	۴۱۸۰۰۰	۱۹
۴۶۷۰۰	۲۰۱۵۰۰	۱۰۰۶۲۰۰	۲۲۹۰۰۰	۵۷۵۷۰۰	۲۳۸۰۰		۹۸۵۰۰	۲۱۹۰۰۰	۴۱۹۰۰۰	۲۰
–	–				۲۴۰۰۰		۱۰۰۰۰۰	–	–	۲۱
–	–				۲۸۶۰۰		۱۴۵۰۰	–	–	۴۴
–	–				۲۸۸۰۰		۱۳۵۰۰	–	–	۴۵

توجه: ارزش همهٔ مقادیر به دلار است.

جدول شماره ۱ - منافع و هزینه‌های بهبود j

که تاریخ شروع آنها $t=x$,$t=y$ برای پروژه j بوده است، مقایسه ارزش فعلی خالص را در سال ۱ انجام خواهیم داده؛ یعنی اینکه

$$[\frac{1}{(1+R)^{x-1}}] (B_{jx}-C_{jx}-MC_{jx})$$

رابا $[\frac{1}{(1+R)^{y-1}}] (B_{jy} - C_{jy} - MC_{jy})$ با توجه به نرخ تنزیل R مقایسه می‌کنیم. در پروژه‌ای که به عنوان نمونه ذکر شده است، ارزش فعلی خالص در سالهای مختلف ساخت به سال پایه $(t=1)$ تنزیل شده است. برای درک بهتر و مقایسه مطالب، شکل شماره یک و جدول شماره یک این اطلاعات را به تصویر کشانده است. ارزش فعلی خالص در سال ۱۲ به حداکثر خود رسیده است. در صورتی که محدودیت بودجه وجود نداشته باشد، سال دوازدهم بهترین زمان برای شروع ساخت بهبود (پروژه) است؛ به عبارت دیگر، در مقایسهٔ بیست آلترناتیو، که در واقع بیست تاریخ شروع مختلف برای ساخت پروژه j هستند، بهترین آلترناتیو این است که بالاترین ارزش فعلی را در سال مبنا داشته باشد. هیک (۴) نشان داده است که بیشتر موارد، حداکثر ارزش فعلی خالص در آن سالی اتفاق می‌افتد که نرخ بازده سالانه منافع آن سال بیش از نرخ تنزیل باشد. با همهٔ این مطالب، می‌توان گفت که معیار ارزش فعلی، ساده‌ترین معیار برای تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری و تصمیم‌گیری است.

برنامه‌ریزی اولویتی با محدودیتهای بودجه

سالی که در حالت عدم محدودیت بودجه برای شروع یک بهبود بهینه است، لزوماً در حالتی که محدودیت بودجه وجود داشته باشد، به عنوان سال بهینه شناخته نمی‌شود. پس هدف در این حالت حداکثر کردن ارزش فعلی خالص است که به ساخت بهبود در طول افق برنامه‌ریزی منجر می‌شود بدون اینکه از محدودیتهای بودجه تجاوز کرده باشیم. این امر باید برای همهٔ m سال در افق برنامه‌ریزی در نظر گرفته شود. مسأله حداکثر سازی در اینجا به محدودیتهای بودجه مشروط می‌شود و با استفاده از برنامه‌ریزی خطی به آسانی قابل حل است. مسأله برنامه‌ریزی خطی، حداکثر کردن است:

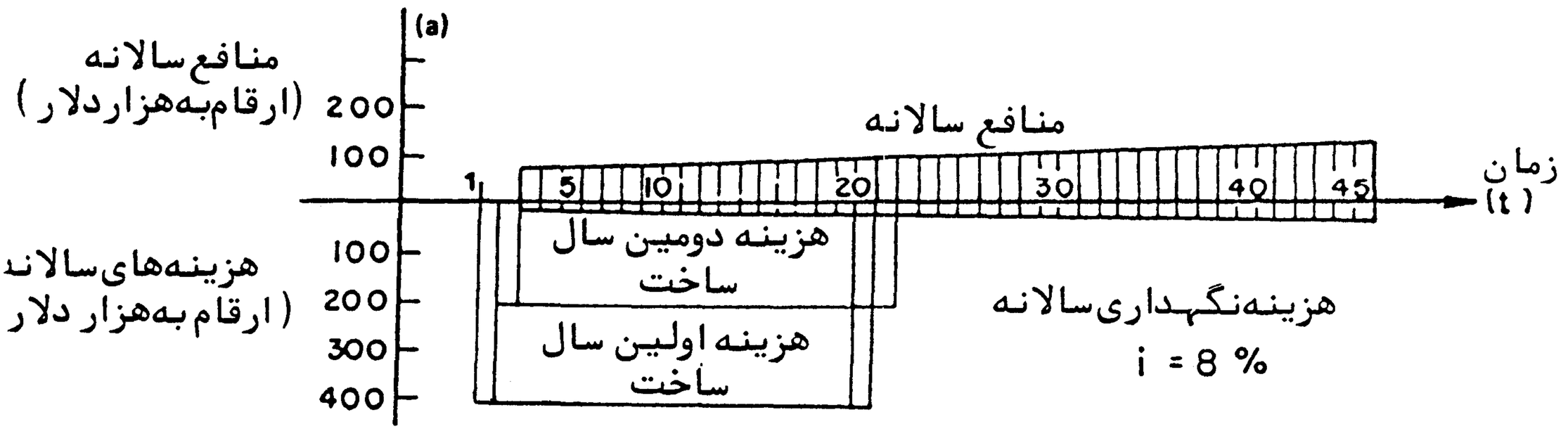
$$(۳) \qquad \sum_{j=1}^{n} \sum_{t=1}^{m} X_{jt} V_{jt}$$

S.t:

$$(۴) \qquad \sum_{t=1}^{n} X_{jt} \leq 1$$

$$(۵) \qquad \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=t}^{k=t+p} X_{jt} CST_{jkt} \leq b_t$$

$$(۶) \qquad X_{jt} \geq 0$$



شکل شماره ۱ - ترسیم مقادیر جدول برای بهبود j

که در آن:

X_{jt} = اجزای بهبود jکه در سال t شروع شده است.

V_{jt} = ارزش فعلی منافع در سال t مساوی است با:

$$[\frac{1}{(1+R)^{t-1}}] (B_{jt} - MC_{jt})$$

CST_{jkt} = هزینه واقعی ساخت که در سال k ایجاد می‌گردد، برای پروژه‌ای که در سال t شروع شده است.

bt = بودجه برای سال t

معادله ۳ منافع را حداکثر می‌کند. می‌توان منافع را پس از کم کردن هزینه‌ها همچنان که در مثال فوق انجام گرفته، حداکثر کرد. در این صورت، منافع خالص V_{jt} را باید حداکثر کرد، به خاطر اینکه هزینه‌های ساخت در ارتباط ویژه‌ای با محدودیتهای بودجه هستند. در سراسر دوره زمانی ضروری است تا به گونهٔ کارآمدی در راه حل برنامه‌ریزی خطی بکار گرفته شود و البته در ارتباط با میزان محدودیت بودجه نیز هست. قابل حل بودن مدل به کمک برنامه‌ریزی خطی خود یک امتیاز عمده است. باید توجه داشت چنانچه محدودیت بودجه وجود نداشته باشد، استفاده از مدل سازی برنامه‌ریزی خطی امکان پذیر نیست. معادله ۴ بیان کننده این است که پروژه یا باید فقط یکبار ساخته شود یا اصلاً ساخته نشود. اگر پروژه باید ساخته شود این معادله مساوی یک قرار می‌گیرد. به خاطر اینکه از برنامه‌ریزی خطی غیر صحیح استفاده شده است، تمامی m پروژه در یک سال خاص نمی‌توانند بطور کامل شروع شوند، بلکه از n تا m پروژه، X_{jt} برای برخی از j ها برابر یک و برای بقیه برابر صفر خواهد بود. چون اصولاً پروژه‌ها از همدیگر مجزا هستند، لذا پروژه‌هایی که دارای بیشترین جزء Xjt هستند، در آغاز تخصیص می‌یابند. شواهد نشان داده است که این امر هیچ مشکلی را پیش نمی‌آورد (پیشنهاد شماره یک را ببینید).

معادله ۵ محدودیت‌بودجه است. هزینه‌ساخت‌دومین‌سال یک‌پروژه که‌درسال t-1 شروع شده است، از بودجه سال t ام تأمین خواهد شد.

معادل ۶ بیانگر این واقعیت است که هزینه‌های ساخت یک پروژه بوسیله فروش یا «عدم ساخت» آن قابل بازیافت نیستند. ماهیت مدلهای برنامه‌ریزی خطی ایجاب می‌کند که این فرض ($Xjt \geq 0$) برقرار باشد. ضمناً چنانچه از مدلهای کامپیوتری از پیش تهیه شده[8] استفاده می‌شود این معادله نباید تعریف شود، چرا که این شرط را در نظر می‌گیرند (پیشنهاد شماره دو و سه را ببینید).

نتایج برنامه‌ریزی اولویتی

ستانده‌های راه حل برنامه‌ریزی خطی به شرح زیر است:

۱- سال شروع ساخت برای پروژه j

۲- ارزش فعلی منابع خالص تمام برنامه اولویتی

۳- نرخ تنزیل هزینه‌های سرمایه‌ای در هر سال

۴- اندازه‌گیری کاهش در منافع حداکثر که به تغییر اولویت پروژه در برنامه‌ریزی منجر می‌شود.

اینها در واقع داده‌هایی خواهند بود که برای استفاده بیشتر از روش در برنامه‌ریزی بهبودها برای طراحی و ساخت مورد انتظار قرار می‌گیرند.

افق برنامه‌ریزی[9]

برای رویارویی با افق برنامه‌ریزی محدود، می‌توان از روشهای گوناگونی استفاده کرد:

۱- تخصیص یک بودجه بالا به سال نهایی برای بهبودهایی که در سال t=m، که آخرین سال افق برنامه‌ریزی است، آغاز می‌شوند. در این راستا، معادله ۴ باید به $\sum_{t=1}^{n} X_{jt} = 1$ تغییر یابد. بنابر این سال آخر به موقعیتی برای رقابت بهبودهایی که در طول m-1 سال گذشته برنامه‌ریزی ساختشان آغاز نشده است، تبدیل می‌شود.

۲- واقعیت این است که پروژه‌هایی که در سالهای انتهای افق برنامه‌ریزی آغاز می‌شوند، فرصت کامل برای تکمیل شدن ندارند. در نتیجه ساختشان بطور کامل تحقق نخواهد یافت. با توجه به معادلات تعریف شده این واقعیت باید در برنامه‌ریزی ریاضی نشان داده شود. لذا V_{jt} باید به گونه‌ای تعدیل شود که نشان دهندهٔ این واقعیت باشد. به عبارت ساده‌تر، چنانچه پروژه‌ای در سال t=m شروع شده باشد تنها $\frac{1}{3}$ بودجه تخصیص داده شده هزینه شده و $\frac{2}{3}$ بودجه باقی مانده در سالهای آینده هزینه خواهد شد. در نتیجه $V_{jm} = \frac{1}{3}[\frac{1}{(1+R)^{m-1}}] (B_{jm} - MC_{jm})$ تعریف می‌شود.

۳- بیشتر کردن افق برنامه‌ریزی برای بودجه‌ها و عوامل بهبود به اندازه‌ای که همهٔ پروژه‌های مفید فرصت کافی برای ساخت داشته

باشند و در این صورت زمانبندی گردند.

دخالت متغیرهای دیگر (مثل متغیرهای سیاست گذاری)

معادلات ۳، ۴ و ۵ در مسأله فوق شامل یک لیست ساده از بهبودهایی است که فقط دارای محدودیت بودجه در هزینه ساخت هستند. انعطاف پذیری مدل برنامه‌ریزی خطی به ما اجازه می‌دهد که بسیاری از شرایط محدود کننده همچون دیگر محدودیتهای هزینه، سیاستهای توسعه منطقه‌ای و تعهدات مربوط به بهبودها را در برنامه‌ریزی اولویتی معرفی کنیم.

۱- تحت دیگر محدودیتهای هزینه، هزینه نگهداری می‌تواند به عنوان یک عامل محدود کننده به محدودیت بودجه اضافه گردد. پس V_{jt} فقط شامل B_{it} خواهد بود و CST_{jkt} شامل هزینه‌های ساخت و نگهداری است.

۲- تحت سیاستهای توسعه منطقه‌ای، ممکن است توسعه منطقه شمالی یک استان مطلوب باشد، لذا این امر باید تشویق گردد. برای انجام دادن این امر، یا (الف) یک وزن ویژه‌ای (مثلاً ۱/۵) به منافع حاصل از پروژه‌های این ناحیه داده می‌شود یا (ب) یک محدودیت بودجه جداگانه که مربوط به این ناحیه است، اضافه می‌گردد؛ برای مثال، چنانچه X_{jta}، جزیی از بهبود j باشد، که باید در ناحیه a در سال t شروع شود، می‌توان محدودیت بودجه زیر را تعریف کرد:

$$(۷) \quad \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=t}^{t+p} X_{jta}\, CST_{jkta} \geq b_{ta}$$

این معادله، نشاندهنده این است که حداقل b_{ta} در ناحیه مناسب در سال t هزینه گردد. این محدودیت همچنین می‌تواند برای تعیین حداقل سطوح هزینه در طی پنج یا ده سال مورد استفاده قرار گیرد.

۳- تحت بهبودهای تعهد شده، فرض کنید که قرار است بهبود دهم تا سال هفتم $t = ۷$ آغاز گردد، زیرا به جادهٔ یک سد جدید مربوط می‌شود که در سال $t = ۹$ تکمیل می‌شود، بنابر این ما معادله ۴ را برای $j=۱۰$ به شرح زیر خواهیم داشت:

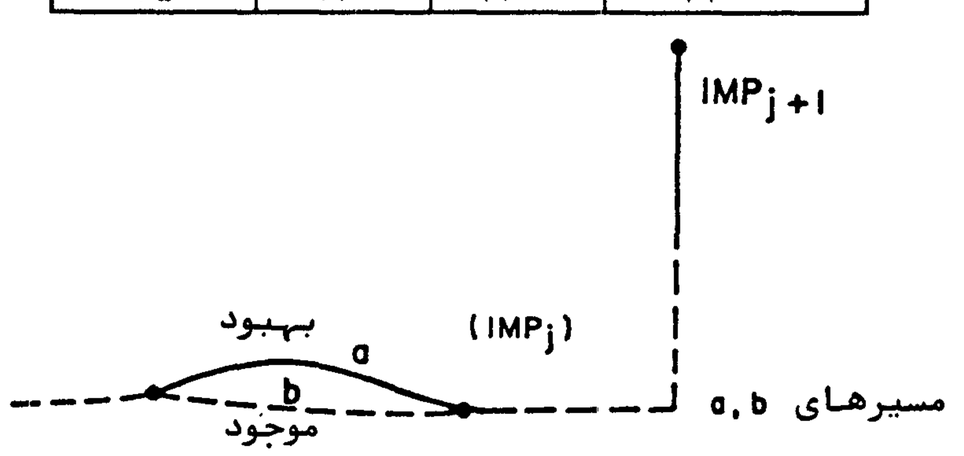
$$(۸) \quad \sum_{t=1}^{۷} X_{10,t} = 1$$

معادلهٔ ۸ بدین معنی است که مطمئناً بهبود دهم تا سال ۷ آغاز خواهد شد.

استفاده از مدل برای بهبودهای مستقل[۱۰]

بهبود، زمانی مستقل است که منافعش از سایر بهبودها در برنامه‌ریزی اولویتی مستقل و منفک باشد. یک نمونه بهبود مستقل در شکل شماره دو نشان داده شده است. منافع بهبود j مستقل از بهبود $j+1$ یا هر پروژه دیگر است. این ساده‌ترین نوع بهبود است و خوشبختانه بیشتر شبکه‌های درون شهری از این نوعند. منافع ناشی از بهبود j به خاطر افزایش در ظرفیت جاده (فرضاً یک جاده جدید ایجاد شده یا جاده قدیم بزرگتر شده) ایجاد می‌شود به این دلیل که سرعت ماشینها بیشتر شده و از حجم ترافیک کاسته شده است.

سال	ظرفیت مسیرهای موجود (b)		ظرفیت در IMP_j مسیر (a)
	با IMP_j	بدون IMP_j	
۱	۳۰۰۰	۱۲۰۰	۱۸۰۰
۲	۳۲۰۰	۱۲۰۰	۲۰۰۰
.			
.			
.			
۴۴	۸۸۰۰	۱۴۰۰	۷۴۰۰
۴۵	۹۱۰۰	۱۴۰۰	۷۷۰۰



شکل شماره ۲ - بهبودهای مستقل از همدیگر

هر بهبود اصولاً از چند مسیر ساخته می‌شود که دارای وسعت و خصوصیات فیزیکی گوناگونی هستند. در شکل شماره دو، بهبود j فقط یک مسیر جدید a و یک مسیر موجود b را داراست. تلاش می‌شود که سرعت و هزینه عملیاتی ترافیک به گونهٔ مطلوبی تهیه شود. فلوچارت محاسبه منافع بهبود j در شکل شماره سه نشان داده شده است. با استفاده از ایستگاه شمارش دائمی متناسب با هر مسیر، می‌توان توزیع ساعات را برای هر حجمی از ترافیک پیدا کرد. ضمناً می‌توان متوسط تأخیر سالانه ناشی از ترافیک را در سال t محاسبه کرد. با استفاده از راهنمای ظرفیت بزرگ راه‌ها (۵)، داده‌های مربوط به هزینه عملیاتی (۶ و ۷) و مقدار زمان سفر، می‌توان کل هزینه مصرف کننده را در هر مسیر در

داده‌ها: برای مسیری که به وسیله یک بهبود کارآمد می‌شود:

الف : ویژگیهای مسیر

ب : حجم استفاده در هر سال (A.A.D.T)

در صورت ایجاد بهبود و بدون ایجاد بهبود

توزیع A.A.D.T

تعداد ساعات در سال

تراکم بر حسب ساعت

داده‌های مربوط به ظرفیت سرعت و تراکم بزرگراه بطـــور سالانـــه

ارزش زمان سفر

به دست آوردن سرعت سفر و زمان سفر در هر مسیر، بطور سالانه و ساعتی در صورت ایجاد و عدم ایجاد بهبود

جمع‌آوری داده‌های مربوط به هزینه‌های عملیاتی‌وسرعت‌اتومبیل وماشینهای‌سنگین

محاسبه هزینه‌های عملیاتی در هرمسیربطورسالانه و ساعتی در صورت ایجاد و عدم ایجاد بهبود

$$\text{منافع ناشی از بهبود } j \text{ در سال } t = \sum_{\text{مسیرها در بهبود } j} \sum_{\text{ساعات در سال } t} \left(\begin{array}{l}\text{هزینه‌های}\\ \text{عملیاتی و زمان}\\ \text{در صورت ایجاد}\\ \text{بهبود}\end{array} \right) - \left(\begin{array}{l}\text{هزینه‌های}\\ \text{عملیاتی و زمان}\\ \text{بدون ایجاد}\\ \text{بهبود}\end{array} \right)$$

شکل شماره ۳- فلوچارت منافع بهبود j

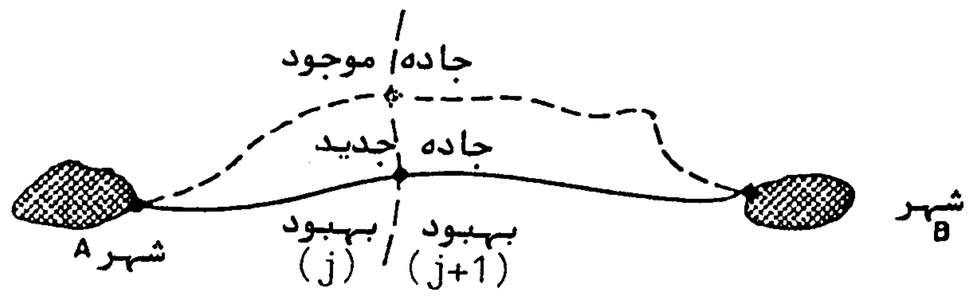
صورت ایجاد بهبود یا بدون ایجاد آن در هر ساعت از سال محاسبه کرد. منافع حاصل از بهبود در سال t مجموع منافع ناشی از ساعات استفاده از تمامی مسیرهای بهبود است که کل هزینه‌های صرف شده از آنها کسر می‌شود.

کاربرد مدل برای بهبودهای وابسته [11]

بهبودهای وابسته به دسته‌ای از بهبودها اطلاق می‌شود که منافعشان به وجود یا عدم وجود دیگر بهبودها بستگی دارد. شکل شماره چهار نشان دهندهٔ وضعیت بهبودهای وابسته است.

این شکل نشاندهندهٔ یک مسیر درون شهری است که از دو بهبود j , $j+1$ ساخته شده است. منافع حاصل از بهبود j و $j+1$ با همدیگر، بیش از مجموع منافع هر یک از آنها بطور جداگانه است. (تمام مقدارها به میلیون دلار است)

سال	ارزش فعلی منافع (V_{jt})			
	فقط $IMP^{'}_{j}$	فقط $IMP^{'}_{j+1}$	$IMP^{'}_{j}$,$IMP^{'}_{j+1}$ با همدیگر	بهبود مجازی‌که $IMP^{'}_{j+2}$نام‌دارد
۱	۰/۲۱	۰/۶۰	۱/۴۰	۰/۵۹
۲	۰/۲۲	۰/۶۲	۱/۴۵	۰/۶۱
.				
.				
.				
۱۰	۰/۳۰	۰/۷۵	۱/۹۶	۰/۹۱
۲۰	۰/۲۹	۰/۷۳	۱/۸۷	۰/۸۵



شکل شماره ۴ - بهبودهای وابسته به هم

برای مثال، در سال اول، بهبود j ۲۱۰۰۰۰ دلار و بهبود $j+1$ ۶۰۰۰۰۰ دلار بطور جداگانه سود دارند، در حالی که اگر هر دو آنها در سال اول شروع شوند، کل سود آنها ۱۴۰۰۰۰۰ دلار خواهد بود که ۵۹۰۰۰۰ دلار بیشتر از مجموع سود آنها به تنهایی خواهد بود. این منفعت اضافی به عنوان یک بهبود مجازی [12]، که دارای هزینه صفر و سود ۵۹۰ هزار دلار است، تعریف می‌شود. این بهبود مجازی تنها زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بهبود j و $j+1$ آغاز شوند. معادلاتی که این امر را در برنامه‌ریزی خطی تحقق خواهند بخشید عبارتند از:

$$(9)\quad \sum_{t=1}^{m} X_{jt} \leq 1 \qquad (10)\quad \sum_{t=1}^{m} X_{j+1,t} \leq 1$$

$$(11)\quad \sum_{t=1}^{m} X_{j+2,t} \leq 1$$

$$(12)\quad \sum_{t=1}^{m} (X_{j,t} - X_{j+2,t}) \geq 0$$

$$(13)\quad \sum_{t=1}^{m} (X_{j+1,t} - X_{j+2,t}) \geq 0$$

$$(14)\quad 10^{20}X_{j,1} + 10^{18}X_{j,2} + ... - 10^{20}X_{j+2,1} - 10^{18}X_{j+2,2} - ... \geq 0$$

$$(15)\quad 10^{20}X_{j+1,1} + 10^{18}X_{j+1,2} + ... - 10^{20}X_{j+2,1} - 10^{18}X_{j+2,2} - ... \geq 0$$

معادلات ۹ و ۱۰ و ۱۱ معادلات معمولی هستند. معادلات ۱۲ و ۱۳ این اطمینان را ایجاد می‌کند که هیچکدام از بهبودهای مجازی نمی‌تواند زودتر از بهبود j و $j+1$ ساخته شوند (پیشنهاد شماره چهار را ببینید).

معادلات ۱۴ و ۱۵ این تضمین را می‌دهد که منافع ناشی از بهبودهای مجازی (سینرژی) تا جایی که ممکن است زودتر حاصل شوند. استفاده از ضریبهای کاهشی برای متغیرهای X_{jt} به گونهٔ مؤثری ما را مطمئن می‌سازد که همهٔ بهبودها در یک سال واحد ساخته می‌شوند.

توالی بهبودهای وابسته و مرحله بندی آنها [13]

به کمک یک تکنیک همانند، می‌توان برای وقتی که یک بهبود باید بعد از بهبود دیگری ساخته شود، برنامه‌ریزی کرد. از این تکنیک می‌توان برای مرحله‌بندی ساخت یک بهبود استفاده کرد؛ برای مثال، تحصیل حریم راه [14] می‌تواند مجزا از ساخت تسهیلات باشد. مرحله یک (خدمات مربوط به حریم راه) فقط هزینه‌آور است و هیچ بازیافتی ندارد؛ مرحله دوم (ساخت تسهیلات) هم هزینه دارد و هم منفعت. همچنین مرحله یک باید کامل شود و سپس مرحله دوم آغاز گردد (پیشنهاد شماره پنج را ببینید).

محدودیتهای لازم به شرح زیر تعریف می‌شوند:

$$(16)\quad \sum_{t=1}^{m} X_{j,t} \leq 1$$

$$(۱۷) \quad \sum_{t=1}^{m} X_{j+1,t} \leq 1$$

$$(۱۸) \quad \sum_{t=1}^{m} (X_{j,t} - X_{j+1,t}) \geq 0$$

$$(۱۹) \quad 10^{20}X_{j,1} + 10^{19}X_{j,2} + \ldots - 10^{20}X_{j+1,1} - 10^{19}X_{j+1,2} - \ldots \geq 0$$

معادلات ۱۶ و ۱۷ و ۱۸ بیانگر این واقعیت است که فقط یک حریم راه باید خریداری، و فقط یک وسیله حمل و نقل باید ساخته شود. ضمناً میزان تسهیلات ساخته شده نباید بیش از میزان ظرفیت حریم راه باشد. معادله ۱۹ به گونه مؤثری از ساخت تسهیلات قبل از تهیه حریم راه جلوگیری می‌کند.

بهبودهای مانعة الجمع[۱۵]

در بیشتر موارد علاوه بر تعیین اولویت، تصمیم‌گیری در خصوص اولویت دو بهبود [$j_{(a)}$ یا $j_{(b)}$] مانعة الجمع مطرح می‌شود. برای چنین منظوری محدودیت زیر اضافه می‌گردد:

$$(۲۰) \quad \sum_{t=1} (X_{j(a)t} + X\, j_{(b)t}) \leq 1$$

این محدودیت، بیانگر این است که اگر a در برخی از سالها ساخته شد دیگر b نباید ساخته شود و برعکس. همچنین به خاطر نامساوی بودن معادله، ممکن است هیچ کدام ساخته نشوند. همچنین برنامه ساخت یک جزء f از بهبود a و یک جزء f-۱ از بهبود b همچنین این محدودیتها را برآورده خواهد ساخت. به عنوان یک موضوع عملی انتخاب ساخت هر کدام از آنها در سال اشاره شده رضایتبخش خواهد بود.

بحث بهبودهای مانعة الجمع زمانی پیش می‌آید که چندین نوع ترتیب خاص برای بهبودها وجود دارد ولی اصولاً نیاز فقط با یک نوع از آن ترتیبها برآورده می‌شود. همچنین صورت بندی مانعةالجمع زمانی مفید است که گونه‌های مختلفی از یک وسیله نقلیه وجود دارد، ولی تقاضا فقط برای یک شکل آن است. بنابر این برنامه‌ریزی خطی می‌تواند در خصوص اینکه آیا پل دو دهنه یا چهار دهنه ساخته شود، مفید واقع شود و بطور همزمان ما را در انتخاب بهترین سال شروع آلترناتیو یاری خواهد داد.

دیگر هزینه‌ها و منافع

منافع وهزینه‌های زیادی علاوه بر منافع و هزینه مصرف کننده وجود دارند که در رویه ارائه شده در این مقاله در نظر گرفته شده‌اند؛ به این دلیل در اینجا فقط منافع مصرف کننده معرفی شده که (الف) آنها بخش اصلی کل منافع هستند و (ب) پالایشهای فنی زیادی در تخمین آنها، چنانکه در شکل شماره سه نشان داده شده، صورت گرفته است.

ارزش اسقاط بهبودها در پایان ۲۵ سال یکی از اقلام عمده منافع خواهد بود که باید در برنامه‌ریزی اولویتی در نظر گرفته شود. منتهی در این مقاله به خاطر آشکار بودن مطلب از مطرح کردن آن خودداری شده است.

تحلیل نتایج

تکنیک برنامه‌ریزی اولویتی یکی از پیشرفته‌ترین تکنیکهای تجزیه و تحلیل هزینه - منفعت است. این تکنیک هم بهبودها را با یکدیگر مقایسه می‌کند و هم اینکه همزمان تقدم و تأخر ساخت هر بهبود را بوضوح مشخص می‌سازد.

برای آزمون تکنیک، یک افزایش پنج درصدی در منافع خالص ایجاد شد، در حالی که رتبه‌بندی سایر شیوه‌های سنتی تجزیه وتحلیل هزینه - منفعت از بهبودها هیچ تغییری نکرد، رتبه‌بندی ارزش فعلی خالص بهبودها به کمک تکنیک برنامه‌ریزی خطی سال به سال تغییر کرد و این نشانگر حساسیت تکنیک است.

برخلاف دیگر روشهای برنامه‌ریزی (۴ و ۸)، این تکنیک هزینه‌های سرمایه را از تابع هدف برنامه‌ریزی خطی حذف کرده است. این امر دارای این مزیت است که نرخ بهره انتخاب شده فقط برای تنزیل منافع بکار می‌رود و برای تنزیل هزینه‌های سرمایه‌ای استفاده نمی‌شود. نرخهای تنزیل مؤثر برای هزینه‌های سرمایه‌ای بوسیله متغیرهای ثانویه[۱۶] ردیف بودجه تعیین می‌شوند. این جداسازی نرخ تنزیل منافع (خصوصاً صرفه‌جویی در زمان) و هزینه فرصت از دست رفته سرمایه، وقتی که نرخ بهره برای تحلیل اقتصادی انتخاب می‌شود، یکی از مزایای مفهومی قابل توجه در تکنیک برنامه‌ریزی اولویتی است.

تکنیک برنامه‌ریزی خطی این توانایی را دارد که تعهدات و تصمیمات سیاسی را مستقیماً در معادلات دخالت دهد و در پی آن

زمانبندی بهبودها را بهینه کند.

عیب عمده تکنیک این است که داده‌های فراوانی را نیاز دارد. در مدل اُن‌تاریو در کانادا، حدود دو سال طول کشید که داده‌های موجود به شکل داده‌های مناسب برای مدل تغییر یابند. ناگفته نماند که بسیاری از این داده‌ها برای هر تحلیل اقتصادی دیگر مورد نیاز خواهند بود.

برای اجرای مدل یک برنامه کامپیوتری LP باید در دسترس باشد. این برنامه‌ها نیز از قبل وجود دارند و اصولاً در دستیابی به آنها هیچ مشکلی وجود ندارد. برنامه‌ریزی خطی از متغیرهای پیوسته (ناصحیح) بجای متغیرهای صحیح[17] استفاده می‌کند، و این سبب تفکیک بسیاری از پروژه‌ها می‌شود.

اگر چه تحلیل و پردازش داده‌ها پیچیدگی زیادی دارد و بطور صحیحی صورت می‌گیرد، ولی نتایج نمی‌تواند بهتر از داده‌های وارد به مدل باشند. بدین دلیل است که کار اصلی بر پالایش مداوم اطلاعات وارد به مدل بنا نهاده شده است و در این راستا پالایش منافع مصرفی بطور مداوم صورت می‌گیرد.

چنانچه یک سازمانی به اجرای برنامه‌ریزی اولویتی تمایل داشته باشد، باید به دیگر محاسن مدیریتی بکارگیری روش برنامه‌ریزی خطی، که در عمل نمود پیدا می‌کند، عنایت داشته باشد.

نتیجه گیری

تکنیک تشریح شده در این مقاله یکی از پیشرفته‌ترین تکنیکهای تجزیه و تحلیل اقتصادی برای برنامه‌ریزی اولویتی بهبودهاست. هدف این تکنیک، حداکثر کردن منافع در کل دوره برنامه‌ریزی با توجه به محدودیت بودجه و تمایز بین نرخ تنزیل منافع و هزینه سرمایه‌ای است. این تکنیک طی بکارگیری آن در سیستم بزرگراه ایالتی اُن‌تاریو در کانادا خود را به عنوان یک تکنیک ارزشمند و کاربردی نشان داده و در میدان عمل سرافراز بیرون آمده است.

پیشنهاد شماره یک

واضح است که محاسبه ارزش فعلی خالص (NPV) تابع شرایط اقتصادی جامعه است. یکی از فاکتورهایی که ارزش فعلی خالص را تحت تأثیر قرار می‌دهد، نرخ تورم است. نرخ تورم تأثیر بسزایی در نرخ بازده سرمایه‌گذاری[18] (R) و نرخ سرمایه‌گذاری مجدد[19] (i) دارد. به نظر می‌رسد یکی از نکات عمده‌ای که مؤلفان در مدل خود فراموش کرده‌اند، تأثیر این عامل بوده است. اصولاً در راستای انتخاب صحیح بهبودی که منافع را به حداکثر می‌رساند، طرح سؤالات سه گانه زیر مناسب است:

۱- آیا انتظار می‌رود که نرخ سرمایه‌گذاری مجدد (i) بطور عمده‌ای با نرخ بازده مورد نیاز بهبود تفاوت داشته باشد؟

۲- آیا انتظار می‌رود که نرخ سرمایه‌گذاری مجدد در طول عمر بهبود تغییر کند یا اینکه ثابت می‌ماند؟

۳- آیا انتظار می‌رود که نرخ بازده مورد نیاز (R) در طول عمر بهبود تغییر کند یا اینکه ثابت می‌ماند؟

ارزیاب، با توجه به پاسخ هر یک از سؤالات فوق، می‌تواند برای محاسبه ارزش فعلی از تعریفهای خاص آن به شرح زیر استفاده کند:

$$(a)\quad NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{CIt}{(1+R)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{COt}{(1+R)^t}$$

CIt = ورودیهای نقدی پس از مالیات دوره t

COt = خروجیهای نقدی پس از مالیات در دورهٔ t

n = عمر مفید بهبود

R = نرخ بازده مورد نیاز است.

$$(b)\quad NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{CI_t}{\pi^t_{j=1}(1+Rj)} - \sum_{t=0}^{n} \frac{CO_t}{\pi^t_{j=1}(1+R_j)}$$

که در آن Rj = نرخ بازده مورد نیاز در دوره j است.

$$(c)\quad TV = \sum_{t=0}^{n} CI_t\,(1+i)^{n-t}$$

که در آن:

TV[20] = مجموع ارزش منافع نقدی بهبود است تحت این فرض که اگر مجدداً سرمایه‌گذاری شوند یک نرخ بازده سالانهٔ ویژه‌ای را در حدود i ایجاد می‌کنند.

$$(d)\quad NPV^{*} = \frac{TV}{(1+R)^{n}} - \sum_{t=0}^{n} \frac{CO_t}{(1+R)^{t}}$$

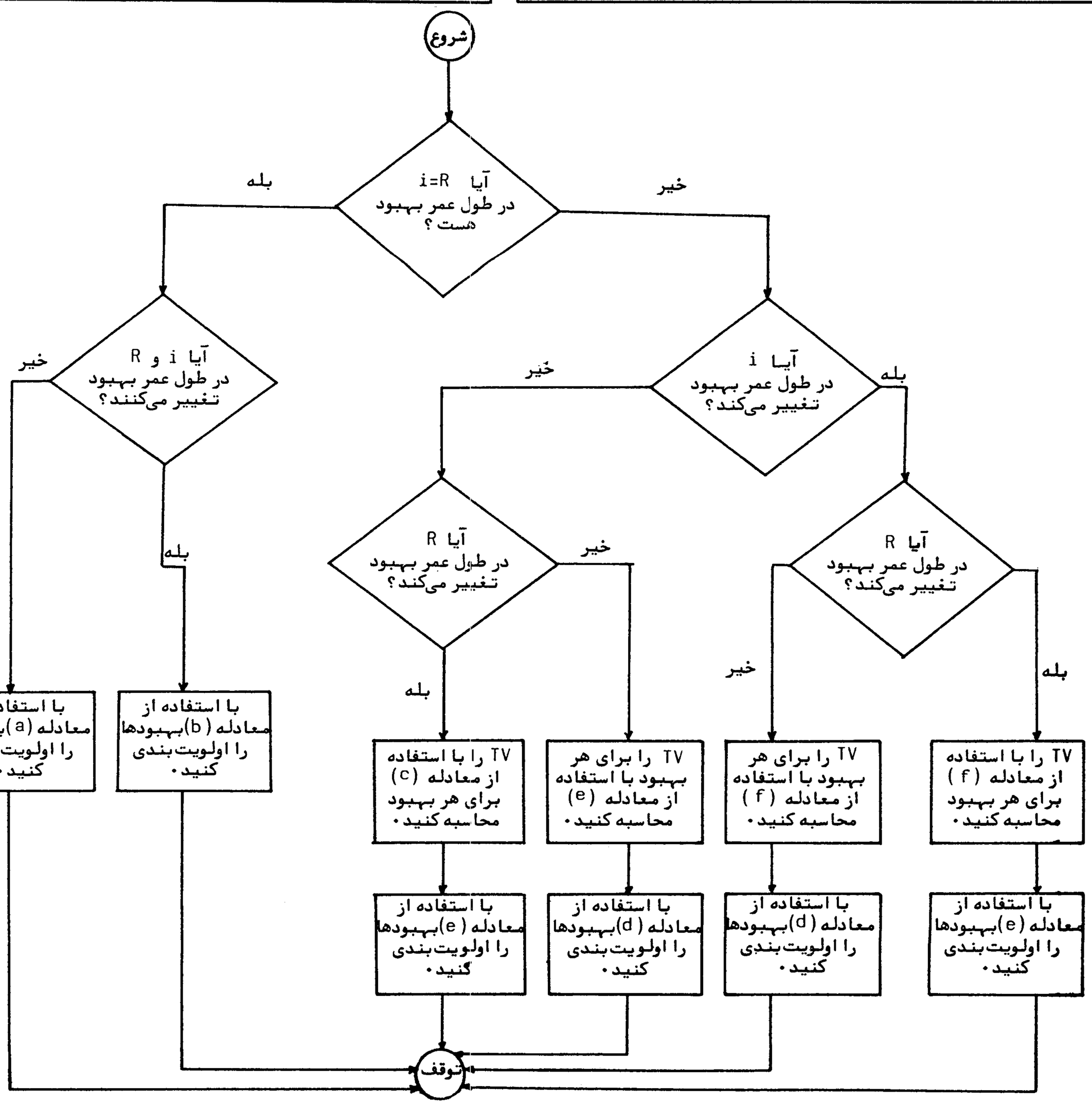
$$(e)\quad NPV^{*} = \frac{TV}{\pi^{n}_{j=1}(1+R_j)} - \sum_{t=0}^{n} \frac{CO_t}{\pi^{t}_{j=1}(1+R_j)}$$

محاسبه TV در معادله (۳) تحت این فرض است که نرخ سرمایه‌گذاری مجدد (i) در طول عمر بهبود ثابت باقی می‌ماند. در حالی که سرمایه‌گذاری مجدد تحت شرایط اقتصادی تغییرات زیادی دارد. در چنین شرایطی TV هر بهبودی با استفاده از معادله ۶ محاسبه می‌گردد.

$$(f)\quad TV = \sum_{t=0}^{n} CI_t \left[\pi_{j=t+1}^{n} (1+i_j)\right]$$

که در آن؛ i_j نرخ سرمایه‌گذاری مجددی است که در دوره j قابل حصول است.

برای استفاده از تعریفهای فوق در ارزیابی بهبودها (خصوصاً بهبودهای مانعة الجمع) از فلوچارت شماره یک می‌توان استفاده کرد[۲۱]:



پیشنهاد شماره دو: محدودیت بودجه علاوه بر بودجهٔ کل می‌تواند به صورت بودجه هر پروژه نیز نوشته شود. اصولاً در پروژه‌های دولتی این امر مصداق پیدا می‌کند؛ به عنوان مثال، گاهی دولت بودجه ویژه‌ای را برای پروژه پتروشیمی یا کارخانه سیمان پیش بینی می‌کند و تأمین اعتبار می‌کند، لذا نه تنها ما نباید از بودجه کل سالانه بیشتر مصرف نکنیم بلکه باید کل هزینه مصرفی پروژه لزام بیشتر از بودجه تأمین اعتبار شده آن نباشد. پس می‌توان یک محدودیت به صورت زیر تعریف کرد که بیان کننده ارضای محدودیت بودجه آن پروژه باشد:

$$\sum_{k=t+p} X_{jt}\, CST_{jkt} \leq bj \qquad j = 1,2,\ldots,m$$

پیشنهاد شماره سه: امروزه استفاده از مدلهای غیر استاندارد تا حدودی، مشکل $X_{jt} \geq 0$ را حل کرده است، چرا که می‌توان از X_{jt} آزاد در علامت[22] استفاده کرد و با استفاده از تغییر متغیر آن را به یک مدل استاندارد تبدیل کرد؛ مثلاً X_{11} آزاد در علامت را می‌توان برای کامپیوتر به صورت زیر تعریف کرد:

$$X_{11} = X'_{11} - X''_{11}$$
$$X'_{11},\ X''_{11} \geq 0$$

پیشنهاد شماره ۴: این معادلات بیان کننده یک فرض نسبتاً غیر واقعی هستند، خیلی کم پیش می‌آید که سینرژی حاصل از دو پروژه بیشتر از تک تک آنها و یا لااقل کمتر از یکی از آنها باشد. بلکه فرض واقعی این است که سینرژی مثبت ایجاد شود نه منفی. بنابر این معادلات ۱۲ و ۱۳ را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

$$\sum_{t=1}^{m} (X_{j,t} + X_{j+1,t} - X_{j+2,t}) \geq 0$$

پیشنهاد شماره ۵: برای تشریح موضوع، مناسب است به مثال مترو در ایران اشاره کنیم: آماده کردن تونلهای مربوط به مترو و مسیرهای آن، که مدت چند سال طول کشیده، در واقع حریم راه نام دارد. در این مرحله که، بر هر مرحله دیگر مقدم است، هیچ درآمدی حاصل نمی‌شود. پس از آماده شدن این مسیر و خطوط ریل است که تسهیلات، ساخته شده، یا خریداری می‌گردند. گر چه سفارش ساخت ممکن است همزمان با ساخت مسیر آغاز شود ولی راه‌اندازی تسهیلات (مرحله دوم) تا آماده شدن مرحله اول آغاز نخواهد شد.

پانویسها:

1- Programming transport investment: A Priority- Planning procedure

2- Linear Programming Formulation.

3- Trade - off.

4- Improvements.

5- Alternatives.

6- Interrelated or Joint benefits.

7- Input.

8- Packages.

9- Planning Harizon.

10- Independent Improvements.

11- Dependent Improvements.

12- Dummy.

13- Staging.

14- Right - of - way.

15- Mutuallly Exclusive Improvements.

16- Dual Variables.

17- Integer Variables.

18- Rate of return.

19- Reinvestment rate.

20- Term nal value.

21- John J. Clark, Thomas J. Hindelang and Robert E. Pritchard; "Capital Budget (Planning and control of capital Expenditure)", Third edition, printice, Hall, 1989 PP.129-135.

22- Freedom.

منابع و ماخذ:

1- Development of a Methodology for planning Improvement Priorities, phase1 & 2. Ontario Ministry of Transportation and Communications and Read Voorhees and Associates, Ltd., Toronto,1972.

2- W. Melinyshyn, R. Crowther, and J. D. O'Doherty. Transportation Planning Improvement Priorities: Development of a Methodology. Highway Research Record 458, 1973, PP. 1-12.

3- I. G. Heggie. Transport Engineering Economics. McGraw-Hill Book Co., London. 1972.

4- Highway Capacity Manual - 1965. HRB Special Rept. 87, 1965.

5- P. J. Claffey. Running Costs of Motor Vehicles as Affected by Road Design and Traffic. NCHRP Rept. 111, 1971.

6- R. W. Winfrey. Economic Analysis for Highways. Intext Educational publications, New York, 1969.

7- H. M. Weingartner. Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems. Markham publishing Co., chicago, 1985.