Archive of SID

ارزیابی سناریوهای توسعهٔ حمل و نقل عمومی شهری با استفاده از الگوریتم سه مرحله‌ای فرآیند تحلیل شبکه‌ای (مطالعهٔ موردی: شهر مقدس مشهد)

سید مجتبی شفیعی*، دانش آموخته دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
علی منصور خاکی، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: smojtaba_sh@yahoo.com
دریافت: ۱۳۹٤/۰٤/۰٦ – پذیرش: ۱۳۹٤/۰۹/۲۵

چکیده

اولویت‌بندی سناریوهای توسعهٔ حمل و نقل عمومی شهری با توجه تاثیر قابل توجه حمل و نقل در زندگی روزمره شهروندان و حجم انبوه سرمایه‌گذاری لازم، نیاز به توجه و دقت بالایی در مرحلهٔ تصمیم‌گیری دارد. هرگونه خطا در این مرحله میتواند موجب عدم بهینه بودن تصمیم شده و درنتیجه هزینه‌های کلانی را بر شهر تحمیل نماید. این پژوهش پس از بررسی نتایج مطالعات گوناگون موجود در رویکردهای قابل استفاده جهت ارزیابی و اولویت‌بندی سناریوهای توسعهٔ حمل و نقل عمومی، از میان روش‌های تحلیل چندمعیاری، فرآیند تحلیل شبکه‌ای را بعنوان روش برتر در حل این مسأله انتخاب و پیشنهاد نموده است. سپس جهت جلوگیری از بروز برخی خطاهای محاسباتی بواسطهٔ بازشماری یا کم شماری اثرات، از رویکرد جدیدی تحت عنوان "الگوریتم سه مرحله ای" استفاده کرده است. در کاربرد این الگوریتم با توجه به نقش کلیدی تعیین معیارهای ارزیابی، با بررسی جامعی از مطالعات صورت گرفته درخصوص ارزیابی حمل و نقل عمومی و میزان توجه به هریک از معیارهای فوق، با انجام یک مرحله فرآیند طوفان فکری و پرسش از خبرگان، مجموعه ای معیارها تعیین گردید. در ادامه مقاله، برای اجرای کامل در یک شرایط واقعی، شهر مقدس مشهد برای انجام مطالعات موردی انتخاب و کل فرآیند برای شبکه حمل و نقل همگانی این شهر انجام گردید. نتایج مطالعه موردی نشان داد انجام فرآیند پیشنهادی، باعث رشد بیش از ۳۰٪ در معیار نهایی ارزیابی در سناریوی برتر نسبت به حالتی خواهد بود که از روش متداول برای توزیع بودجه استفاده شود. این امر بیانگر رشد قابل توجه در منافع حاصل از هزینه کرد بودجه برای شهر و شهروندان است. با استفاده از نتایج حاصل، این پژوهش در پایان "ساختار فرآیند تحلیل شبکه‌ای اصلاح شده" را جهت ارزیابی و اولویت بندی سناریوهای توسعهٔ حمل و نقل عمومی شهری برای بکارگیری در موارد مختلف جهت تصمیم‌گیری در حمل و نقل عمومی شهری پیشنهاد می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: فرآیند تحلیل شبکه‌ای، الگوریتم سه مرحله‌ای، توسعهٔ حمل و نقل عمومی، اولویت‌بندی، تصمیم‌گیری چندمعیاره

۱- مقدمه

گستردگی تاثیرات حمل و نقل بر گروه‌های مختلف اجتماع و لزوم توجه به همه ابعاد آن در تصمیم‌گیری‌ها، موضوعی است که موجب گردیده تا در سال‌های اخیر بخش قابل توجهی از تحقیقات علمی به روش‌های گوناگون متداول یا ابتکاری ارزیابی و تصمیم‌گیری در حمل و نقل بپردازند. در این میان موضوع حمل و نقل عمومی بواسطه پیچیدگی و تاثیرات زیادی که بر زندگی روزمره شهروندان دارد، سهم قابل توجهی از این پژوهش‌ها را به خود اختصاص داده است. زاک می‌گوید: "این امر مورد تاکید نویسندگان متعددی است که موضوع حمل و نقل عمومی عملکردهای بسیار گسترده و پیچیده‌ای داشته و تاثیرات متعدد و مهمی را بر گروه‌های متعدد اجتماع می‌گذارد و این موضوعی است که باید در تصمیم‌گیری با استفاده از مجموعه‌ای از معیارها و پارامترها مورد ارزیابی، تحلیل و بهینه سازی قرار گیرد."

تصمیم‌گیری درخصوص انتخاب سناریوی برتر توسعهٔ این سامانه‌های چندوجهی و یکپارچه موضوعی است که به

* - نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

دلیل گستردگی تأثیرات و معیارها از سویی و تنوع ذینفعان از سوی دیگر، بسیار پیچیده است. به نحوی که در سال‌های اخیر در برخی موارد، حتی مجموعه مدیریت شهری برای تصمیم‌گیری درخصوص انتخاب نوع یک سامانه انبوه شهری، دست به همه‌پرسی زده تا هم به تصمیم عادلانه نزدیک‌تر شود و هم مسؤولیت تبعات اجتماعی آتی را متوجه خود شهروندان نماید. با توجه به روند روزافزون توجه و اهمیت به مقوله تصمیم‌گیری، در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی در زمینه استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری در حمل و نقل منتشر گردیده است. در ادامه به برخی از این موارد به صورت نمونه اشاره می‌گردد:

وی و وو (W.M. Wey & K.Y. Wu, 2007) با ارایه مقاله‌ای روشی را جهت انتخاب پروژه بهینه پیشنهاد دادند که وابستگی‌های بین معیارهای ارزیابی و پروژه‌های کاندید را با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای در یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی صفر ـ یک، نشان می‌دهد. تِنگ و زِنگ (J.Y. Teng, G.H. Tzeng, 1998) در مقاله‌ای تحت عنوان "انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری در حمل و نقل با استفاده از برنامه‌ریزی چند معیاره فازی" روش برنامه‌ریزی چند معیاره فازی را برای حل مسائل انتخاب پروژه‌های سرمایه‌گذاری در حمل و نقل پیشنهاد دادند. تووِلا، آکیکی و سیسترناس (A. Tudela, N. Akiki, R. Cisternas, 2006) با ارایه مقاله‌ای تحت عنوان "مقایسه نتایج تحلیل هزینه ـ فایده و تحلیل چند معیاره: کاربرد در سرمایه‌گذاری در حمل و نقل شهری" ، ضمن مقایسه این دو روش در تصمیم‌گیری در زمینه سرمایه‌گذاری در پروژه‌های حمل و نقل شهری، نتیجه گرفتند که اولاً نتایج این دو تحلیل بر یکدیگر منطبق نیستند و ثانیاً نتایج تحلیل چند معیاره با تصمیم نهایی مسؤولان و تصمیم‌گیران انطباق بیشتری دارد. اینیسترا و گوتیرز (J.G. Iwestra, J.G. Gutierrez, 2009) در مقاله خود، ضمن رد روش‌های قدیمی تبدیل همه معیارها به واحدهای پولی، با استفاده از ترکیب یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره با مسأله بهینه‌سازی تابع درجه دوم، نسبت به حل مسأله انتخاب پروژه‌های زیرساختی حمل و نقل با یک سقف ثابت بودجه اقدام کردند. در این تحقیق به این موضوع توجه می‌شود که در پروژه‌های زیرساختی حمل و نقل بخشی از منافع پروژه‌ها با یکدیگر همپوشانی دارند. آهرن و آناندارجا (A. Ahern, G. Anandarajeh, 2007) مدلی را جهت اولویت‌بندی پروژه‌های ریلی پیشنهاد دادند که در آن از برنامه‌ریزی آرمانی با لحاظ محدودیت سقف بودجه و بیشینه کردن منافع حاصل، معیارهای کمی و کیفی را برای این اولویت بندی لحاظ کردند. کالیسکان (N. Calsikan, 2006) از روش‌های نقشه شناختی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه سرمایه‌گذاری در حمل و نقل استفاده گردید. در بخشی از این مقاله آمده است: "تاکنون از روش‌های زیادی برای تعیین نحوه سرمایه‌گذاری در حمل و نقل استفاده شده است، با این وجود می‌توان گفت این روش‌ها همیشه برای اتخاذ تصمیمات قطعی کافی نبوده‌اند".

سامبولاس (D.A. Tsamboulas, 2007) در مقاله‌اش با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چند معیاره فرآیندی جهت ارزیابی و اولویت‌بندی مقایسه‌ای پیشنهاد کرده است. ماتیو و خاسنابیس (T.V. Mathew, S. Khasnabis, 2010) در یک مقاله فرآیندی جهت تخصیص منصفانه منابع بین آژانس‌های حمل و نقل عمومی رقیب جهت مدیریت ناوگان پیشنهاد کرده‌اند. مدل ارایه شده در این مقاله به صورت مسأله بهینه‌سازی غیرخطی جهت بیشینه‌کردن کل عمر باقیمانده متوسط ناوگان با فرض ثابت بودن سقف بودجه، می‌باشد. در این روش برای حال مسأله از الگوریتم شاخه و کرانه و الگوریتم شاخه و کرانه و الگوریتم ژنیتک استفاده شده است. طلوعی و همایونفر (A. Toloei E., M. Homayonfar, 2011) در مقاله خود مروری بر مقالات ارایه شده در خصوص کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در موضوعات مختلف علمی در طول یک دهۀ اخیر داشته اند. یک نکته قابل توجه در این مقاله رشد کاربرد این روش در موضوع حمل و نقل طی سال‌های اخیر خصوصاً بعد از سال ۲۰۰۷ می‌باشد. از مجموع این ۷۹ مقاله در زمینه حمل و نقل، ۱٤ مقاله با استفاده از AHP و ۱۱ مقاله با استفاده از ANP نسبت به حل مسأله اقدام نموده‌اند. البته پژوهش‌های متعدد دیگری نیز در زمینه کاربرد روش‌های مختلف تصمیم‌گیری در حمل و نقل منتشر گردیده که علاقمندان می‌توانند برای دسترسی به برخی منابع این مقاله نیز مراجعه نمایند. بطورکلی می‌توان گفت متون علمی منتشره نشان می‌دهند تاکنون هیچ روش قطعی برای ارزیابی و تصمیم‌گیری در زمینه حمل و نقل ارایه نگردیده است. بنابراین فرآیند پیشنهاد شده در این مقاله نیز از این واقعیت مستثنی نبوده

www.SID.ir

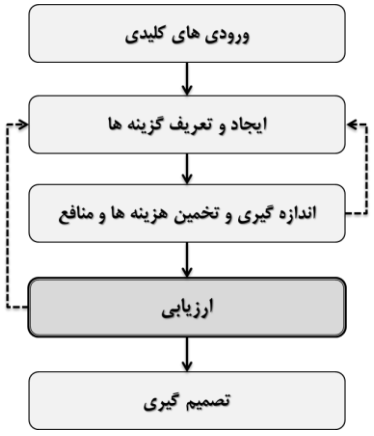
Archive of SID

و قطعاً قابل تکمیل یا اصلاح از نگاه دیگر پژوهشگران خواهد بود.

۲- ارزیابی برای تصمیم‌گیری در حمل و نقل

اهمیت ارزیابی بعنوان مهمترین گام در تصمیم گیری متناسب با گستردگی حوزه تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد؛ بنابر این با توجه به حوزه وسیع تاثیرات حمل و نقل عمومی بر اجتماع، جایگاه ارزیابی در تصمیم‌گیری‌های حمل و نقل عمومی شهری بسیار بالا و قابل توجه خواهد بود.

کومارس و ساموئل (Kumares C. S. & Samuel L., 2007) به نقل از NCHRP-456 در کتاب خود می‌گویند: مطالعات ارزیابی حداقل به یکی از این دلایل باید صورت پذیرد: ۱) ارزیابی سرمایه‌گذاری‌های پیشنهادی، ۲) برنامه‌های ویژه توسعه حمل و نقل، ۳) تکمیل مراحل مستندسازی، ٤) ارزیابی پس از اجرا و ۵) آموزش های همگانی. فرآیند تصمیم‌گیری در این موضوع را بطور خلاصه می‌توان به‌صورت شکل ۱ نشان داد.



شکل ۱. مرحله ارزیابی در چکیده فرآیند تصمیم گیری [NCHRP-456].

در پژوهش‌های مختلف معیارهای گوناگونی جهت ارزیابی و تصمیم‌گیری در زمینه حمل و نقل لحاظ گردیده‌اند که در بخش‌هایی مشترک و در تعدادی از معیارها با یکدیگر متفاوت هستند. در این پژوهش با درنظر گرفتن ۲۵ مقاله یا مرجع علمی قابل استناد، معیارهای مورد استفاده در این مقالات مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته‌اند. براساس نتایج این بررسی اولین معیارهایی که بیشترین کاربرد را در این گزارش‌ها داشته‌اند به ترتیب عبارتند از ۱)"ایمنی" یا میزان تصادفات، ۲) "آلودگی هوا" و ۳) "سرعت انجام سفر" یا زمان سفر بوده‌اند. دیگر معیارها به ترتیب بین ۱٦ مرتبه تا یک مرتبه در گزارش‌های موردنظر استفاده شده‌اند. جدول پیوست شماره ۱ نحوه به کارگیری معیارهای مختلف ارزیابی را در پژوهش‌ها و گزارشات بررسی شده بیان می‌کند.

۳- الگوریتم سه مرحله‌ای در فرآیند تحلیل شبکه‌ای

روش‌ها مختلف ارایه شده جهت ارزیابی برنامه‌های حمل و نقلی را بطور کلی می‌توان در سه گروه اصلی طبقه‌بندی کرد که عبارتند از: الف) تحلیل منفعت-هزینه[1]، ب) تحلیل مقرون به صرفه[2] و ج) تحلیل تصمیم چندمعیاره[3]. البته هریک از این گروه‌ها خود شامل تعداد زیادی از روش‌ها هستند که و در مقالات منتشر شده به چشم می‌خورند. برخی مقالات نیز با مقایسه این روش‌ها به بیان مزیت ها و معایب آنها نسبت به یکدیگر پرداخته‌اند. آنچه از نتایج اغلب مقالات منتشره می‌توان برداشت کرد، رشد کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در مسائل مربوط به حوزه حمل و نقل است که دلیل اصلی آنرا میتوان در گستردگی معیارها و تاثیرات حمل و نقل و غیرقابل تبدیل بودن تاثیرات به معیارهای پولی و همچنین غیر کمی بودن برخی از معیارهای ارزیابی دانست.

یکی از آخرین روش‌های ارایه شده که استفاده از آن در سال‌های اخیر رشد زیادی داشته است، فرآیند تحلیل شبکه‌ای است. ساعتی (T.L. Saaty, 2008). این روش را پس از تکمیل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ارایه کرد و ارجحیت کلیدی این روش بر روش‌های مشابهی نظیر فرآیند تحلیل شبکه‌ای را می‌توان امکان منظور نمودن واقعیت ارتباط و تاثیرات متقابل حمل و نقل در معیارهای ارزیابی بر یکدیگر دانست. در این مقاله با توجه برتری‌های نسبی کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای و به دلیل تناسب موضوع موردنظر، این روش برای حل مسألهٔ اولویت‌بندی سناریوها در توسعهٔ حمل و نقل عمومی انتخاب گردید.

۳-۱- فرآیند تحلیل شبکه‌ای

در پژوهش‌های اولیه، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی بعنوان روشی برای حل مسائل اقتصادی ـ اجتماعی که نیاز به تصمیم‌گیری دارند و مناسب‌ترین روش حل مسائل پیچیده معرفی شد که در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی (T.L. Saaty,

www.SID.ir

Archive of SID

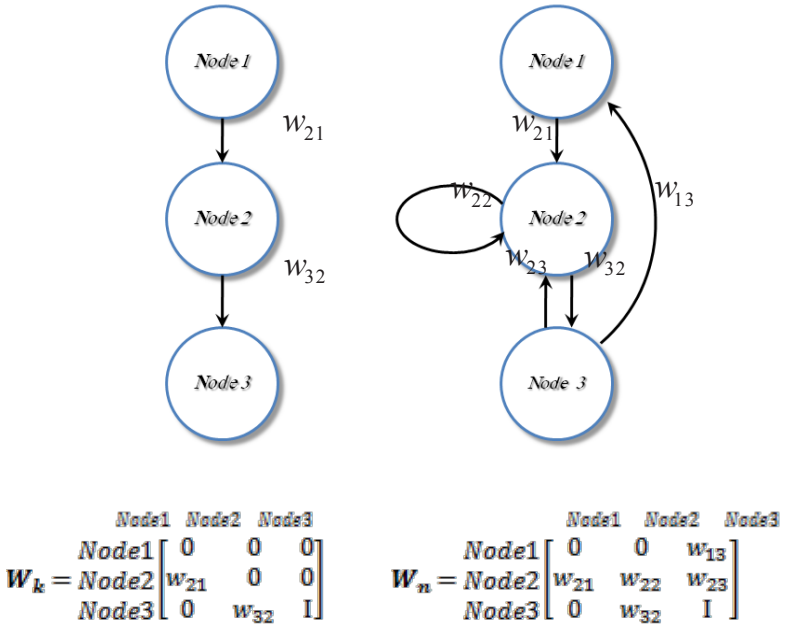
1980) ارایه شده و در سطح گسترده‌ای برای حل مسائل مورد استفاده قرار گرفت. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) چارچوبی جامع است که برای حل مسائل مختلف طراحی شده، زمانیکه در مورد مسائل دارای چند هدف، معیار و عامل تصمیم گرفته می‌شود. البته بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری را نمی‌توان بصورت سلسله مراتبی ساختاربندی 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 (T.L. Saaty, 1996).

پس از انجام مطالعاتی جامع برای حل مسائلی با عدم وابستگی بین گزینه‌ها و معیارها روش AHP و برای حل مسائلی با وابستگی بین آنها، ساعتی فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) را پیشنهاد کرد. در این فرآیند گزینه‌های مختلف و نیز معیارهای چندگانه بصورت جفتی با هم مقایسه می‌شوند. 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 اجزاء را نشان می‌دهد؛ و حلقه نشان دهنده وابستگی درونی عناصر درون یک جزء است (T.L. Saaty, M. Takizawa, 1986). سوپرماتریس متناظر سلسله مراتبی با سه سطح خوشه نیز نشان داده شده است. فرآیند تحلیل شبکه‌ای را شاید بتوان مترقی‌ترین ابزاری دانست که در سالهای اخیر مورد اقبال اغلب پژوهشگران و تصمیم‌گیران حوزه حمل و نقل قرار گرفته و استقبال از این فرآیند به دلیل مزیت‌هایی که نسبت به دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره دارد رو به افزایش است، هرچند استفاده از این فرآیند نیز با رعایت ضوابط و شرایط خاصی منجر به تصمیمات مناسب خواهد شد.

۳-۲- الگوریتم تحلیل شبکه‌ای سه مرحله‌ای

علیرغم مزیت‌های نسبی فرآیند تحلیل شبکه‌ای، حتی نحوهٔ استفاده از این روش نیز که بطور متداول صورت می‌گیرد با برخی ابهامات یا اشکالات همراه بوده که اصلاح این موارد در تحقیقات اخیر برخی پژوهشگران مورد توجه قرار گرفته است. این اشکالات را از یک دیدگاه میتوان شامل امکان ایجاد یکی از این چهار حالت دانست: ۱) برآورد اضافی، ۲)برآورد ناقص، ۳) عارضهٔ بازشماری و ٤) عارضه حذف کردن.

خادمی و همکاران(N. Khademi et. al., 2012) در مقاله خود، ضمن تشریح اشکالات چهارگانه مذکور، الگوریتمی را برای پرهیز از بروز این موارد در فرآیند تحلیل شبکه‌ای پیشنهاد داده‌اند. بطور خلاصه این الگوریتم شامل سه مرحله اصلی است که عبارتند از:



(الف) (ب)

شکل۲. الف) سلسله مراتب خطی و ب) شبکه غیرخطی.

www.SID.ir

Archive of SID

الف) تشکیل درخت چنداثری، ب) تشکیل درخت چندمعیاری و ج) تشکیل شبکه تاثیرات.

البته هر مرحله شامل جزییاتی است که در مقاله مورد اشاره(N. Khademi et. al., 2012) قابل دسترس است. با توجه به اصلاحات بعمل آمده در الگوریتم پیشنهادی مذکور، این مقاله میکوشد مسألهٔ اولویت‌بندی سناریوهای توسعه حمل و نقل عمومی شهری را با استفاده از این الگوریتم مورد بررسی قرار دهد.

٤- فرآیند تحلیل شبکه‌ای سه مرحله‌ای در ارزیابی حمل و نقل عمومی شهری

در مسألهٔ تخصیص منابع در حمل و نقل همگانی شهری، هدف توزیع منابع مالی یا بودجه بین سامانه‌های انواع مُدها بنحوی است که بهترین شرایط را بطورکلی برای شهر و شهروندان درپی داشته باشد. این توزیع در شرایطی که طراحی سامانه ها ازنظر فنی بصورت کامل انجام شده باشد صورت می‌گیرد و بنابراین تمرکز این مسأله بر اولویت‌بندی طرح‌هایی است که از نظر فنی دارای توجیه کامل بوده باشند. برای توسعهٔ حمل و نقل عمومی در یک شهر، پس از انجام مطالعات جامع حمل و نقل و ترافیک، برنامه‌های موردنظر جهت توسعهٔ هریک از سامانه‌های حمل و نقل عمومی (از قبیل LRT، BRT، اتوبوس و تاکسی) براساس ضوابط طراحی در مهندسی ترافیک مشخص می‌گردد. البته راهکارهای توسعهٔ استفاده از حمل و نقل عمومی محدود به توسعهٔ زیرساخت‌ها در هریک از سامانه‌ها نیست اما در این موضوع مورد توجه این مقاله، توسعهٔ سخت افزاری سامانه‌ها مورد توجه قرار دارد.

برای توسعهٔ هریک از سامانه ها، تعداد مشخصی خطوط، ایستگاه، ناوگان و برخی زیرساختهای مدیریت، اطلاع رسانی و بهره برداری نیاز تعیین می‌گردد. از ترکیب این برنامه‌ها که برای توسعهٔ هر سامانه پیش‌بینی شده‌اند، سناریوهای متعددی قابل ارایه است که هر یک شامل بخش‌هایی از طرح توسعهٔ سامانه‌های حمل و نقل عمومی شهر می‌باشند. در این رویکرد که از روش ANP استفاده خواهد شد که لازم است مراحلی برای انجام این روش صورت پذیرد. نمودار شکل ۳ فرآیند انجام مراحل فوق را به صورت یک فلوچارت پیشنهادی نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، در اجرای این فرآیند مراحل ۷ گانه‌ای باید طی شود.

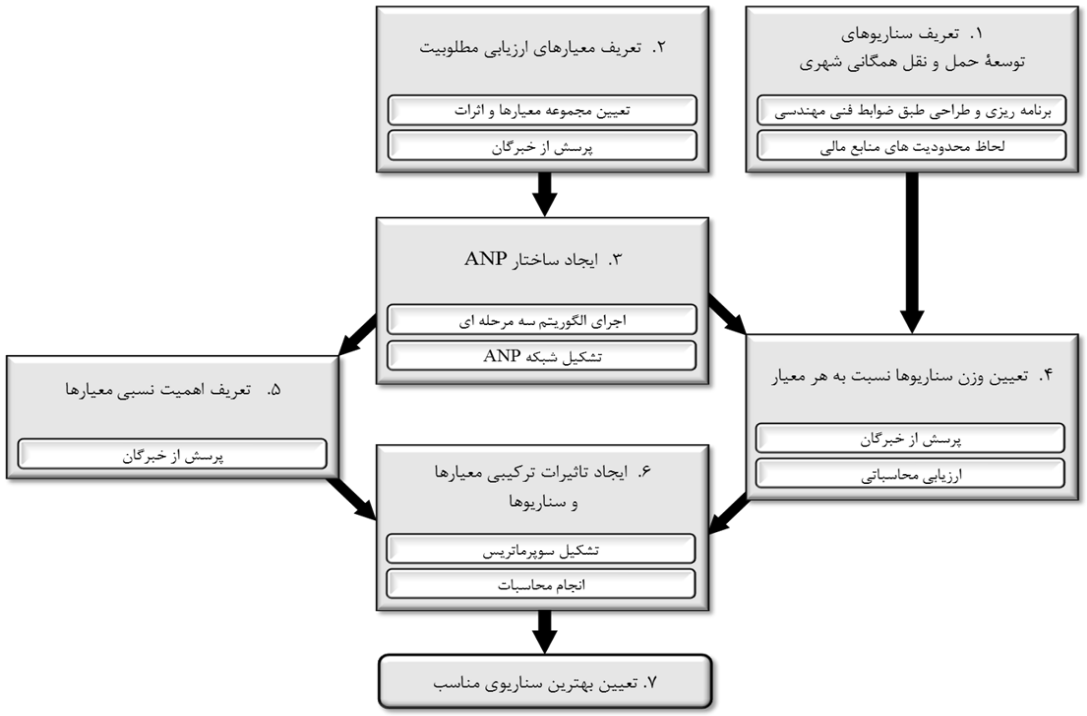
مراحل طی شده در این مسأله می‌تواند برای مسائل مشابه نیز به کار گرفته شود:

اولین گام اول برای حل این مسأله، تعریف گزینه ها یا سناریوهایی است که برای انتخاب توسط تصمیم گیرندگان شرایط لازم را داشته باشند. این شرایط شامل رعایت ضوابط فنی مهندسی ترافیک و همچنین رعایت سقف منابع مالی و بودجه ای خواهد بود. مرحلهٔ دوم در فرآیند پیشنهادی، تعیین معیارهای مناسب برای ارزیابی و تصمیم گیری است. بر اساس نتایج برگزاری یک جلسه طوفان فکری و همچنین پرسش از نخبگان با دسته‌بندی این معیارها به دو خوشه منافع (تأثیرات مثبت) و هزینه‌ها (تأثیرات منفی)، جدول پیوست شماره ۲ لیست کلی معیارهای انتخاب شده جهت انجام تحلیل و ارزیابی مطلوبیت نسبی را نشان می‌دهد. مرحلهٔ سوم فرآیند پیشنهادی ایجاد ساختار یا شبکه اثرات در روش ANP است. ایجاد ساختار ANP متناسب جهت حل مسألهٔ تخصیص منابع در حمل و نقل همگانی می‌تواند بصورت ثابت فرض شده و در حل موارد مختلف و مسائل مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

در مرحله چهارم فرآیند، هدف تعیین اهمیت نسبی معیارهای ارزیابی جهت جایگذاری در سوپرماتریس می‌باشد. این مرحله از فرآیند ازطریق پرسشگری و بصورت مقایسه‌های زوجی انجام می‌گیرد. بدین منظور از فرم های پرسشگری بین معیارهای مختلف در هر سطح بصورت مقایسه ترجیحی زوجی، استفاده می‌شود. این فرم‌ها توسط خبرگان و صاحب نظران ذیربط تکمیل شده و جمع بندی می‌گردد. هدف از انجام مرحله پنجم فرآیند، تعیین وزن هر سناریو نسبت به موضوع هر معیار ارزیابی است. همانطور که اشاره شد، در این مدل از معیارهای مختلفی جهت ارزیابی و وزن دهی به سناریوها استفاده می‌شود که لازم است برای هر سناریو در هر معیار وزن مشخصی تعیین گردد. مرحله ششم فرآیند که یک مرحلهٔ محاسباتی خواهد بود، ایجاد تأثیرات ترکیبی معیارها و سناریوهاست. در این مرحله که آخرین مرحله محاسباتی لازم در فرآیند ANP جهت حل مسأله است، وزن هر واحد از سوپرماتریس ترکیبی ایجاد شده که حاصلضرب سه پارامتر زیر است به دست آمده و در ماتریس جاگذاری می‌شود: الف) وزن

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. فرآیند پیشنهادی حل مسأله تخصیص منابع در حمل و نقل همگانی شهری

نسبی خوشه‌های منافع و هزینه‌ها، ب) وزن نسبی معیارها در هر خوشه و ج) وزن نسبی سناریوها در هر معیار.

گام هفتم و آخرین مرحله از فرآیند که منتج به تعیین اولویت بندی کامل سناریوهای تعریف شده خواهد شد، ترکیب و جمع‌بندی نتایج محاسبات انجام شده در مراحل قبلی است. در این گام با توجه به اینکه شاخص نهایی موردنظر جهت ارزیابی نهایی همان نسبت منافع به هزینه‌ها است، این نسبت BCR با درنظر گرفتن وزن نسبی خوشه‌ها که طبق نتایج پرسش از خبرگان تعیین شده، مقدار وزن نهایی هر سناریو بدست می‌آید. این معیار بعنوان معیار نهایی ارزیابی وزن کلی هر سناریو مبنای اولویت‌بندی سناریوها خواهد بود. بنابراین سناریویی که بیشترین مقدار نسبت منافع به هزینه‌ها را داشته باشد، در مجموع برترین سناری بوده و دیگر سناریوها به ترتیب اولویت‌های بعدی را برای تصمیم گیندگان مشخص می‌کنند.

٤-١- تشکیل درخت چنداثری

اولین گام بر اساس الگوریتم سه مرحله‌ای (N. Khademi et. al., 2012) ، تشکیل درخت اثرات چندگانه است. در تشکیل این درخت، می‌خواهیم بگوییم اتخاذ هر یک از تصمیمات ممکن یا اجرای یک از گزینه‌های موجود، به طور کلی منجر به بروز چه اثراتی در شهر خواهد شد. برای این کار بایستی این مراحل مورد توجه قرار گیرند: ۱) مسأله چیست و گزینه‌ها کدامند، ۲) برقراری طوفان فکری درخصوص تمامی اتفاقات و اثرات با استفاده از گروهی از متخصصین، ۳) گروه بندی اثرانت منتج از گزینه‌ها، ٤) بازتعریف مفاهیم به شکل مدل‌سازی شده، ۵) ارایه درخت تاثیرات به متخصصان مرجع برای اصلاح یا تایید، ۵) تولید نهایی درخت اثرات چندگانه.

برای اجرای این مراحل پس از تبیین کامل مسأله، گروهی از خبرگان شامل تعدادی از متخصصان و تصمیم‌گیران درحوزه حمل و نقل شهری گردهم آمده و یک جلسهٔ طوفان فکری برگزار گردید. در این جلسه شرکت کنندگان با این سؤال اصلی روبرو بودند که: "اجرای یک سناریوی توسعهٔ حمل و نقل عمومی در شهر، به طور کلی چه اثرات و نتایجی را بدنبال خواهد داشت؟" شرکت کنندگان در جلسه هرگونه اثری که توسعهٔ یک سامانه حمل و نقل عمومی شهری می‌توانست در وضعیت شهر و شهروندان داشته باشد و به ذهنشان می‌رسید را مطرح کردند. پس از بررسی کامل این اثرات و پی بردن به علت و معلول در هر تاثیر و تبادل نظرات و انجام مراحل فوق، تصویری از نتیجه جلسه تشکیل درخت جامع اثرات بود که در شکل پیوست شماره ۳ نشان داده شده است. به طور کلی در تشکیل این درخت اثرات، ۷۵ اثر که می‌تواند منتج از توسعه سامانه‌های حمل و نقل عمومی باشد، لحاظ گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

٤-۲- تشکیل درخت چندمعیاری

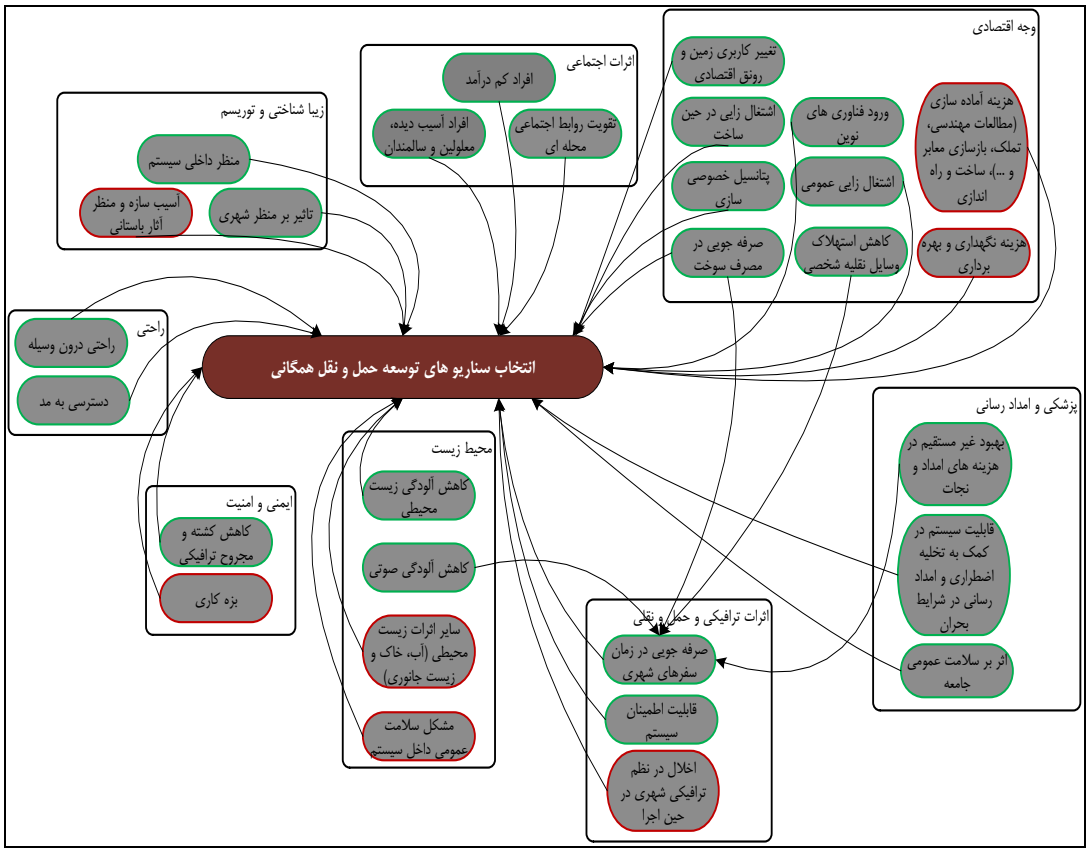
برای تشکیل این درخت در مرحله اول، اثرات اصلی و فرعی مشخص شده و معیارهای تصمیم‌گیری تعریف می‌گردند و در مرحله دوم نیز اثرات فرعی مورد بررسی قرار می‌گیرند. روند تشکیل این درخت که عمدتاً با توجه به درخت چنداثری و معیارهای انتخاب شده جهت تصمیم‌گیری صورت می‌پذیرد، با جزئیات کامل در مقاله مرجع (N. Khademi et. al., 2012) قابل دسترسی می‌باشد. پس از تعریف معیارها به دو سطح اصلی و فرعی، بایستی روابط و تاثیرات بین خود معیارهای اصلی نیز مورد بررسی قرار گرفته و در درخت معیارها نشان داده شوند. در نهایت در این درخت نوع معیارها ازلحاظ منفعت یا هزینه بودن ماهیت آن، با رنگ‌های سبز و قرمز تفکیک شدند. نتیجه تشکیل درخت چندمعیاری موردنظر نیز در شکل پیوست شماره ٤ نشان داده شده است.

٤-۳- تشکیل شبکه تاثیرات (ساختار ANP)

نتیجه تشکیل ساختار فرآیند تحلیل شبکه‌ای به عنوان آخرین مرحله از این الگوریتم، شبکه تاثیرات نامیده شده است. این شبکه با استفاده از شبکه معیارها در گام دوم ، با انجام چهار گام به دست می‌آید و بیان کننده ارتباطات معیارها با سناریوها و همچنین تاثیرات بین خود معیارها می‌باشد. پس از انجام گام‌های مذکور، ساختار نهایی فرآیند تحلیل شبکه‌ای مورد نیاز به دست آمده که در شکل شماره ٤ نشان داده شده است.

ساختار ANP بدست آمده با استفاده از این الگوریتم، برای حل مسألهٔ اولویت بندی سناریوهای توسعهٔ حمل و نقل عمومی شهری، شامل ۸ گروه معیار اصلی و بوده مجموعاً ۲۹ معیار فرعی را در دو گروه منفعت و هزینه، پوشش می‌دهد.

با تشکیل ساختار ANP، مراحل بعدی فرآیند تحلیل شبکه‌ای طبق روش معمول به راحتی قابل انجام می‌باشد. این مراحل شامل وزن‌دهی نسبی به معیارها (معمولاً با استفاده از روش پرسش از خبرگان)، وزن‌دهی به هر یک از گزینه‌ها نسبت به معیارها، محاسبه دقیق وزن نهایی گزینه‌ها در بخش منفعت و هزینه و نهایتاً محاسبهٔ نسبت منفعت به هزینه برای هر گزینه به عنوان معیار نهایی جهت اولویت‌بندی خواهد بود.



شکل ٤. شبکه تاثیرات (ساختارANP) توسعهٔ سامانه‌های حمل و نقل عمومی شهری

www.SID.ir

Archive of SID

۵- مطالعه موردی : شهر مقدس مشهد

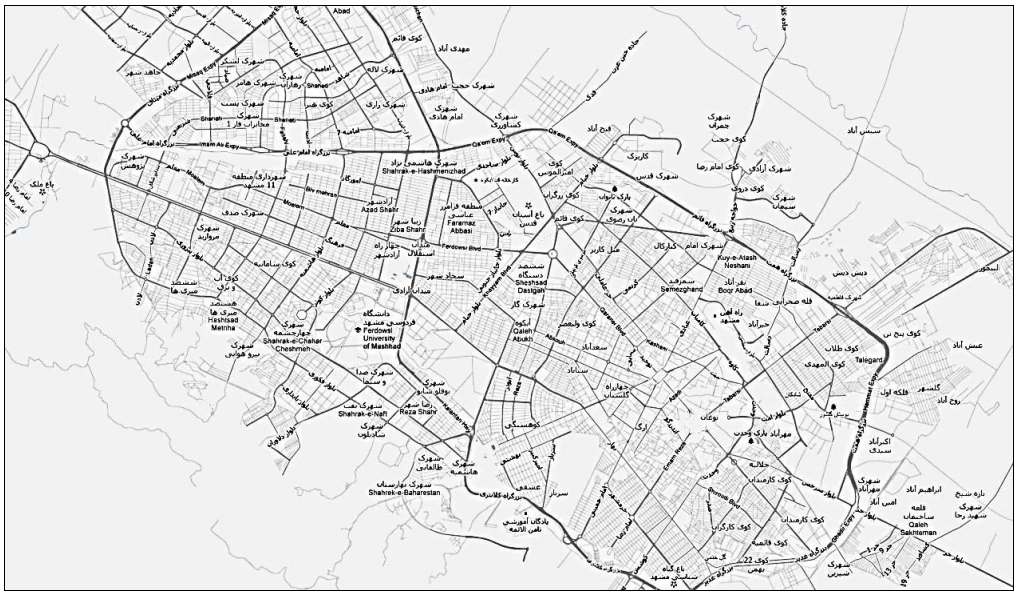
در انتخاب شهر موردنظر برای انجام مطالعهٔ موردی ملاحظات ذیل وجود داشت:

اولاً وجود تنوع مُدهای حمل و نقل عمومی شهری. ثانیاً امکان تأمین منابع مالی لازم برای توسعه چندین سناریوهای. ثالثاً طرح های توسعه ای برای حمل و نقل همگانی شهری قبلاً صورت گرفته باشد. با توجه به این ملاحظات، شهر مقدس مشهد به عنوان دومین کلانشهر کشور از نظر جمعیتی برای انجام این مطالعه مورد انتخاب شد. این شهر با جمعیت ساکن حدود ۲/۵۲۷/۰۰۰ نفر و وسعت تقریبی ۱۹۵ کیلومتر مربع، با طول تقریبی ۲۰ کیلومتر و عرض حدودی ۱۰ کیلومتر در یکی از بزرگترین کلان شهرهای ایران به شمار می‌رود.

برای انجام مطالعه موردی فرآیند ۷ مرحله ای پیشنهادی در مورد شهر مشهد اجرا گردید. در طراحی سناریوهای مختلف قابل اجرا برای این شهر براساس نتایج طرح جامع ترافیک شهر، ٤ خط سامانه BRT و ٤ خط سامانه ریلی LRT با مشخصات مندرج در جدول شماره ۳ در نظر گرفته شد. این خطوط با ترکیباتی از خطوط اتوبوسی و همچنین تعدادی تاکسی شهری با تناسب سقف ریالی بودجه مفروض، گزینه‌های قابل انتخاب جهت توسعه را تشکیل داده‌اند.

در ادامه باتوجه به وضعیت بودجه واقعی شهر مشهد عدد ٤۰ هزار میلیارد ریال به عنوان سقف کل اعتبارات مالی در اختیار برای توسعهٔ سامانه حمل و نقل همگانی شهر مشهد مقدس فرض گردید. در نهایت، براساس سقف کل منابع مالی و با توجه به فرضیات یادشده قبلی، تعداد ۷۲ سناریوی قابل قبول از ترکیب حالات مختلف موجود تعریف شد. جهت دستیابی به اهمیت نسبی معیارها، از طریق پرسش از خبرگان، فرم هایی توسط ۳۰ نفر از صاحب نظران ذیربط از سه گروه مشاورین متخصص، مدیران اجرایی حمل و نقل شهری و مدیران سیاستگذار در حمل و نقل شهری انتخاب شده و نتایج نظرات اخذ شده از طریق انجام فرآیند روش دلفی بازنگری نهایی، جمع‌بندی و پیاده‌سازی گردید.

با توجه به اینکه برای تعیین مقادیر این پارامترها از مدل‌های مشخص و استانداردی نیز نمی‌توان به طور مستقل استفاده کرده و دارای پیچیدگی های زیادی هستند، لازم است از روش‌های شبیه‌سازی رایانه‌ای استفاده شود. چراکه شبکه حمل و نقل همگانی شهری به نحوی یکپارچه است که امکان جداسازی سامانه‌ها و انجام محاسبات به صورت مجزا وجود ندارد. بنابراین برای بدست آوردن مقادیر این پارامترها از قبیل سرعت متوسط سفر در شبکه (یا زمان متوسط سفر)، تقاضای انجام سفر با وسایل حمل و نقل همگانی، میزان ایجاد آلودگی هوا و همین‌طور آلودگی صوتی، لازم است کل شبکه حمل و نقلی شهر تاحد ممکن شبیه‌سازی شده و نتایج اجرای سناریوهای مختلف در آن مشاهده و در محاسبات بکار گرفته شود.



شکل ۵. شبکه معابر اصلی شهر مقدس مشهد

www.SID.ir

Archive of SID

در این مورد مطالعاتی از میان نرم‌افزارهای موجود با امکان شبیه‌سازی کلان-نگر، نرم‌افزار VISUM انتخاب و استفاده گردید. سناریوهای مختلف در شبکه شهری ایجاد شده در نرم‌افزار اعمال شدند. مشخصات هر سناریو از قبیل وجود یا عدم وجود یک مُد، خطوط مختلف در هر سامانه، و سرفاصله‌های هر خط است که به صورت تغییرات در ورودی در نرم‌افزار وارد می‌شوند. پارامترهایی که برای تعیین وزن سناریوها نسبت به معیارهای از نرم‌افزار برای هر سناریو استخراج گردیدند عبارتند از: ۱) حجم کل تقاضای سفر با حمل و نقل همگانی، ۲) سرعت متوسط سفر در شبکه، ۳) میزان کل آلاینده‌های هوا و ٤) میزان کل آلودگی صوتی ایجاد شده است.

آخرین مرحله از فرآیند که منتج به تعیین اولویت بندی کامل سناریوهای تعریف شده خواهد شد، ترکیب و جمع بندی نتایج محاسبات انجام شده در مراحل قبلی است. در این گام با توجه به اینکه شاخص نهایی موردنظر جهت ارزیابی نهایی همان نسبت منافع به هزینه‌ها است، این نسبت BCR با درنظر گرفتن وزن نسبی خوشه‌ها که طبق نتایج پرسش از خبرگان به ترتیب برای منافع و هزینه‌ها به نسبت ۸۰٪-۲۰٪ تعیین شد، مقدار وزن نهایی هر سناریو از حاصل تقسیم ۸۰٪ وزن خوشه منافع بر ۲۰٪ وزن خوشه هزینه‌ها به دست می‌آید. بین سناریوهای قابل قبول ، بهترین سناریو شماره ۳ و بدترین آنها شماره ١٤ بوده اند. بررسی امتیاز این سناریوها در نسبت BCR نشانگر اختلافی بیش از ۷۲٪ بین این دوسناریو است.

٦- نتیجه‌گیری

این پژوهش باتوجه به اهمیت ویژهٔ تصمیم‌گیری در زمینهٔ توسعهٔ حمل و نقل عمومی شهری، به دلیل حجم سرمایه‌گذاری و تاثیر زیاد این‌گونه تصمیمات در ابعاد مختلف زندگی شهروندان، پس از بررسی نتایج مطالعات موجود در رویکردهای قابل استفاده جهت ارزیابی و تصمیم گیری، فرآیند تحلیل شبکه‌ای را به عنوان روش برتر در حل این مسأله انتخاب کرد. البته با توجه به وجود برخی ابهامات و اشکالات وارد شده بر این فرآیند که می‌تواند خطاهای محاسباتی را در نتیجه آن وارد نماید، از الگوریتم سه مرحله‌ای پیشنهادی را برای رفع این مسائل استفاده شد. هرچند درخصوص تصمیم‌گیری برای تخصیص منابع در طرح‌ها و پروژه‌های حل و نقل شهری، مطالعات زیادی صورت گرفته و اما آنچه موضوع سامانه حمل و نقل همگانی را از این مطالعات جدا می‌کند، خصوصیت "یکپارچگی" و اندرکنش اجزای این سامانه است. این خصوصیت باعث می‌شود تا طرح‌ها و اجزای سامانه دارای استقلال نبوده و لازم باشد تا در تصمیم‌گیری برای توسعهٔ هر یک، اثرات متقابل دیگر اجزا هم لحاظ گردد. پیچیدگی اندرکنش این اجزا درحدی است که برای یک شبکه حمل و نقل شهری بدون استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای امکان پیش‌بینی تغییرات در پارامترهای متأثر از اجرای یک تصمیم وجود نداشته باشد.

در فرآیند پیشنهادی این رساله تأکید گردید که انتخاب سناریوی برتر تنها زمانی قابل اتکاست که مقادیر پارامترهای مؤثر در تصمیم‌گیری، از نتایج شبیه‌سازی کامل شبکه بدست آمده باشد. این نتایج با ترکیب نظرات خبرگان درمورد معیارهای کیفی و همچنین وزن نسبی معیارها و گزینه‌ها می‌تواند ابزار اولویت‌بندی مناسبی بین گزینه‌های قابل اجرا ارایه نماید. آنچه در نتایج این رساله ارایه گردید، فرآیندی است که با بهره‌گیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و با گردآوری مجموعهٔ کامل و جامعی از معیارهای قابل لحاظ در تصمیم‌گیری، بهترین و عادلانه‌ترین شکل توزیع بودجه در طرح‌ها و گزینه‌های توسعهٔ حمل و نقل همگانی شهری ایجاد گردد. یکی از ملاحظات در تنظیم این فرآیند و مدل ANP بکار برده شده در آن سهولت کاربرد و تناسب با وضعیت واقعی حوزه مدیریت حمل و نقل شهری بود.

نتایج وزن نهایی برای سناریوهای مختلف مذکور در جدول پیوست شماره ۵ مقاله ارایه شده است. در نتیجه انجام مطالعه موردی اختلاف قابل توجه عدد معیار BCR برای بهترین و بدترین سناریو بیان کننده این واقعیت است که حتی در بین سناریوهای قابل قبول هم نحوهٔ تصمیم‌گیری درخصوص توزیع بودجه، می‌تواند تأثیر بسیار زیادی در نتایج اجرایی داشته باشد. به نحوی که بین یک تصمیم قابل قبول و یک تصمیم بهینه بیش از ۷۲٪ اختلاف در وضعیت کلی نتایج برای یک شهر می‌تواند حاصل شود.

در حال حاضر بسیاری از شهرهای کشور از مدل مناسبی برای بودجه‌ریزی در حمل و نقل استفاده نکرده و مهم‌ترین نقش را در تنظیم بودجه عمدتاً ملاحظات سیاسی-اجتماعی ایفا می‌کند. فرآیند ایجاد شده با استفاده از طیف جامعی از

www.SID.ir

Archive of SID

معیارهای ارزیابی و با استفاده از روش مترقی ANP ابزار مناسبی را برای مدیران شهری در بودجه‌ریزی فراهم نموده است. کاربرد این فرآیند در مطالعه موردی انجام شده نشان داد که حتی در شهرهایی که وضعیت نسبتاً مناسب‌تر را در بودجه‌ریزی دارند نیز بکارگیری این فرآیند بهبود قابل توجهی را نسبت به شرایط فعلی در شاخص‌های ارزیابی ایجاد می‌کند.

۷- منابع

- Alejandro Tudela, Natalia Akiki, Rene Cisternas, (2006) "Comparing the output gnt benefit and multi-criteria analysis, an application to urban Transport investments", Transportation Research part A 40, pp.414-423.
- Aoife Ahern, Gabrial Anandarajeh, (2007) "Ralway project priority sation for Investment: Application of goal programming", Transportation Policy 12, pp.70-80.
- Arsalan T., (2009), "A hybrid model of Fuzzy and AHP for handling public assessments on transportation project", Transportation 36 (1), pp.97-112.
- Christy Mihyaeon Jeon, Adjo A.Amekudzi, Ramdall L.Guensler, (2006) "Evaluating plan Alternatives of Transportation Sustainabiliy: Atlanta Metropditan Region, International", Journal of Sustainable Transportation, 41, pp.247.
- Chung-Hsing Yeh, Hepu Deng, Yu-hern Chang, (2000), "Fuzzy multiciteria analysis for performance evaluation of bus companies", European Journal of Operation Research 126, pp.459-473.
- Dimitrios A. Tsamboulas,(2007) "A tool for prioritizing multinational transport infrastructwre investments", Transport policy 14, pp.11-16.
- Doerner K.F., Gutjahr W.J., Hartl R.f., stramss C., Stummerc., (2006), "Pareto and Colony optimization with ILP preprocessing in multiobjective project portfolio selection", European Journal of Operration Research 171 (3) pp.830-841.
- Ergun M, Iyinam S., Iyinam A., (2000), "An assessment of trnasportation alternatives for Istanbul metropolitan city for year 2000", Proceeding of the 8th Meeting of the Euro Working Group Transportation , The Rome Jubilee 2000 Conference: Improving Knowledge and Tools for Transportation and Logistics Development, Rome, 11-14 September, pp.183-190.
- Ghoseiri K. , Szidarovszky F., Asgharpour M.J, (2004), "A multi–objective train schulning model and solution", Transportation Research Part B. 38(10), pp.927-952.
- Jacek Zak, (2011), "The methodology of multiple criteria deciosion making/aiding in public transportation", J. Adv. Transp. 45: pp.1-20.
- Juan Gaytan Iwestra, Javier Garcia Gutierrez, (2009), "Multicriteria decision on interdepent infrastructure transportation projects using an evolutionary – based framework", Applied soft computing 9, pp.512-526.
- Junn-Yuan Teng, Gwo-Hshing Tzeng, (1998), "Transportation investment project selection using fuzzy multiobjective programming", Fuzzy sets & systems 96, 259-280.
- Khasnabis S., Alsaidi E., Liu L., Ellis R.D., (2002), "Comparative study of two technigues of transit performance assessment: AHP and GAT" , Journal of trasprtation Engineering 128 (6), pp.499-508.
- Kumares C. Sinha & Samuel Labi, (2007), "Transportation Decision Making; Principles of Project Evaluation and Programming", John Wiely & Sons, Inc.
- Lee J.W., Kim S.H., (2001), "AnIntegrated approach for Interdependeut information system project selection", Lnternational Jouranl of project Management 19 (2).
- Maurilius, World Bank and IBRD study (2002), "multi-Criteria Analysis of the Alternative mode of Transport", preparatory Activities/ Detailes studies for the Integratead National Transport Strategy.
- Meng Q., Lee D.H. Cheu R.L., (2005), "Multiobjective vehicle routing and Scheduling problem with time window constraints in hazardous material transportation", Journal of Transportation Engineering .
- N. Thomopoulos, S. Grant – Muller, M.R. Tight, (2009), "Incorporating equity considerations in transport infrastructure evaluation: current practice and a proposed methodology", Evaluation and program 32, pp.351-359.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM (NCHRP) Report 456, Guidebook for Assessing the Social and Economic Effects of Transportation Projects, (2001), TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, NATIONAL ACADEMY PRESS, WASHINGTON, D.C.
- Navid Khademi, Afshin S. Mohaymany, Jalil Shahi and Seghir Zerguini, (2012), "An

www.SID.ir

Archive of SID

procedure of transportation demand management alternatives", Transportation 32(6), pp.603-626 .

- Thomas L. Saaty, (2008), "Decision making with the analytic hierarchy process", Int. J. Services Sciences, Vol. 1, No. 1.
- Toloei Abbas E., Mahdi hamayonfar, (2011) "MCDM Methodologies and Applications: A Litrature Review from 1999 to 2009", Research Journal of International studies – Issue 21, pp.86-137.
- Tom V. Mathew, Snehmag Khasnabis, Sabyasachee Mishra, (2010), "Optimal resource allocation omong transit agencies for fleet management", transportation research part A 44, pp.418-432.
- Wann- Ming Wey, Kuei- Yang Wu,, (2007), "Using ANP programming in resource allocation in Transportation", Mothematical and computer Modelling 46, pp.985-1000.
- Zak J. (2005), "Multiple Criteria Decision Aiding in Road Transportation", Pozan University of Technology Publishing House: Pzan.
- اصغرپور، م، (۱۳۸۲)، "تصمیم‌گیری گروهی و نظریه بازی‌ها"، انتشارات دانشگاه تهران.

Algorithm for the Analytic Network Process (ANP) Structure Design", J. Multi-Crit. Decis. Anal. 19: pp.33–55.

- Nurbanu calsikan, (2006), "A decision support opproach for evaluation of transport investment alternatives", European journal of operation research 175, pp.1696-1704.
- Schutte. I.C., (2005), "The Appraisal of Transportation Infrastructre Projects: Poteutial Rolle of state-of-the-Art Decision Support Tools", Proceeding of 24th southern African Transport conference (SATC), Pretoria, South Africa.
- Sebastien Damart, Bernard Roy, (2009), "the use of cost- benefit aualysis in public transportation decision–making in france", transports policy 16, pp.200-212.
- T.L. Saaty, (1980), "The Analytic Hierarchy Process", McGraw-Hill, New York.
- T.L. Saaty, (1996), "The Analytic Network Process", RWS Publications, Expert Choice, Inc.
- T.L. Saaty, M. Takizawa, (1986), "Dependence and independence: From linear hierarchies to nonlinear networks", European Journal of Operational Research 26, pp.229–237.
- Tanadtang P., Park D., Hanaoka S., (2005), "Incorporationg uncertain and incomplete subjective judgment iuto the evaluation

www.SID.ir

Archive of SID

۸- پیوست‌ها

پیوست ۱. جدول مقایسه استفاده از معیارهای ارزیابی در مطالعات مورد بررسی

	معیار فرعی	Todd Litman / 1999,2004,2008,2012	Jacek zak / 2011	R. Baskaran & K. Krishnaiah / 2011	Ch. M. Jeon et al. / 2010	U.S. D.O.T. / 2009	K. Buchan / 2008	K.C. Sinha & S. Labi / 2007	A. Tudela et al. / 2006	A. Malekzadefar / 2006	Sh. C. Mangalpally / 2005	Stuart Cole / 2005	Chen M. Feng & Shu M. Wang / 2005	Rocio Cascajo / 2004	P.G. Hendren / 2003	Muaritius / W.B. / 2002	T.C.R.P. 78 / 2002	R. Young / 2002	M. Gommers & M.V. Schijndel / 2001	N.C.H.R.P. 456 / 2001	D.B. Lee Jr. / 2000	H. Morisugi / 2000	A. Bijlagen et al. / 1995	دفعات کاربرد
۱	انواع تصادفات رانندگی	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴		۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۲۱
۲	آلودگی هوا / محلی	۴		۴	۴		۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴		۴	۴	۴	۱۹
۳	سرعت انجام سفر	۴	۴	۴	۴		۴	۴	۴	۴	۴		۴	۴	۴		۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۱۹
۴	آلودگی صدا	۴			۴		۴	۴	۴		۴		۴	۴	۴	۴	۴		۴	۴	۴	۴	۴	۱۶
۵	هزینه ساخت	۴	۴			۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴			۴	۴	۴			۴	۴	۱۵
۶	هزینه بهره برداری	۴	۴			۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴			۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۱۴
۷	امکان دسترسی	۴		۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴		۴				۴		۴	۴	۱۳
۸	رشد و توسعه اقتصادی				۴		۴				۴	۴	۴	۴		۴	۴	۴		۴	۴	۴	۴	۱۱
۹	مصرف سوخت	۴		۴	۴			۴	۴	۴							۴	۴	۴	۴		۴	۴	۱۰
۱۰	نظم زمانی خدمات	۴	۴	۴		۴	۴					۴			۴				۴		۴		۴	۱۰
۱۱	مقرون بصرفگی	۴	۴				۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴		۴				۴	۱۰
۱۲	ایجاد اشتغال	۴			۴			۴		۴			۴	۴	۴	۴	۴		۴			۴	۴	۱۰
۱۳	منظر شهری	۴				۴	۴	۴	۴			۴								۴	۴	۴	۴	۹
۱۴	استهلاک خودروها	۴						۴				۴	۴	۴			۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۹
۱۵	پارکینگ	۴						۴				۴	۴	۴			۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۹
۱۶	راحتی	۴	۴					۴							۴		۴		۴	۴		۴	۴	۸
۱۷	امنیت	۴						۴	۴	۴		۴			۴			۴					۴	۷
۱۸	کاربری زمین	۴						۴	۴		۴						۴		۴	۴			۴	۷
۱۹	ازدحام ترافیکی	۴			۴	۴				۴		۴						۴					۴	۷
۲۰	تعداد مسافر			۴	۴	۴					۴				۴				۴		۴		۴	۷
۲۱	آلودگی زمین و منابع آب	۴						۴				۴	۴				۴	۴	۴	۴				۷
۲۲	نرخ کرایه	۴		۴	۴			۴									۴		۴			۴		۶
۲۳	ارتباطات اجتماعی																۴	۴	۴	۴	۴	۴		۶
۲۴	آلودگی هوا / سراسری						۴					۴			۴		۴			۴				۵
۲۵	آسیب به تنوع زیستی	۴						۴				۴										۴		۴
۲۶	تصادفات با عابرین	۴						۴				۴				۴								۴
۲۷	بسامد خدمات	۴	۴	۴		۴																		۴
۲۸	اطلاع رسانی در ایستگاه	۴				۴						۴								۴				۴
۲۹	عدالت اجتماعی	۴			۴										۴			۴						۴
۳۰	بازگشت سرمایه		۴		۴																		۴	۳
۳۱	حق انتخاب	۴					۴					۴												۳
۳۲	تبادل سفر	۴					۴					۴												۳
۳۳	ارتباط بین مدها				۴			۴															۴	۳
۳۴	منظر طبیعی	۴										۴								۴				۳
۳۵	آسیب آثار باستانی						۴					۴												۲
۳۶	آسیب ناشی از لرزش											۴								۴				۲
۳۷	خدمات در شرایط بحران																	۴				۴		۲
۳۸	زمان تخلیه و مسافرگیری		۴			۴																		۲
۳۹	جذب توریست						۴												۴					۲
۴۰	تاثیر بر سلامت عمومی مردم	۴															۴							۲
۴۱	آسیب هنگام اجرای پروژه	۴																						۱
۴۲	آسیب از حوادث طبیعی															۴								۱
۴۳	تغییرات شغلی															۴								۱
۴۳	زمان دسترسی		۴																					۱
۴۴	تاثیر بر جابجایی غیرموتوری	۴																						۱
۴۵	آزادی																۴							۱
۴۶	محیط داخلی						۴																	۱
۴۷	اطلاع رسانی در وب	۴																						۱
۴۸	پاکیزگی داخلی	۴																						۱

www.SID.ir

Archive of SID

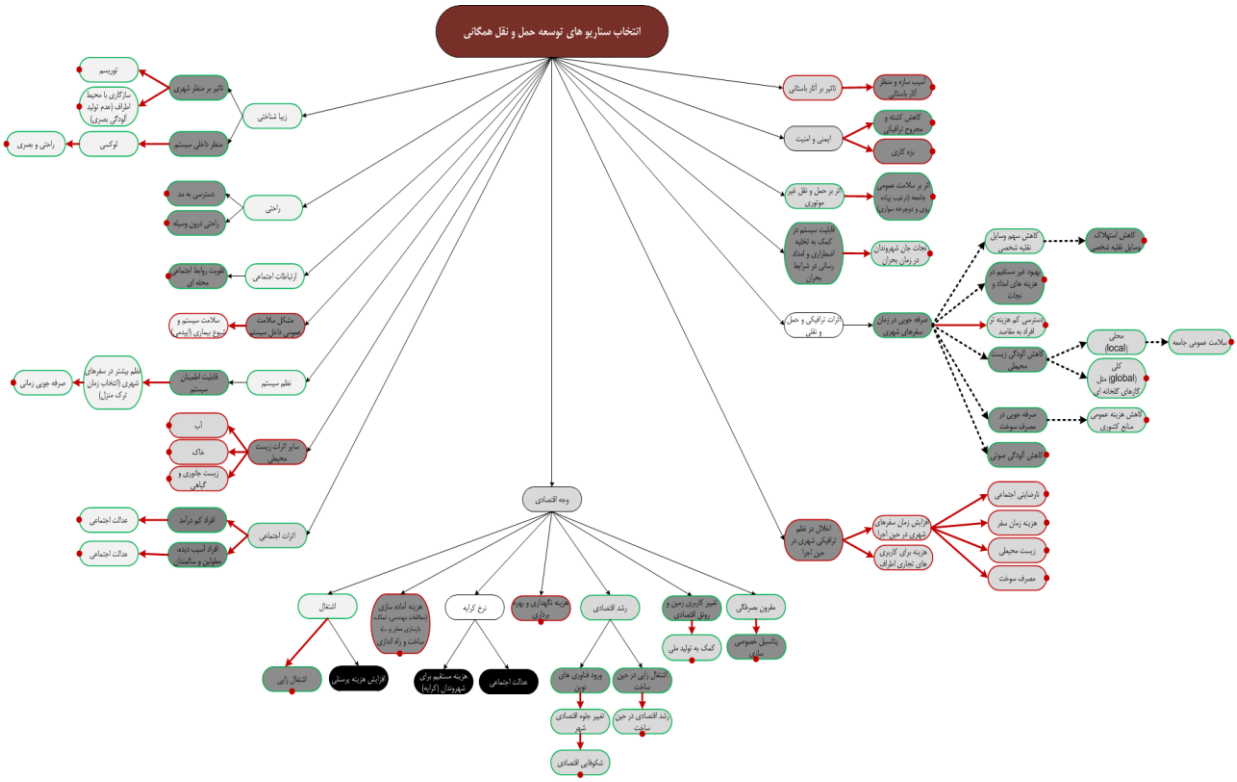
پیوست ۲ . تعریف معیارهای ارزیابی سناریوهای توسعهٔ حمل و نقل همگانی

نوع معیار	معیار اصلی		معیار فرعی	
منافع	۱	اثرات مثبت اقتصادی	۱	تغییر کاربری زمین و کمک به رونق اقتصادی
			۲	اشتغال زایی در حین ساخت سیستم
			۳	ایجاد پتانسیل خصوصی سازی
			۴	صرفه جویی در مصرف سوخت
			۵	ورود فناوری های نوین به کشور
			۶	اشتغال زایی عمومی در جامعه
			۷	کاهش استهلاک وسایل نقلیه شخصی
	۲	اثرات متبت اجتماعی	۸	کمک به حمل و نقل افراد کم درآمد
			۹	تقویت روابط اجتماعی و محله ای
			۱۰	کمک به حمل و نقل افراد آسیب دیده، معلولین و سالمندان
	۳	کمک به زیبایی شناختی و توریسم	۱۱	تاثیرات مثبت زیبایی منظر داخلی سیستم
			۱۲	تاثیرات مثبت بر منظر شهری
	۴	بهبود شرایط راحتی مسافرین	۱۳	راحتی درون وسیله نقلیه
			۱۴	راحتی دسترسی
	۵	بهبود شرایط زیست محیطی	۱۵	کاهش آلودگی هوا
			۱۶	کاهش آلودگی صوتی
	۶	افزایش ایمنی در حمل و نقل	۱۷	کاهش تلفات و سوانح رانندگی
	۷	اثرات ترافیکی و حمل و نقلی	۱۸	صرفه جویی در زمان سفرهای شهری
			۱۹	قابلیت اطمینان زمان سفر سیستم و اطمینان از رسیدن به موقع به مقصد
	۸	اثرات بر سلامت عمومی و امدادرسانی	۲۰	بهبود غیرمستقیم در هزینه های امداد و نجات
			۲۱	قابلیت سیستم در کمک به تخلیه اضطراری و امدادرسانی در شرایط بحران
			۲۲	اثر بر سلامت عمومی جامعه(ترغیب به پیاده روی و دوچرخه سواری)
هزینه ها	۹	اثرات منفی بر زیباشناختی و توریسم	۲۳	آسیب به سازه و منظر آثار باستانی
	۱۰	هزینه های اقتصادی ایجاد شده	۲۴	هزینه آماده سازی
			۲۵	هزینه نگهداری و بهره برداری
	۱۱	اثرات منفی ترافیکی و حمل و نقلی	۲۶	اخلال در نظم ترافیک شهری در حین عملیات اجرایی
	۱۲	تاثیرات منفی زیست محیطی	۲۷	اثرات مخرب زیست محیطی بر منابع آب، خاک و زیست جانوری
			۲۸	ایجاد طمینه آسیب به سلامت عمومی درن سیستم
	۱۳	کاهش امنیت اجتماعی	۲۹	افزایش بزه‌کاری اجتماعی

www.SID.ir

Archive of SID

پیوست ۳ . درخت چند اثری مسأله انتخاب سناریوی برتر توسعه حمل و نقل همگانی شهری



پیوست ٤ . درخت چندمعیاری مسأله انتخاب سناریوی برتر توسعه حمل و نقل همگانی شهری

www.SID.ir

Archive of SID

پیوست ۵ . نتایج وزن نهایی برای سناریوهای مختلف

	جمع خوشه هزینه	جمع خوشه منفعت	وزن نهایی
سناریوی ۱	۰.۰۱۶۰۹۷۶	۰.۰۱۴۵۲۵۰	۰.۰۱۴۸۳۹۶
سناریوی ۲	۰.۰۲۲۳۳۲۵	۰.۰۱۷۳۴۳۰	۰.۰۱۸۳۴۰۹
سناریوی ۳	۰.۰۲۲۴۸۶۷	۰.۰۱۷۵۴۲۰	۰.۰۱۸۵۳۱۰
سناریوی ٤	۰.۰۲۰۹۸۲۱	۰.۰۱۷۲۰۵۷	۰.۰۱۷۹۶۱۰
سناریوی ٥	۰.۰۱۴۸۶۸۸	۰.۰۱۴۰۶۷۸	۰.۰۱۴۲۲۸۰
سناریوی ٦	۰.۰۱۲۷۰۷۵	۰.۰۱۲۴۴۶۶	۰.۰۱۲۴۹۸۸
سناریوی ۷	۰.۰۱۳۵۲۰۸	۰.۰۱۳۸۴۷۸	۰.۰۱۳۷۸۲۴
سناریوی ۸	۰.۰۱۱۳۸۴۰	۰.۰۱۳۸۲۸۲	۰.۰۱۳۳۳۹۴
سناریوی ۹	۰.۰۱۴۰۱۱۲	۰.۰۱۳۵۲۱۶	۰.۰۱۳۶۱۹۵
سناریوی ۱۰	۰.۰۱۱۸۵۰۸	۰.۰۱۲۳۴۶۳	۰.۰۱۲۲۴۷۲
سناریوی ۱۱	۰.۰۱۲۶۶۱۴	۰.۰۱۳۳۹۸۵	۰.۰۱۳۲۵۱۰
سناریوی ۱۲	۰.۰۱۰۵۲۵۹	۰.۰۱۳۰۸۲۹	۰.۰۱۲۵۷۱۵
سناریوی ۱۳	۰.۰۱۲۲۸۳۷	۰.۰۱۲۵۴۲۲	۰.۰۱۲۴۹۰۵
سناریوی ۱٤	۰.۰۱۰۳۳۷۶	۰.۰۱۰۸۴۹۲	۰.۰۱۰۷۴۶۹
سناریوی ۱٥	۰.۰۱۱۱۷۱۴	۰.۰۱۳۶۷۳۴	۰.۰۱۳۱۷۳۰
سناریوی ۱٦	۰.۰۰۹۰۰۸۴	۰.۰۱۱۸۳۱۲	۰.۰۱۱۲۶۶۷
سناریوی ۱۷	۰.۰۱۴۰۰۴۵	۰.۰۱۳۳۸۰۱	۰.۰۱۳۵۰۵۰
سناریوی ۱۸	۰.۰۱۴۸۰۵۰	۰.۰۱۴۳۵۵۰	۰.۰۱۴۴۴۵۰
سناریوی ۱۹	۰.۰۱۲۶۵۴۲	۰.۰۱۳۱۶۷۸	۰.۰۱۳۰۶۵۱
سناریوی ۲۰	۰.۰۱۷۸۷۳۳	۰.۰۱۶۱۵۳۲	۰.۰۱۶۴۹۷۲
سناریوی ۲۱	۰.۰۱۵۷۲۱۲	۰.۰۱۴۵۳۹۷	۰.۰۱۴۷۷۶۰
سناریوی ۲۲	۰.۰۱۶۵۲۶۴	۰.۰۱۵۱۴۰۶	۰.۰۱۵۴۱۷۸
سناریوی ۲۳	۰.۰۱۴۳۸۰۱	۰.۰۱۴۶۴۲۲	۰.۰۱۴۵۸۹۸
سناریوی ۲٤	۰.۰۱۸۵۰۹۹	۰.۰۱۵۵۸۵۸	۰.۰۱۶۱۷۰۶
سناریوی ۲٥	۰.۰۱۶۳۶۳۱	۰.۰۱۴۶۷۳۳	۰.۰۱۵۰۱۱۲
سناریوی ۲٦	۰.۰۱۷۳۸۲۳	۰.۰۱۵۶۷۹۱	۰.۰۱۶۰۱۹۸
سناریوی ۲۷	۰.۰۱۵۲۳۲۸	۰.۰۱۴۷۸۰۵	۰.۰۱۴۸۷۱۰
سناریوی ۲۸	۰.۰۱۱۴۱۱۴	۰.۰۱۲۳۶۰۱	۰.۰۱۲۱۷۰۴
سناریوی ۲۹	۰.۰۱۰۹۷۸۰	۰.۰۱۱۲۵۱۸	۰.۰۱۱۱۹۷۰
سناریوی ۳۰	۰.۰۱۰۰۶۴۰	۰.۰۱۱۵۰۰۵	۰.۰۱۱۲۱۳۲
سناریوی ۳۱	۰.۰۰۹۴۳۹۵	۰.۰۱۲۲۱۹۵	۰.۰۱۱۶۶۳۵
سناریوی ۳۲	۰.۰۰۹۷۱۰۸	۰.۰۱۱۰۵۹۸	۰.۰۱۰۷۹۰۰
سناریوی ۳۳	۰.۰۰۹۴۴۰۷	۰.۰۱۲۲۲۲۵	۰.۰۱۱۶۶۶۱
سناریوی ۳٤	۰.۰۱۰۵۶۲۳	۰.۰۱۱۶۴۱۷	۰.۰۱۱۴۲۵۸
سناریوی ۳٥	۰.۰۰۹۶۶۰۴	۰.۰۱۲۵۲۳۷	۰.۰۱۱۹۵۱۰

	جمع خوشه هزینه	جمع خوشه منفعت	وزن نهایی
سناریوی ۳٦	۰.۰۰۹۴۴۲۵	۰.۰۱۲۲۲۶۸	۰.۰۱۱۶۷۰۰
سناریوی ۳۷	۰.۰۱۱۴۱۳۳	۰.۰۱۱۹۵۸۴	۰.۰۱۱۸۴۹۴
سناریوی ۳۸	۰.۰۱۰۹۷۹۷	۰.۰۱۱۲۵۵۷	۰.۰۱۱۲۰۰۵
سناریوی ۳۹	۰.۰۱۰۲۸۴۰	۰.۰۱۱۸۷۸۲	۰.۰۱۱۵۵۹۴
سناریوی ٤۰	۰.۰۰۹۴۴۱۳	۰.۰۱۲۲۲۳۹	۰.۰۱۱۶۶۷۴
سناریوی ٤۱	۰.۰۱۳۹۹۷۰	۰.۰۱۴۰۹۹۸	۰.۰۱۴۰۷۹۳
سناریوی ٤۲	۰.۰۱۱۸۴۳۵	۰.۰۱۲۵۰۵۳	۰.۰۱۲۳۷۲۹
سناریوی ٤۳	۰.۰۱۲۸۶۰۴	۰.۰۱۳۳۵۴۴	۰.۰۱۳۲۵۵۶
سناریوی ٤٤	۰.۰۱۰۷۰۹۰	۰.۰۱۲۴۰۹۳	۰.۰۱۲۰۶۹۲
سناریوی ٤٥	۰.۰۱۴۶۴۲۱	۰.۰۱۴۲۱۰۴	۰.۰۱۴۲۹۶۷
سناریوی ٤٦	۰.۰۱۲۴۸۶۵	۰.۰۱۲۴۴۹۷	۰.۰۱۲۴۵۷۰
سناریوی ٤۷	۰.۰۱۳۵۰۶۱	۰.۰۱۳۸۶۸۳	۰.۰۱۳۷۹۵۹
سناریوی ٤۸	۰.۰۱۱۳۵۴۸	۰.۰۱۲۷۷۳۹	۰.۰۱۲۴۹۰۱
سناریوی ٤۹	۰.۰۱۵۵۰۳۰	۰.۰۱۴۹۰۹۷	۰.۰۱۵۰۲۸۴
سناریوی ٥۰	۰.۰۱۳۳۴۸۳	۰.۰۱۳۶۳۵۷	۰.۰۱۳۵۷۸۲
سناریوی ٥۱	۰.۰۱۴۱۵۴۰	۰.۰۱۴۸۰۲۴	۰.۰۱۴۶۷۲۷
سناریوی ٥۲	۰.۰۱۱۹۹۵۲	۰.۰۱۲۹۱۰۸	۰.۰۱۲۷۲۷۷
سناریوی ٥۳	۰.۰۱۵۹۳۳۵	۰.۰۱۵۲۱۶۰	۰.۰۱۵۳۵۹۵
سناریوی ٥٤	۰.۰۱۳۷۸۳۷	۰.۰۱۳۹۶۴۳	۰.۰۱۳۹۲۸۲
سناریوی ٥٥	۰.۰۱۴۵۸۴۶	۰.۰۱۴۹۸۷۰	۰.۰۱۴۹۰۶۵
سناریوی ٥٦	۰.۰۱۲۴۲۸۲	۰.۰۱۳۲۶۱۳	۰.۰۱۳۰۹۴۷
سناریوی ٥۷	۰.۰۱۶۵۷۶۴	۰.۰۱۵۳۸۷۰	۰.۰۱۵۶۲۴۹
سناریوی ٥۸	۰.۰۱۴۴۲۶۳	۰.۰۱۴۳۸۲۴	۰.۰۱۴۳۹۱۲
سناریوی ٥۹	۰.۰۱۵۲۲۷۴	۰.۰۱۵۱۳۲۹	۰.۰۱۵۱۵۱۸
سناریوی ٦۰	۰.۰۱۳۰۷۶۸	۰.۰۱۳۷۷۶۵	۰.۰۱۳۶۳۶۵
سناریوی ٦۱	۰.۰۱۷۲۱۶۰	۰.۰۱۵۵۴۹۹	۰.۰۱۵۸۸۳۱
سناریوی ٦۲	۰.۰۱۵۰۶۷۸	۰.۰۱۴۵۸۶۳	۰.۰۱۴۶۸۲۶
سناریوی ٦۳	۰.۰۱۶۰۸۱۳	۰.۰۱۵۳۲۱۵	۰.۰۱۵۴۷۳۵
سناریوی ٦٤	۰.۰۱۳۹۲۵۹	۰.۰۱۴۳۰۷۳	۰.۰۱۴۲۳۱۱
سناریوی ٦٥	۰.۰۱۷۸۶۰۸	۰.۰۱۵۷۴۳۶	۰.۰۱۶۱۶۷۰
سناریوی ٦٦	۰.۰۱۵۷۱۱۹	۰.۰۱۴۸۴۸۰	۰.۰۱۵۰۲۰۸
سناریوی ٦۷	۰.۰۱۶۷۲۷۴	۰.۰۱۵۹۸۴۸	۰.۰۱۶۱۳۳۳
سناریوی ٦۸	۰.۰۱۴۵۷۴۳	۰.۰۱۴۳۸۵۹	۰.۰۱۴۴۲۳۶
سناریوی ٦۹	۰.۰۱۸۷۱۸۹	۰.۰۱۶۲۴۴۳	۰.۰۱۶۷۳۹۲
سناریوی ۷۰	۰.۰۱۶۵۷۲۵	۰.۰۱۵۳۷۷۴	۰.۰۱۵۶۱۶۴
سناریوی ۷۱	۰.۰۱۷۳۷۱۸	۰.۰۱۵۸۶۸۴	۰.۰۱۶۱۶۹۱
سناریوی ۷۲	۰.۰۱۵۲۲۳۵	۰.۰۱۵۳۰۳۴	۰.۰۱۵۲۸۷۴
جمع کل (کنترل):	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰

www.SID.ir