Archive of SID

پژوهشنامه‌ی مدیریت اجرایی
علمی – پژوهشی
سال دهم، شماره‌ی۱۹، نیمه ی اول۱۳۹۷

ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح صفر یا یک به منظور رفع پدیده تغییر در رتبه‌های گزینه‌های تصمیم‌گیری

سید محمد علی خاتمی فیروزآبادی*

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۳/۱۵ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۱۱/۲۸

چکیده:
روش‌های مختلف در مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌تواند به رتبه‌بندی‌های گوناگونی بیانجامد. اعتبار روش به این بستگی دارد که با حذف بدترین (بهترین) گزینه، تغییر در رتبه‌بندی‌های قبلی رخ ندهد (رتبه سایر گزینه‌ها به ترتیب قبلی خود یک پله صعود داشته باشند). همچنین روش‌های مختلف نرمال‌سازی بر روی نتایج تاثیر نداشته باشد. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عددصحیح صفر یا یک با تابع هدف حداقل‌سازی مجموع وزنی انحرافات از معیارها تشکیل شده است. محدودیت‌های متناظر با هر معیار نیازمند متغیر کمکی یا مازاد برای استاندارد شدن است. این محدودیت‌ها همراه با سایر محدودیت‌های واقعی نظیر محدودیت بودجه تشکیل دهنده محدویتهای مسئله است. با بررسی سه مسئله از ادبیات موضوع مدل مزبور با طرق مختلف نرمال‌سازی بررسی شده و جواب آنها به‌دست آمده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که پدیده تغییر در رتبه‌ها نه تنها با حذف بدترین گزینه اتفاق نمی‌افتد، بلکه با حذف بهترین گزینه، سایر گزینه‌ها به ترتیب رتبه‌های قبلی خود با یک پله صعود مواجه می‌شوند.

واژگان کلیدی: تصمیم‌گیری چندشاخصه، تغییر رتبه‌بندی، تعارض، برنامه‌ریزی صفر یا یک

* دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران a.khatami@atu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

تصمیم‌گیری را می‌توان انتخاب یک یا چند گزینه از بین گزینه‌های قابل دست‌یابی تصور کرد. در یک مسئله پیچیده، تسعی بر کاهش پیچیدگی آن با تجزیه مسئله به عناصر کوچک‌تر است. این کار ممکن است اطلاعات پراهمیت مسئله را نادیده گرفته و یا فقط بخشی از آن در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار گیرد. در یک مسئله تصمیم‌گیری، گزینه‌ها همراه با شاخص‌هایی وجود دارد که لازم است گزینه‌هخا نسبت به شاخص‌ها ارزیابی شوند. برای ارزیابی گزینه‌ها از شاخص‌های تعریف شده یا آنچه در تحقیقات قبلی به‌کار برده شده است استفاده می‌شود. این ارزیابی جامع و کامل نیست زیرا تصمیم‌گیرنده امکان در نظر گرفتن تمام شاخص‌ها، گزینه‌ها و روش‌های تصمیم‌گیری را ندارد.

استفاده از روش‌های مختلف برای یک مسئله تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌تواند به نتایج گوناگونی بیانجامد زیرا فلسفه وجودی روش‌ها با هم متفاوت است. تمرکز اصلی این مقاله بر روی ارائه مدلی است که بتواند اعتبار نتایج رتبه‌بندی‌ها را به تعبیر نمایش بگذارد. منظور از اعتبار در این مقاله این است که با حذف بدترین گزینه تصمیم‌گیری رتبه سایر گزینه‌ها تغییر نیابد (فورمن و گس، ۲۰۰۱: ژو و او ، ۲۰۱۴: زاناکیس و همکاران، ۱۹۹۸: گارسیا-کسکیلز و لاماتا ، ۲۰۱۲: ونگ و لیو ، ۲۰۰۹) و یا اگر بهترین گزینه از فرآیند حذف شود گزینه رتبه ۲ به رتبه ۱ و رتبه ۳ به رتبه ۲ ارتقاء یابد.

به عبارت دیگر توسعه یا انتخاب روشی که بتواند اعتبار نتایج را در حالت حذف بدترین گزینه و عدم تغییر در رتبه سایر گزینه‌ها را تضمین کند مورد توجه است.

هدف این تحقیق توسعه روشی است که بتواند این اعتبار را در مقایسه با سایر روش‌ها داشته باشد ضمن آنکه انتخاب روش‌های مختلف نرمال‌سازی روی رتبه گزینه‌ها تاثیر نداشته باشد.

روش‌های گوناگونی در تصمیم‌گیری‌های چندشاخصه وجود دارد که از جمله معروف‌ترین آنها نظریه مطلوبیت چندشاخصه (MAUT)، فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی

www.SID.ir

Archive of SID

(AHP)، فرآیند تحلیلی شبکه‌ای (ANP)، روش ارزیابی ترجیحات به توسط شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)، روش حذف و انتخاب مطابق با واقعیت (ELECTRE) با نسخه‌های مختلف آن، روش رتبه‌بندی ترجیحی سازمانی برای ارتقای ارزیابی (PROMETHEE) و روش بهینه‌سازی چند معیاره و جواب توافقی (VIKOR) است. این روش‌ها در بین روش‌های موجود بیشترین کاربرد را در عمل داشته‌اند. روش‌های ذکر شده در صورتی که برخی از پارامترهای آن غیر قطعی باشد می‌تواند به شکل فازی نیز به‌کار برده شود.

با توجه به رویکرد خاص هر روش، انتخاب بهترین روش تصمیم‌گیری چندشاخصه برای رتبه‌بندی گزینه‌ها کار آسانی نیست. نمی‌توان انتظار داشت که روش‌های مختلف برای انتخاب یک گزینه به نتایج مشابهی منجر شود. اینکه کدام‌یک از روش‌ها برای یک مسئله تصمیم‌گیری مناسب است نه تنها به دانش تحلیل‌گر بستگی دارد بلکه به نوع داده‌های مربوط به مسئله تحت بررسی وابسته است. تصمیم‌گیرنده یا تصمیم‌گیرندگان معمولاً علاقمند به استفاده از قابل اعتمادترین روش هستند و برای همین است که روش‌ها را باید از لحاظ اعتبار مورد بررسی قرار داد. اعتبار روش نه تنها به فرآیند آن بستگی دارد بلکه به انتظارات تصمیم‌گیرنده و نتایج حاصله نیز وابسته است. به عبارت دیگر، نتایج حاصل از فرآیند باید با قضاوت‌های ذهنی تصمیم‌گیرندگان تطابق داشته باشد و نتایج خیلی دور از انتظار نباشد ضمن آنکه پدیده تغییر در رتبه‌ها نیز رخ ندهد.

اغلب روش‌های تصمیم‌گیری از مدل‌هایی استفاده می‌کنند که در آنها معیارها، شاخص‌ها، شاخص‌های فرعی و گزینه‌ها وجود دارد و معمولاً می‌توان آنها را به شکل یک سلسله مراتب یا شبکه تصمیم‌گیری (مانند روش‌های AHP، ANP، TOPSIS و ELECTRE) ساختاربندی کرد. اینکه کدام‌یک از این اشکال مورد استفاده قرار گیرد به نوع مسئله و ارتباط بین اجزای مسئله بستگی دارد. از سوی دیگر برخی از روش‌ها دارای لایه‌های مختلفی از شاخص‌ها هستند به این معنی که هر شاخص می‌تواند به مجموعه‌ای از شاخص‌های فرعی خود تقسیم شود و در هنگام ارزیابی گزینه‌ها، هم از

www.SID.ir

Archive of SID

ترجیحات تصمیم‌گیرنده نسبت به شاخص‌های اصلی و هم از ترجیحات تصمیم‌گیرنده نسبت به شاخص‌های فرعی استفاده به عمل آید (مانند روش‌های AHP و ANP) اما در روش‌هایی مانند TOPSIS یا ELECTRE، با اینکه شاخص‌های اصلی می‌توانند به زیرمجموعه‌های خود تقسیم شوند اما در نهایت از ترجیحات آخرین لایه برای ارزیابی گزینه‌ها استفاده شده و ترجیحات سطوح بالاتر شاخص‌های فرعی در نظر گرفته نمی‌شوند.

در بخش‌های بعدی این مقاله، ابتدا مروری به مقایسه بین روش‌ها خواهیم داشت و سپس روش جدید ارائه می‌شود. سپس با کمک از داده‌های مربوط به سه مقاله، اعتبار روش‌های ذکر شده مورد بررسی قرار گرفته و نهایتاً به جمع‌بندی این مقاله پرداخته خواهد شد.

۲- ادبیات موضوع

برای مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه روش‌های مختلفی وجود دارد. محققان متعددی مزایای استفاده از این روش‌ها را برشمرده‌اند. برای مثال می‌توان به تحقیقات مولینر[۱] و همکاران (۲۰۱۶)، استانوجکیک[۲] و همکاران (۲۰۱۳)، ولاسکوئز و هستر[۳] (۲۰۱۳)، ترایانتافیلو[۴] (۲۰۱۳)، تور[۵] و همکاران (۲۰۱۳)، اوژکان[۶] و همکاران (۲۰۱۱)، هو[۷] و همکاران (۲۰۱۰)، ونگ[۸] و همکاران (۲۰۱۰)، کاترینو[۹] و همکاران (۲۰۰۹)، ونگ و همکاران (۲۰۰۹)، کورنیشوا و سالینسی[۱۰] (۲۰۰۷)، اوپریکوویچ و ژنگ[۱۱] (۲۰۰۷)، ون ویژیک و همکاران[۱۲] (۲۰۰۶)، پوهکار و راماشاندران[۱] (۲۰۰۴)، اوپریکوویچ و ژنگ[۲]

---

[1] Mulliner
[2] Stanujkic
[3] Velasquez and Hester
[4] Triantaphyllou
[5] Thor
[6] Özcan
[7] Ho
[8] Wang
[9] Caterino
[10] Kornyshova and Salinesi
[11] Opricovic and Tzeng
[12] Van Wijk

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۰۰۴)، اخوی و هیز[3] (۲۰۰۳)، زوپونیدیس و دامپوس[4] (۲۰۰۲)، اولسن[5] و همکاران (۱۹۹۹)، ترایانتافیلو و سانچز (۱۹۹۷) و بلتون (۱۹۸۶) اشاره کرد. در این مطالعات، حداقل دو روش تصمیم‌گیری با هم مقایسه شده‌اند. جدول ۱ خلاصه‌ای از عناوین مطالعات انجام شده و روش‌های به‌کار گرفته شده در آنها را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مطالعات مقایسه‌ای روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

محققان	سال	عنوان تحقیق	روش به‌کار گرفته شده
چیکنر- گرات[6] و همکاران	۲۰۱۷	مقایسه روش‌های پشتیبان تصمیم‌گیری به منظور اولویت‌بندی برنامه‌های یکپارچه نوسازی	ELECTRE، AHP، WSM، TOPSIS و PROMETHEE
مولینر و همکاران	۲۰۱۶	تحلیل مقایسه‌ای روش‌های MCDM برای ارزیابی پایدار ساخت مسکن	WPM[7]، SAW[8]، AHP اصلاح شده، TOPSIS و COPRAS[9]
آردیلی[10]	۲۰۱۶	مقایسه بین چند روش تصمیم‌گیری چند معیاره برای لرزیابی توسعه دولت الکترونیک	WSA[11]، TOPSIS و MAPPAC[12]
استانوجکیک و همکاران	۲۰۱۳	تحلیل مقایسه‌ای برخی از روش‌های MCDM: رتبه‌بندی بانک‌های صربستان	SAW[13]، ARAS[14]، COPRAS، GRA[15]، VIKOR و TOPSIS
ولاسکوئز و هستر	۲۰۱۳	تحلیلی بر روش‌های MCDM	MAUT، AHP، CBR[16]، DEA[17]، مجموعه‌های فازی، SMART[18]، ELECTRE، PROMETHEE، SAW و TOPSIS

[1] Pohekar and Ramachandran
[2] Opricovic and Tzeng
[3] Akhavi and Hayes
[4] Zopounidis and Doumpos
[5] Olson
[6] Tscheikner-Gratl
[7] Wighted Product Model (WPM): مدل حاصل‌ضربی وزنی
[8] Weighted Sum Models (WSM):مدل‌های جمع‌پذیر وزنی
[9] COmplex PropoRtional ASsesment (COPRAS)
[10] Ardielli
[11] Weighted Sum Approach (WSA)
[12] Multicriteria Analysis of Preference by means of Pair Actions and Criteria Comparisons (MAPPAC)
[13] Simple Additive Weighting (SAW): روش وزنی جمع‌پذیر ساده
[14] Additive Ratio ASsessment (ARAS)
[15] Grey Relational Analysis (GRA)
[16] Cased-Based Rasoning (CBR)
[17] Data Envelopment Analysis (DEA)
[18] Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART)

www.SID.ir

Archive of SID

ترایانتافیلو	۲۰۱۳	روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره: مطالعه مقایسه‌ای	تقریباً تمام روش‌ها
تور و همکاران	۲۰۱۳	مقایسه روش‌های MCDM از دیدگاه گزینه‌های تصمیم‌گیری نگهداری	AHP، ELECTRE، SAW و TOPSIS
گایاتری و چتان[1]	۲۰۱۳	مقایسه بین روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره	SAW، WPM، AHP، TOPSIS، VIKOR و PROMETHEE
مالدونادو و همکاران	۲۰۱۲	مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری جند معیاره گسسته برای انتخاب مکان جنگل	ELECTRE، PROMETHEE، AHP، برنامه‌ریزی توافقی[2] (CP)، تحلیل قابلیت پذیرش تصادفی چند معیاره (SMAA)[3] و نقطه آستانه ایده‌آل تکرارپذیر (IIPT)[4]
اوژکان و همکاران	۲۰۱۱	تحلیل مقایسه‌ای متدولوژی‌های MCDM و پیاده‌سازی برای مسئله انتخاب مکان انبار	AHP، TOPSIS، ELECTRE و نظریه خاکستری
هو و همکاران	۲۰۱۰	رویکردهای MCDM برای ارزیابی تامین کنندگان و انتخاب آنها: ادبیات موضوع	DEA، AHP، CBR، ANP، مجموعه فازی، SMART، GRA و ترکیب یکی از آنها با دیگری
ونگ و همکاران	۲۰۱۰	مقایسه بین روش MAUT و PROMETHEE	MAUT و PROMETHEE
کاترینو و همکاران	۲۰۰۹	تحلیل مقایسه‌ای روش‌های MCDM برای سازه‌های فرسوده	TOPSIS و VIKOR
ونگ و همکاران	۲۰۰۹	مطالعه بین روش‌های MCDM برای تصمیم‌گیری انرژی پایدار	WSM، WPM، AHP، TOPSIS، مجموعه فازی، ELECTRE و PROMETHEE
کورنیشوا و سالینسی	۲۰۰۷	رویکردهای روش‌های MCDM برای مسائل انتخاب: مرور جامع در هوش محاسباتی	روش‌های نارتبه‌ای، AHP، MAUT، روش‌های وزنی و مجموعه فازی
اوپریکوویچ و ژنگ	۲۰۰۷	روش توسعه یافته VIKOR در مقایسه با روش‌های نارتبه‌ای	TOPSIS، PROMETHEE و ELECTRE
ون ویژیک و همکاران	۲۰۰۶	مقایسه بین دو روش MCDM برای مقایسه داروهای ضد فشار خون	SAW و TOPSIS
پوهکار و راماشاندران	۲۰۰۴	کاربرد روش‌های MCDM برای برنامه‌ریزی انرژی پایدار: مطالعه موردی	WSM، WPM، AHP، PROMETHEE، ELECTRE، TOPSIS و MAUT
اوپریکوویچ و ژنگ	۲۰۰۴	راه‌حل توافقی روش‌های MCDM: تحلیل مقایسه‌ای VIKOR و TOPSIS	VIKOR و TOPSIS

[1] Gayatri and Chetan
[2] Compromise Programming (CP)
[3] Stochastic Multi-criteria Acceptability Analysis (SMAA)
[4] Iterative Ideal Point Thresholding (IIPT)

www.SID.ir

Archive of SID

اخوی و هیز	۲۰۰۳	مقایسه دو روش از روش‌های MCDM	MRO[1] و AHP
زوپونیدیس و دامپوس	۲۰۰۲	متدولوژی‌های MCDM برای تصمیم‌گیری‌های مالی و ادبیات موضوع	AHP، ELECTRE و UTA[2]
اولسن[3] و همکاران	۱۹۹۹	مقایسه پارادایم‌های MCDA[4]	MAUT، SMART، AHP، مخروط‌های ترجیحی و روش‌های نارتبه‌ای
ترایانتافیلو و سانچز	۱۹۹۷	تحلیل حساسیت برخی از رویکردهای قطعی روش‌های MCDM	WSM، WPM و AHP
بلتون	۱۹۸۶	مقایسه بین دو روش AHP و SMAVT[5]	AHP و SMAVT

این مطالعات نشان می‌دهد که برای به‌کارگیری هر یک از این روش‌ها، محدودیت‌هایی وجود دارد که برای نمونه می‌توان به زمان‌بر بودن تقریباً تمام روش‌های تصمیم‌گیری اشاره شده (مزورک و کیسزووا، ۲۰۱۲)، مانند روش MAUT (کینی و رایفا[6]، ۱۹۷۶)، وجود خاصیت انتقال‌پذیری (فیروزآبادی، ۲۰۰۵)، وجود ارتباط خطی در درخت تصمیم‌گیری (لسمس[7]، ۲۰۰۹: ساعتی، ۲۰۰۱)، عدم درک درست پرسش‌شوندگان از قضاوت‌های زوجی (ولاسکوئز و هستر، ۲۰۱۳)، عدم اعتبار کافی در نتایج در هنگام زیاد بودن شاخص‌ها و گزینه‌های تصمیم‌گیری و چند لایه بودن درخت تصمیم (ساعتی و اوزدمیر[8]، ۲۰۰۳)، عدم در نظر گرفتن محدودیت‌های واقعی (ساعتی و سگیر، ۲۰۰۹)، مشکل بودن توضیح فرآیند برخی از روش‌ها برای تصمیم‌گیرندگان (ولاسکوئز و هستر، ۲۰۱۳)، امکان عدم رتبه‌بندی کامل (کاترینو و همکاران، ۲۰۰۹: اوژکان و همکاران، ۲۰۱۱)، عدم شناسایی مستقیم نقاط قوت و ضعف گزینه‌های تصمیم‌گیری (کونیدری و ماوراکیس[9]، ۲۰۰۷)، عدم درک درست از چگونگی انتخاب توابع در روش پرامتی (ونگ

[1] Multi-criteria Rank Ordering (MRO)
[2] UTilities Additves (UTA)
[3] Olson
[4] Multiple Criteria Decision Aids
[5] Simple Multi-Attribute Value Function
[6] Keeny and Raiffa
[7] Lesmes
[8] Saaty and Ozdemir
[9] Konidari and Mavrakis

www.SID.ir

Archive of SID

و همکاران، ۲۰۰۹)، عدم لحاظ اهمیت نسبی فواصل (مولینر و همکاران، ۲۰۱۶)، تغییر در رتبه‌ها در هنگام حذف بدترین گزینه و تغییر در رتبه‌ها در هنگام معرفی یک گزینه کاملاً مغلوب ، عدم وجود شاخص برای اندازه‌گیری ناسازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان در برخی از روش‌ها، عدم لحاظ وابستگی بین شاخص‌ها و گزینه‌های تصمیم‌گیری در یک یا چند روش، عدم برقراری ارتباط با تصمیم‌گیرنده و عدم وجود موارد عینی (مانند عدم ارتباط تصمیم‌گیرنده با فاصله از گزینه ناایده‌آل) و مواردی از این دست اشاره کرد.

علاوه بر مقایسه بین روش‌های مختلف که برای یک مسئله خاص انجام شده است و روش‌های مختلف به رتبه‌بندی‌های متفاوتی دست یافته‌اند این مشکل وجود دارد که بالاخره کدام‌یک از روش‌ها برای رتبه‌بندی مناسب‌تر است. به عبارتی کدام‌یک از روش‌ها اعتبار بیشتری دارند و به نتایج آنها می‌توان اطمینان داشت. در مرور ادبیات به پدیده تغییر در رتبه‌های گزینه‌ها اشاره شده است (زاناکیس و همکاران، ۱۹۹۸: گارسیا-کسکیلز و لاماتا، ۲۰۱۲: ونگ و لیو، ۲۰۰۹) و ادعا بر این است که روشی برای تصمیم‌گیری مناسب است که پدیده تغییر در رتبه گزینه‌ها با حذف گزینه‌ای که از لحاظ تمام معیارها بدتر است رخ ندهد. برهم خوردن رتبه گزینه‌ها به این معناست که اگر یک گزینه مغلوب و غیربهینه به مجموعه گزینه‌های تصمیم‌گیری اضافه شود نتواند رتبه‌های به‌دست آمده اولیه را تحت تاثیر قرار دهد و یا حذف یک گزینه مغلوب در مسئله اولیه نتواند به برهم خوردن سایر رتبه گزینه‌ها منجر شود. مرور ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که این موضوع تا کنون به‌طور جدی از سوی محققان مورد بررسی واقع نشده است. در ادامه این تحقیق، روشی ارائه می‌شود که بتواند تا حد ممکن اشکالات مطرح شده را نداشته باشد و ضمن منطقی بودن، از پدیده تغییر در رتبه‌ها جلوگیری کند.

۳- متودلوژی تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

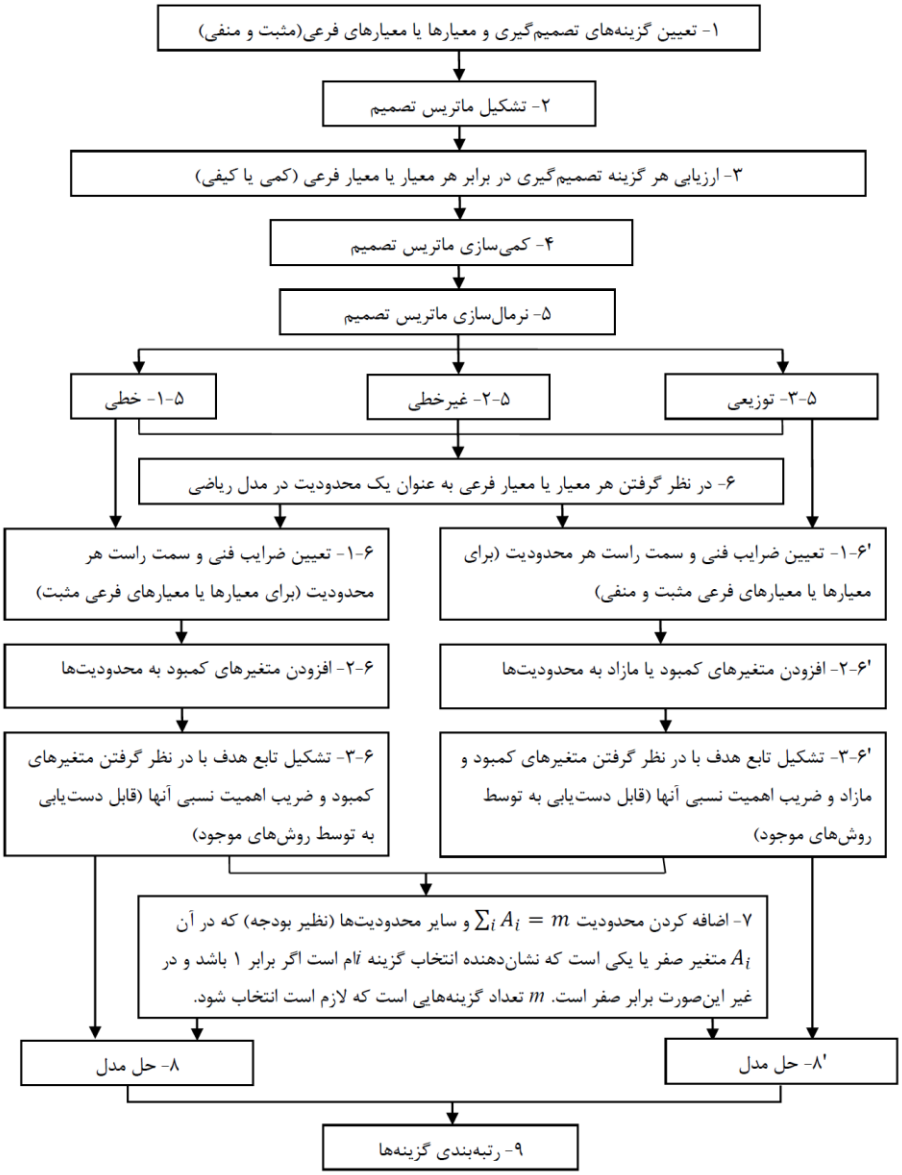
در این تحقیق یک متدولوژی جدید بر اساس مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح صفر یا یک ارائه خواهد شد تا بتواند تا حد ممکن بر مشکل تغییر در رتبه‌بندی‌ها در صورت اضافه شدن یک گزینه نامربوط و یا ارتقاء رتبه‌های سطح پایین‌تر به یک سطح بالاتر در هنگام حذف بهترین گزینه فائق آید. مبنای متدولوژی ارائه شده محاسبه فاصله بین معیارهای گزینه انتخاب شده با معیارهای سایر گزینه‌های تصمیم‌گیری با تابع هدف حداقل‌سازی فواصل وزن‌دهی شده است. شکل ۱ رویکرد این تحقیق را با جزییات نشان داده است.

ابتدا گزینه‌های تصمیم‌گیری و معیارهای موثری که بتوانند تمایز بین گزینه‌ها را نمایش دهند (تور و همکاران، ۲۰۱۳) معین می‌شوند. در صورت لزوم، آنها به دلایل منطقی (مانند هزینه‌بر بودن یا وجود تحریم) غربال‌سازی می‌شوند (ترایانتافیلو و همکاران، ۱۹۹۸: دولان[1]، ۲۰۱۰). پنج اصل سیستمی، سازگاری، استقلال، قابلیت سنجش و قابلیت مقایسه باید در هنگام انتخاب معیارها مورد توجه قرار گیرند (ونگ و همکاران، ۲۰۰۹). معیارها را می‌توان در حوزه تحت بررسی از بررسی پیشینه موضوع ، نظرخواهی از خبرگان (مرجانوویچ و همکاران، ۲۰۱۷)، پیمایش، مصاحبه با ذینفعان، مثلاً با استفاده از روش‌های دلفی (رو و رایت[2]، ۲۰۰۱)، حداقل متوسط مربعات (دی‌آنتونا[3]، ۲۰۰۳)، حداقل‌سازی حداکثر انحرافات (لوآیسیگا و چرچ[4]، ۱۹۹۰)، ضرایب همبستگی (پاپادتوس و ژیفارا[5]، ۲۰۱۳: ژیائو[6]، ۲۰۱۰) یا ترکیبی از منابع گفته شده به‌دست آورد (پن[7] و همکاران، ۲۰۱۲).

[1] Dolan
[2] Rowe and Wright
[3] D'Antona
[4] Loaiciga and Church
[5] Papadatos and Xiafara
[6] Xiao
[7] Pan

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. رویکرد شماتیک روش پیشنهادی

ماتریس تصمیم با m گزینه و n معیار در قالب یک ماتریس m×n ساختاربندی می‌شود. عناصر این ماتریس ارزش هر گزینه در برابر هر معیار یا معیارهای فرعی را نشان می‌دهند.

www.SID.ir

Archive of SID

تصمیم‌گیرنده مقادیر عددی در رابطه با هر معیار کمی نسبت به هر گزینه و حروف کلامی در ارتباط با هر معیار کیفی به هر گزینه اختصاص دهد.

تبدیل معیارهای کیفی به کمی با یک مقیاس مشخص مانند لیکرت انجام می‌شود.

با توجه به ابعاد مختلف معیارها عمل نرمال‌سازی انجام می‌شود. از سه نوع نرمال‌سازی (خطی، غیر خطی و توزیعی) استفاده می‌شود تا تاثیر روش‌های مختلف نرمال‌سازی بر روی انتخاب نهایی سنجیده شود.

مدل برنامه‌ریزی ریاضی با هدف حداقل‌سازی وزنی انحرافات از معیارها و در نظر گرفتن هر معیار به‌شکل یک محدودیت به‌علاوه محدودیت‌های واقعی تشکیل می‌شود. هدف مدل مزبور انتخاب گزینه‌ای است که تا حد ممکن بتواند تک تک معیارها را برآورده سازد.

۶-۱ و '۶-۱- ضرایب فنی محدودیت‌های مدل ضرایب نرمال شده متناظر با هر گزینه تصمیم‌گیری است. در نرمال‌سازی خطی پارامتر سمت راست هر محدودیت متناظر با بزرگ‌ترین ضرایب سمت چپ متناظر با گزینه‌هاست (اگر در نظر باشد فقط یک گزینه انتخاب شود). در صورتی که لازم باشد دو گزینه تصمیم‌گیری انتخاب شود عدد سمت راست هر محدودیت از جمع دو عدد بزرگ‌تر سمت چپ به‌دست می‌آید و الی آخر. اگر از نرمال‌سازی غیرخطی یا توزیعی استفاده شده باشد پارامتر سمت راست متناظر با هر محدودیت بزرگ‌ترین (کوچک‌ترین) عدد سمت چپ برای معیارهای مثبت (منفی) خواهد بود اگر در نظر باشد تنها یک گزینه تصمیم‌گیری انتخاب شود. در صورت انتخاب دو گزینه، پارامتر سمت راست از جمع دو عدد بزرگتر (کوچک‌تر) سمت چپ حاصل خواهد شد.

۶-۲ و '۶-۲- اضافه کردن متغیرهای کمبود یا مازاد (بسته به نوع روش نرمال‌سازی) به محدودیت‌ها انجام می‌شود. مقدار این متغیرها در واقع اختلاف بین آنچه به‌دست آمده از بهترین‌های متناظر با همان معیار (محدودیت) نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

۶-۳ و '۶-۳- تابع هدف مدل مجموع حاصل‌ضرب وزن معیارها در متغیرهای کمبود یا مازاد (بسته به روش نرمال‌سازی) تشکیل می‌شود. وزن متغیرهای کمبود یا مازاد را می‌توان از روش‌هایی به مانند مقایسه‌های زوجی (ساعتی، ۱۹۸۸)، نظرسنجی از خبرگان (یوسف[1]، ۲۰۰۷) و آنتروپی به‌دست آورد (لطفی[2]، ۲۰۱۰).

مدل ریاضی با توجه به محدودیت‌های متناظر با هر معیار و سایر محدودیت‌های واقعی (مانند محدودیت بودجه و یا محدودیت‌های وابستگی بین گزینه‌ها) در این مرحله نوشته می‌شود. $\sum_i A_i = m$ تضمین کننده انتخاب m گزینه از بین گزینه‌های تصمیم‌گیری است. مدل ریاضی به‌شکل کلی زیر نوشته می‌شود:

$$Min \sum_{j\in c^+} w_j s_j + \sum_{j\in c^-} w_j n_j$$

$$s.t.$$

$$\sum_i r_{ij} A_i + s_j = \max_i \{r_{ik} \mid k = j\} \quad , \quad j \in c^+$$

$$\sum_i r_{ij} A_i - n_j = \min_i \{r_{ik} \mid k = j\} \quad , \quad j \in c^-$$

$$\sum_i A_i = m$$

$$\sum_i e_i A_i \le b$$

$$A_i = 1 or\ 0, s_i, n_i \ge 0$$

در این مدل، w_j وزن معیار jام، s_j و n_j به‌ترتیب متغیرهای کمبود و مازاد، r_{ij} مقدار نرمال شده عنصر a_{ij} در ماتریس تصمیم، A_i بیانگر گزینه iام، m تعداد گزینه‌هایی که تصمیم‌گیرنده در نظر دارد انتخاب کند، e_i هزینه گزینه iام و b کل بودجه دراختیار برای انتخاب گزینه‌هاست. سمت راست دو محدودیت اول، حداکثر (حداقل) مقادیر متناظر با ضرایب فنی همان محدودیت‌ها است اگر $m = 1$ باشد. درصورتی‌که $m > 1$ باشد مقادیر سمت راست دو محدودیت اول مجموع کل حداکثر (حداقل) متناظر با m مقدار ضرایب فنی همان محدودیت‌هاست.

---

[1] Yousef
[2] Lotfi

www.SID.ir

Archive of SID

حل مدل انجام شده و جواب به‌دست خواهد آمد. در صورتی که انتخاب چند گزینه مد نظر باشد ابتدا لازم است سمت راست محدودیت‌های متناظر با هر محدودیت طبق بند ۶ اصلاح شده و سپس مدل حل شود.

با حل مدل‌ها رتبه گزینه‌ها مشخص می‌شود و سپس تاثیر حذف یا اضافه کردن گزینه‌های نامربوط در رتبه‌بندی گزینه‌ها معین خواهد شد. هنگامی که تنها انتخاب یک گزینه مد نظر است مسئله با $m = 1$ حل می‌شود. برای رتبه‌بندی سایر گزینه‌ها، ابتدا $m = 2$ قرار می‌گیرد و سپس با اصلاح اعداد سمت راست محدودیت‌های متناظر با محدودیت‌های معیارها، مسئله حل می‌شود. در این مرحله جواب به‌دست آمده شامل گزینه انتخاب شده حاصل از مدل با $m = 1$ و گزینه دیگری است که رتبه ۲ را به خود اختصاص می دهد. له همین ترتیب می‌توان رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها را مشخص کرد.

۴- موردهای مطالعه

مورد مطالعه ۱: در مورد مطالعه ۱ انتخاب بهترین مکان توزیع شهری مد نظر بوده است $(m = 1)$. این مطالعه موردی ماتریسی ۱۱×۳ دارد. نرمال‌سازی از سه روش انجام می‌شود. مدل ریاضی ۱۱ محدودیت متناظر با ۱۱ معیار خواهد داشت. ضرایب فنی مربوط به هر محدودیت متناظر با یک معیار درواقع مقادیر نرمال شده حاصل از فرآیند نرمال‌سازی خواهند بود. مقدار سمت راست این محدودیت‌ها، بزرگ‌ترین عدد ضرایب فنی سمت چپ برای معیارهای مثبت و کوچک‌ترین ضرایب فنی سمت چپ برای معیارهای منفی هستند. اگر نرمال‌سازی خطی استفاده شده باشد اعداد سمت راست محدودیت‌ها ۱ خواهند بود. در غیر این صورت از قاعده گام ۶ برای تعیین آنها استفاده خواهد شد. همچنین لازم است اهمیت نسبی معیارها مشخص شود یا مشخص شده باشد. در مقاله اصلی، وزن یا میزان اهمیت نسبی معیارها با اعداد فازی به‌دست آمده است. در اینجا، از همان اعداد فازی اما به‌صورت قطعی شده استفاده خواهد شد به این صورت که ایتدا اعداد فازی را قطعی کرده و سپس از آنها میانگین گرفته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

چون انتخاب یک گزینه مورد توجه بوده است لازم است محدودیت مربوطه به سایر محدودیت‌های گام ۶ اضافه شود. در این مسئله محدودیت‌های دیگری وجود ندارد که لازم باشد به مدل اضافه شود. مدل برنامه‌ریزی این مسئله با روش نرمال‌سازی خطی، توسط مدل ۱.۱ نمایش داده شده است. سایر مدل‌ها نیز به همین ترتیب تشکیل می‌شوند.

حل سه مدل فوق به انتخاب گزینه A_1 می‌انجامد. برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، لازم است در مرحله بعد محدویت $A_1 + A_2 + A_3 = 2$ جایگزین محدودیت $A_1 + A_2 + A_3 = 1$ شده و سمت راست محدودیت‌های متناظر با معیارها مطابق با گام ۶ تغییر یابد به این معنی که سمت راست محدودیت متناظر با معیارهای مثبت جمع دو بزرگ‌ترین ضرایب سمت چپ و سمت راست محدودیت متناظر با معیارهای منفی از جمع دو کوچک‌ترین ضرایب سمت چپ درنظر گرفته شود. حل هر سه مدل فوق با انجام تغییرات ذکر شده، گزینه‌ها را به‌شکل $A_1 > A_2 > A_3$ رتبه‌بندی می‌کند.

$$
\begin{aligned}
&Min\ 0.103s_1 + 0.096s_2 + 0.096s_3 + 0.096s_4 + 0.066s_5 + 0.095s_6 + 0.088s_7 + 0.073s_8 + 0.088s_9 + 0.096s_{10} + 0.103s_{11}\\
&s.t.\\
&0.93A_1 + 0.93A_2 + A_3 + s_1 = 1\\
&A_1 + 0.74A_2 + 0.48A_3 + s_2 = 1\\
&0.90A_1 + 0.79A_2 + A_3 + s_3 = 1\\
&0.90A_1 + A_2 + 0.90A_3 + s_4 = 1\\
&0.90A_1 + A_2 + A_3 + s_5 = 1\\
&A_1 + A_2 + A_3 + s_6 = 1 \qquad (Model\ 1.1)\\
&0.90A_1 + 0.90A_2 + A_3 + s_7 = 1\\
&A_1 + A_2 + 0.88A_3 + s_8 = 1\\
&A_1 + 0.73A_2 + 0.33A_3 + s_9 = 1\\
&0.92A_1 + A_2 + 0.84A_3 + s_{10} = 1\\
&A_1 + 0.92A_2 + A_3 + s_{11} = 1\\
&A_1 + A_2 + A_3 = 1\\
&A_1, A_2, A_3 = 0 or 1\\
&s_1, s_2, ..., s_{11} \geq 0
\end{aligned}
$$

مورد مطالعه ۲: انتخاب مکان انبار بر اساس مقاله اوژکان و همکاران (۲۰۱۱) دومین موردی است که در نظر گرفته می‌شود. با توجه به همان اصول ذکر شده در مورد مطالعه ۱، سه مدل تشکیل می‌شود که نتیجه تمام آنها رتبه‌بندی به‌صورت

www.SID.ir

Archive of SID

$A_4 > A_3 > A_2 > A_1$ است. این نتیجه با نتایج به‌دست آمده از روش به‌کار گرفته شده در مقاله اصلی مطابقت دارد.

مورد مطالعه ۳: سومین مورد مطالعه رتبه‌بندی بانک‌های تجاری صربستان است (استانوجکیک و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به همان اصول ذکر شده در مورد مطالعه ۱ و ۲، سه مدل تشکیل می‌شود که نتیجه آنها رتبه‌بندی به‌صورت $A_4 > A_2 > A_5 > A_3 > A_1$ خواهد بود. نتیجه دو رتبه اول با آنچه از روش تاپسیس به‌دست آمده است تطبیق دارد اما گزینه سوم دو متدولوژی با هم تفاوت دارد. سومین گزینه در مقاله اصلی A_1 است در حالیکه در متدولوژی ارائه شده A_5 است. حذف آخرین گزینه در رتبه‌ها نشان می‌دهد که پدیده تغییر در گزینه‌ها در این مورد مطالعه هم اتفاق نمی‌افتد.

۵- بحث

به منظور نشان دادن مزیت‌های این متدولوژی نسبت به روش‌های موجود، لازم است موارد مطالعه با تغییراتی در نظر گرفته شود تا مزایای روش پیشنهادی به‌طور واضح نمایان شود. برای این منظور مورد مطالعه ۳ را در نظر گرفته و تغییراتی در آن انجام می‌دهیم. مورد مطالعه ۳ از این جهت انتخاب شده است که تعداد گزینه‌ها و معیارهایش زیاد است. البته بجای رتبه‌بندی بانک‌ها، فرض شده است که گزینه‌ها، پروژه‌هایی هستند که باید رتبه‌بندی شوند.

فرض کنید که محدودیت بودجه ۱۰۰ واحدی برای اجرای ۵ پروژه وجود داشته باشد. همچنین فرض کنید که هزینه پیاده‌سازی این پروژه‌ها به ترتیب ۴۰، ۷۰، ۳۰، ۳۵ و ۲۵ واحد باشد و در نظر است ۲ پروژه از بین ۵ پروژه انتخاب شود. به این ترتیب لازم است محدودیت بودجه زیر به مدل متناظر با مورد مطالعه ۳ اضافه شود.

$$40A_1 + 70A_2 + 30A_3 + 35A_4 + 25A_5 \le 100$$

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین باید محدودیت $A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 2$ در نظر گرفته شود و سمت راست محدودیت‌های متناظر با معیارها، اصلاح شود. حل مدل متناظر در شرایط جدید نشان می‌دهد که گزینه‌های A_4 و A_3 انتخاب می‌شوند در حالیکه اگر طبق رتبه‌بندی اصلی عمل می‌شد گزینه‌های A_4 و A_2 انتخاب می‌شدند. انتخاب طبق رتبه‌بندی اصلی بدون توجه به بودجه دردسترس باعث می‌شود گزینه‌هایی انتخاب شوند که برای آنها بودجه کافی وجود ندارد.

در ادامه فرض می‌کنیم که در همین مورد مطالعه، لازم باشد حداقل ۳ پروژه با توجه به بودجه قبل انتخاب شود. در مدل متناظر لازم است اعداد سمت راست مطابق با آنچه قبلاً شرح داده شد تغییر یافته و محدودیت $A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 \geq 3$ به مسئله اضافه شود. در این حالت گزینه‌های A_3، A_4 و A_5 انتخاب خواهند شد.

اکنون فرض می‌کنیم علاوه بر فرض محدودیت بودجه، محدودیت نیروی انسانی نیز وجود دارد. فرض می‌شود که نیروی انسانی دراختیار برای پیاده‌سازی این پروژه‌ها ۶۰۰ واحد و این پروژه‌ها به ترتیب به ۲۵۰، ۳۰۰، ۴۵۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ واحد نیاز داشته باشند و لازم است دو پروژه انتخاب شود. در اینجا لازم است محدودیت نیروی انسانی زیر به مدل اضافه شود.

$$250A_1 + 300A_2 + 450A_3 + 350A_4 + 500A_5 \leq 600$$

در این وضعیت جدید، گزینه‌های A_1 و A_4 انتخاب خواهند شد که با رتبه‌بندی اصلی مسئله تفاوت دارد.

اکنون فرض می‌کنیم که حداقل یک گزینه باید انتخاب شود و اگر گزینه A_4 انتخاب شود باید گزینه A_3 هم انتخاب شود. در این وضعیت لازم است محدودیت $A_3 - A_4 \geq 0$ علاوه بر سایر محدودیت‌ها به مسئله اضافه شود. در این حالت گزینه A_2 انتخاب خواهد شد.

چهار مورد اشاره شده قابلیت انعطاف‌پذیری متدولوژی پیشنهادی را نسبت به روش‌های موجود نشان می‌دهد. روش‌های موجود فقط گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کنند بدون آنکه به

www.SID.ir

Archive of SID

محدودیت‌های دنیای واقعی مانند محدودیت‌های بودجه یا نیروی انسانی توجه داشته باشند.

در مطالعات انجام شده آخرین گزینه از لحاظ رتبه‌بندی در تمام رویه‌های نرمال‌سازی حذف شد تا نشان دهد که رتبه سایر گزینه‌ها بدون تغییر باقی می‌ماند. این‌کار به توسط صفر قرار دادن گزینه مربوطه به عنوان محدودیت جدید و تغییر نکردن سایر داده‌های مسئله قابل اجراست. بنابراین می‌توان اظهار کرد که روش پیشنهادی نسبت به حذف بدترین گزینه از مجموعه گزینه‌های تصمیم‌گیری قابل اعتماد است و تغییر در رتبه‌ها با حذف آن صورت نمی‌گیرد. علاوه بر این، از آنجایی‌که روش پیشنهادی بر اساس مدل ریاضی شکل گرفته است می‌توان تحلیل حساسیت را نسبت به تغییرات ضرایب محدودیت‌های اضافه شده و سمت راست آنها به آسانی انجام داد. یکی دیگر از مزیت‌های روش پیشنهادی قابلیت درنظر گرفتن وابستگی بین گزینه‌های تصمیم‌گیری است که می‌تواند رتبه اولیه گزینه‌ها را تحت تاثیر قرار دهد. در مطالعه انجام شده از سه روش نرمال‌سازی داده‌های ماتریس تصمیم استفاده شد و نتیجه حاصل از رتبه‌بندی‌ها نشان داد که رویه‌های مختلف نرمال‌سازی بر تغییر رتبه‌ها اثر نداشته‌اند. به عبارت دیگر انتخاب روش نرمال‌سازی موجب تغییر در رتبه گزینه‌ها نمی‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، روشی جدید برای مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه شد. در روش ارائه شده، از ماتریس تصمیم تماماً کمی شده و نرمال شده به عنوان ورودی برای تشکیل مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح صفر یا یک استفاده گردید. فلسفه اصلی در مدل مزبور، در نظر گرفتن هر معیار به عنوان یک محدودیت است. در این مدل ریاضی، وزن یا میزان اهمیت نسبی معیارها ضرایب متغیرهای کمبود یا مازاد، بسته به اینکه معیارها از جنس مثبت یا منفی هستند در تابع هدف خواهد بود. سایر داده‌های ماتریس تصمیم در هر سطر ضرایب فنی محدودیت‌های متناظر با هر معیار را تشکیل خواهد داد. از سه

www.SID.ir

Archive of SID

رویه شناخته شده خطی، غیرخطی و توزیعی برای نرمال‌سازی ماتریس تصمیم استفاده شد تا تاثیر هر یک از آنها بر روی رتبه گزینه‌ها سنجیده شود. در روش ارائه شده، تغییر در رتبه گزینه‌ها در هنگام حذف بدترین گزینه اتفاق نخواهد افتاد که در واقع یکی از اشکالات بسیار اساسی در اعتبارسنجی مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. این نتیجه‌گیری با آنچه ونگ و لیو (۲۰۰۹) ذکر کرده‌اند در تعارض است. آنها بر این عقیده هستند که پدیده تغییر در رتبه گزینه‌ها چیزی است که همواره اتفاق خواهد افتاد و در تمام روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره وجود دارد و نمی‌توان از وقوع آن جلوگیری کرد. روش ارائه شده در مورد تغییر رتبه گزینه‌ها در هنگام اضافه کردن یک گزینه مغلوب به مجموعه گزینه‌ها نیز روش قابل اتکایی است. البته برای سه مورد مطالعه این وضعیت صادق است ولی برای موارد کلی‌تر لازم است تحقیق مستقل دیگری انجام شود.

از سوی دیگر، روش ارائه شده مزیت‌های دیگری نظیر قابلیت در نظر گرفتن محدودیت‌های دنیای واقعی نظیر محدودیت بودجه برای پیاده‌سازی گزینه‌ها یا وابستگی بین گزینه‌ها را دارد. در بیشتر مسائل دنیای واقعی، صرف انتخاب یک گزینه از بین گزینه‌های موجود مطرح نیست بلکه با توجه به نوع مسئله، ممکن است در نظر باشد بیش از یک گزینه انتخاب شود مخصوصاً هنگامی که گزینه‌های وابسته به یکدیگر وجود دارد. روش‌های سنتی به‌سادگی به رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌پردازد که در عمل ممکن است رتبه‌بندی مزبور از دید عملی ناکارا باشد. علاوه بر همه این موارد، روش ارائه شده می‌تواند معیارها و گزینه‌های زیادی داشته باشد که در مقایسه با روش‌های سنتی که تعداد کمی از آنها این قابلیت را دارند مزیت قابل توجهی به‌شمار می‌آید.

از لحاظ عملی این متدولوژی برای مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره‌ای که تعداد گزینه‌ها و معیارهای آن زیاد باشد بسیار مفید خواهد بود. تحت این شرایط، انتخاب گزینه‌ها، به‌خصوص هنگامی که گزینه‌های وابسته به هم همراه با محدودیت‌های دنیای واقعی وجود داشته باشند کار آسانی نیست. از آنجایی‌که روش ارائه شده از مدل ریاضی

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده می‌کند تحلیل حساسیت در مورد پارامتر محدودیت‌های دنیای واقعی می‌تواند به‌راحتی انجام شود.

در مدل می‌توان تاثیر نوع نرمال‌سازی یا نوع وزن‌دهی بر رتبه‌ها را مشخص کرد. یکی از موارد مطرح شده در تحقیق حاضر به این نکته اشاره دارد که استفاده از روش‌های مختلف نرمال‌سازی با متدولوژی استفاده شده نمی‌تواند با حذف گزینه‌های نامغلوب (یا گزینه‌ای که در آخرین رتبه است) موجب تغییر در رتبه‌های قبلی شود در حالیکه چنین موردی در تحقیق اشاره شده قبلی وجود ندارد.

۷- منابع

- Akhavi, F., & Hayes, C. (2003, October). A comparison of two multi-criteria decision-making techniques.In Systems, Man and Cybernetics, 2003.IEEE International Conference on, 1, 956-961, .IEEE.
- Ardielli, E. (2016). Comparison of Multiple Criteria Decision Making Approaches: Evaluating eGovernment Development. Littera Scripta, 9 (2), 10-24.
- Awasthi, A., Chauhan, S. S., & Goyal, S. K. (2011). A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty. Mathematical and Computer Modelling, 53(1), 98-109.
- Belton, V. (1986). A comparison of the analytic hierarchy process and a simple multi-attribute value function. *European Journal of Operational Research*, 26(1), 7-21.
- Caterino, N., Iervolino, I., Manfredi, G., & Cosenza, E. (2009). Comparative analysis of multi-criteria decision-making methods for seismic structural retrofitting. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 24(6), 432-445.
- Corner, J. L., and Buchanan, J. T. (1997). Capturing decision maker preference: Experimental comparison of decision analysis and MCDM techniques. *European Journal of Operational Research*, 98(1), 85-97.
- D'Antona, G. (2003). The full least-squares method. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 52(1), 189-196.

www.SID.ir

Archive of SID

- Dolan, J. G. (2010). Multi-Criteria clinical decision support. The Patient: Patient-Centered Outcomes Research, 3(4), 229-248.
- Firouzabadi, S.M.A.K. (2005). A Decision Support Method for Selecting Design and Manufacturing Alternatives, PhD Thesis. The University of Leeds, United Kingdom.
- Firouzabadi, S. A. K., Henson, B., & Barnes, C. (2008). A multiple stakeholders' approach to strategic selection decisions. Computers & Industrial Engineering, 54(4), 851-865.
- Forman, E. H., and Gass, S. I. (2001). The analytic hierarchy process-an exposition. Operations Research, 49(4), 469-486.
- García-Cascales, M. S., & Lamata, M. T. (2012). On rank reversal and TOPSIS method. Mathematical and Computer Modelling, 56(5), 123-132.
- Vyas Gayatri, V., & Chetan M. Comparative Study of Different Multi-Criteria Decision-Making Methods. International Journal on Advanced Computer Theory and Engineering, 2(4). 9-12.
- Golden, B. L., Wasil, E. A., & Harker, P. T. (1989). The analytic hierarchy process. New York: Springier-Verlag.
- Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. European Journal of Operational Research, 202(1), 16-24.
- Ic, Y. T. (2012). An experimental design approach using TOPSIS method for the selection of computer-integrated manufacturing technologies. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 28(2), 245-256.
- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1976). Decision with multiple objectives.Cambridge University Press.
- Khatami Firouzabadi, S.M.A., Henson, B.W. &, Barnes, C. (2008). A multiple stakeholders' approach to strategic selection decisions. Computers and Industrial Engineering, 54(4), 851-865.
- Konidari, P., & Mavrakis, D. (2007). A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. Energy Policy, 35(12), 6235-6257.
- Kornyshova, E., & Salinesi, C. (2007, April). MCDM techniques selection approaches: state of the art. In Computational Intelligence in Multicriteria Decision Making, IEEE Symposium on (pp. 22-29). IEEE.

www.SID.ir

Archive of SID

- Lesmes, D., Castillo, M., & Zarama, R. (2009, July). Application of the Analytic Network Process (ANP) to Establish Weights In Order To Re-Accredit A Program Of A University. In Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process.
- Loaiciga, H. A., & Church, R. L. (1990). Linear Programs for Nonlinear Hydrologic Estimations. *Journal of the American Water Resources Association*, 26 (4), 645-656.
- Lotfi, F. H., & Fallahnejad, R. (2010). Imprecise Shannon's entropy and multi attribute decision making. Entropy, 12(1), 53-62.
- Maldonado, R. E., Delabastita, W., Wijffels, A., & Jos Van Orshoven, J. (2012). SAGEO, 1-16.
- Marjanovic-Halburd, L., Nasiri, F., & Bell, S. (2016). Assessment of building-integrated green technologies: A review and case study on applications of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) method. Sustainable Cities and Society, 27, 106-115.
- Marković, Z. (2013). Modification of TOPSIS method for solving of multicriteriatasks.Yugoslav *Journal of Operations Research* ISSN: 0354-0243 EISSN: 2334-6043, 20(1).
- Mazurek, J., & Kiszová, Z. (2012). Modelling dependence and feedback in ANP with fuzzy cognitive maps.In Proceedings of the 30th international conference mathematical methods in economics (pp. 558-563).
- Mulliner, E., Malys, N., & Maliene, V. (2016). Comparative analysis of MCDM methods for the assessment of sustainable housing affordability. Omega, 59, 146-156.
- Olson, D. L., Mechitov, A. I., & Moshkovich, H. (1999). Comparison of MCDA paradigms.In Advances in Decision Analysis (pp. 105-119).Springer Netherlands.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European journal of operational research, 156(2), 445-455.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European journal of operational research*, 178(2), 514-529.

www.SID.ir

Archive of SID

- Özcan, T., Çelebi, N., & Esnaf, Ş. (2011). Comparative analysis of multi-criteria decision making methodologies and implementation of a warehouse location selection problem. Expert Systems with Applications, 38(8), 9773-9779.
- Pan, W., Dainty, A. R., & Gibb, A. G. (2012). Establishing and weighting decision criteria for building system selection in housing construction. Journal of Construction Engineering and Management, 138(11), 1239-1250.
- Papadatos, N., & Xifara, T. (2013). A simple method for obtaining the maximal correlation coefficient and related characterizations. Journal of Multivariate Analysis, 118, 102-114.
- Pohekar, S. D., & Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—a review. Renewable and sustainable energy reviews, 8(4), 365-381.
- Qin, X. S., Huang, G. H., Chakma, A., Nie, X. H., & Lin, Q. G. (2008). A MCDM-based expert system for climate-change impact assessment and adaptation planning–A case study for the Georgia Basin, Canada. Expert Systems with Applications, 34(3), 2164-2179.
- Reeves, G. R., & Gonzalez, J. J. (1989). A comparison of two interactive MCDM procedures. *European Journal of Operational Research*, 41(2), 203-209.
- Rowe, G., & Wright, G. (2001). Expert opinions in forecasting: the role of the Delphi technique. In Principles of Forecasting (pp. 125-144).Springer US.
- Sarraf, A. Z., Mohaghar, A., & Bazargani, H. (2013). Developing TOPSIS method using statistical normalization for selecting Knowledge management strategies. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(4), 860-871.
- Saaty, T. L. (1988). What is the analytic hierarchy process? In Mathematical models for decision support. Springer Berlin Heidelberg.
- Saaty, T. L. (2001). Decision making with dependence and feedback: The analytic network process. Pittsburgh. RWS Publications, 7, 557-570.
- Saaty, T. L., & Ozdemir, M. S. (2003). Why the magic number seven plus or minus two. Mathematical and Computer Modelling, 38(3), 233-244.

www.SID.ir

Archive of SID

- Saaty, T. L., & Sagir, M. (2009). An essay on rank preservation and reversal. Mathematical and Computer Modelling, 49(5), 1230-1243.
- Shih, H. S., Shyur, H. J., & Lee, E. S. (2007). An extension of TOPSIS for group decision making. Mathematical and Computer Modelling, 45(7), 801-813.
- Stanujkic, D., Djordjevic, B., & Djordjevic, M. (2013). Comparative analysis of some prominent MCDM methods: A case of ranking Serbian banks. *Serbian Journal of Management*, 8(2), 213-241.
- Thor, J., Ding, S. H., & Kamaruddin, S. (2013). Comparison of multi criteria decision making methods from the maintenance alternative selection perspective. *The International Journal of Engineering and Science*, 2(6), 27-34.
- Triantaphyllou, E., & Sánchez, A. (1997). A sensitivity analysis approach for some deterministic multi-criteria decision-making methods. Decision Sciences, 28(1), 151-194.
- Triantaphyllou, E., Shu, B., Sanchez, S. N., & Ray, T. (1998). Multi-criteria decision making: an operations research approach. Encyclopedia of electrical and electronics engineering, 15(1998), 175-186.
- Triantaphyllou, E. (2013). Multi-criteria decision making methods: a comparative study (Vol. 44). Springer Science & Business Media.
- Tscheikner-Gratl, F., Egger, P., Rauch, W., & Kleidorfer, M. (2017). Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods for Integrated Rehabilitation Prioritization. Water Journal, 9, 1-28.
- Van Wijk, B. L., Klungel, O. H., Heerdink, E. R., & de Boer, A. (2006). A Comparison of Two Multiple-Characteristic Decision-Making Models for the Comparison of Anti-hypertensive Drug Classes. American journal of cardiovascular drugs, 6(4), 251-258.
- Velasquez, M., and Hester, P. T. (2013). An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research*, 10(2), 56-66.
- Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., & Zhao, J. H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(9), 2263-2278.

www.SID.ir

Archive of SID

- Wang, Y. M., & Luo, Y. (2009). On rank reversal in decision analysis. Mathematical and Computer Modelling, 49(5), 1221-1229.
- Wang, M., Lin, S. J., & Lo, Y. C. (2010, December). The comparison between MAUT and ROMETHEE. In Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2010, IEEE, International Conference on (pp. 753-757). IEEE.
- Wang, T. C. (2012). The interactive trade decision-making research: An application case of novel hybrid MCDM model. Economic Modelling, 29(3), 926-935.
- Xiao, G. (2010). Specification of the AHP hierarchy and rank reversal (Doctoral dissertation, University of Delaware).
- Yousuf, M. I. (2007). Using experts' opinions through Delphi technique. Practical assessment, Research &Evaluation, 12(4), 1-8.
- Zanakis, S. H., Solomon, A., Wishart, N., & Dublish, S. (1998). Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods. *European Journal of Operational Research*, 107(3), 507-529.
- Zhu, B., & Xu, Z. (2014). Analytic hierarchy process-hesitant group decision making. European Journal of Operational Research, 239 (3), 794-801.
- Zopounidis, C., & Doumpos, M. (2002). Multi-criteria decision aid in financial decision making: methodologies and literature review. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 11(4-5), 167-186.

www.SID.ir