

توسعه روشی جامع برای تصمیم‌گیری چندشاخصه غیرقطعی مبتنی بر تحلیل رابطه‌ای خاکستری

دکتر محمدرضا مهرگان
دکتر آزاده دباغی

چکیده

مواجهه با مسائل پیچیده دنیای امروز که دربرگیرنده شاخص‌های متعدد کمی و کیفی با جنس‌های متفاوت است، مستلزم بکارگیری روش‌های جامعی است که حالات مختلف این‌گونه مسائل را دربرگیرند. «تصمیم‌گیری چندشاخصه» بیش از پنج دهه است که در فرآیند تصمیم‌سازی، مدیران را یاری نموده است و مطمئناً در دهه‌های آینده نیز با بهبودهایی که در آن متصور است در حوزه‌های مختلف عمومی و تخصصی مدیریت کاربرد خواهد داشت. روش‌های مختلفی برای ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها و بهینه‌سازی تصمیم از منظر شاخص‌های چندگانه در ادبیات تئوری تصمیم‌گیری توسعه یافته است. بکارگیری روش‌های عدم قطعیت مانند تئوری فازی و تئوری سیستم‌های خاکستری، امکان در نظر گرفتن شاخص‌های کیفی یا غیرقطعی را در مسائل تصمیم‌گیری چندشاخصه فراهم ساخته است. روش‌های مختلف نرمال‌سازی ماتریس تصمیم نیز به منظور بی‌بعد سازی شاخص‌های مثبت (هرچه بیشتر بهتر) و منفی (هرچه کمتر بهتر) به کار گرفته شده‌اند. این پژوهش با استفاده از «تحلیل رابطه‌ای خاکستری» به عنوان یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه و از طریق بکارگیری اعداد خاکستری در کنار اعداد قطعی در ماتریس تصمیم‌گیری، امکان در نظر گرفتن هم‌زمان شاخص‌های کیفی و کمی را فراهم می‌سازد؛ و از سوی دیگر با ارائه بهبودهایی در روش‌های نرمال‌سازی موجود، بی‌بعد سازی شاخص‌های بهینه (دارای مقدار مطلوب از پیش تعیین شده) در کنار شاخص‌های مثبت و منفی را امکان‌پذیر می‌نماید. بنابراین در این پژوهش، روشی جامع برای تصمیم‌گیری چندشاخصه ارائه شده است که امکان در نظر گرفتن اولاً شاخص‌های کمی و کیفی و ثانیاً شاخص‌های بهینه، مثبت و منفی را به طور هم‌زمان داراست. در پایان به منظور تشریح روش ارائه شده، یک مثال کاربردی گام به گام پیاده‌سازی و نتایج آن ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چندشاخصه، تحلیل رابطه‌ای خاکستری، شاخص بهینه، GRA

* استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران

** نویسنده مسئول - گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران Dabbaghi@ut.ac.ir

۱- مقدمه و مرور ادبیات

در بسیاری از مسائل از روزمره‌ترین آن‌ها گرفته تا مسائل صنعتی، سازمانی، ملی و جهانی عملاً به دنبال یافتن بهترین «گزینه»، «راهکار»، «استراتژی» یا «کاندیدا» با در نظر گرفتن چندین «هدف»، «شاخص» یا «معیار» هستیم. فرآیند تصمیم‌سازی هنگامی که شرایط مساله مشخص بوده و تنها یک معیار بر مطلوبیت تصمیم موثر باشد، چندان پیچیده نیست. پیچیدگی تصمیم، ناشی از عواملی نظیر تعدد معیارهای تصمیم‌گیری، کیفی بودن شاخص‌ها و عدم وجود اطلاعات کامل در مورد شرایط و پارامترهای مساله است. این‌که چگونه می‌توان با در نظر گرفتن شاخص‌های متفاوت و بعضاً متناقض، از میان گزینه‌های مختلف، بهترین را انتخاب کرد در ادبیات تصمیم‌گیری چند شاخصه قابل جستجو است. روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه روش‌های انتخاب‌گر هستند. به عبارت بهتر برای یافتن گزینه‌ی بهینه از میان m گزینه موجود با در نظر گرفتن n شاخص به کار می‌روند (اصغری‌پور، ۱۳۸۵).

«تئوری سیستم‌های خاکستری»^۱ در سال ۱۹۸۲ توسط «دنگ» معرفی شد (Deng, 1982). کارآمدی این روش در مواجهه با عدم قطعیت و اطلاعات ناکافی اثبات شده است (ملک و دباغی، ۱۳۹۰؛ Kuo et al, 2008). «تحلیل رابطه‌ای خاکستری»^۲ نیز به عنوان روشی برای حل مسائل مختلف تصمیم‌گیری چند شاخصه تاکنون در حوزه‌های متعدد تخصصی و عمومی مدیریت به کار گرفته شده است (Tzeng & Huang, 2011; Wu, 2002). تحلیل رابطه‌ای خاکستری، مساله تصمیم‌گیری چند شاخصه را در قالب سیستمی شامل m دنباله به طول n تعریف می‌نماید و ضمن معرفی دنباله‌ی مرجع، روشی کمی برای سنجش فاصله بین دنباله متناظر با هر گزینه و دنباله مرجع ارائه می‌دهد (Chen & Tzeng, 2004). معرفی این روش به تفصیل در بخش دو بیان شده است. یکی از مزایای تحلیل رابطه‌ای خاکستری در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه این است که محدودیتی در مورد حجم نمونه و نرمال بودن توزیع داده‌ها وجود ندارد و علاوه بر آن شیوه محاسباتی آن نیز آسان است (محمدی و دیگران، ۱۳۹۱). در این پژوهش برای مواجهه با عدم قطعیت تصمیم‌گیری، از تئوری سیستم‌های خاکستری استفاده شده است. در خصوص شاخص‌های کیفی یا شاخص‌هایی که اندازه‌گیری آنها در

1- Grey Systems Theory

2- Grey Relational Analysis

شرایط عدم قطعیت مطرح می‌شود اعداد خاکستری در ماتریس تصمیم‌گیری بکار گرفته شده‌اند. مزیت تئوری خاکستری بر تئوری فازی این است که می‌تواند به خوبی در شرایط فازی عمل نماید (Deng, 1989). بکارگیری تئوری فازی مستلزم تشخیص تابع عضویت مربوطه بر اساس تجربه خبرگان است. اما تئوری خاکستری بدون در نظر داشتن تابع عضویت و بر اساس محدوده اطلاعات در دسترس نیز به خوبی عمل می‌نماید (Liu & Lin, 2006).

مروری مقایسه‌ای بر برخی پژوهش‌های انجام شده در حوزه تحلیل رابطه‌ای خاکستری از منظر ویژگی و ماهیت شاخص‌های تصمیم‌گیری در جدول ۱ خلاصه شده است. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، تحلیل رابطه‌ای خاکستری به عنوان روشی کمی در ادبیات موضوع مطرح بوده است و با در نظر گرفتن شاخص‌ها در شرایط قطعیت، اعداد کمی را در ماتریس تصمیم‌گیری لحاظ می‌کرده است (ردیف ۷ الی ۲۰ جدول ۱). تعداد محدودی از پژوهش‌ها نیز با استفاده از اعداد فازی (ردیف ۱ تا ۴ جدول ۱)، خاکستری (ردیف ۵ جدول ۱) و بازه‌ای (ردیف ۶ جدول ۱) در ماتریس تصمیم‌گیری توانسته‌اند شاخص‌های کیفی (یا شاخص‌هایی که در شرایط عدم قطعیت مورد سنجش قرار می‌گیرند) را در نظر بگیرند. اما در مرور انجام شده، پژوهشی که امکان لحاظ هر دو دسته شاخص کیفی و کمی را به طور همزمان فراهم نموده باشد مشاهده نشد. از طرف دیگر اکثر پژوهش‌های انجام شده شاخص‌های مثبت (هرچه بیشتر بهتر) و منفی (هرچه کمتر بهتر) را در نظر گرفته‌اند و تعداد کمی از پژوهش‌ها بر شاخص‌های بهینه (دارای مقدار مطلوب از پیش تعیین شده) تمرکز دارد (ردیف ۱۷ تا ۲۰ جدول ۱).

جدول ۱: مرور مقایسه ای ادبیات تحلیل رابطه ای خاکستری

زمینه کاربردی	درایه های ماتریس تصمیم گیری	ماهیت شاخص		جهت شاخص			منبع
		غیر قطعی	قطعی	بهینه	مثبت	منفی	
عملکرد مالی	اعداد فازی	✓			✓	✓	Wang, 2008
ماشینکاری	اعداد فازی	✓			✓	✓	Lin et al, 2002
فاضلاب	اعداد فازی	✓			✓	✓	Zeng et al, 2007
مدیریت دانش زیست محیطی	اعداد فازی	✓			✓		Tseng, 2010
ارزیابی تأمین کننده	اعداد خاکستری	✓			✓	✓	Li et al, 2008
مثال عددی	اعداد بازه‌ای	✓			✓	✓	Zhang et al, 2005
مثال عددی	اعداد قطعی		✓		✓	✓	Deng, 1989
تشخیص عیب	اعداد قطعی		✓		✓		He & Hwang, 2007
انتخاب مواد	اعداد قطعی		✓		✓	✓	Chan & Tong, 2007
ماشینکاری الکتروشیمیایی	اعداد قطعی		✓		✓	✓	Chakradhar & Gopal, 2011
بهینه سازی طراحی مبدل حرارتی مسطح	اعداد قطعی		✓		✓	✓	Manivannan et al, 2011
LGR بهینه سازی طراحی	اعداد قطعی		✓		✓	✓	Yang et al, 2012
امنیت در برابر آتش	اعداد قطعی		✓		✓	✓	Lo et al, 2005
پولیش ضدزنگ فولاد	اعداد قطعی		✓		✓	✓	Kao & Hocheng, 2003
ماشین کاری	اعداد قطعی		✓		✓	✓	Chiang, K. T., and Chang, 2006
بوiler بیوماس	اعداد قطعی		✓		✓	✓	Moran et al, 2006
عملکرد مالی	اعداد قطعی		✓	✓	✓	✓	Kung & Wen, 2007
تعیین مشخصات ماشین کاری	اعداد قطعی		✓	✓	✓	✓	Tosun, 2006
قالب گیری تزریقی	اعداد قطعی		✓	✓	✓	✓	Fung, 2003
انتخاب طرح جانمایی و قواعد صف در کارگاه	اعداد قطعی		✓	✓	✓	✓	Kuo et al, 2008
انتخاب مخازن جهت ازدیاد برداشت نفت	اعداد قطعی و خاکستری	✓	✓	✓	✓	✓	این پژوهش

به این منظور پس از بیان مقدمه، در بخش دوم مبانی نظری شامل معرفی «تحلیل رابطه‌ای خاکستری» و «تئوری سیستم‌های خاکستری» ارائه می‌گردد. در بخش سوم ضرورت و اهمیت پژوهش تشریح می‌گردد. بخش چهارم به بیان هدف اصلی پژوهش می‌پردازد. در بخش پنجم، متدولوژی مربوط به روش جامع تصمیم‌گیری مبتنی بر «تحلیل رابطه‌ای خاکستری» ارائه و روابط آن بیان می‌شود. متدولوژی ارائه شده در قالب یک مثال کاربردی در بخش ششم پیاده‌سازی شده و مراحل آن گام به گام تشریح می‌گردد. بخش هفتم نیز به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات اختصاص یافته است.

۲- مبانی نظری

۲-۱- تحلیل رابطه‌ای خاکستری

در مبانی روش «تحلیل رابطه‌ای خاکستری»، دنباله‌ای^۱ از داده‌ها مشخص شده و معیاری برای اندازه‌گیری رابطه بین دو دنباله فراهم می‌شود. اگر دنباله مرجع $x = \{x(1), x(2), \dots, x(n)\}$ موجود باشد و بخواهیم رابطه آن را با m تا دنباله به شرح زیر اندازه‌گیری کنیم:

$$x_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\}, i = 1, 2, \dots, m$$

که در آن $x_i(k)$ مقدار k مین شاخص در دنباله x_i است. و n تا مشخصه ($k = 1, 2, \dots, n$) در نظر گرفته شده است.

ضریب رابطه‌ای خاکستری (GRC)^۲ برای x_i نسبت به x_0 در k مین شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{oi(k)} + \rho \Delta_{\max}} \quad (1)$$

که در آن

$$\Delta_{\max} = \max_{vi, vk} L(x_0(k), x_i(k))$$

$$\Delta_{\min} = \min_{vi, vk} L(x_0(k), x_i(k))$$

$$\Delta_{oi(k)} = L(x_0(k), x_i(k))$$

L فاصله بین دو دنباله از منظر هر یک از شاخص‌ها است. و $\rho = [0, 1]$ ضریب تفکیک است که در کاربردها عموماً ۰.۵ فرض می‌شود.

1- Sequence

2- Grey relational coefficient

امتیاز رابطه‌ای خاکستری^۱ (GRG) بین دنباله $\otimes x_i$ و $\otimes x_0$ با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Gamma_{0i} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{n} \gamma(\otimes x_0(k), \otimes x_i(k)) \quad (2)$$

مقدار امتیاز رابطه‌ای خاکستری محاسبه شده Γ_{0i} میزان رابطه بین دنباله مرجع با هریک از دنباله‌های مقایسه شده را مشخص می‌کند. هرچقدر مقدار امتیاز رابطه‌ای خاکستری بزرگ‌تر باشد یعنی دنباله مقایسه شده به دنباله مرجع شبیه‌تر یا نزدیک‌تر است (Li et al, 2008).

۲-۲- تئوری سیستم‌های خاکستری

«سیستم‌های خاکستری» بر پایه رنگ موضوعات تحت بررسی نام‌گذاری شده است. به گونه‌ای که میزان روشنی رنگ‌ها نشان‌دهنده میزان وضوح اطلاعات و داده‌ها است. بر این اساس سیستم‌های با اطلاعات کاملاً معلوم را «سیستم سفید» P، سیستم‌های با اطلاعات ناشناخته و یا بدون داده «سیستم سیاه» P و سیستم‌های با اطلاعات بخشی معلوم و بخشی ناشناخته را «سیستم خاکستری» P می‌نامند (Li & Liu, 2008). همچنین تئوری خاکستری از برخی مفروضه‌ها و اصول اصلی شامل اصول اختلاف، غیر یکتایی در جواب، حداقل اطلاعات، شناخت محوری، اولویت اطلاعات جدید و خاکستری بودن اطلاعات تبعیت می‌کند (Liu & Lin, 2006).

ریشه‌ی عدم قطعیت موجود در مسائل را می‌توان در دو نوع عدم قطعیت نهفته دانست. اولین نوع عدم قطعیت، «عدم قطعیت تصادفی»^۲ است که ناشی از ماهیت تصادفی^۳ تصادفی^۳ مسأله است که با استفاده از آمار و احتمال و الگوها و توابع توزیع آماری توصیف می‌گردد. مطالعه این جنبه از پدیده‌ها مبتنی بر نمونه‌هایی با حجم زیاد و این مفروضه است که این نمونه‌ها از یک الگوی مشخص تحت عنوان توزیع احتمال پیروی می‌کنند (Liu & Lin, 2006). دومین نوع عدم قطعیت، «عدم قطعیت ادراکی»^۴ است که ناشی از پیچیدگی ذاتی پدیده و کمبود اطلاعات کامل درمورد آن است (Deng, 1985). برای توصیف و مطالعه این جنبه از پدیده‌ها تئوری سیستم‌های خاکستری بعنوان بسط یافته‌ی

1-Grey relational grade

2 -Stochastic uncertainty

3 -Randomness

4 -Recognitive uncertainties

تئوری فازی در شرایط با داده‌های کم یا اطلاعات کیفی ناکامل^۱ توسعه یافته است. تئوری خاکستری می‌تواند شرایط فازی بودن را دربرگیرد. به عبارت بهتر تئوری خاکستری به خوبی در شرایط فازی عمل می‌نماید (Deng, 1989). بکارگیری تئوری فازی مستلزم تشخیص تابع عضویت مربوطه بر اساس تجربه خبرگان یا داده‌های وسیع است. اما تئوری خاکستری بدون آن و بر اساس محدوده اطلاعات در دسترس نیز عمل می‌نماید (Liu & Lin, 2006). تعریف اعداد و مجموعه‌های قطعی، بازه‌ای، فازی و خاکستری و تفاوت میان آن‌ها به تفصیل در (Jun, 1993؛ ملک و دباغی، ۱۳۹۰) بیان شده است.

تعریف ۱- عدد خاکستری

عدد خاکستری عددی است که مقدار دقیق آن معلوم نیست اما محدوده‌ای که در آن قرار می‌گیرد مشخص است. به عبارتی عدد خاکستری یک بازه یا مجموعه‌ای از اعداد است. در حالت کلی فرض کنید X مجموعه مرجع باشد. آنگاه مجموعه خاکستری G از مجموعه مرجع X با دو نماد $\bar{G}(x)$ و $\underline{G}(x)$ بر اساس رابطه ۳ تعریف می‌شود (Sadeghieh et al, 2012).

$$\begin{cases} \bar{G}(x): x \rightarrow [0,1] \\ \underline{G}(x): x \rightarrow [0,1] \end{cases} \quad (3)$$

که در این رابطه $\bar{G}(x) \geq \underline{G}(x)$ و $x \in X$ می‌باشد. $\bar{G}(x)$ و $\underline{G}(x)$ به ترتیب حد بالا و حد پایین از تابع عضویت G می‌باشند. هنگامی که $\bar{G}(x) = \underline{G}(x)$ باشد، مجموعه خاکستری G تبدیل به مجموعه فازی می‌شود. این قابلیت نشان‌دهنده شمول تئوری خاکستری نسبت به شرایط فازی و انعطاف آن در مواجهه با مسائل غیر قطعی است (Li et al, 2007).

تعریف ۲- عملگرهای اصلی خاکستری

بطور کلی روابط تعریف شده میان اعداد حقیقی برای مجموعه‌های خاکستری نیز قابل تعمیم است (Liu & Lin, 2006). عملگرهای بازه‌ای توسط «مور» گسترش یافت (Moore, 1966). عملگرهای میان دو عدد خاکستری $\otimes G_1 = [\underline{G}_1, \bar{G}_1]$ و $\otimes G_2 = [\underline{G}_2, \bar{G}_2]$ در قالب روابط ۴ تا ۷ قابل تعریف است (Wu et al, 2005).

$$\otimes G_1 + \otimes G_2 = [\underline{G}_1 + \underline{G}_2, \overline{G}_1 + \overline{G}_2] \quad (۴)$$

$$\otimes G_1 - \otimes G_2 = [\underline{G}_1 - \underline{G}_2, \overline{G}_1 - \overline{G}_2] \quad (۵)$$

(۶)

$$\otimes G_1 \times \otimes G_2 = [\min(\underline{G}_1 \underline{G}_2, \underline{G}_1 \overline{G}_2, \overline{G}_1 \underline{G}_2, \overline{G}_1 \overline{G}_2), \max(\underline{G}_1 \underline{G}_2, \underline{G}_1 \overline{G}_2, \overline{G}_1 \underline{G}_2, \overline{G}_1 \overline{G}_2)]$$

$$\otimes G_1 \div \otimes G_2 = [\underline{G}_1, \overline{G}_1] \times \left[\frac{1}{\underline{G}_2}, \frac{1}{\overline{G}_2} \right] \quad (۷)$$

اگر k یک عدد حقیقی مثبت باشد، ضرب عددی آن در مجموعه خاکستری G به صورت رابطه ۸ خواهد بود:

$$k \cdot \otimes G = [k \underline{G}_1, k \overline{G}_2] \quad (۸)$$

تعریف ۳- فاصله مینکفسکی

فاصله مینکفسکی^۱ بین دو عدد $\otimes G_1$ و $\otimes G_2$ به صورت رابطه ۹ تعریف می‌شود (Dang et al, 2006).

$$D_{G_1 G_2} = \frac{1}{\sqrt[p]{2}} \left[(\underline{G}_1 - \underline{G}_2)^p + (\overline{G}_1 - \overline{G}_2)^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (۹)$$

با استفاده از رابطه مینکفسکی می‌توان نشان داد در صورتی که $\otimes G_1$ و $\otimes G_2$ دو عدد قطعی عضو مجموعه اعداد حقیقی باشند یعنی $\underline{G}_1 = \overline{G}_1$ و $\underline{G}_2 = \overline{G}_2$ ، در این صورت رابطه ۱۰ برقرار است:

(۱۰)

$$D_{G_1 G_2} = \frac{1}{\sqrt[p]{2}} \left[2(\underline{G}_1 - \underline{G}_2)^p \right]^{\frac{1}{p}} = \left(\frac{1}{\sqrt[p]{2}} \right) (2^{\frac{1}{p}}) \left[(\underline{G}_1 - \underline{G}_2)^p \right]^{\frac{1}{p}} = \left(\frac{\sqrt[p]{2}}{\sqrt[p]{2}} \right) |\underline{G}_1 - \underline{G}_2| = |\underline{G}_1 - \underline{G}_2|$$

۳- بیان مساله و اهمیت پژوهش

در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره در دنیای واقعی، ضروری است معیارهای کمی و کیفی به طور هم‌زمان در ارزیابی و انتخاب در نظر گرفته شوند

(Erol & Ferrell, 2003; *حاله و دیگران*, ۱۳۸۶). از سوی دیگر به جز شاخص‌های مثبت (هرچه بیشتر بهتر) و شاخص‌های منفی (هرچه کمتر بهتر) که در ادبیات تصمیم‌گیری و تحلیل چندشاخصه^۱ متداول هستند، از منظر جهت شاخص‌ها، نوع دیگری از شاخص وجود دارد که دارای مقدار مطلوب از پیش تعیین شده است. چنین شاخصی در این پژوهش به اختصار شاخص بهینه نامیده شده است. در پژوهش‌های مدیریت به ویژه زمانی که مشخصه یا عملکرد ویژه (مانند وزن)، سطح انتظار یا استاندارد مشخص و تعریف شده‌ای در تصمیم‌گیری مطرح باشد، بکارگیری شاخص‌های از نوع بهینه اجتناب‌ناپذیر می‌گردد. همان‌طور که در بخش یک اشاره شد روشی جامع که ضمن در نظر گرفتن هم‌زمان شاخص‌های کیفی و کمی، امکان لحاظ کردن همه انواع شاخص‌ها اعم از مثبت، منفی و بهینه را فراهم کند در مرور ادبیات تحلیل رابطه‌ای خاکستری توسط نویسندگان مشاهده نشده است.

۴-هدف پژوهش

با توجه به شکاف مطالعاتی که در بخش یک تشریح و در بخش سه جمع‌بندی گردید، هدف از این پژوهش ارائه روشی جامع برای تصمیم‌گیری چند شاخصه غیرقطعی مبتنی بر تحلیل رابطه‌ای خاکستری است که از یک سو امکان در نظر گرفتن همه انواع شاخص‌ها اعم از مثبت، منفی و بهینه را فراهم کند و از سوی دیگر از طریق بکارگیری اعداد خاکستری در کنار اعداد قطعی^۲ در ماتریس تصمیم‌گیری، در نظر گرفتن هم‌زمان شاخص‌های کیفی و کمی را میسر سازد (ردیف ۲۱ جدول ۱). متدلوژی مربوط به روش توسعه یافته، گام به گام در بخش پنج تشریح می‌گردد.

۵-متدلوژی

در حالت کلی فرض کنید $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ مجموعه گسسته گزینه‌ها و $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_k, Q_{k+1}, \dots, Q_n\}$ مجموعه n تایی از شاخص‌های مستقل باشد؛ این شاخص‌ها می‌تواند شامل k تا شاخص کیفی و $(n-k)$ تا شاخص کمی باشد. به این ترتیب می‌توان روش تصمیم‌گیری جامع این مقاله را در قالب گام‌های زیر ارائه نمود:

1 -Multi criteria decision analysis (MCDA)

2 -Crisp

گام اول - تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

برای ارزیابی هر یک از گزینه‌ها از نظر شاخص‌های کمی ($Q_{k+1}, Q_{k+2}, \dots, Q_n$) از اعداد قطعی که در مجموعه اعداد حقیقی بیان می‌گردد و آنرا با R_{ij} نمایش می‌دهیم، استفاده می‌شود. در خصوص شاخص‌های کیفی یا شاخص‌هایی که اندازه‌گیری آنها در شرایط عدم قطعیت مطرح می‌شود از اعداد خاکستری $\otimes G_{ij}$ استفاده شده است. به این ترتیب ماتریس تصمیم‌گیری که هم‌زمان دارای درایه‌های قطعی و خاکستری است با استفاده از رابطه ۱۱ تشکیل می‌گردد.

$$D = \begin{pmatrix} \begin{matrix} \xleftarrow{\text{non-deterministic attributes}} & \xrightarrow{\text{deterministic attributes}} \\ \otimes G_{11} & \otimes G_{12} & \cdots & \otimes G_{1k} & R_{1,k+1} & R_{1k+2} & \cdots & R_{1n} \\ \otimes G_{21} & \otimes G_{22} & \cdots & \otimes G_{2k} & R_{2,k+1} & R_{2,k+2} & \cdots & R_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes G_{m1} & \otimes G_{m2} & \cdots & \otimes G_{mk} & R_{m,k+1} & R_{m,k+2} & \cdots & R_{mn} \end{matrix} \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \end{pmatrix} \quad (11)$$

گام دوم - نرمال سازی ماتریس تصمیم‌گیری

با توجه به یکسان نبودن جنس و ماهیت شاخص‌ها^۱ پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری، بایستی نسبت به بی‌بُعد سازی آن اقدام نمود تا امکان ارزیابی و مقایسه از منظر همه شاخص‌ها فراهم گردد. ارائه روشی جامع، مستلزم ارائه‌ی روابطی است که بتواند مقادیر ماتریس را با در نظر گرفتن انواع مختلف شاخص‌های مربوطه اعم از مثبت، منفی، بهینه، کمی و کیفی بی‌بُعد نماید. به این منظور با استفاده از مجموعه روابط مندرج در جدول ۲، ماتریس تصمیم‌گیری نرمال شده با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود. در جدول ۲، روابط ۴ و ۶ برگرفته از کتاب Tzeng&Huang (2011) و روابط ۵ و ۷ برگرفته از مقاله Li et al (2007) و رابطه ۸ برگرفته از مقاله Kuo et al (2008) است.

$$D^* = \begin{pmatrix} \begin{matrix} \otimes G_{11}^* & \otimes G_{12}^* & \cdots & \otimes G_{1k}^* & R_{1,k+1}^* & R_{1k+2}^* & \cdots & R_{1n}^* \\ \otimes G_{21}^* & \otimes G_{22}^* & \cdots & \otimes G_{2k}^* & R_{2,k+1}^* & R_{2,k+2}^* & \cdots & R_{2n}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \otimes G_{m1}^* & \otimes G_{m2}^* & \cdots & \otimes G_{mk}^* & R_{m,k+1}^* & R_{m,k+2}^* & \cdots & R_{mn}^* \end{matrix} \end{pmatrix} \quad (12)$$

جدول ۲: روابط نرمال سازی ماتریس تصمیم

شاخص مثبت	کمی	$R_{ij}^* = \frac{R_{ij}}{R_j^{\max}}, R_j^{\max} = \max_{1 \leq i \leq m} \{R_{ij}\}, k+1 \leq j \leq n \quad (13)$
	کیفی	$\otimes G_{ij}^* = \left[\frac{G_{ij}}{G_j^{\max}}, \frac{\bar{G}_{ij}}{G_j^{\max}} \right], G_j^{\max} = \max_{1 \leq i \leq m} \{\bar{G}_{ij}\}, j = 1, 2, \dots, k \quad (14)$
شاخص منفی	کمی	$R_{ij}^* = \frac{R_j^{\min}}{R_{ij}}, R_j^{\min} = \min_{1 \leq i \leq m} \{R_{ij}\}, k+1 \leq j \leq n \quad (15)$
	کیفی	$\otimes G_{ij}^* = \left[\frac{G_j^{\min}}{\bar{G}_{ij}}, \frac{G_j^{\min}}{G_{ij}} \right], G_j^{\min} = \min_{1 \leq i \leq m} \{G_{ij}\}, j = 1, 2, \dots, k \quad (16)$
شاخص بهینه	کمی	$R_{ij}^* = 1 - \frac{ R_{ij} - R_{Oj} }{ \sim - R_{Oj} } \begin{cases} \sim = R_j^{\max} & \text{if } R_j^{\max} - R_{Oj} \geq R_{Oj} - R_j^{\min} \\ \sim = R_j^{\min} & \text{if } R_j^{\max} - R_{Oj} < R_{Oj} - R_j^{\min} \end{cases} \quad (17)$ $R_j^{\max} = \max_{1 \leq i \leq m} \{R_{ij}\}, R_j^{\min} = \min_{1 \leq i \leq m} \{R_{ij}\}, k+1 \leq j \leq n$
	کیفی	$\otimes G_{ij}^* = \left[1 - \frac{ G_{ij} - G_{Oj} }{ \sim_1 - G_{Oj} }, 1 - \frac{ \bar{G}_{ij} - \bar{G}_{Oj} }{ \sim_2 - \bar{G}_{Oj} } \right] \quad G_{ij}^* \leq \bar{G}_{ij}^*, j = 1, 2, \dots, k$ $\begin{cases} \sim_1 = G_j^{\max} & \text{if } G_j^{\max} - G_{Oj} \geq G_{Oj} - G_j^{\min} \\ \sim_1 = G_j^{\min} & \text{if } G_j^{\max} - G_{Oj} < G_{Oj} - G_j^{\min} \\ \sim_2 = \bar{G}_j^{\max} & \text{if } \bar{G}_j^{\max} - \bar{G}_{Oj} \geq \bar{G}_{Oj} - \bar{G}_j^{\min} \\ \sim_2 = \bar{G}_j^{\min} & \text{if } \bar{G}_j^{\max} - \bar{G}_{Oj} < \bar{G}_{Oj} - \bar{G}_j^{\min} \end{cases}$ $\underline{G}_j^{\max} = \max_{1 \leq i \leq m} \{G_{ij}\}, \underline{G}_j^{\min} = \min_{1 \leq i \leq m} \{G_{ij}\}, \quad (18)$ $\bar{G}_j^{\max} = \max_{1 \leq i \leq m} \{\bar{G}_{ij}\}, \bar{G}_j^{\min} = \min_{1 \leq i \leq m} \{\bar{G}_{ij}\}$

در روابط فوق R_{Oj} و G_{Oj} به ترتیب مقادیر بهینه از پیش تعیین شده به ترتیب برای زمین شاخص کیفی و کمی است. همچنین $\otimes G_{Oj} = [\underline{G}_{Oj}, \bar{G}_{Oj}]$ می‌باشد.

گام سوم- تعریف گزینه مرجع

یک دنباله مرجع که در حقیقت گزینه ایده آل مفروض است با استفاده از رابطه ۱۹ تعریف می‌شود (Golmohammadi & Mellat parast, 2012) تا مبنایی برای ارزیابی و مقایسه دنباله متناظر با هریک از گزینه‌ها فراهم گردد.

$$A_0 = \left\{ \left[\max_{1 \leq i \leq m} \underline{G}_{i1}^*, \max_{1 \leq i \leq m} \bar{G}_{i1}^* \right], \dots, \left[\max_{1 \leq i \leq m} \underline{G}_{ik}^*, \max_{1 \leq i \leq m} \bar{G}_{ik}^* \right], \max_{1 \leq i \leq m} R_{i,k+1}^*, \dots, \max_{1 \leq i \leq m} R_{im}^* \right\}$$

گام چهارم- محاسبه ضریب رابطه ای خاکستری

ضریب نسبی خاکستری^۱ که با $\langle_{0i(j)}$ نمایش داده می‌شود، بین گزینه A_i و گزینه مرجع با در نظر گرفتن معیار λ ام با استفاده از رابطه ۲۰ محاسبه می‌شود (Kuo et al, 2008).

$$\langle_{0i(j)} = \frac{\min_i \min_j \{d_{0i(j)}\} + \dots \max_i \max_j \{d_{0i(j)}\}}{d_{0i(j)} + \dots \max_i \max_j \{d_{0i(j)}\}} \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n.$$

در این رابطه عبارت $d_{0i(j)}$ فاصله یا اختلاف بین گزینه A_i و گزینه مرجع با در نظر گرفتن معیار λ ام است که در این مقاله از تعریف فاصله مینکفسکی (روابط ۹ و ۱۰) محاسبه می‌گردد. $\dots \in [0,1]$... ضریب تفکیک است که معمولاً ۰.۵ در نظر گرفته می‌شود (Chang & Lin, 1999; Lin et al, 2007).

گام پنجم- محاسبه امتیاز رابطه ای خاکستری

امتیاز رابطه‌ای خاکستری^۲ بین گزینه A_i و مرجع از رابطه ۲۱ بدست می‌آید.

$$X_{0i} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \langle_{0i(j)} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (21)$$

در این رابطه w_j وزن معیارهاست، به گونه‌ای که $w_j > 0$ و $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

امتیاز رابطه‌ای خاکستری در حقیقت بیانگر تشابه میان هریک از گزینه‌ها با گزینه مرجع (ایده آل) است (Fung, 2003). بدیهی است هرچقدر امتیاز رابطه‌ای خاکستری محاسبه شده برای گزینه i ام (X_{0i}) مقدار بیشتری داشته باشد آن گزینه مطلوب‌تر است.

1- Grey relational coefficient

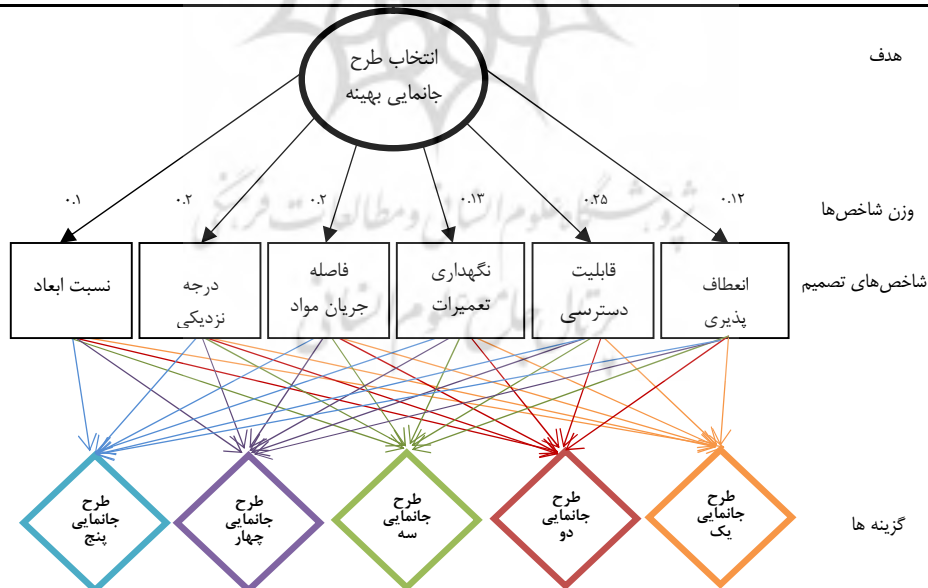
2- Grey relational grade

۶-بکارگیری روش و تحلیل یافته‌ها

متدولوژی ارائه شده در بخش پنج در قالب یک مثال کاربردی که برگرفته از مقاله Kuo et al (2008) است، در این بخش پیاده‌سازی شده و مراحل آن گام به گام تشریح می‌گردد. فرض کنید یک کارخانه در نظر دارد از میان پنج طرح جانمایی^۱ پیشنهاد شده برای یکی از خطوط تولیدی خود، طرح جانمایی بهینه را با توجه به شاخص‌های مندرج در جدول ۳ انتخاب نماید. ساختار کلی مساله تصمیم‌گیری در شکل ۱ نمایش داده شده است. تعاریف مربوط به هر یک از شاخص‌ها به پیوست آمده است.

جدول ۳: معرفی شاخص‌ها

شماره شاخص	عنوان شاخص	ماهیت شاخص	جهت شاخص	وزن اهمیت شاخص
Q_1	انعطاف پذیری	کیفی	مثبت	۰.۱۲
Q_2	قابلیت دسترسی	کیفی	مثبت	۰.۲۵
Q_3	نگهداری تعمیرات	کیفی	مثبت	۰.۱۳
Q_4	فاصله جریان مواد	کمی	منفی	۰.۲
Q_5	درجه نزدیکی	کمی	مثبت	۰.۲
Q_6	نسبت ابعاد	کمی	بهینه	۰.۱



شکل ۱: ساختار کلی مساله تصمیم‌گیری

گام اول

از میان شش شاخص در نظر گرفته شده ($n = 6$)، به ترتیب سه شاخص کیفی ($k = 3$) و سه شاخص کمی را به عنوان ستون‌های ماتریس تصمیم‌گیری در نظر می‌گیریم. پنج طرح جانمایی پیشنهادی نیز به عنوان گزینه در سطرهای ماتریس در نظر گرفته می‌شوند. به این ترتیب ماتریسی با اندازه 5×6 به صورت زیر تشکیل می‌گردد:

	سختی	سهولت	میزان	تعداد	میانگین	میانگین
طرح جانمایی یک	3.7	125	8	[0.66 , 0.80]	[0.44 , 0.58]	[0.26 , 0.35]
طرح جانمایی دو	2.8	228	9	[0.52 , 0.70]	[0.42 , 0.58]	[0.32 , 0.44]
طرح جانمایی سه	2.2	185	5	[0.50 , 0.64]	[0.46 , 0.56]	[0.44 , 0.54]
طرح جانمایی چهار	8.2	204	10	[0.12 , 0.28]	[0.40 , 0.54]	[0.36 , 0.48]
طرح جانمایی پنج	7.7	170	8	[0.48 , 0.62]	[0.26 , 0.40]	[0.18 , 0.32]

شایان ذکر است مقادیر مندرج در ماتریس فوق به عنوان یک مثال مفروض در نظر گرفته شده است. در شرایط واقعی، برای برای ارزیابی هر یک از گزینه‌ها از نظر شاخص‌های کمی فوق می‌توان از خروجی نرم افزارهای توسعه طرح‌های جانمایی مانند PLANET^۱، CORELAP^۲ و ALDEP^۳ استفاده نمود. همچنین به منظور ارزیابی گزینه‌ها از نظر شاخص‌های کیفی نیز می‌توان از مقیاس اعداد خاکستری با استفاده از جمع‌آوری قضاوت خبرگان در صنعت مورد بررسی اقدام نمود (Golmohammadi & Mellatparast, 2012).

گام دوم

به منظور نرمال‌سازی مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری در خصوص شاخص‌های «قابلیت دسترسی»، «نگهداری تعمیرات» و «انعطاف‌پذیری» که کیفی و مثبت هستند از رابطه ۱۴، برای شاخص «درجه نزدیکی» که کمی و مثبت است از رابطه ۱۳، برای شاخص «فاصله جریان مواد» که کمی و منفی است از رابطه ۱۵، و در خصوص شاخص «نسبت ابعاد» که

1-Plant Layout ANalysis and Evaluation Technique

2-Computerized Relationship LAYout Planning

3- Automated Layout DESign Program

کمی و بهینه است از رابطه ۱۷ استفاده شده است. به عنوان نمونه در خصوص نحوه نرمال-سازی با استفاده از روابط مذکور، نرمال‌سازی مقادیر شاخص «نسبت ابعاد» که ستون آخر ماتریس تصمیم‌گیری را به خود اختصاص داده است، تشریح می‌گردد. مقدار بهینه شاخص $R_{Oj} = 3$ در نظر گرفته شده است (پیوست). همچنین بیشترین مقدار ستون $R_j^{\max} = 8.2$ و کم‌ترین مقدار ستون $R_j^{\min} = 2.2$ است؛ از آن جا که $|R_j^{\max} - R_{Oj}| \geq |R_{Oj} - R_j^{\min}|$ می‌باشد، لذا $R_j^{\max} = 8.2$ در نظر گرفته شده است. به این ترتیب برای هر یک از درایه‌های این ستون با استفاده از رابطه ۱۷ مقدار نرمال شده محاسبه می‌گردد. به عنوان نمونه برای درایه‌ی سطر دوم و ستون ششم داریم:

$$R_{26}^* = 1 - \left| \frac{2.8 - 3}{8.2 - 3} \right| = 0.96$$

به این ترتیب ماتریس نرمال‌سازی شده به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$D^* = \begin{bmatrix} [0.48, 0.65] & [0.76, 1.00] & [0.83, 1.00] & 0.80 & 1.00 & 0.87 \\ [0.59, 0.81] & [0.72, 1.00] & [0.65, 0.88] & 0.90 & 0.55 & 0.96 \\ [0.81, 1.00] & [0.79, 0.97] & [0.63, 0.80] & 0.50 & 0.68 & 0.85 \\ [0.67, 0.89] & [0.69, 0.93] & [0.15, 0.35] & 1.00 & 0.61 & 0.00 \\ [0.33, 0.59] & [0.45, 0.69] & [0.60, 0.78] & 0.80 & 0.74 & 0.10 \end{bmatrix}$$

گام سوم

دنباله مرجع با استفاده از رابطه ۱۹ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$A_0 = \{[0.815, 1], [0.793, 1], [0.825, 1], 1, 1, 0.962\}$$

گام چهارم

ابتدا با استفاده از رابطه ۹ برای شاخص‌های کیفی و با استفاده از رابطه ۱۰ برای شاخص‌های کمی، فاصله مینکفسکی بین هر طرح جانمایی (گزینه) و گزینه مرجع ($d_{0i(j)}$) محاسبه می‌گردد که نتایج آن به صورت زیر است:

$$d_{0i(j)} = \begin{bmatrix} 0.34 & 0.02 & 0.00 & 0.20 & 0.00 & 0.10 \\ 0.20 & 0.05 & 0.15 & 0.10 & 0.45 & 0.00 \\ 0.00 & 0.02 & 0.20 & 0.50 & 0.32 & 0.12 \\ 0.13 & 0.09 & 0.66 & 0.00 & 0.39 & 0.96 \\ 0.45 & 0.33 & 0.22 & 0.20 & 0.26 & 0.87 \end{bmatrix}$$

همان طور که در ماتریس فاصله مینکفسکی فوق مشاهده می‌شود کوچک‌ترین درایه $\min \min \{d_{0i(j)}\} = 0$ و بزرگ‌ترین درایه $\max \max \{d_{0i(j)}\} = 0.96$ است. به این ترتیب با استفاده از رابطه ۲۰، ضریب نسبی خاکستری بین هر گزینه و دنباله مرجع با در نظر گرفتن شاخص زام به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d_{0i(j)} = \begin{vmatrix} 0.58 & 0.95 & 1.00 & 0.71 & 1.00 & 0.83 \\ 0.70 & 0.91 & 0.76 & 0.83 & 0.52 & 1.00 \\ 1.00 & 0.95 & 0.71 & 0.49 & 0.60 & 0.81 \\ 0.79 & 0.85 & 0.42 & 1.00 & 0.55 & 0.33 \\ 0.52 & 0.59 & 0.68 & 0.71 & 0.64 & 0.36 \end{vmatrix}$$

گام پنجم

با توجه به اوزان شاخص‌ها که در جدول رزر نمایش داده شده است، با استفاده از رابطه ۲۱، امتیاز رابطه‌ای خاکستری بین هر طرح جانمایی (گزینه) و دنباله مرجع به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$X_{0i} = \begin{vmatrix} 0.814 \\ 0.753 \\ 0.756 \\ 0.701 \\ 0.594 \end{vmatrix}$$

با توجه به مقادیر محاسبه شده، بزرگ‌ترین امتیاز رابطه‌ای خاکستری متعلق به طرح جانمایی یک است. لذا «طرح جانمایی یک» برای کارخانه مذکور به عنوان بهترین گزینه پیشنهاد می‌گردد.

۷- نتیجه گیری و پیشنهادات

تصمیم‌گیری به عنوان یکی از وظایف اصلی مدیریت در حوزه‌های مختلف پژوهشی و کاربردی مورد توجه قرار دارد. با توجه به تعدد معیارها و پیچیدگی شرایط تصمیم‌گیری در دنیای امروز، روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در ادبیات مدیریت شکل گرفته و کاربردهای فراوانی یافته است. این مقاله به توسعه روشی مبتنی بر «تحلیل رابطه‌ای خاکستری» می‌پردازد و از منظر جنس و ماهیت شاخص‌های تصمیم‌گیری روشی جامع محسوب می‌شود. در بسیاری از مسائل کاربردی مدیریت به ویژه در دنیای واقعی اولاً لازم است معیارهای کمی و کیفی به طور هم‌زمان در فرآیند ارزیابی و انتخاب در نظر گرفته شوند؛ ثانیاً در برخی پژوهش‌های مدیریت به ویژه زمانی که مشخصه یا عملکرد ویژه (مانند

وزن)، سطح انتظار یا استاندارد مشخص و تعریف شده‌ای در تصمیم‌گیری مطرح باشد، بکارگیری شاخص‌ای از نوع بهینه در کنار شاخص‌های مثبت و منفی که متداول‌تر هستند اجتناب‌ناپذیر می‌گردد. روشی که در این مقاله ارائه شد شامل متدلوژی گام به گامی است که تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد شاخص‌های مثبت، منفی و بهینه را اعم از کیفی و کمی در فرآیند بهینه‌سازی تصمیم در نظر بگیرد. در پایان با استفاده از یک مثال کاربردی در حوزه مدیریت تولید، نحوه بکارگیری و پیاده‌سازی متدلوژی ارائه شده، تشریح گردیده است. با توجه به عمومیت متدلوژی ارائه شده، پیاده‌سازی این متدلوژی در مسایل تصمیم‌گیری چند معیاره در سایر حوزه‌های مدیریتی یکی از پیشنهادات کاربردی این پژوهش است. از سوی دیگر متدلوژی این پژوهش بر پایه «تحلیل رابطه‌ای خاکستری» استوار گردیده است؛ به عنوان پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی می‌توان با استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (مانند تاپسیس) این متدلوژی را توسعه داده و مورد مقایسه قرار داد.

فهرست منابع و مأخذ

- ۱- اصغریپور، محمدجواد، (۱۳۸۵)، «تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره»، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- محمدی، علی؛ محمدی، کاظم؛ جهانبانی، مسعود؛ (۱۳۹۱) "بهبود سنجش کارآیی در مدل تحلیل پوششی داده‌ها با بهره‌گیری از تکنیک تحلیل رابطه‌ای خاکستری"، پژوهش‌های مدیریت عمومی، سال پنجم، شماره هفدهم.
- ۳- ملک، امیرمهدی و دباغی، آزاده، مبانی تئوری سیستم‌های خاکستری با مروری بر روش‌های عدم قطعیت، ترمه: ۱۳۹۰
- ۴- حاله، حسن؛ ماکویی، احمد؛ دباغی، آزاده؛ معینی فر، حشمت السادات (۱۳۸۶)؛ "ارائه مدل ریاضی بر مبنای تصمیم‌گیری چند معیاره و نرم‌افزار برای کمک به تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب همسر"، پژوهش زنان، دوره ۵، شماره ۲
- 5-Chakradhar, D., Venu Gopal, A. (2011). Multi-Objective Optimization of Electrochemical machining of EN31 steel by Grey Relational Analysis. International Journal of Modeling and Optimization, 1.2:113-117.
- 6-Chan, J. W. K., & Tong, T. K. L. (2007). Multi-Criteria Material Selections and End-Of-Life Product Strategy: Grey Relational Analysis Approach. Materials and Design 28:1539–1546.
- 7-Chang, T.C., and Lin, S.J. (1999). Grey Relation Analysis of Carbon Dioxide Emissions from Industrial Production and Energy Uses in Taiwan Journal of Environmental Management 56:247–257.
- 8-Chen M.F. and Tzeng G.H., (2004) combining grey relation and TOPSIS concepts for selecting an expatriate host country, Mathematical and Computer Modelling 40, 1473-1490
- 9-Chiang, K. T., & Chang, F. P. (2006). Optimization of the WEDM Process of Particle-Reinforced Material with Multiple Performance Characteristics using Grey Relational Analysis. Journal of Materials Processing Technology 180:96–101.
- 10-Dang, Y., Liu, S., and Mi, C. (2006) Multi-attribute grey incidence decision model for interval number. Kybernetes 35, 1265-1272.
- 11-Deng, J. L. (1982). Control problems of grey systems. Systems and Control Letters 1:288–294.

- 12-Deng J.L., (1985) Special issue of grey system approach, Fuzzy Math., 5(2).
- 13-Deng, J.L., (1989) Introduction to Grey System Theory. Journal of Grey System 1, 1–24.
- 14-Fung, C. P., (2003) "Manufacturing process optimization for wear property of fiber- reinforced polybutylene terephthalate composites with grey relational analysis", Wear 254: 298-306.
- 15-Golmohammadi D., Mellat-parast M., (2012) Developing a grey-based decision-making model for supplier selection, Int. J. Production Economics 137, 191–200
- 16-He, R. S., & Hwang, S. F. (2007). Damage Detection by a Hybrid Real-Parameter Genetic Algorithm under the Assistance of Grey Relation Analysis. Engineering Applications of Artificial Intelligence 20:980–992.
- 17-Jun X., (1993) A grey system approach applied to prediction of extreme hydrological events: floods and droughts, Extreme Hydrological Events: Precipitation, Floods and Droughts (Proceedings of the Yokohama Symposium, July 1993). IAHS Publ .no. 213.
- 18-Kao, P.S. & Hocheng, H. (2003). Optimization of Electrochemical Polishing Of Stainless Steel by Grey Relational Analysis. Journal of Materials Processing Technology 140:255–259.
- 19-Kung, C. Y., & Wen, K. L. (2007). Applying Grey Relational Analysis and Grey Decision-Making to Evaluate the Relationship Between Company Attributes and Its Financial Performance-a Case Study of Venture Capital Enterprises in Taiwan. Decision Support Systems 43:842–852.
- 20-Kuo, Y., Yang, T., & Huang, G. W. (2008). The Use Of Grey Relational Analysis In Solving Multiple Attribute Decision-Making Problems. Computers and Industrial Engineering 55:80–93.
- 21-Li Q.X., Liu S.F., (2008) The foundation of the grey matrix and the grey input–output analysis, Applied Mathematical Modelling 32, 267–291.
- 22-Li, G.D., Yamaguchi, D., and Nagai, (2007) M., A grey-based decision-making approach to the supplier selection problem. Mathematical and Computer Modeling, 46, 573–581.
- 23-Li G. D. Yamaguchi, D., and Nagai, M. (2008). A Grey-Based Rough Decision-Making Approach to Supplier Selection. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 36:1032–1040.

- 24-Lin, C. L., Lin, J. L., & Ko, T. C. (2002). Optimisation of the EDM Process Based On the Orthogonal Array with Fuzzy Logic and Grey Relational Analysis Method. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 19:271–277.
- 25-Lin, S.J., Lu, I.J. and Lewis, C. (2007). Grey relation performance correlations among economics, energy use and carbon dioxide emission in Taiwan. *Energy Policy* 35:1948–1955
- 26-Liu S.F., Lin Y., (2006) *Grey Information Theory and Practical Applications*, Springer-Verlag London Limited.
- 27-Lo, S.M., Hu, B.Q., Liu, M., & Yuen, K.K. (2005). On the Use of Reliability Interval Method and Grey Relational Model for Fire Safety Ranking of Existing Buildings. *Fire Technology* 41:255–270.
- 28-Manivannan, S. , Prasanna Devi, S., Arumugam, R., & Sudharsan, N. M. (2011). Multi-Objective Optimization of Flat Plate Heat Sink, using Taguchi-Based Grey Relational Analysis. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 52:739–749.
- 29-Moore, R.E., (1966) *Interval Analysis*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- 30-Moran, J. Granada, E., Miguez, J.L., & Porteiro, J. (2006). Use of Grey Relational Analysis to Assess and Optimize Small Biomass Boilers. *Fuel Processing Technology* 87:123 – 127.
- 31-Sadeghieh A., Dehghanbaghi M., dabbaghi A., barak S., (2012) A Genetic algorithm based grey goal programming (G3) approach for part supplier evaluation and selection, *International journal of production research*, 50, 4612-4630.
- 32-Tosun, N. (2006). Determination of Optimum Parameters for Multi-Performance Characteristics in Drilling by using Grey Relational Analysis. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 28: 450–455.
- 33-Tseng, M. L. (2010). Using Linguistic Preferences and Grey Relational Analysis to Evaluate the Environmental Knowledge Management Capacity. *Expert Systems with Applications* 37:70–81.
- 34-Tzeng, G. H., and Huang, J. J. (2011) *Multiple Attribute Decision Making Methods and applications*. Taylor & Francis, pp:55-57.
- 35-Wang, Y. J. (2008). Applying FMCDM to Evaluate Financial Performance of Domestic Airlines in Taiwan. *Expert Systems with Applications* 34:1837–1845.

- 36-Wu, H. H. (2002). A comparative study of using grey relational analysis in multiple attribute decision making problems. *Quality Engineering*, 15, 209–217.
- 37-Wu, Q., Zhou, W., Li, S., Wu, X., (2005) Application of grey numerical model to groundwater resource evaluation, *Environmental Geology* 47, 991–999.
- 38-Yang, Y. S., Shih, C. Y., & Fung, R. F. (2012). Multi-Objective Optimization of the Light Guide Rod by using the Combined Taguchi Method and Grey Relational Approach, *Journal of Intelligence Manufacturing*. 1-9.
- 39-Zeng, G., Jiang, R., Huang, G., Xu, M., & Li, J. (2007). Optimization of Wastewater Treatment Alternative Selection by Hierarchy Grey Relational Analysis. *Journal of Environmental Management* 82:250–259.
- 40-Zhang, J., Wu, D., & Olson, D. L. (2005). The Method of Grey Related Analysis to Multiple Attribute Decision Making Problems with Interval Numbers. *Mathematical and Computer Modelling* 42:991-998.

