کاربرد اولویت‌بندی فرایند تحلیل شبکه‌ای در برنامه‌ریزی آرمانی برای تخصیص منابع در حمل و نقل

علی منصور خاکی، دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
سید مجتبی شفیعی*، دانشجوی دکترا، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: smojtaba_sh@yahoo.com
دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۲۰- پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۳۰

چکیده

انتخاب بهترین پروژه‌های پیشنهادی در زمینه توسعه زیرساخت‌های حمل و نقل (TI[1]) در یک سازمان کار بسیار پیچیده‌ای است؛ زیرا در پروژه‌های مطرح شده عوامل زیادی مانند ریسک پروژه، اهداف مشترک، محدودیت منابع و غیره دخالت داشته و از جمله موضوعات تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM[2]) هستند. در این مقاله، یک متدولوژی انتخاب پروژه بهینه شده پیشنهاد می‌گردد که وابستگی‌های بین معیارهای ارزیابی و پروژه‌های کاندید را با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP[3]) در یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر-یک (ZOGP[4]) نشان می‌دهد. به‌منظور ارایه یک روش سیستماتیک برای قراردادن اولویت‌ها در بین معیارهای چندگانه و نیز ایجاد رابطه بین اهداف، پیشنهاد می‌شود که ANP پیش از مدل‌سازی برنامه‌ریزی آرمانی اجرا شود. هرچند برنامه‌ریزی آرمانی چند هدف را در هم ادغام می‌کند و به یک راه حل بهینه می‌رسد، اما اشکال اصلی آن در این است که تصمیم‌گیرنده یا تصمیم‌گیرندگان باید اولویت‌ها و اهداف را از پیش تعیین کرده باشند. برای غلبه بر این مسئله نیاز به بحث گروهی است. در این تحقیق، با استفاده از روش FD[5]، مفهوم فرایند تحلیل شبکه‌ای و برنامه‌ریزی آرمانی صفر- یک، روشی جامع‌تر برای موضوعات انتخاب پروژه‌های وابسته TI، ارایه می‌گردد. این مقاله نمونه‌ای از حل مسئله وابستگی پروژه را براساس ANP و ZOGP و با استفاده از مصاحبه با گروه کارشناسان ارایه داده است. با استفاده از این روش نتیجه گرفته شد که می‌توان مسئله‌هایی که چندمعیاره بوده و دارای وابستگی بین معیارها هستند و از نظر منابع نیز قابل اجرا می‌باشند، حل کرد. در مثال واقعی ارایه شده برای تحلیل از روش ANP/ZOGP استفاده شده است. زمانی که با استفاده از الگوریتم پیشنهادی تمام راه‌حل‌ها مشخص شدند، تصمیم‌گیرنده می‌تواند مقادیر هدف این راه‌حل‌ها را ارزیابی کند و یک راه‌کار مطلوب را مشخص سازد. روش ترکیبی پیشنهادی در این تحقیق با دست‌یابی به نتایج جامع‌تر از روش‌های متداول قبلی، به‌عنوان روش مناسبی و تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در پروژه‌های توسعه زیرساخت حمل و نقل عمومی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: فرایند تحلیل شبکه‌ای، فرایند برنامه‌ریزی آرمانی صفر- یک، تخصیص منابع در حمل و نقل، اولویت‌بندی پروژه

۱- مقدمه

انتخاب و ارزیابی پروژه‌های زیرساختی حمل و نقل (TI) به تخصیص منابع محدود سازمانی مربوط است. این‌گونه مسایل انتخاب و ارزیابی پروژه TI جزء موضوعات تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) هستند. طی دو دهه اخیر، چندین متدولوژی برای انتخاب پروژه‌ها ارایه و تحقیقات گسترده‌ای در این خصوص گزارش شده‌اند. انتخاب پروژه TI به معنی تعریف چند پروژه مختلف برای بیشینه کردن منافع حاصل و تخصیص منابع در بین این گزینه‌ها با استفاده از منابع محدود موجود است.

* نویسنده مسئول

Archive of SID
www.SID.ir

انتخاب بهترین پروژه‌های ارایه شده TI در یک سازمان، کار بسیار دشواری است؛ زیرا در پروژه‌های مطرح شده عوامل زیادی مانند ریسک پروژه، اهداف مشترک، محدودیت منابع و غیره دخالت دارند. از آنجا که پی بردن به روابط و وابستگی بین معیارها در پروژه تحت بررسی اهمیت بسیار زیادی دارد؛ بنابراین زمانی‌که مسئله‌ها بررسی می‌شوند، باید تلاش شود نظرات گروهی نیز لحاظ شوند. برای جمع‌آوری نظرات گروهی از مصاحبه با کارشناسان استفاده می‌شود. کینی و رایفا در سال ۱۹۷٦روشی را برای تعیین تابع کاربردی تصمیم‌گیرنده به‌صورت ریاضی ارایه دادند. این تابع کاربردی میزان رضایت تصمیم‌گیرنده از گزینه‌های مختلف انتخابی را نشان می‌دهد. برنامه‌ریزی ریاضی اساساً یک مسئله بهینه‌سازی آماری است، که شامل مدل‌های مختلفی مانند برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی آرمانی، برنامه‌ریزی پویا و تئوری بازی می‌شود (K. Reza et al., 1988). برنامه‌ریزی آرمانی (GP[٦]) برای پرداختن به مسایلی که شامل اهداف چندگانه و در برخی موارد متضاد می‌شوند طراحی شده است (Lee, 1972)؛ با این وجود، برای غلبه بر اشکالات GP، تصمیم‌گیرندگان باید ابتدا اهداف و اولویت‌هایشان را تعیین کنند. نتایج جمع‌بندی مسایل، اختلاف زیادی را در قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان نشان می‌دهد. بنابراین، برای تعیین فاکتورهای زیر در ساخت مدل GP از طریق بحث گروهی به یک فرایند سیستماتیک نیاز است: (۱) اهداف، (۲) سطح مطلوب دست‌یابی به هر هدف، (۳) درجه‌ای از روابط وابسته و (٤) میزان جریمه برای دست‌یابی بیش از حد یا کمتر از حد لازم به هر یک از اهداف. یکی دیگر از نقاط ضعف GP نداشتن روشی سیستماتیک برای تعیین اولویت‌ها و ایجاد روابط بین اهداف و معیارهاست (K. Reza et al., 1988). وقتی لازم است عوامل ملموس و غیر ملموس بررسی شوند و عوامل فاکتورهای وابسته درگیر بوده و مشارکت عده‌ای از مردم در فرایند قضاوت ضروری می‌شود، این اشکال حتی بارزتر نیز می‌شود. برای غلبه بر این مسئله از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) که توسط ساعتی ساخته شد (Saaty, 1996) به منظور اولویت‌بندی اهداف و تعیین روابط بین آنها استفاده می‌شود.

روش فازی دلفی (Ishikawa et al., 1993) روشی سیستماتیک برای نظرخواهی گروهی از متخصصان است. برای تعیین درجه روابط وابسته نیز از روش فازی دلفی استفاده می‌شود. سپس از اطلاعات به‌دست آمده از روش فازی دلفی و ANP برای فرمول نویسی یک مسئله برنامه‌ریزی آرمانی استفاده می‌شود. هدف این مقاله تشریح روشی جامع برای انتخاب پروژه‌های وابسته TI با استفاده از روش فازی دلفی، ANP و GP است. بنابراین، در این مقاله یک متدولوژی انتخاب پروژه TI پیشرفته پیشنهاد می‌شود که با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر–یک (ZOGP) روابط بین معیارهای ارزیابی و پروژه‌های کاندید را منعکس می‌کند. برای ارایه یک روش سیستماتیک به‌منظور اولویت‌بندی معیارهای چندگانه و روابط بین اهداف، پیشنهاد شده پیش از تنظیم GP، ANP اجرا شود. تکنیک‌های پیشنهادی قدیمی برای انتخاب پروژه TI مفید هستند اما اجرای آنها محدود است، زیرا این تکنیک‌ها تنها پروژه‌های مستقل TI و یا معیارهای مستقل ارزیابی را بررسی می‌کنند. بررسی وابستگی‌های پروژه‌ها، صرفه‌جویی زیادی در هزینه‌ها را در پی داشته و منافع زیادی را برای سازمان‌ها به‌همراه دارد. در مسایل دنیای واقعی موارد وابسته بسیار زیادی وجود دارند. به‌عبارت دیگر، وقتی چند پروژه TI انجام گردید، مشاهده شد که منابع مختلف بسیار زیادی بین اشکال مختلف حمل و نقل به‌صورت مشترک بودند. به‌طور مثال، قسمتی از طرح‌های مهندسی حمل و نقل که برای یک مورد مطالعه قرار گرفته بود و به مشاوران مهندسی، ادارات ساخت و ساز و مالکان ارایه شده بودند، دوباره برای چندین پروژه دیگر استفاده شده و موجب صرفه‌جویی زیادی در هزینه‌ها شدند (Joyce, 1988).

هدف این تحقیق پیشنهاد یک راه حل برای مسایل مربوط به انتخاب پروژه‌ای است که در بین پروژه‌ها و معیارهای ارزیابی، وابستگی وجود دارد. برای انعکاس وابستگی‌های انتخاب پروژه TI که دارای چندین معیار است از یک مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) (Saaty, 1996) و برنامه‌ریزی آرمانی صفر– یک (ZOGP) (Dantzig, 1958) با مصاحبه گروهی از متخصصان استفاده شد. همچنین نشان داده شد که چطور می‌توان از ترکیبی از مدل‌های ANP و ZOGP به‌عنوان کمک در مسایل انتخاب پروژه TI استفاده کرد.

۲- بررسی مسئله انتخاب پروژه

برای کمک به سازمان‌ها در اتخاذ بهترین تصمیم در زمان انتخاب بین پروژه‌ها روش‌های بسیار زیادی پیشنهاد شده است (Aaker and Tyebjee, 1978; Anadalingam and Olsson, 1989;

Archive of SID

www.SID.ir

Czajkowski and Jones, 1986; Sharda, 1992). متدولوژی‌های موجود برای انتخاب پروژه به‌طور عمده عبارتند از: تحلیل منفت/ هزینه یک معیاری، روش‌های رتبه‌بندی و مدل‌های امتیازدهی چندمعیاره و روش‌های ارزیابی ذهنی مشاوره‌ای (Horwitch and Thietart, 1987; Ringuest and Graves, 1989).

Buss کوشید به‌جای تکنیک رتبه‌بندی، روشی دیگر را برای انتخاب پروژه ارایه دهد (Wey and Wu, 2007). روش رتبه‌بندی مسایلی را که محدودیت منابع داشته و وابستگی پروژه‌ای دارند حل نمی‌کند. روش‌های رتبه‌بندی، امتیازدهی و ANP برای مسایلی که نیاز به لحاظ کردن محدودیت منابع، بهینه‌سازی ملزومات و یا محدودیت وابستگی در پروژه‌ها دارند به‌کار نمی‌روند. با وجود این محدودیت‌ها، از روش‌های رتبه‌بندی، امتیازدهی و ANP برای حل مسایل واقعی بسیار زیادی استفاد شده است؛ زیرا این روش‌ها بسیار ساده و قابل فهم بوده و بنابراین، تصمیم‌گیرنده احساس راحتی زیادی با آنها دارد. بسیاری از محققان برای مسایل بهینه‌سازی از یک روش ریاضی مانند برنامه‌ریزی آرمانی، برنامه‌ریزی پویا، برنامه‌ریزی خطی صفر- یک و غیره استفاده می‌کنند (Dantzing, 1958; Ringuest and Graves, 1989; Buss, 1983). البته در اکثر متدولوژی‌های قدیمی، معیارها و پروژه‌های کاندید مستقل از هم فرض شده‌اند. در بسیاری از مسایل دنیای واقعی معیارها و پروژه‌های انتخابی به یکدیگر وابسته‌اند (Saaty, 1996). توسعه در داخل یک سازمان با دیگر فضاهای عملکردی آن سازمان نیز مرتبط است. وابستگی بین پروژه‌های TI را به‌طور کلی می‌توان به سه نوع تقسیم کرد (Czajkowski and Jones, 1986; Schniederjans and Kim, 1987). این سه نوع عبارتند از: (۱) وابستگی منابع، (۲) وابستگی منافع، و (۳) وابستگی عملکردی. وابستگی منابع در نتیجه به اشتراک‌گذاری منابع سخت‌افزاری و نرم‌افزاری بین پروژه‌های مختلف به‌وجود می‌آید. به‌طوری‌که اجرای دو یا چند پروژه مرتبط با هم، نسبت به زمانی‌که آنها به‌طور جداگانه اجرا شوند، نیاز به منابع کمتری دارد. به‌طور مثال، اگر از طرح‌های مهندسی حمل و نقل که برای یک پروژه تهیه شده‌اند در پروژه دیگری نیز استفاده شود، در این صورت پروژه دوم به منابع و هزینه طراحی کمتری نیاز خواهد داشت. وابستگی منافع زمانی رخ می‌دهد که کل منافع حاصل از اجرای دو پروژه وابسته به هم برای سازمان به‌خاطر اثر هم‌افزایی آنها افزایش می‌یابد (Weber et al., 1990). در نهایت، وقتی‌که توسعه یک پروژه TI توسعه پروژه وابسته دیگری را ناگزیر می‌سازد، وابستگی عملکردی ایجاد می‌شود. با انتخاب پروژه‌های وابسته، منابع با ارزش TI را می‌توان بین پروژه‌های TI به اشتراک گذاشت و به این شکل از کل هزینه‌های منابع کاست. اخیراً Sanathanam و Kyparisis یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی را برای بررسی وابستگی‌ها ارایه دادند (King and Scherem, 1978). این مدل پیشنهادی آنها برای حل مسایلی بود که دارای وابستگی پروژه‌ای هستند. اما مدل آنها مسایلی که دارای چندین معیار بین پروژه و معیار ارزیابی هستند را حل نمی‌کند. علاوه بر این، وقتی یک مسئله ارزیابی پروژه بررسی می‌شود نیاز به یک بحث گروهی متخصصان داریم؛ زیرا تعیین معیارها و یا درجه وابستگی به‌منظور بررسی یک مسئله پروژه تنها توسط یک یا دو تصمیم‌گیرنده نتیجه قابل اعتمادی ندارد. در حقیقت، در مسایل انتخاب پروژه TI که دارای ویژگی وابستگی هستند، بررسی چند معیار از بررسی تنها یک یا دو معیار بسیار مناسب‌تر است. تنها تعداد محدودی از تحقیقات قبلی که گزارش شده‌اند راه حلی برای انتخاب پروژه TI ارایه دادند که دارای هر دو ویژگی وابستگی و چند معیاری باشند. در ادامه یک مسئله انتخاب پروژه TI وابسته که دارای چند معیار است بررسی خواهد شد.

۳- روش برنامه‌ریزی آرمانی با استفاده از FDM[۷] و ANP برای انتخاب پروژه TI

۳-۱- روش فازی دلفی (FDM)

روش فازی دلفی که توسط هلمر و دالکی آغاز شده و گسترش یافت، به سرعت مورد استقبال واقع شده و در موارد فراوانی استفاده شد (Sanathanam and Kyparisis, 1996; Dalky and Helmer, 1963). از جمله مزایای عنوان شده برای

Archive of SID

www.SID.ir

آن می‌توان به تلفیق نظرات کارشناسان، گمنامی کارشناسان به‌منظور جلوگیری از تسلط افراد بر گروه و تکرارهایی با بازخورد ساختار یافته از واکنش گروه برای کمک به رسیدن به یک توافق نظر اشاره کرد. امروزه، روش دلفی گسترش زیادی یافته و به‌صورت خانواده‌ای از تکنیک‌های مشابه درآمده است که همه آنها دارای ویژگی‌های مشترک زیر هستند:

الف) گمنامی نسبی یا کامل متخصصان شرکت کننده، ب) بررسی‌های مکرر و ج) بازخورد ساختاری به شکل خلاصه شده برای متخصصان. هرچند روش‌های دلفی قدیمی مزایای بسیاری داشته‌اند، اما همانند بسیاری از روش‌های دیگر، مسئله ابهام و عدم قطعیت در این روش‌ها نیز هنوز وجود دارد (One and Wedemeyer, 1994). بنابراین، نظریه فازی می‌تواند ابزاری مناسب برای پرداختن به این مسایل باشد. چند تن از محققان درباره روش‌های فازی دلفی (FDMs) بررسی‌هایی به‌عمل آورده‌اند. در سال ۱۹۸۵ موری، پیپینو و گیچ بررسی مقدماتی‌ای درباره FDM انجام دادند. در این مطالعه، هنوز از یک روش دلفی قدیمی استفاده شده بود، اما یک تابع "میانگین گروهی" بر موضوعات مجزای ارایه شده به افراد اضافه شده بود. این توابع عضویت پیش از فرایند دلفی تعیین شده و به‌عنوان ادراک مبهم افراد از یک مقدار معدل (GPA) "عالی" یا "ضعیف" است (Murray et al., 1985). پس از آن Kaufmann و Gupta (Sackman, 1974) فرایند بسیار کامل‌تری را برای FDM ارایه دادند. در این فرایند از نظریه فازی استفاده شده و از شرکت‌کنندگان خواسته شده یک تخمین سه مرحله‌ای بزنند (به‌عبارت دیگر مقادیر بدبینانه، میانه و خوشبینانه). به این ترتیب اعداد فازی مثلثی (TFNs[8]) به‌دست آمده و میانه حساب می‌شود. ایشیکاوا و همکاران در سال ۱۹۹۳ نیز دو روش FDM را ارایه دادند که به ترتیب FDM حداکثر- حداقل و FDM از طریق ادغام فازی نام گرفتند (Ishikawa et al., 1993). این روش‌ها کوشیدند تنها بر یک دور انجام تحقیق متمرکز شده و برای هر مورد تحقیق از نوع خاصی از سؤالات استفاده کردند. سپس با استفاده از دو روش هنجارگرایی حداکثر- حداقل و ادغام‌سازی‌های فازی توابع عضویت برای پیش‌بینی‌های فازی و دوره‌های پیش‌بینی حلقه آخر محاسبه می‌شوند.

به‌طور خلاصه درباره این روش‌ها می‌توان گفت، FDM علاوه بر امتیازات روش‌های دلفی قدیمی امتیازاتی نیز دارد.

الف) امکان پردازش فازی بودن موضوع پیش‌بینی و میزان اطلاعات پاسخ‌دهندگان را می‌دهد، ب) از آن‌جا که در این روش از پیش‌بینی‌های فازی استفاده شده، ویژگی‌های فردی کارشناسان را می‌توان مشخص کرد.

۳-۲- فرایند تحلیل شبکه‌ای

در تحقیقات اولیه، تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ای تحت عنوان فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[9]) به‌عنوان روشی برای حل مسایل اقتصادی- اجتماعی که نیاز به تصمیم‌گیری دارند و مناسب‌ترین روش حل مسایل پیچیده معرفی شد که در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی ارایه شده و در سطح گسترده‌ای برای حل مسایل مورد استفاده قرار گرفت (Saaty, 1980).

AHP یک چارچوب جامع است که برای غلبه بر مسایل مختلف طراحی شده، زمانی‌که در مورد مسایل دارای چند هدف، معیار و عامل تصمیم گرفته می‌شود، درحالی‌که در مورد گزینه‌های انتخابی پیش روی خود اطمینان داشته و یا از آنها غیر مطمئن باشیم. البته بسیاری از مسایل تصمیم‌گیری را نمی‌توان به‌صورت سلسله مراتبی ساختاربندی کرد؛ زیرا عوامل سطح بالاتر با عوامل سطح پایین‌تر اندرکنش متقابل داشته و یا به آنها وابسته‌اند که برخلاف فرض اولیه در این روش است (Saaty, 1996).

ساعتی پس از انجام مطالعاتی جامع برای حل مسایلی با وابستگی نداشتن بین گزینه‌ها و معیارها، روش AHP و برای حل مسایلی با وابستگی بین آنها، روش ANP را پیشنهاد کرد. ANP چگونگی تعیین اهمیت نسبی بین مجموعه‌ای از فعالیت‌ها در یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره را مورد توجه قرار می‌دهد. در این فرایند گزینه‌های مختلف و نیز معیارهای چندگانه به‌صورت جفتی با هم مقایسه می‌شوند. شکل ۱ شکل استاندارد یک "سوپرماتریس" است که توسط ساعتی در سال ۱۹۹۶ (Saaty, 1996) برای پرداختن به ویژگی وابستگی بین عوامل و عناصر معرفی شد. او سوپرماتریس را برای حل ساختار شبکه‌ای پیشنهاد کرد (Saaty, 1980).

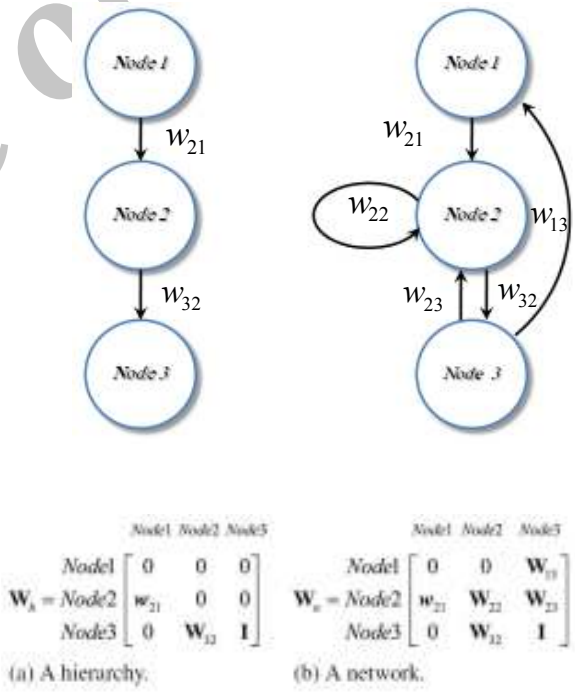
شکل ۲ تفاوت ساختارها و سوپرماتریس متناظر بین یک سلسله مراتب و یک شبکه را نشان می‌دهد. هر منحنی یک جزء (خوشه) و عوامل درون آن را نشان می‌دهد؛ خط صاف/ یا قوس روابط بین اجزا را نشان می‌دهد و حلقه نشان‌دهنده وابستگی درونی

Archive of SID
www.SID.ir

عناصر درون یک جزء است (Saaty and Takizawa, 1986). سوپرماتریس متناظر سلسله مراتبی با سه سطح خوشه نیز نشان داده شده است.

$$\mathbf{W}=\begin{array}{c} \\ e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{1m_1} \\ e_{21} \\ e_{22} \\ \vdots \\ e_{2m_2} \\ \vdots \\ e_{n1} \\ e_{n2} \\ \vdots \\ e_{nm_n} \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccc} C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\ e_{11}e_{12}\cdots e_{1m_1} & e_{21}e_{22}\cdots e_{2m_2} & \cdots & e_{n1}e_{n2}\cdots e_{nm_n} \end{array} \\ \begin{bmatrix} \mathbf{W_{11}} & \mathbf{W_{12}} & \cdots & \mathbf{W_{1n}} \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ \mathbf{W_{21}} & \mathbf{W_{22}} & \cdots & \mathbf{W_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{W_{n1}} & \mathbf{W_{n2}} & \cdots & \mathbf{W_{nn}} \end{bmatrix} \end{array}\begin{array}{l} \\ \\ C_1 \\ \\ \\ \\ \\ C_2 \\ \\ \\ \\ C_n \\ \\ \end{array}$$

شکل ۱. سوپرماتریس (Saaty, 1996)



شکل ۲. الف) سلسله مراتب خطی و ب) شبکه غیرخطی

در ادامه، فرایند حل مسئله انتخاب پروژه‌های وابسته TI به‌طور خلاصه ارایه شده است. اولین گام برای بررسی این وابستگی تعیین معیارهای چندگانه‌ای که ارزش بررسی را دارند و سپس ترسیم رابطه‌ای بین معیارها که درجه وابستگی بین آنها را نشان می‌دهد است. در مرحله بعد باید میزان تأثیر معیارها و یا راه‌حل‌های مختلف بر یکدیگر را مشخص کرد. تصمیم‌گیرنده زمانی‌که گزینه‌های مختلف هر معیار را بررسی می‌کند، به سؤالاتی از این قبیل پاسخ می‌دهد که: "در مقایسه پروژه‌های ۱ و ۲ کدام‌یک از نظر کاهش هزینه مناسب‌تر هستند؟".

زمانی‌که وابستگی وجود دارد، شخص در مقایسات جفتی به این گونه سؤالات پاسخ می‌دهد که: "با توجه به این راه‌کار و این ویژگی خاص، تأثیر کدام راه‌کار از نظر ویژگی بیشتر مد نظر بوده و این تأثیر بیشتر نسبت به راه‌کار دیگر در چه حد است؟". این پاسخ‌ها به‌صورت عددی ارایه شده و بر اساس مقیاس ۱ تا ۹ ساعتی در یک ماتریس مقایسه‌ای با مقادیر متقابل خود قرار داده می‌شوند (Saaty, 1996; Kaufmann and Gupta, 1988). مرحله آخر تعیین اولویت‌بندی کلی پروژه‌های TI است.

۳-۳- برنامه‌ریزی آرمانی

با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از ANP، یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر– یک (ZOGP) به‌صورت وزن‌دار ساخته می‌شود. حل ZOGP الگویی را ارایه می‌دهد که با استفاده از آن تخصیص منابع بین پروژه‌های مختلف امکان‌پذیر خواهد شد. این روش برنامه‌ریزی در مسایل مختلفی به‌کار گرفته شده است، مثل کاربرد در برنامه‌ریزی آموزشی (Buss, 1983)، انتخاب متقاضیان کار در شرکت (Sarkis, 2003) و متقاضیان دریافت مجلات از کتابخانه (Schniederjans and Sanathanam, 1993) و بسیاری نمونه‌های دیگر .

ZOGP بررسی محدودیت‌های منابع و دیگر محدودیت‌های انتخاب را که باید در مسایل انتخاب پروژه TI دقیقاً مورد توجه قرار گیرند امکان‌پذیر می‌سازد.

ZOGP همچنین پیوستگی طبقه‌بندی شده پروژه‌های TI را نیز ممکن می‌سازد. به‌طوری‌که انتخاب بین آنها تا حدی به سیستم طبقه‌بندی ANP که قبلاً به آن پرداخته شد بستگی دارد. مدل ZOGP برای انتخاب پروژه TI را می‌توان به ترتیبی که در صفحه بعد آورده شده است، استفاده کرد.

Archive of SID
www.SID.ir

$$\text{Minimize } Z = P_k(w_j d_i^+, w_j d_i^-) \quad (۱)$$

$$\text{Subject to } a_{ij}x_j + d_i^- - d_i^+ \le b_i \quad \text{for i=1,2,…,m , j=1,2,...,n} \quad (۲)$$

$$x_j + d_i^- = 1 \quad \text{for i=m+1,m+2,…,m+n , j=1,2,…,n} \quad (۳)$$

$$x_j = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for } \forall j \quad (٤)$$

m : تعداد اهداف پروژه TI ای است کـه بایـد در مـدل بررسـی شود، n: تعداد کل پروژه‌های TI است که مجموعه بهینـه از بـین آنها انتخاب خواهد شد، w_j: وزن ریاضی ANP در پروژه‌هـای TI که j=1,2,…n ، P_k = تعداد k اولویت از پیش تعیـین شـده ($P_1 > P_2 > \ldots > P_k$)، برای i=1,2,…,m آرمـان‌هـای پـروژه TI، d_i^+, d_i^- = متغیرهـای i ام انحـراف مثبـت و منفـی بـرای i =1,2,…,m آرمان‌های پـروژه TI، x_j = یـک متغیـر صـفر– یک، در حالی‌که j=1,2,…,n پروژه ممکن برای انتخاب باشد و اگر $x_j = ۱$ باشـد، j امـین پـروژه TI را انتخـاب شـود و اگـر $x_j = ۰$ باشـد، j امـین پـروژه را انتخـاب نشـود، a_{ij} = پـارامتر استفاده j امین پروژه TI برای تعداد i منبع و b_i = تعـداد i منبـع موجود و یا محدودیت‌هایی که باید در تصمیم‌گیری منظور گردد. مدل ZOGP براساس انتخاب x_j پروژه TI در وزن‌هـای تعیـین شـده w_j ANP بـرای -di اسـت. هرچـه wj بـزرگ‌تـر باشـد، احتمال انتخاب آن پروژه TI بیشتر خواهد بود.

٤- یک مثال واقعی از اجرای انتخاب پروژه TI

در این بخش برای نشان دادن نحوهٔ کاربرد مدل ترکیبـی ANP و ZOGP در انتخاب پروژه TI، از یک مثـال تجربـی و واقعـی در شهر اصفهان استفاده می‌شـود. شـهر اصـفهان بـه‌عنـوان یکـی از بزرگ‌ترین کلانشهرهای ایران است که در وضـع موجـود تعـداد سفرهای برآورد شده آن با انواع وسایل سواری، اتوبوس، تاکسی، وانت، دوچرخه و موتور حدود ٤٣٤٠١٦٦ سـفر در روز اسـت و تعداد این سفرها در سال ١٤٠٤ به حدود ٥٨٠٩٥٨٧ سفر روزانـه خواهد رسید. این شهر با مشکلات شهری بسیاری روبه‌رو است، ازجمله مسئله جمعیت، حمـل و نقـل، ترافیـک و آلـودگی‌هـای زیست‌محیطی. مدیران شهری اصفهان در تلاش برای حل چنـین مسایلی، تصمیم گرفتند با توسعه زیرسـاخت‌هـای حمـل و نقـل موجود با رویکرد توسعه سامانه قطـار شـهری بـه‌عنـوان شـاه‌راه اصلی جابه‌جایی مسافر برای برطرف کردن این مسایل تلاش کند. پروژه مورد بررسی طرح توسعه شبکه ریلی شهر اصـفهان اسـت که پس از اتمام بخش اعظم عملیات اجرایی خط اول متروی این شهر به‌منظور توسعه این شبکه حمل و نقل عمومی بـرای ایجـاد خطوط جدید در این شهر ارزیابی شـد. بـرای انجـام ایـن طـرح دانشگاه صنعتی اصفهان با استفاده از نتایج مطالعات قبلی صورت گرفته توسط مشاوران ترافیکی قبلی، سناریوهای مختلفی با توجه به خروجی تحلیل‌هـای انجـام شـده در نـرم‌افـزار EMME/2 و دیگر ملاحظات اجرایی برای توسعه خطوط در ١٨ گزینه مختلف ارایه کرد.

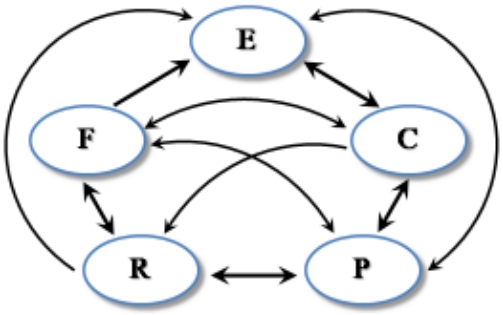
برای ارزیابی و انتخاب بهترین گزینـه پیشـنهادی بـرای انتخـاب معیارهای ارزیابی با استفاده از روش الفبایی[١٠] معیارها به دو دسته شامل معیارهای اولیه و معیارهای اصلی تقسیم شدند. با توجه بـه شرایط خاص بافت تاریخی شهر اصفهان، حفـظ آثـار تـاریخی و باستانی به‌عنوان معیار اولیه لحاظ شده و همه گزینه‌هـایی کـه بـه نحوی موجب به خطر افتادن این آثار بوده‌اند، حـذف شـدند. در گروه دوم معیارهای اصلی قرار گرفتند که بـا اسـتفاده از نظـرات تعدادی از کارشناسـان و متخصصـان در موضـوع حمـل و نقـل شهری تعیین شدند.

پس از تعیین وزن معیارها و ارایه گزینه‌های پیشنهادی اطلاعـات لازم برای هر معیار برای هریک از گزینه‌ها با استفاده از داده‌هـای موجود و اجـرای هـر گزینـه در نـرم‌افـزار EMME/2 محاسـبه، تدوین و آماده انجام مقایسه و تعیین اولویت برای تصـمیم‌گیـری شد. البته اولویت‌بندی گزینه‌های بالا به‌دلیل نزدیکی امتیـازات بـا تردیـد روبـه‌رو شـد. در ایـن مقالـه اولویـت‌بنـدی گزینـه‌هـای مورد توجه با استفاده از روش ارایه شـده مـورد ارزیـابی مجـدد قرار می‌گیرد.

کمیته‌ای برای انتخاب متـدولوژی ارزیـابی گزینـه‌هـای نـام‌بـرده تشـکیل شـد. ایـن کمیتـه از ٤ متخصـص در زمینـه روش‌هـای تصمیم‌گیری، اقتصاد، مهندسی ترافیک و محـیط زیسـت تشـکیل شده بود. به‌طـوری‌کـه در ایـن مقالـه توضـیح داده شـده اسـت،

Archive of SID
www.SID.ir

نویسندگان به‌عنوان اعضای کمیته روش‌هایی را برای این ارزیابی پیشنهاد کردند. به‌عبارت دیگر، براساس ترکیبی از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و روش برنامه‌ریزی آرمانی صفر– یک (ZOGP) روشی برای ایجاد توافق نظر به‌منظور رسیدن به یک تصمیم گروهی ارایه شد. مسئله اصلی اولویت‌بندی سه پروژه TI (گزینه‌های ۲ و ٦ و ۵) براساس هفت معیاری بود که به نظر می‌رسید، برای مدیریت شهری حائز اهمیت هستند. علاوه براین، برای انتخاب بین این گزینه‌ها ۵ معیار تعریف شد که عبارتند از: اثرات زیست‌محیطی، مصرف منابع محدود، هزینه توسعه زیرساخت و بهره‌برداری، هزینه استفاده‌کنندگان و پوشش جمعیتی. تیم‌هایی از متخصصان و ارزیابان که شامل مسئولان مربوطه نیز می‌شدند هر یک از گزینه‌ها را از نظر این ۵ معیار مورد ارزیابی قرار دادند. این تیم‌ها ارزیابی خود از هر گزینه را با یک نمره به‌صورت مقایسه جفتی ارایه دادند. هرچه این نمره بالاتر بود، میزان اهمیت راه‌کار بیشتر بود. معیارهای استفاده شده عبارتند از: اثرات زیست‌محیطی (E)، مصرف منابع محدود (R)، هزینه توسعه زیرساخت و بهره‌برداری (C)، هزینه استفاده‌کنندگان (F) و پوشش جمعیتی (P). باید توجه داشت که هرچند روش AHP بدون در نظر داشتن ویژگی ارتباط بین معیارها برای حل مسئله استفاده شد، اما در حل مسایل پروژه‌های TI بین برخی از معیارها وابستگی وجود دارد. مثلاً میزان آلایندگی زیست‌محیطی با مصرف منابع محدود انرژی ارتباط مستقیم دارند، همچنین هزینه کرایه برای استفاده‌کنندگان با میزان پوشش جمعیتی ارتباط خواهند داشت. بنابراین، برای بررسی ساختار شبکه‌ای و یا روابط معیارهای مورد نظر با گزینه‌ها، نیاز به تبادل نظر گروهی است؛ زیرا نوع رابطه یا شبکه به قضاوت تصمیم‌گیرندگان بستگی دارد. در شکل ۳ وابستگی روابط نشان داده شده است.



شکل ۳. روابط وابستگی بین معیارها

برای پی بردن به میزان وابستگی بین معیارها، این فرایند با استفاده از ماتریسی که براساس سوپرماتریس ساعتی ساخته شده نشان داده می‌شود (Saaty, 1996). این فرایند به محققانی که می‌خواهند ANP را شناخته و روش حل یک رابطه وابسته را مطالعه کنند، کمک خواهد کرد. فرایند به ترتیب زیر نشان داده شده و مراحل محاسباتی از مقاله لی و کیم (TRP, 1996) برگرفته شده است. باید توجه کرد که داده‌های مثال استفاده شده در این تحقیق بر اساس مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی هستند (Saaty, 1996; Kaufmann and Gupta, 1988).

مرحله ۱: مخاطب برای مقایسه معیارها به این سؤال پاسخ می‌دهد: "در یک پروژه TI روی کدام معیار باید بیشتر تأکید کرد و این تأکید باید تا چه حدی باشد؟". با مقایسه جفتی تمام جفت‌های سه گزینه، داده‌های زیر از طریق روش AHP به‌دست آمد: (۰/۰٤۰، ۰/۰۷۲، ۰/۲۲۳، ۰/۰۲۲، ۰/۰۹۸، ۰/۱٦۳، ۰/۳۸۳) =(E,F,C,R,P)، البته با این فرض که هیچ رابطه‌ای بین آنها وجود ندارد. این داده‌ها تنها وزن نسبی را بدون در نظر گرفتن وابستگی بین معیارها نشان می‌دهد. ماتریس وزن معیارها به این صورت تعریف شد:

$W_1 = (E,F,C,R,P) =$ (۰/۲٤٦، ۰/۰٥٤، ۰/۰۷۰، ۰/۱۱۳، ۰/٥۱۷)

مرحله ۲: دوباره، با فرض عدم وجود وابستگی بین سه پروژه (P1, P2, P3)، طبق جدول ۱ آنها از نظر هر معیاری که ستون وزن‌های نرمال شده نتیجه می‌دهد، مقایسه می‌شوند.

ردیف دوم جدول ۱ درجه اهمیت نسبی هر معیار را نشان می‌دهد و داده‌های ردیف سوم با جمع زدن هرمعیار با یک به‌صورت نرمال درآمده‌اند. به‌عنوان مثال ماتریس وزن سه پروژه برای معیار E به این صورت تعریف شد:

$$w_{21} = \begin{bmatrix} 0.462 \\ 0.308 \\ 0.231 \end{bmatrix}$$

مرحله ۳: در این مرحله وابستگی بین معیارها بررسی می‌شود. وقتی که یک پروژه TI انتخاب شد، نمی‌توان صرفاً روی یک معیار متمرکز شد و باید معیارهای دیگر را نیز در کنار آن در نظر گرفت. بنابراین، باید با استفاده از مقایسه جفتی تأثیر تمام معیارها بررسی می‌شود. در جدول ۲، از طریق مصاحبه با کارشناسان پنج مجموعه وزن به‌دست آمد. داده‌های جدول ۲ تأثیر نسبی هر یک از پنج معیار روی معیارهای دیگر را نشان می‌دهد. مثلاً، میزان تأثیر نسبی C روی F برابر ۰/۰۹۲ است یا تأثیر نسبی R روی F ۰/۱۳۳ است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. اطلاعات مربوط به پنج معیار در سه پروژه

	E	F	C	R	P
P1	٦	٤	٥	٤	٤
P2	٤	٧	٢	٥	٧
P3	٣	٥	٧	٧	٥
P1	٠/٤٦٢	٠/٢٥٠	٠/٣٥٧	٠/٢٥٠	٠/٢٥٠
P2	٠/٣٠٨	٠/٤٣٨	٠/١٤٣	٠/٣١٣	٠/٤٣٨
P3	٠/٢٣١	٠/٣١٣	٠/٥٠٠	٠/٤٣٨	٠/٣١٣
	ω_{21}	ω_{22}	ω_{23}	ω_{24}	ω_{25}

جدول ۲. اطلاعات روابط بین پنج معیار

W_3	E	F	C	R	P
E	٠/٣٧٧	٠	٠/١٥١	٠	٠/١٦٧
F	٠/٠٤٩	٠/٢٣٢	٠/١٨٠	٠/١٢٠	٠/٢٣٨
C	٠/١٧٥	٠/٠٩٢	٠/٠٦٣	٠/١٩٧	٠/٢٩٩
R	٠/٢٤٩	٠/١٣٣	٠	٠/٠٨٨	٠/٠٩٦
P	٠/١٥٠	٠/٥٤٢	٠/٦٠٦	٠/٥٩٦	٠/٢٠٠

ماتریس وزن معیارهای وابسته به این صورت تعریف شد:

$$W_3 = \begin{bmatrix} 0.377 & 0 & 0.151 & 0 & 0.167 \\ 0.049 & 0.232 & 0.180 & 0.120 & 0.238 \\ 0.175 & 0.092 & 0.063 & 0.197 & 0.299 \\ 0.249 & 0.133 & 0 & 0.088 & 0.096 \\ 0.150 & 0.542 & 0.606 & 0.596 & 0.200 \end{bmatrix}$$

جدول ۳. داده‌های مربوط به درجه تأثیر نسبی وابستگی بین معیارها

چهار معیار وابسته به معیار E

W_{31}	E	F	C	R	P
E	١/٠٠	٦/٠٠	٦/٠٠	٦/٠٠	٤/٠٠
F	٠/١٧	١/٠٠	٠/٢٠	٠/٣٣	٠/٣٣
C	٠/١٧	٥/٠٠	١/٠٠	٠/١٤	٠/٢٠
R	٠/١٧	٣/٠٠	٧/٠٠	١/٠٠	٤/٠٠
P	٠/٢٥	٣/٠٠	٥/٠٠	٠/٢٥	١/٠٠

سه معیار وابسته به معیارF

W_{32}	F	C	R	P
F	١/٠٠	٣/٠٠	٢/٠٠	٠/٣٣
C	٠/٣٣	١/٠٠	٠/٥٠	٠/٢٥
R	٠/٥٠	٢/٠٠	١/٠٠	٠/٢٠
P	٣/٠٠	٤/٠٠	٥/٠٠	١/٠٠

www.SID.ir

سه معیار وابسته به معیارC

W_{33}	C	E	F	P
C	۱/۰۰	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/۲۰
E	٦/۰۰	۱/۰۰	۰/۲۵	۰/۱٤
F	۳/۰۰	٤/۰۰	۱/۰۰	۰/۱۳
P	۵/۰۰	۷/۰۰	۸/۰۰	۱/۰۰

سه معیار وابسته به معیار R

W_{34}	R	F	C	P
R	۱/۰۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۲۰
F	۲/۰۰	۱/۰۰	۰۱/۳۳	۰/۲۰
C	۲/۰۰	۳/۰۰	۱/۰۰	۰/۲۰
P	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	۱/۰۰

چهار معیار وابسته به معیار P

W_{35}	P	E	F	C	R
P	۱/۰۰	۰/۲۵	۳/۰۰	۵/۰۰	۸/۰۰
E	٤/۰۰	۱/۰۰	٦/۰۰	۰/۱۳	۰/۳۳
F	۰/۳۳	٦/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	٤/۰۰
C	۰/۲۰	۸/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۵/۰۰
R	۰/۲۰	۳/۰۰	۰/۲۵	۰/۲۰	۱/۰۰

در نتیجه اوزان وابستگی بین معیارها به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

W_{31}= (۰/۳۷۷ ،۰/۰٤۹ ،۰/۱۷۵ ،۰/۲٤۹ ،۰/۱۵۰)

W_{32}= (۰/۲۳۲ ،۰/۰۹۲ ،۰/۱۳۳ ،۰/۵٤۲)

W_{33}= (۰/۰٦۳ ،۰/۱۵۱ ،۰/۱۸۰ ،۰/٦۰٦)

W_{34}= (۰/۰۸۸ ،۰/۱۲۰ ،۰/۱۹۷ ،۰/۵۹٦)

W_{35}= (۰/۲۰۰ ،۰/۱٦۷ ،۰/۲۳۸ ،۰/۲۹۹ ،۰/۰۹٦)

اما جدول ۲ که معیارهای به‌دست آمده از پنج معیار بود، از درجه اهمیت نسبی هر یک از معیارهای پنج‌گانه روی معیارهای دیگر به‌دست آمد. جداول ۳ داده‌های مربوط به درجه تأثیر نسبی هر یک از معیارها را به‌طور جداگانه نشان می‌دهد:

مرحله ٤: در این مرحله وابستگی گزینه‌های مختلف را از نظر هر معیار بررسی می‌شوند. یک نمونه از سؤالی که باید مخاطب به آن پاسخ دهد به این صورت است که: "کدام پروژه معیار اول (E) را بیشتر برآورده می‌سازد و تا چه حد؟" داده‌های به‌دست آمده به این ترتیب در جدول ٤ نشان داده شده‌اند.

در جدول ٤، داده‌های ردیف دوم را تصمیم‌گیرنده با استفاده از مقیاس ۹ درجه‌ای ساعتی به‌دست آورده، که درجه وابستگی بین گزینه‌های مختلف را با توجه به هر پروژه نشان می‌دهد و داده‌های ردیف سوم نرمال شده‌اند. برای جدول ٤ ماتریس میزان وابستگی معیار E پروژه به‌صورت W_{41} تعریف شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ٤. داده‌های بین سه پروژه برای هر یک از معیارها

معیار اول (E)

W_{41}	P_1	P_2	P_3
P1	١/٠٠	٤/٠٠	٥/٠٠
P2	٠/٢٥	١/٠٠	٢/٠٠
P3	٠/٢٠	٠/٥٠	١/٠٠
P1	٠/٦٩	٠/٧٣	٠/٦٣
P2	٠/١٧	٠/١٨	٠/٢٥
P3	٠/١٤	٠/٠٩	٠/١٣

معیار دوم (F)

W_{42}	P_1	P_2	P_3
P1	١/٠٠	٥/٠٠	٢/٠٠
P2	٠/٢٠	١/٠٠	٠/٢٥
P3	٠/٥٠	٤/٠٠	١/٠٠
P1	٠/٥٩	٠/٥٠	٠/٦٢
P2	٠/١٢	٠/١٠	٠/٠٨
P3	٠/٢٩	٠/٤٠	٠/٣١

معیار سوم (C)

W_{43}	P_1	P_2	P_3
P1	١/٠٠	٤/٠٠	٠/٥٠
P2	٠/٢٥	١/٠٠	٠/٢٠
P3	٢/٠٠	٥/٠٠	١/٠٠
P1	٠/٣١	٠/٤٠	٠/٢٩
P2	٠/٠٨	٠/١٠	٠/١٢
P3	٠/٦٢	٠/٥٠	٠/٥٩

معیار چهارم (R)

W_{44}	P_1	P_2	P_3
P1	١/٠٠	٠/٢٥	٠/٢٠
P2	٤/٠٠	١/٠٠	٠/٥٠
P3	٥/٠٠	٢/٠٠	١/٠٠
P1	٠/١٠	٠/٠٨	٠/١٢
P2	٠/٤٠	٠/٣١	٠/٢٩
P3	٠/٥٠	٠/٦٢	٠/٥٩

Archive of SID

www.SID.ir

معیار پنجم (P)

W_{45}	P_1	P_2	P_3
P1	۱/۰۰	۰/۵۰	۰/۱۷
P2	۲/۰۰	۱/۰۰	۰/۳۳
P3	٦/۰۰	۳/۰۰	۱/۰۰
P1	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱
P2	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲
P3	۰/٦۷	۰/٦۷	۰/٦۷

مرحله ۵: اکنون با ترکیب نتایج مراحل ۱ تا ۳ اولویت‌بندی وابسته معیارها را به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند:

$$w_c = W_3 \times w_1 = \begin{bmatrix} 0.377 & 0 & 0.151 & 0 & 0.167 \\ 0.049 & 0.232 & 0.180 & 0.120 & 0.238 \\ 0.175 & 0.092 & 0.063 & 0.197 & 0.299 \\ 0.249 & 0.133 & 0 & 0.088 & 0.096 \\ 0.150 & 0.542 & 0.606 & 0.596 & 0.200 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.517 \\ 0.113 \\ 0.070 \\ 0.054 \\ 0.246 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.247 \\ 0.129 \\ 0.189 \\ 0.172 \\ 0.263 \end{bmatrix}$$

بنابراین:

W_c = (E,F,C,R,P) = (۰/۲٤۷ ،۰/۱۲۹ ،۰/۱۸۹ ،۰/۱۷۲ ،۰/۲٦۳)

مرحله ٦: با ترکیب نتایج مراحل ۲ تا ٤ به ترتیب زیر اولویت‌بندی پروژه‌های WP از نظر هر یک از پنج معیار به‌دست می‌آید:

$$w_{P1} = W_{41} \times w_{21} = \begin{bmatrix} 0.69 & 0.73 & 0.63 \\ 0.17 & 0.18 & 0.25 \\ 0.14 & 0.09 & 0.13 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.462 \\ 0.308 \\ 0.231 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.689 \\ 0.912 \\ 0.122 \end{bmatrix}$$

$$w_{P2} = W_{42} \times w_{22} = \begin{bmatrix} 0.59 & 0.50 & 0.62 \\ 0.12 & 0.10 & 0.08 \\ 0.29 & 0.40 & 0.31 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.250 \\ 0.438 \\ 0.313 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.561 \\ 0.099 \\ 0.345 \end{bmatrix}$$

$$w_{P3} = W_{43} \times w_{23} = \begin{bmatrix} 0.31 & 0.40 & 0.29 \\ 0.08 & 0.10 & 0.12 \\ 0.62 & 0.50 & 0.59 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.357 \\ 0.143 \\ 0.500 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.313 \\ 0.103 \\ 0.588 \end{bmatrix}$$

$$w_{P4} = W_{44} \times w_{24} = \begin{bmatrix} 0.10 & 0.08 & 0.12 \\ 0.40 & 0.31 & 0.29 \\ 0.50 & 0.62 & 0.59 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.250 \\ 0.313 \\ 0.438 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.103 \\ 0.324 \\ 0.577 \end{bmatrix}$$

$$w_{P5} = W_{45} \times w_{25} = \begin{bmatrix} 0.11 & 0.11 & 0.11 \\ 0.22 & 0.22 & 0.22 \\ 0.67 & 0.67 & 0.67 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.250 \\ 0.438 \\ 0.313 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.11 \\ 0.22 \\ 0.67 \end{bmatrix}$$

Archive of SID

www.SID.ir

با گروه‌بندی پنج ستون بالا با هم ماتریس W_P به‌دست می‌آید:

$$W_P = (W_{P1}, W_{P2}, W_{P3}, W_{P4}, W_{P5})$$

$$W_p = \begin{bmatrix} 0.689 & 0.561 & 0.313 & 0.103 & 0.11 \\ 0.912 & 0.099 & 0.103 & 0.324 & 0.22 \\ 0.122 & 0.345 & 0.588 & 0.577 & 0.67 \end{bmatrix}$$

مرحله ۷: در نهایت، اولویت‌بندی کلی پروژه‌های کاندید W_{ANP} با ضرب Wp در Wc به‌دست می‌آید، بنابراین:

$$W_{ANP} = W_P \times W_C = \begin{bmatrix} 0.689 & 0.561 & 0.313 & 0.103 & 0.11 \\ 0.912 & 0.099 & 0.103 & 0.324 & 0.22 \\ 0.122 & 0.345 & 0.588 & 0.577 & 0.67 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.247 \\ 0.129 \\ 0.189 \\ 0.172 \\ 0.263 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.348 \\ 0.371 \\ 0.461 \end{bmatrix}$$

جدول ۵. اطلاعات مربوط به استفاده از منابع انسانی و هزینه‌ای در پروژه‌های TI

عنوان	استفاده از منابع در هر گزینه (*aij*)			
	x1	*x2*	*x3*	*bi*
مدت زمان طراحی و برنامه‌ریزی (روز)	۲۰	۲۲	۲٤	۳۰
مدت زمان ساخت (ماه)	۳۱	۳٤	۳۷	۳٦
کل بودجه (میلیارد ریال)	۲/۱۰۲	۲/۳۸۵	۲/۰۵۲	۲/۵۰۰
هزینه دفتری (میلیارد ریال)	۱۷	۱۲	۱۸	۲۰

نتایج نهایی در فاز ANP عبارت است از (۰/٤٦۱، ۰/۳۷۱، ۰/۳٤۸)=(P1, P2, P3). این نتایج ANP به این صورت تفسیر شده‌اند. در این نمونه از انتخاب پروژه TI هر پروژه که بالاترین وزن را دارد P_3 است. پروژه بعد پروژه P2 است. از این وزن‌ها به‌عنوان اولویت‌های تدوین برنامه‌ریزی آرمانی استفاده می‌شود. به عبارتی:

Wj ،(P1, P2, P3)=(W1, W2, W3)=(۰/۳٤۸،۰/۳۷۱ ،۰/٤٦۱)

مقادیر سه پروژه را نشان می‌دهد. ما برای ساخت مدل ZOGP از مثال واقعی برگرفته از قطار شهری اصفهان و برخی فرضیات ذهنی نزدیک به واقع استفاده شود. مفروضات به ترتیب زیر خلاصه شده است؛ فرض کنید در انتخاب از بین سه پروژه TI چندین هدف الزامی و متغیر وجود دارند که باید مد نظر قرار گیرند. ۳ محدودیت الزامی هستند که عبارتند از: (۱) در روند تکمیل تمام پروژه‌های منتخب حداکثر ۳۰ روز کاری زمان برای طراحی و برنامه‌ریزی وجود دارد، (۲) در روند تکمیل تمام پروژه‌های منتخب حداکثر زمان برای ساخت ۳٦ ماه است و (۳) در روند تکمیل تمام پروژه‌های منتخب حداکثر بودجه موجود حدود ۲۵۰۰ میلیارد ریال می‌باشد. علاوه بر هدف انتخاب یک پروژه از بین پروژه‌های TI دو هدف متغیر دیگر نیز وجود دارند که به‌خاطر اهمیت آنها بیان می‌شوند: (۱) بودجه اولیه تخصیص داده شده ۲۲۰۰ میلیارد ریال است که می‌تواند تا حداکثر ۲۵۰۰ میلیارد ریال ولی نه بیشتر از آن تغییر کند و (۲) میزان هزینه‌های دفتری تعیین شده در ابتدا برابر ۲۰ میلیارد ریال است، اما این میزان قابل تغییر است.

در جدول ۵، اطلاعات مربوط به استفاده از منابع انسانی و هزینه‌ای برای هر یک از سه پروژه ارایه شده است. محدودیت‌های مفروض براساس این داده‌ها و مقادیر نتایج ANP که قبلاً محاسبه شده‌اند برای این مسئله مشخص شده و در جدول ٦ به‌عنوان ساختار مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر- یک ارایه شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ٦. ساختار مدل ZOGP

	ساختار مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر- یک (ZOGP)
اهداف:	Minimize Z=
تحقق اهداف مورد انتظار	$P1(d_1^+ + d_2^+ + d_3^+)$
هدف انتخاب بهترین پروژه‌های TI حاصل از نتایج ANP	$P2(0.348d_5^- + 0.371d_6^- + 0.461d_7^-)$
هدف استفاده از ۲۰ میلیارد ریال برای هزینه‌های دفتری پروژه‌ها	$P4(d_4^- + d_4^+)$
هدف استفاده از ۲۲۰۰ میلیارد ریال برای هزینه‌های اجرایی پروژه‌ها	$P3(d_8^- + d_8^+)$
محدودیت‌ها:	Subject to :
رعایت سقف زمان طراحی و برنامه‌ریزی	$20x_1 + 22x_2 + 24x_3 + d_1^- - d_1^+ = 30$
رعایت سقف زمان ساخت و اجرا	$31x_1 + 34x_2 + 37x_3 + d_2^- - d_2^+ = 36$
رعایت سقف نهایی بودجه	$2102x_1 + 2385x_2 + 2052x_3 + d_3^- - d_3^+ = 2500$
انتخاب پروژه ۱	$x_1 + d_5^- = 1$
انتخاب پروژه ۲	$x_2 + d_6^- = 1$
انتخاب پروژه ۳	$x_3 + d_7^- = 1$
حداکثر و حداقل هزینه دفتری	$17x_1 + 12x_2 + 18x_3 + d_4^- - d_4^+ = 20$
حداکثر و حداقل بودجه مورد انتظار	$2102x_1 + 2385x_2 + 2052x_3 + d_8^- - d_8^+ = 2200$
	$x_j = 0$ or $1 \quad \forall j = 1,2,3$

همان‌طور که در جدول ٦ ساختار مدل ZOGP ارایه شده، این مدل دارای سه هدف الزامی است که در بخش ابتدایی مشخص گردیده که به‌ترتیب عبارتند از: هدف رعایت نتایج حاصل از فرآیند ANP، هدف رعایت سقف هزینه‌های دفتری و هدف رعایت سقف هزینه‌های اجرایی. در ادامه ساختار مدل محدودیت‌های سه‌گانه یاد شده که عبارتند از: محدودیت سقف زمان طراحی و برنامه‌ریزی، محدودیت سقف زمان اجرا، محدودیت سقف نهایی بودجه تخصیصی. براساس این مدل ZOGP با استفاده از نرم‌افزار LINDO در یک کامپیوتر شخصی در مدت زمان چند ثانیه حل شد. نتایج مسئله به‌طور خلاصه عبارتند از:

$$x_1 = x_2 = 0 \qquad x_3 = 1$$
$$d_1^- = 6, \quad d_1^+ = 0, \quad d_2^- = 0, \quad d_2^+ = 1,$$
$$d_3^- = 448, \quad d_3^+ = 0, \quad d_4^- = 2, \quad d_4^+ = 0,$$
$$d_5^- = 1, \quad d_6^- = 1, \quad d_7^- = 0, \quad d_8^- = 148,$$
$$d_8^+ = 0,$$

براساس نتایج تحلیل انجام شده پروژه ۳ (یعنی گزینه ٦) با صرف بودجه کلی ۲۰۵۲ میلیارد ریال انتخاب شد. ۲٤ روز کاری برای طراحی و برنامه‌ریزی این گزینه و یک ماه بیشتر از ۳٦ ماه یعنی ۳۷ ماه برای اجرا و ساخت این پروژه زمان لازم است.

۵-بحث و نتیجه‌گیری

۵-۱- بحث

اجرای مدل ANP-ZOGP برای یک مثال واقعی روشی را برای یافتن وزن‌هایی که بین معیارها و گزینه های غیرمستقل دیده می‌شوند، ارایه داد. مدل پیشنهادی یک متدولوژی را برای محققان فراهم آورد که از آن در مسئله انتخاب پروژه‌ای که روابط وابسته دارد، استفاده کنند. استفاده از این روش با لحاظ کردن وابستگی معیارهای تصمیم‌گیری در یک نمونه واقعی نتایج متفاوتی را با روش AHP ارایه می‌دهد که بیشتر قابل دفاع خواهد بود.

Archive of SID
www.SID.ir

تکنیک‌های رتبه‌بندی و امتیازدهی در ابتدا ساده هستند، اما قابلیت اجرایی قابل تضمینی ندارند و برای پرداختن به پروژه‌ای که دارای روابط وابسته‌ای هستند کفایت نمی‌کنند. تحقیقات گذشته بیشتر با فرض عدم وابستگی روی یک مسئله متمرکز می‌شدند. هرچند تحقیقات زیادی درباره مسئله عدم وابستگی با استفاده از AHP و یا متدولوژی‌های دیگر انجام شده است، اما تحقیق یا مطالعه‌ای روی مسئله‌هایی که دارای وابستگی هستند صورت نگرفته است. طبق آنچه که مشاهده شده است AHP بیشتر برای مواقعی مفید است که منافع و هزینه‌های پروژه مشخص نیستند، محدودیت منابع وجود ندارد، پروژه دارای وابستگی نبوده و نیاز جدی به یک راه حل بهینه نیست. هرچند حل یک مسئله دارای وابستگی به‌خصوص واقعی، کار بسیار سختی است اما اکثر مسئله‌های مربوط به ارزیابی پروژه‌های TI دارای وابستگی هستند. با این وجود قضاوت درباره وجود وابستگی در آنها کار بسیار مهمی است. بنابراین، تصمیم‌گیری گروهی درباره تعیین نحوه وابستگی بسیار مفیدتر است، تا این‌که تنها یک یا دو نفر درباره آن تصمیم‌گیری کنند. برای تعیین درجه تأثیر معیارهای تحت بررسی و راه‌کارهای مختلف نیاز به بحث گروهی است زیرا تصمیم‌گیرندگان مختلف درجه تأثیر را متفاوت ارزیابی می‌کنند. بحث گروهی برای تعیین مسئله‌های مهم و یا مسئله‌ای که اگر توسط یک نفر بررسی شوند، احتمال اعمال سلیقه یا تعصب ورزی در مورد آنها وجود دارد، بسیار مفید است. مصاحبه با گروه کارشناسان احتمال اعمال سلیقه تصمیم‌گیرنده را به حداقل ممکن می‌رساند. با استفاده از مصاحبه با گروه کارشناسان، فردی که قابلیت اجرای این روش را برای مسئله‌های واقعی بررسی می‌کند، شاید دیگر نگران هزینه‌ها نباشد.

۵-۲- نتیجه‌گیری

این مقاله نمونه‌ای از حل مسئله وابستگی بین پروژه را براساس ANP و ZOGP و با استفاده از مصاحبه با گروه کارشناسان نشان داد. با استفاده از این روش نتیجه گرفته شد که می‌توان مسئله‌هایی که چند معیاره بوده و دارای وابستگی بین معیارها و گزینه‌ها هستند و از نظر منابع نیز قابل اجرا می‌باشند با این روش ترکیبی حل کرد. در مثال واقعی ارایه شده از روش ANP/ZOGP برای تحلیل استفاده شده است. زمانی که با استفاده از الگوریتم پیشنهادی تمام راه‌حل‌ها مشخص شدند تصمیم‌گیرنده می‌تواند مقادیر هدف را برای این راه‌حل‌ها ارزیابی کرده و راه‌کار مطلوب را انتخاب کند.

در این تحقیق، با استفاده از روش سوپرماتریس، روش دیگری برای تعیین تأثیرات ترکیبی عوامل روی مقیاس‌های عملکرد سازمانی ارایه شد. انتخاب درست یک مجموعه از پروژه‌های TI به سازمان‌های مهندسی کمک بسیاری می‌کند. علاوه براین، با بررسی تأثیرات معیارها بر یکدیگر روی انتخاب پروژه TI نیز کار شد. ANP در این مقاله به‌عنوان روشی ارزشمند برای پشتیبانی انتخاب پروژه‌های TI نشان داده شده و برای استفاده در توسعه در زیرساخت بخش حمل و نقل عمومی، مفید است. در نهایت، باید گفت یک انتخاب خوب از بین پروژه‌های TI شاید تنها شامل عواملی از قبیل هزینه ساخت و بهره‌برداری، محیط زیست، مصرف منابع محدود، جمعیت تحت پوشش و کرایه نشده و شاید لازم باشد قابلیت اجرای تحلیل حساسیت را برای پروژه‌ها نیز در نظر گرفت. استفاده از این روش ترکیبی منجر به حصول تصمیمی واقع‌بینانه‌تر نسبت به روش‌های قدیمی‌تر نظیر AHP شده و نشان داد با لحاظ کردن وابستگی بین معیارها و گزینه‌ها با استفاده از این روش ترکیبی به گزینه بهینه‌تر و واقعی‌تری می‌توان دست یافت.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. Transportation Infrastructure
2. Multi Criteria Decision Making
3. Analytic Network Process
4. Zero One Goal Programming
5. Fuzzy Delphi
6. Goal Programming
7. Fuzzy Delphy Method
8. Triangle Fuzzy Number
9. Analysis of Hierarchy Process
10. Lexicographic

۷- مراجع

- مطالعات قطار شهری اصفهان و حومه/ سازمان قطار شهری اصفهان و حومه - دانشگاه صنعتی اصفهان / اسفند ۱۳۸۹.

Archive of SID
www.SID.ir

development and operation", Computing Surveys 10 (1), pp. 20–34.

- Lee, J. W. and Kim, S. H. (2000) "Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection", Computers and Operations Research 27 (2000), pp. 367–382.
- Ono, R. and Wedemeyer, D. J. (1994) "Assessing the validity of the Delphi technique", Futures 26, pp. 289–304.
- Reza, K., Hossein, A. and Yvon, G. (1988) "An integrated approach to project evaluation and selection", IEEE Transactions on Engineering Management 35 (4), pp. 265–270.
- Ringuest, J. L. and Graves, S. B. (1989) "The linear multi-objective R&D project selection problem", IEEE Transactions on Engineering Management 36 (1), pp. 54–57.
- Sackman, H. (1974) "Delphi assessment, expert opinion, forecasting, and group process", R-1283-PR, Rand Corp., Santa Monica.
- Sanathanam, R. and Kyparisis, G. J. (1996) "A decision model for interdependent information system project selection", European Journal of Operational Research 89, pp. 380–399.
- Sarkis, J., (2003) "Quantitative models for performance measurement systems—Alternate considerations", International Journal of Production Economics 86, pp. 81–90.
- Schniederjans, M. J. and Fowler, K. (1989) "Strategic acquisition analysis: A multi-objective approach", Journal of the Operational Research Society 40 (4), pp. 333–345.
- Schniederjans, M. J. and Kim, G. Y. (1987) "A goal programming model to optimize departmental preferences in course assignment", Computers and Operations Research 14 (2), pp. 87–96.
- Schniederjans, M. J. and Sanathanam, R. (1993) "A multi-objective constrained resource information system project selection method", European Journal of Operational Research 70, pp. 244–253.
- Weingarther, H. M. (1966) "Capital budgeting of interrelated projects: Survey and synthesis", Management Science 12 (7), pp. 485–516.
- Aaker, D. A., Tyebjee, T. T. (1978) "A model for the selection of interdependent R&D projects", IEEE Transactions on Engineering Management 25 (2), pp. 30–36.
- Anadalingam, G. and Olsson, C. E. (1989) "A multi-stage multi-attribute decision model for project selection", European Journal of Operational Research 43, pp. 271–283.
- Baker, N. R. (1974) "R&D project selection models: An assessment", IEEE Transactions Engineering Management EM-21, pp. 165–171.
- Buss, M. D. J. (1983) "How to rank computer projects", Harvard Business Review 61 (1), pp. 118–125.
- Czajkowski, A. F. and Jones, S. (1986) "Selecting interrelated R&D projects in space technology planning", IEEE Transactions on Engineering Management 33 (1), pp. 17–24.
- Dalkey, N. and Helmer, O. (1963) "An experimental application of the Delphi method to the use of experts", Management Science 9 (3), pp. 458-467.
- Dantzig, G. B. (1958) "On integer and partial linear programming problems", The RAND Corporation, June, Paper P-1410.
- Helmer, O. H. (1966) "The Delphi method for systematizing judgments about the future", Institute of Government and Public Affairs, University of California.
- Horwitch, M. and Thietart, R. A. (1987) "The effect of business interdependencies on product R&D-intensive business performance", Management Science 33 (2), pp. 178–197.
- Ishikawa, A., Amagasa, T., Tamizawa, G., Totsuta, R. and Mieno, H. (1993) "The max–min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy Integration", Fuzzy Sets and Systems 55, pp. 241–253.
- Joyce, E., (1988) "Reusable software: Passage to productive Datamation", pp. 97–102.
- Kaufmann, A. and Gupta, M. M. (1988) "Fuzzy mathematical models in engineering and management science", North-Holland, Amsterdam.
- King, J. L. and Scherem, E. L. (1978) "Cost-benefit analysis in information system

Archive of SID
www.SID.ir

- Saaty, T. L. and Takizawa, M. (1986) "Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks", European Journal of Operational Research 26, pp. 229–237.
- Saaty, T. L. (1980) "The analytic hierarchy process", McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T. L. (1996) "The analytic network process", RWS Publications, Expert Choice, Inc.
- Taichung Region Plans: "A plan for the transportation infrastructure improvements of the taichung region plan", Taiwan, Republic of China, 1996.
- Wey, W. and Wu, K. (2007) "Using ANP priorities with goal programming in resource allocation in transportation", pp. 985–1000.
- Sharda, R., (1992) "Linear programming software for personal computers": 1992 survey, OR/MS today 17 (6), pp. 44–54.
- Keeney, R. L. and Raiffa, H. (1976) "Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs", Wiley, New York.
- Weber, R., Werners, B. and Zimmerman, H. J. (1990) "Planning models for research and development", European Journal of Operational Research 48, pp. 175–188.
- Lee, S. M. (1972) "Linear Programming for Decision Analysis, Auerbach Publishers, Philadelphia.
- Murray, T. J., Pipino, L. L. and van Gigch, J. P. (1985) "A pilot study of fuzzy set modification of Delphi", Human Systems Management 5, pp. 76–80.

Archive of SID

www.SID.ir