

یکپارچه سازی اولویت‌های ذهنی و اطلاعات عینی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره

محمد مهدی جرینی^۱. حامد شاکریان^۲. امامعلی ساعتی قره موسی^۳
۱ و ۲. دانشجوی دکتری تخصصی، رشته مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشکده علوم انسانی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، آذربایجان شرقی، ایران
نویسنده مسئول: emamalisaaty@gmail.com

چکیده

یک روش کلی تصمیم‌گیری چندشاخصه برای یکپارچه سازی اولویت‌های ذهنی و اطلاعات عینی و نیز برای ارزیابی وزن‌های مرتبط با شاخص‌ها پیشنهاد شده است که اولویت‌های ذهنی هم با اولویت‌های فازی مرتبط با آلترناتیوهای تصمیم و هم با ماتریس مقایسه زوجی وزن‌های مربوط به شاخص‌ها و هم با هر دوی آنها بیان شده و اطلاعات عینی با یک ماتریس تصمیم تشریح شده‌اند. سه حالت خاص از این روش که نرم کمترین خطای موزون (wldn)، نرم مربع کمترین خطای موزون (wlsdn) و نرم حداقل حداکثر خطای موزون (wmdn) می‌باشند، بررسی شده است. تعمیم روش کلی به تصمیم‌گیری گروهی و انتخاب پارامترهای تصمیم نیز مورد بحث قرار گرفته است. یک مثال عددی نیز برای نشان دادن کاربرد روش‌های پیشنهادی تصمیم‌گیری چند شاخصه مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چند شاخصه، تصمیم‌گیری گروهی، ماتریس مقایسه دوطرفه، برآورد وزن

۱. مقدمه

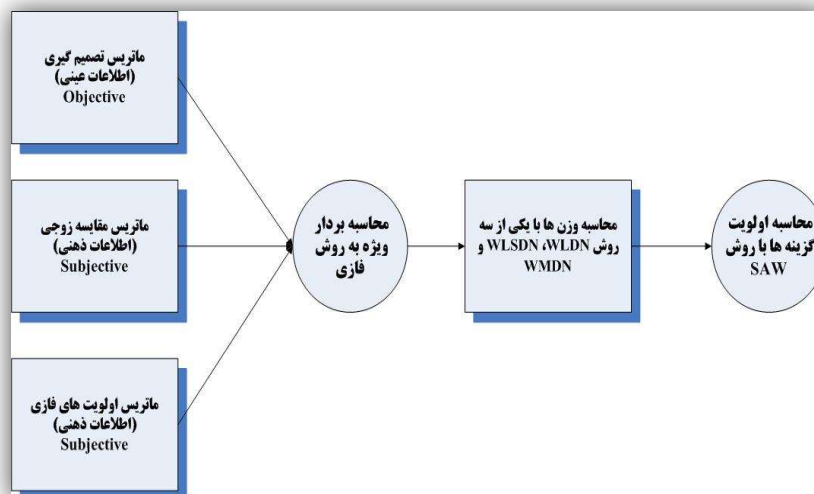
تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندشاخصه همیشه دربرگیرنده چندین شاخص تصمیم و چندین آلترناتیو تصمیم است. به منظور گرفتن تصمیم یا انتخاب بهترین آلترناتیو، تصمیم‌گیرنده اغلب می‌خواهد اولویت‌هایش را هم بر اساس آلترناتیوها و هم بر اساس وزن‌های مربوط به شاخص‌ها و یا بر اساس هر روی آنها اختیار کند. بخصوص در تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری گروهی، تصمیم توسط چندین تصمیم‌گیرنده یا کارشناس گرفته می‌شود. بعضی از آنها ترجیح می‌دهند تصمیم‌هایشان را بر اساس آلترناتیوها و بعضی دیگر بر اساس وزن‌های مرتبط بگیرند. اولویت‌های فازی و ضربی بترتیب دو مفهوم متداول مورد استفاده برای توصیف اولویت‌های ذهنی تصمیم‌گیرنده در آلترناتیوهای تصمیم و در وزن‌های مربوط به شاخص‌ها هستند [1].

اولی ماتریس اولویت‌های فازی را در آلترناتیوهای تصمیم تشکیل می‌دهد و دومی ماتریس مقایسه زوجی معروف را بر اساس وزن‌های مربوط به شاخص‌ها شکل می‌دهد. هر دوی آنها می‌توانند برای تخمین وزن‌های مربوط به شاخص‌ها استفاده شوند. زمانیکه وزن‌های مربوط به شاخص‌ها تخمین زده شوند، تصمیم‌نهایی می‌تواند بر اساس ماتریس تصمیم که تصور می‌شود عینی باشند با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه سنتی همچون مجموع ساده وزین یا تاپسیس یا دیگر روش‌ها ساخته شود. در عین حال هیچ ضمانتی نیست که این دو نوع متفاوت از روابط اولویت‌ها به تخمین مشابهی از وزن‌های مربوط به شاخص‌ها دست یابند. گاهی اوقات ممکن است دو تخمین بسیار با یکدیگر ناسازگار باشند [2].

از این رو، ترکیب این دو نوع متفاوت از روابط اولویت‌ها با یکدیگر و با اطلاعات عینی ماتریس تصمیم برای دستیابی به یک مدل یکپارچه تصمیم به منظور تضمین یک تخمین کلی برای وزن‌های مربوط به شاخص‌ها. یک تصمیم کلی برای مسئله تصمیم‌گیری چندشاخصه تحت بررسی، بسیار مهم است. ما و دیگران روش جامعی از حالت‌های ذهنی و عینی را ارائه دادند که اولویت‌های ضربی مربوط به شاخص‌ها با یکدیگر ادغام و با اطلاعات ماتریس تصمیم، مدل تصمیم یکپارچه‌ای تشکیل دادند. روش آنها از برنامه‌ریزی درجه دوم غیرخطی برای ارزیابی شاخص‌ها استفاده می‌کرد. فن و دیگران روشی مبتنی بر تصمیم‌گیری چند شاخصه برای ارتباط اولویت‌های فازی با آلترناتیوهای تصمیم پیشنهاد کردند [3].

در روش آنها اولویت‌های فازی مربوط به آلترناتیوها به یکدیگر و با اطلاعات ماتریس تصمیم بصورت یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی درجه دوم یکپارچه شدند. وانگ و پارکان رابطه اولویت‌های فازی را با اطلاعات ماتریس تصمیم در سه سبک متفاوت ترکیب کردند که از تکنیک برنامه‌ریزی خطی استفاده می‌شد. فن و دیگران نیز آنها را با یکدیگر با استفاده از تکنیک برنامه‌ریزی خطی ترکیب کردند اما با یک مدل یکپارچه متفاوت. بعلاوه آنها یک مدل برنامه‌ریزی خطی و یک مدل بهینه‌سازی دودهدفه برای ادغام روابط اولویت‌های فازی و ضربی با آلترناتیوهای تصمیم ارائه دادند. کاملاً واضح است که تاکنون تلاشی برای ترکیب رابطه اولویت‌های فازی آلترناتیوهای تصمیم و رابطه اولویت‌های ضربی وزن‌های مربوط به شاخص‌ها با یکدیگر با اطلاعات ماتریس تصمیم‌گیری برای تشکیل یک مدل جامع تصمیم‌گیری نشده

است [4]. هدف این مقاله ارائه یک مدل کلی برای ترکیب دو نوع روابط اولویت ها و اطلاعات ماتریس تصمیم گیری برای شکل دهی یک مدل است تا بتوان وزن های مربوط به شاخص ها را با یک روش یکپارچه تخمین زد. باقیمانده مقاله مطابق ذیل سازمان دهی شده است: بخش ۲ خلاصه ای از روش معروف مجموع ساده وزین برای تصمیم گیری چند شاخصه و روش بردار ویژه برای مدل سازی روابط اولویت ذهنی تصمیم گیرنده ارائه می دهد که مسیر را برای بخش ۳ که یک روش تصمیم گیری چند شاخصه کلی برای ادغام اولویت های ذهنی، اطلاعات عینی، و سه حالت خاص به صورت دقیق بررسی شده است، هموار می کند. این مطالب با یک مثال عددی که به منظور نشان دادن کاربرد روش های پیشنهادی برای مسائل تصمیم گیری چند شاخصه ارائه شده، دنبال می شود. مقاله در بخش ۵ جمع بندی می شود.



شکل ۱: مدل کلی مقاله

۲. روش مجموع ساده وزین و روش بردار ویژه

۲.۱. روش مجموع ساده وزین برای تصمیم گیری چند شاخصه

یک مسئله تصمیم گیری چند شاخصه را فرض کنید که n آلترناتیو تصمیم از a_1 تا a_n و m شاخص تصمیم گیری از g_1 تا g_n داشته باشیم. هر گزینه با توجه به m شاخص که مقادیر ماتریس تصمیم گیری $x = (x_{ij})_{n \times m}$ را تشکیل می دهند ارزیابی می شود. اما این ماتریس نامتقارن است و از این رو ابتدا باید نرمالایز شود [5]. متداول ترین روش برای نرمالایز کردن روش فازی است که بصورت زیر تعریف می شود:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j \in \Omega_1,$$

$$z_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j \in \Omega_2,$$

که $x_j^{\min} = \min_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}\}$, $x_j^{\max} = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_{ij}\}$ مقدار مشخصه نرمال، و ω_1 و ω_2 به ترتیب مقادیر سود و هزینه می‌باشند. حال اگر $\mathbf{Z} = (\mathbf{z}_{ij})_{n \times m}$ ماتریس تصمیم نرمالایز شده و $\mathbf{w} = (\mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_m)^t$ بردار نرمالایز شده وزن‌ها باشد:

$$\mathbf{e}^t \mathbf{w} = 1$$

که $\mathbf{e}^t = (1, \dots, 1)$ برداری است که تمام اعضای آن یک است [6]. طبق روش مجموع ساده وزن مناسب‌ترین گزینه بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d_i = \sum_{j=1}^m z_{ij} w_j, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

که d_i یک تابع خطی از متغیرهای وزن $\mathbf{w}_j (j=1, \dots, m)$ است. مقدار بزرگتر d_i آلت‌رناتیو (گزینه) $\mathbf{a}_i$ بهتری می‌دهد. بهترین گزینه آن گزینه‌ای است که در مجموع بیشترین مقدار ارزیابی وزنی را داشته باشد. بطور خلاصه، معادله ۴ می‌تواند به شکل برداری بصورت زیر بیان شود:

$$\mathbf{d} = \mathbf{z} \mathbf{w} \quad (5)$$

که $\mathbf{d} = (d_1, \dots, d_n)^t$ بردار کلی مقادیر ارزیابی وزنی برای تمام گزینه‌ها است [7].

۲. روش بردار ویژه برای مدلسازی روابط اولویت‌های ذهنی

۲.۲.۱. روش بردار ویژه برای مدلسازی مقایسات زوجی

برای استفاده از روش مجموع ساده وزن نیاز به معلوم بودن بردار وزن $\mathbf{w} = (\mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_m)^t$ داریم. معمولاً این بردار می‌تواند به صورت عینی یا ذهنی برآورد شود. روش‌های عینی همچون روش آنتروپی نسبی، روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی، تحلیل مولفه‌های اساسی، و تحلیل عاملی، وزن معیارها را با استفاده از اطلاعات ماتریس تصمیم‌گیری تعیین می‌کنند، اما اولویت‌های تصمیم‌گیرنده را در اهمیت نسبی معیارها در نظر نمی‌گیرند. وزن‌های برآورد شده در این روش در برخی مواقع ممکن است متضاد باشند. بنابراین، روش‌های ذهنی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند تا اولویت‌های تصمیم‌گیرنده بتواند در تعیین وزن معیارها در نظر گرفته شود [8]. پرکاربردترین روش ذهنی، روش ماتریس مقایسات زوجی وزن‌های نسبی معیارهاست. فرض کنیم رابطه اولویت‌های ضربی وزن‌های نسبی معیارها به صورت زیر باشد:

$$A = \begin{matrix} & w_1 & w_2 & \cdots & w_m \\ \begin{matrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad (6)$$

که $a_{ji} = \frac{1}{a_{ij} > 0}$ و $a_{ii} = 1 (i, j = 1, \dots, m)$ است. بر اساس روش بردار ویژه ساعتی، بردار وزنی $w = (w_1, \dots, w_m)^t$ می تواند با حل مساله مقدار ویژه ذیل برآورد شود:

$$(7) aw = \lambda_{\max} w$$

اگر رابطه اولویت ضربی a ، یک ماتریس مقایسه سازگار و دقیق از وزن های نسبی معیارها باشد، رابطه ی ۷ می تواند به صورت زیر ساده شود:

$$(8) aw = mw$$

انتظار می رود رابطه اولویت ضربی ارایه شده توسط تصمیم گیرنده تا حد ممکن سازگار باشد [9].

۲.۲. روش بردار ویژه برای مدل سازی اولویت های فازی

در بعضی از موقعیت ها، ممکن است تصمیم گیرنده ترجیح دهد تا یک رابطه اولویت فازی از آلترناتیوها یا همان گزینه های تصمیم ارایه دهد. این مهم، در گذشته به صورت اساسی مورد بررسی قرار گرفته است. فرض کنید ماتریس اولویت های فازی مربوط به گزینه های تصمیم که توسط تصمیم گیرنده ارایه شده به صورت زیر باشد:

$$P = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & \cdots & A_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (9)$$

و داشته باشیم $p_{ij} + p_{ji} = 1$, $p_{ii} = 0/5$ و $p_{ij} \geq 0$ ($i, j = 1, \dots, n$). بر طبق منابع [۳ و ۵ و ۶]، رابطه اولویت های فازی p می تواند بصورت یک تخمین ذهنی از ماتریس مقایسه زوجی زیر دیده شود:

$$\bar{p} = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & \cdots & A_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \bar{p}_{11} & \bar{p}_{12} & \cdots & \bar{p}_{1n} \\ \bar{p}_{21} & \bar{p}_{22} & \cdots & \bar{p}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{p}_{n1} & \bar{p}_{n2} & \cdots & \bar{p}_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{bmatrix} \frac{d_1}{d_1 + d_1} & \frac{d_1}{d_1 + d_2} & \cdots & \frac{d_1}{d_1 + d_n} \\ \frac{d_2}{d_2 + d_1} & \frac{d_2}{d_2 + d_2} & \cdots & \frac{d_2}{d_2 + d_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{d_n}{d_n + d_1} & \frac{d_n}{d_n + d_2} & \cdots & \frac{d_n}{d_n + d_n} \end{bmatrix} \quad (10)$$

که d_i مقدار ارزیابی وزنی کلی گزینه a_i است که از طریق رابطه ۴ بدست آمده است. به لحاظ نظری، سیستم معادلات زیر را خواهیم داشت:

$$\begin{cases} \frac{d_1}{d_1+d_2}(d_1+d_2) + \frac{d_1}{d_1+d_3}(d_1+d_3) + \dots + \frac{d_1}{d_1+d_n}(d_1+d_n) = (n-1)d_1, \\ \frac{d_2}{d_2+d_1}(d_2+d_1) + \frac{d_2}{d_2+d_3}(d_2+d_3) + \dots + \frac{d_2}{d_2+d_n}(d_2+d_n) = (n-1)d_2, \\ \vdots \\ \frac{d_n}{d_n+d_1}(d_n+d_1) + \frac{d_n}{d_n+d_2}(d_n+d_2) + \dots + \frac{d_n}{d_n+d_{n-1}}(d_n+d_{n-1}) = (n-1)d_n \end{cases} \quad (11)$$

اگر ماتریس اولویت فازی $p = (p_{ij})_{n \times n}$ تخمین دقیقی برای $\bar{p} = (\bar{p}_{ij})_{n \times n}$ در رابطه ۱۰ باشد، پس رابطه ۱۱ می تواند بصورت زیر درآید:

$$\begin{cases} p_{12}(d_1+d_2) + p_{13}(d_1+d_3) + \dots + p_{1n}(d_1+d_n) = (n-1)d_1, \\ p_{21}(d_2+d_1) + p_{23}(d_2+d_3) + \dots + p_{2n}(d_2+d_n) = (n-1)d_2, \\ \vdots \\ p_{n1}(d_n+d_1) + p_{n2}(d_n+d_2) + \dots + p_{n,n-1}(d_n+d_{n-1}) = (n-1)d_n. \end{cases} \quad (12)$$

یا بصورت:

$$\begin{cases} (\sum_{j \neq 1} p_{1j})d_1 + p_{12}d_2 + \dots + p_{1n}d_n = (n-1)d_1, \\ p_{21}d_1 + (\sum_{j \neq 2} p_{2j})d_2 + \dots + p_{2n}d_n = (n-1)d_2, \\ \vdots \\ p_{n1}d_1 + p_{n2}d_2 + \dots + (\sum_{j \neq n} p_{nj})d_n = (n-1)d_n. \end{cases} \quad (13)$$

که اگر فرض کنیم b بصورت زیر باشد:

$$B = \begin{bmatrix} \sum_{j=2}^n p_{1j} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & \sum_{j=1, j \neq 2}^n p_{2j} & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & \sum_{j=1}^{n-1} p_{nj} \end{bmatrix} \quad (14)$$

رابطه ۱۳ می تواند بصورت زیر نوشته شود:

$$bd = (n-1)d \quad (15)$$

که d بردار ویژه حقیقی ماتریس b خواهد بود. ثابت شده است که رابطه ۱۵ برای هر رابطه اولویت فازی صرف نظر از اینکه برآورد دقیقی برای $\bar{p} = (\bar{p}_{ij})_{n \times n}$ در رابطه ۱۰ باشد یا خیر، برقرار است. از این روی، رتبه بندی ذهنی تصمیم گیرنده برای گزینه ها، با حل مساله مقدار ویژه (۱۵) می تواند بدست آید [10]. اگر رابطه ۵ را در رابطه ۱۵ جایگزین کنیم، آنگاه رابطه زیر را بین اولویت های فازی و بردار وزن داریم:

$$bzw = (n-1)zw \quad (16)$$

۳. روش هایی برای ترکیب اولویت های ذهنی و اطلاعات عینی

۳.۱. روش عمومی

بدون از دست دادن کلیت روش، فرض می کنیم که تصمیم گیرنده هم اطلاعات اولویت فازی گزینه ها را هم اطلاعات اولویت ضربی (همان مقایسات زوجی) مربوط به وزن معیارها را در قالب یک مدل ترکیبی ارائه دهد. هر چند ارائه هر دوی آنها برای تصمیم گیرنده ضروری نیست. از آنجا که هیچ تضمینی وجود ندارد که اولویت های فازی و ضربی بتوانند منجر به برآورد مشابهی برای وزن های مربوط به معیارها شوند، برقراری همزمان روابط ۸ و ۱۶ بطور کلی دشوار است (یادداشت مترجم: منظور این است که اگر تصمیم گیرنده بخواهد بطور همزمان هم از اولویت های فازی و هم اطلاعات عینی استفاده کند و آنها را با هم ترکیب کند و در قالب یک مدل جدید درآورد، بطور طبیعی مقداری خطا از ترکیب این دو ماتریس بوجود می آید) [11]. از این روی، بردارهای انحراف (خطا) زیر را معرفی می کنیم:

$$E = AW - mW = (A - mI)W, \quad (17)$$

$$\Gamma = [BZ - (n-1)Z]W, \quad (18)$$

که $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_n)^t$ و $\epsilon = (\epsilon_1, \dots, \epsilon_m)^t$ یک ماتریس $m \times m$ است که تنها عناصر قطر اصلی آن ۱ و مابقی عناصر آن صفر است. مطلوب ترین حالت این است که مقدار مطلق هر متغیر خطا تا حد ممکن کوچک باشد، که مدل بهینه سازی بر اساس نرم خطا (هدف این مدل حداقل کردن میزان خطاست) بصورت زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } J &= \left(\alpha \sum_{i=1}^n |\gamma_i|^p + \beta \sum_{j=1}^m |\epsilon_j|^p \right)^{1/p}, \\ \text{s.t. } \begin{cases} [BZ - (n-1)Z]W - \Gamma = 0, \\ (A - mI)W - E = 0, \\ e^T W = 1, \\ W \geq 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (19)$$

که $\alpha \geq 0$ و $\beta \geq 0$ ضرایب رضایت بخش بوده که $\alpha + \beta = 1$ است و $p > 0$ پارامتر نرم خطاست. زمانی که $\alpha = 0$ (۱۹) باشد تنها ماتریس مقایسه زوجی در محاسبات منظور می شود. اگر $\beta = 0$ ماتریس اطلاعات عینی و ماتریس اولویت های فازی در مقایسات منظور می شوند. اگر α و β هر دو

غیرصفر باشند، هر سه ماتریس در محاسبات منظور می‌شوند. برای مقادیر متفاوت $p(19)$ ، مجموعه‌های متفاوتی برای وزن‌های نسبی معیارها حاصل خواهند شد. در ادامه سه نوع حالت خاص از $p \Rightarrow p$ (1, 2, ∞) مورد بحث قرار می‌گیرند [12].

۳.۲. روش نرم حداقل خطای موزون (wldn)

فرض کنیم در رابطه ۱۹، $p = 1$ باشد، در نتیجه تابع هدف تبدیل به wldn می‌شود. برای حل مدل رابطه ۱۹، متغیرهای خطای زیر را تعریف می‌کنیم:

$$\gamma_i^+ = \frac{\gamma_i + |\gamma_i|}{2} \quad \text{and} \quad \gamma_i^- = \frac{-\gamma_i + |\gamma_i|}{2}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (20)$$

$$\varepsilon_j^+ = \frac{\varepsilon_j + |\varepsilon_j|}{2} \quad \text{and} \quad \varepsilon_j^- = \frac{-\varepsilon_j + |\varepsilon_j|}{2}, \quad j = 1, \dots, m, \quad (21)$$

پر واضح است که γ_i^+ و γ_i^- و نیز ε_j^+ و ε_j^- همگی متغیرهای غیر منفی هستند و می‌توانند بصورت زیر تعریف شوند:

$$\gamma_i = \gamma_i^+ - \gamma_i^- \quad i=1, \dots, n \quad (22)$$

$$\varepsilon_j = \varepsilon_j^+ - \varepsilon_j^- \quad j=1, \dots, m \quad (23)$$

که $\gamma_i^+ \cdot \gamma_i^- = 0$ و $\varepsilon_j^+ \cdot \varepsilon_j^- = 0$. بنابراین مدل قبلی (رابطه ۱۹) به حالت مدل برنامه‌ریزی آرمانی زیر در می‌آید:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } J &= \alpha \cdot e^T(\Gamma^+ + \Gamma^-) + \beta \cdot e^T(E^+ + E^-), \\ \text{s.t. } \begin{cases} [BZ - (n-1)Z]W - \Gamma^+ + \Gamma^- = 0, \\ (A - mI)W - E^+ + E^- = 0, \\ e^T W = 1, \\ W, E^+, E^-, \Gamma^+, \Gamma^- \geq 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (24)$$

که $\Gamma^+ = (\gamma_1^+, \dots, \gamma_n^+)^T$, $\Gamma^- = (\gamma_1^-, \dots, \gamma_n^-)^T$, $E^+ = (\varepsilon_1^+, \dots, \varepsilon_m^+)^T$ and $E^- = (\varepsilon_1^-, \dots, \varepsilon_m^-)^T$

هستند. این مدل برنامه‌ریزی آرمانی به مدل wldn که می‌تواند با استفاده از نرم‌افزار lingo یا excel solver حل شود، اشاره دارد. فرض کنید $w^* = (w_1^*, \dots, w_m^*)^t$ برآورد بهینه‌ی وزن با استفاده از رابطه ۲۴ باشد. بر اساس آن، مقدار ارزیابی وزنی کلی هر گزینه می‌تواند با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شود و تصمیم‌گیری شود [13].

۳.۳. روش نرم مربع حداقل خطای موزون (wlstdn)

اگر در رابطه ۱۹، $p = 2$ باشد، در نتیجه تابع هدف تبدیل به wlstdn می‌شود. در نتیجه مدل رابطه ۱۹ بصورت زیر در می‌آید:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } J' &= \alpha \sum_{i=1}^n \gamma_i^2 + \beta \sum_{j=1}^m \varepsilon_j^2, \\ \text{s.t. } &\begin{cases} [BZ - (n-1)Z]W - \Gamma = 0, \\ (A - mI)W - E = 0, \\ e^T W = 1, \\ W \geq 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (25)$$

که تابع هدف می تواند بصورت زیر بیان شود:

$$\begin{aligned} J' &= \alpha \cdot \Gamma^T \Gamma + \beta \cdot E^T E \\ &= \alpha W^T [BZ - (n-1)Z]^T [BZ - (n-1)Z] W + \beta W^T (A - mI)^T (A - mI) W \\ &= W^T \{ \alpha [BZ - (n-1)Z]^T [BZ - (n-1)Z] + \beta (A - mI)^T (A - mI) \} W \\ &= W^T G W, \end{aligned} \quad (26)$$

که $G = \alpha [BZ - (n-1)Z]^T [BZ - (n-1)Z] + \beta (A - mI)^T (A - mI)$ بنابراین

رابطه ۲۵ می تواند بصورت زیر ساده شود:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } J' &= W^T G W, \\ \text{s.t. } &\begin{cases} e^T W = 1, \\ W \geq 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (27)$$

در برخی مواقع، رابطه ۲۷ می تواند با استفاده از تابع لاگرانژی حل شود:

$$L(W, \lambda) = W^T G W + 2\lambda(e^T W - 1), \quad (28)$$

که حل رابطه ۲۷ به صورت زیر است:

$$W^* = \frac{G^{-1}e}{e^T G^{-1}e} \quad (29)$$

اگر $w^* \geq 0$ ، g^{-1} ماتریس معکوس g و $e = (1, \dots, 1)^T$ است. به عبارت دیگر، آنها در شرایطی که در رابطه ۲۹، $w^* \geq 0$ باشد، رابطه ۲۷ می تواند با تشکیل تابع لاگرانژ حل شود. یک روش حل کلی تر برای حل مدل برنامه ریزی خطی زیر با استفاده از حل کننده برنامه ریزی درجه دوم در بسته نرم افزاری **lindo** به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } &\sum_{i=1}^m w_i + \lambda \\ \text{s.t. } &GW + \lambda e \geq 0 \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} e^T W &= 1 \end{aligned} \quad (31)$$

end (33)

$$\text{QCP } m + 2. \quad (34)$$

محدودیت نامساوی ۳۱، شرط مرتبه اول تابع لاگرانژی رابطه ۲۸ با توجه به هر متغیر وزنی $w_i (i=1, \dots, m)$ است و روابط ۳۳ و ۳۴ دستورهای مورد نیاز نرم افزار **lindo** هستند. با توجه به حل

بهینه برای مدل بالا (روابط ۳۰ تا ۳۴) با استفاده از $w^* = (w^*_1, \dots, w^*_m)^t$ مقدار ارزیابی وزن کلی هر گزینه با استفاده از رابطه ۴ می‌تواند محاسبه شود و تصمیم گیری شود. این روش، **wlsdn** نامیده می‌شود [14].

۳.۴. روش نرم حداقل حداکثر (مینیماکس) خطای موزون (wmdn)

اگر در رابطه ۱۹، $p = \infty$ باشد، در نتیجه تابع هدف **wmdn** می‌شود و مدل بصورت زیر درمی‌آید:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } J = \alpha \cdot \gamma + \beta \cdot \varepsilon, \\ & \text{s.t. } \begin{cases} -\gamma \cdot e \leq [BZ - (n-1)Z]W \leq \gamma \cdot e, \\ -\varepsilon \cdot e \leq (A - mI)W \leq \varepsilon \cdot e, \\ e^T W = 1, \\ W, \gamma, \varepsilon \geq 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (35)$$

که $\gamma = \max_i |\gamma_i|$ و $\varepsilon = \max_j |\varepsilon_j|$ مدل بالا می‌تواند بصورت زیر نیز نوشته شود:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } J = \alpha \cdot \gamma + \beta \cdot \varepsilon, \\ & \text{s.t. } \begin{cases} [BZ - (n-1)Z]W + \gamma \cdot e \geq 0, \\ -[BZ - (n-1)Z]W + \gamma \cdot e \geq 0, \\ (A - mI)W + \varepsilon \cdot e \geq 0, \\ -(A - mI)W + \varepsilon \cdot e \geq 0, \\ e^T W = 1, \\ W, \gamma, \varepsilon \geq 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (36)$$

که مدل فوق یک مدل **lp** است که می‌تواند با استفاده از بسته نرم‌افزار **lindo** یا **ms excel solver** حل شود. فرض کنید $w^* = (w^*_1, \dots, w^*_m)^t$ بردار وزن بهینه بدست آمده با استفاده از رابطه ۳۶ باشد، بر اساس آن مقدار ارزیابی وزن کلی هر گزینه می‌تواند محاسبه و تصمیم گیری انجام شود. این روش، **wmdn** نام دارد [15].

۳.۵. تعمیم به تصمیم‌گیری گروهی

در تصمیم‌گیری گروهی، ممکن است تصمیم گیرنده‌های مختلف قادر به ارائه اطلاعات اولویت‌های متفاوت باشند (نظرات متفاوت داشته باشند) زیرا قلمرو دانش و پیشینه تحصیلی آنان متفاوت است. یک مساله تصمیم‌گیری گروهی را در نظر بگیرید که k_1 تصمیم‌گیرنده روابط اولویت فازی $p^{(k)} = (p_{ij}^{(k)})_{n \times n}$ ($k=1, \dots, k_1$) مربوط به گزینه‌های تصمیم و k_2 تصمیم‌گیرنده روابط مقایسات زوجی $a^{(l)} = (a_{ij}^{(l)})_{m \times m}$ ($l=1, \dots, k_2$) مربوط به اهمیت نسبی وزن معیارهای تصمیم، ارائه می‌دهند. اگر روابط اولویت‌های فازی $p^{(k)} = (p_{ij}^{(k)})_{n \times n}$ و روابط اولویت‌های ضربی $a^{(l)} = (a_{ij}^{(l)})_{m \times m}$ و $p = (p_{ij})_{n \times n}$ مشترک و p رابطه اولویت ضربی مشترک بتوانند به ترتیب در قالب رابطه اولویت فازی مشترک

$\mathbf{a} = (\mathbf{a}_{ij})_{m \times m}$ جمع شوند، مدل کلی رابطه ۱۹ می تواند بطور مستقیم برای تحلیل تصمیم گیری گروهی استفاده شود؛ در غیر این صورت، مدل بهینه سازی تعمیم یافته ی زیر باید مورد استفاده قرار گیرد:

$$\text{Minimize } J = \left\{ \sum_{k=1}^{k_1} \left(\alpha_k \sum_{i=1}^n |\gamma_i^{(k)}|^p \right) + \sum_{l=1}^{k_2} \left(\beta_l \sum_{j=1}^m |\varepsilon_j^{(l)}|^p \right) \right\}^{1/p},$$

$$\text{s.t. } \begin{cases} [B^{(k)}Z - (n-1)ZW - \Gamma^{(k)}] = 0, & k = 1, \dots, k_1, \\ (A^{(l)} - mI)W - E^{(l)} = 0, & l = 1, \dots, k_2, \\ e^T W = 1, \\ W \geq 0, \end{cases} \quad (37)$$

که

$$B^{(k)} = \begin{bmatrix} \sum_{j=2}^n p_{1j}^{(k)} & p_{12}^{(k)} & \dots & p_{1n}^{(k)} \\ p_{21}^{(k)} & \sum_{j=1, j \neq 2}^n p_{2j}^{(k)} & \dots & p_{2n}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1}^{(k)} & p_{n2}^{(k)} & \dots & \sum_{j=1}^{n-1} p_{nj}^{(k)} \end{bmatrix}, \quad k = 1, \dots, k_1,$$

$$\beta_l \text{ و } \alpha_k, \Gamma^{(k)} = (\gamma_1^{(k)}, \dots, \gamma_n^{(k)})^T \quad (k = 1, \dots, k_1), \quad E^{(l)} = (\varepsilon_1^{(l)}, \dots, \varepsilon_m^{(l)})^T \quad (l = 1, \dots, k_2)$$

اهمیت نسبی وزن های تصمیم گیرنده k ام و l ام هستند، که در معادله $\sum_{k=1}^{k_1} \alpha_k + \sum_{l=1}^{k_2} \beta_l = 1$ ، $\alpha_k \geq 0$ برای $k=1, \dots, k_1$ و $\beta_l \geq 0$ برای $l=1, \dots, k_2$ صدق می کنند. برای پارامتر مشخص p اگر $p=1, 2, \infty$ باشد، مدل رابطه ی ۳۷ هم می تواند به صورت مدل lp و هم مدل برنامه ریزی درجه دوم حل شود [16].

۳.۶. انتخاب پارامترها

هر دو مدل ۱۹ و ۳۷ دربرگیرنده چندین پارامتر همچون α ، β و p هستند. به لحاظ نظری، p می تواند هر مقدار مثبتی باشد و مقدار بهینه نیز می تواند با کمینه سازی تابع هدف هنگامیکه پارامترهای α و β معلوم هستند، تعیین شود. هر چند، پیچیدگی محاسباتی مدل ها بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. از سوی دیگر، مقدار p بهینه بدست آمده از این روش، تنها در مورد فوق قابل قبول است و قابلیت تعمیم ندارد. بنابراین، یک راه بسیار سودمند قرار دادن مقدار p برابر $1, 2, \infty$ است. برای $p=1, \infty$ ، مدل های ۱۹ و ۳۷، بصورت مدل های برنامه ریزی خطی ساده می شوند. برای $p=2$ ، مدل ها به صورت مدل برنامه ریزی درجه دوم در می آیند [17]. با توجه به نظریه برنامه ریزی خطی، در یک مدل برنامه ریزی خطی جهت یافتن فاصله یا فرجه ی هر ضریب تابع هدف می توانیم همیشه از تحلیل حساسیت استفاده کنیم و هنگامی که ضرایب تابع هدف در این فاصله تغییر می یابند، حل بهینه مدل برنامه ریزی خطی بدون تغییر باقی می ماند. بنابراین، زمانیکه $p=1, \infty$ باشد، مدل برنامه ریزی خطی متناظر، برای تغییر α و β نسبتاً قوی خواهد بود. به

عبارت دیگر، اگر $p=2$ باشد، مدل برنامه ریزی درجه دوم مربوطه، به تغییر α و β بیشتر حساس خواهد بود. از این روی، اگر تصمیم گیرنده انتظار نتیجه تصمیم قوی داشته باشد، باید مقدار $p=1, \infty$ را انتخاب کند؛ در غیراینصورت، می تواند مقدار $p=2$ را انتخاب کند. اگر در انتخاب مقدار مناسب p احساس مشکل کنند، پیشنهاد شده است که $p=1, 2, \infty$ همگی بهترین حالت برای تصمیم گیری نهایی هستند. α و β پارامترهای وزن بوده و برای افزایش انعطاف پذیری مدل ها طراحی شده اند تا به خوبی بتوانند ترجیحات متفاوت تصمیم گیرنده را بازتاب دهند. اگر تصمیم گیرنده قادر به ارایه ماتریس روابط ضریبی (ماتریس اطلاعات عینی) وزن های معیارها نباشد یا تمایلی نسبت به آن نداشته باشد، یا نخواهد آن را در نظر بگیرد، آنگاه می تواند $\alpha = 1$ و $\beta = 0$ قرار دهد [18]. در این صورت، مدل ۱۹ تبدیل به حالت زیر می شود:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } J &= \left(\sum_{i=1}^n |\gamma_i|^p \right)^{1/p}, \\ \text{s.t. } &\begin{cases} [BZ - (n-1)Z]W - \Gamma = 0, \\ e^T W = 1, \\ W \geq 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (39)$$

که تعمیم $ldm-1$ برای ترکیب روابط اولویت فازی ذهنی و اطلاعات ماتریس تصمیم عینی است. در مقابل، اگر تصمیم گیرنده قادر به ارایه ماتریس روابط فازی مربوط به گزینه های تصمیم نباشد یا ترجیح دهد آن را در نظر نگیرد، در این صورت می تواند مقدار α را برابر صفر و β را برابر ۱ قرار دهد. در نتیجه، مدل ۱۹ می تواند به صورت ذیل نوشته شود:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } J &= \left(\sum_{i=1}^n |\varepsilon_i|^p \right)^{1/p}, \\ \text{s.t. } &\begin{cases} (A - mI)W - E = 0, \\ e^T W = 1, \\ W \geq 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (40)$$

که یک مدل تعمیم یافته جدید برای اولویت های بدست آمده از ماتریس مقایسات زوجی است. برای $p=1$ ، تبدیل به یک مدل برنامه ریزی آرمانی برای محاسبه اولویت ها از ماتریس مقایسات زوجی می شود.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } J &= \sum_{i=1}^n |\varepsilon_i|, \\ \text{s.t. } &\begin{cases} (A - mI)W - E = 0, \\ e^T W = 1, \\ W \geq 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (41)$$

برای $p=2$ ، مدل ۴۰ تبدیل به مدل برنامه ریزی درجه دوم زیر می شود:

$$\begin{aligned} \text{Minimize } J &= W^T [(A - mI)^T (A - mI)] W, \\ \text{s.t. } &\begin{cases} e^T W = 1, \\ W \geq 0. \end{cases} \end{aligned} \quad (42)$$

برای $p=\infty$ ، مدل ۴۰ تبدیل به مدل برنامه ریزی خطی مینیمکس می شود:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } J = \delta, \\ & \text{s.t. } \begin{cases} -\delta \cdot e \leq (A - mI)W \leq \delta \cdot e, \\ e^T W = 1, \\ W, \delta \geq 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (43)$$

که $\delta = \max_j |e_j|$ است. بطور معمول، ممکن است تصمیم گیرنده بخواهد هم روابط اولویت فازی مربوط به گزینه ها و هم روابط اولویت ضربی مربوط به وزن های معیارها را در نظر گیرد. در این حالت، او می تواند اهمیت نسبی متفاوتی را به هر یک از روابط خود ضمیمه کند. برای مثال، می تواند از مقیاس معروف ۱ تا ۹ فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین مقادیر α و β استفاده کند. اگر تصور می شود روابط اولویت فازی نسبت به روابط اولویت ضربی به یک اندازه مهم هستند، پس $\alpha = \beta = 1/2$ می شود. اگر تصور می شود اولی (روابط اولویت فازی) نسبتاً مهم تر از دومی (روابط اولویت ضربی) است، پس $\alpha = 3\beta$ قرار می دهد. اگر تصور می شود روابط اولویت فازی به شدت مهم تر از روابط اولویت ضربی است، پس $\alpha = 5\beta$ قرار داده می شود. اگر اولی نسبت به دومی بسیار قویاً مهم است، پس تصمیم گیرنده مقدار $\alpha = 7\beta$ قرار می دهد. اگر اولی بی نهایت مهم تر از دومی است، تصمیم گیرنده مقدار $\alpha = 9\beta$ قرار می دهد. پیشنهاد شده است که تصمیم گیرنده باید بیش از یک مجموعه از مقادیر را برای تحلیل حساسیت آزمون کند تا اینکه نتیجه معتبری از تصمیم به دست آید. پارامترهای α_k و b_1 در مدل ۳۷ طراحی شده اند تا اهمیت نسبی تصمیم گیرنده های متفاوت را در تصمیم گیری گروهی بازتاب دهند. این پارامترها بر اساس عواملی چون قلمروی دانش تصمیم گیرنده، جایگاه ها در تصمیم گیری گروهی، و تجربه تعیین می شوند. اگر شواهد قابل توجهی برای نشان دادن نابرابری نسبی بین تصمیم گیرندگان در تصمیم گیری گروهی وجود نداشته باشد، α_k و b_1 می توانند برابر باشند [19].

۴. مثال عددی

در این بخش، یک مثال عددی ارائه می دهیم تا نشان دهیم چگونه روابط اولویت های فازی گزینه ها و روابط اولویت ضربی معیارهای تصمیم گیرنده می تواند با اطلاعات ماتریس تصمیم گیری عینی ادغام شود و تصمیم گیری انجام شود. این مثال بر اساس کار منتشر شده از فن و همکاران است. یک خریدار (تصمیم گیرنده) قصد دارد خانه ای بخرد. ۴ گزینه برای انتخاب از a_1 تا a_4 دارد. شاخص ها یا معیارهای او نیز عبارتند از: g_1 قیمت خانه به دلار، g_2 اندازه خانه به مترمربع، g_3 فاصله تا محل کار به کیلومتر و g_4 ویژگی های محیطی خانه مثل چشم انداز و... می باشد. شاخص های اول و سوم معیارهای هزینه و شاخص های دوم و چهارم معیارهای سود هستند. ماتریس تصمیم برای این مساله تصمیم گیری چند شاخصه به صورت زیر است:

$$X = \begin{matrix} & \begin{matrix} G_1 & G_2 & G_3 & G_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 3.0 & 100 & 10 & 7 \\ 2.5 & 80 & 8 & 5 \\ 1.8 & 50 & 20 & 11 \\ 2.2 & 70 & 12 & 9 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

روابط اولویت‌های فازی و ضربی برای تصمیم گیرنده به صورت زیر است:

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} - & 0.44 & 0.64 & 0.54 \\ 0.56 & - & 0.69 & 0.60 \\ 0.36 & 0.31 & - & 0.40 \\ 0.46 & 0.40 & 0.60 & - \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \text{and} \quad A = \begin{matrix} & \begin{matrix} G_1 & G_2 & G_3 & G_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} G_1 \\ G_2 \\ G_3 \\ G_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 2 & 3 \\ 2 & 1 & 3 & 4 \\ 1/2 & 1/3 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

مطلوب است مشخص کردن اولویت ۴ خانه برای خریدار؟ ابتدا ماتریس تصمیم گیری X را به روش فازی (روابط ۱ و ۲) نرمالایز می‌کنیم تا ماتریس Z زیر بدست آید.

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 5/6 & 1/3 \\ 5/12 & 3/5 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 2/3 & 2/5 & 2/3 & 2/3 \end{bmatrix}$$

ماتریس b هم مطابق آنچه از قبل گفته شده بود از ماتریس اولویت‌های فازی p (رابطه‌ی ۱۵) بصورت زیر حاصل می‌شود:

$$B = \begin{bmatrix} 1.62 & 0.44 & 0.64 & 0.54 \\ 0.56 & 1.85 & 0.69 & 0.60 \\ 0.36 & 0.31 & 1.07 & 0.40 \\ 0.46 & 0.40 & 0.60 & 1.46 \end{bmatrix}$$

حداکثر مقدار ویژه‌ی آن $\lambda_{\max} = 3$ است و مقدار ویژه‌ی اصلی نرمالایز شده از رابطه ۱۴ مطابق زیر بدست می‌آید:

$$D = (d_1, d_2, d_3, d_4)^T = (0.2713, 0.3446, 0.1537, 0.2304)^T$$

که ۴ گزینه را مطابق $a_2 > a_1 > a_4 > a_3$ رتبه‌بندی می‌کند، که نماد ">" به مفهوم ارجحیت یا برتری داشتن است. این رتبه‌بندی اولویت ذهنی تصمیم گیرنده است و بطور ذهنی a_2 بهترین گزینه است. هر چند، این رتبه‌بندی اولویت ذهنی ممکن است تحقق پیدا نکند (قابل درک نباشد) زیرا هم اطلاعات ماتریس تصمیم‌گیری و هم روابط اولویت وزنی هنوز در نظر گرفته نشده‌اند. برای رابطه اولویت ضربی a ، بردارهای اولویت زیر برای $p=1, 2, \infty$ می‌تواند با استفاده از مدل ۴۰ یا مدل‌های معادل آن (۴۱ تا ۴۳) حاصل شود:

$$\begin{aligned} W &= (0.2778, 0.4692, 0.1603, 0.0928)^T \text{ for } p = 1, \\ W &= (0.2775, 0.4691, 0.1594, 0.0936)^T \text{ for } p = 2, \\ W &= (0.2772, 0.4686, 0.1595, 0.0946)^T \text{ for } p = \infty, \end{aligned}$$

که همگی آنها کاملاً نزدیک به وزن های بردار ویژه $w^* = (0.2772, 0.4673, 0.1601, 0.0954)^t$ با $\lambda_{\max} = 4.0310$ هستند و $0.11 < 0.1$ است که از روش روش بردار ویژه ساعتی حاصل شده است. این نشان می دهد که مدل تعمیم یافته ی (۴۰) گزینه ی خوبی برای بدست آوردن اولویت ها از ماتریس مقایسات زوجی است. چهار بردار اولویت بالا از معیارها منجر به چهار مجموعه ی از مقادیر ارزیابی موزون کلی برای چهار گزینه با استفاده از روابط ۴ و ۵ می شود، که به صورت زیر نشان داده شده اند:

$$D = (0.6336, 0.5575, 0.3706, 0.5416)^T \text{ by the } W \text{ for } p = 1,$$

$$D = (0.6333, 0.5566, 0.3714, 0.5416)^T \text{ by the } W \text{ for } p = 2,$$

$$D = (0.6331, 0.5562, 0.3718, 0.5417)^T \text{ by the } W \text{ for } p = \infty,$$

$$D = (0.6325, 0.5560, 0.3726, 0.5421)^T \text{ by the EM weights.}$$

جدول ۱- وزن های نسبی بهینه برای چهار معیار با استفاده از روش wldn

α	β	w_1	w_2	w_3	w_4
1.0	0	0.3413	0.3152	0.3435	0
0.8	0.2	0.2723	0.4643	0.2051	0.0582
0.6	0.4	0.2728	0.4692	0.1603	0.0928
0.5	0.5	0.2728	0.4692	0.1603	0.0928
0.4	0.6	0.2728	0.4692	0.1603	0.0928
0.2	0.8	0.2728	0.4692	0.1603	0.0928
0	1.0	0.2778	0.4692	0.1603	0.0928

جدول ۲- مقادیر ارزیابی وزین کلی برای چهار گزینه و رتبه بندی با استفاده از روش wldn

α	β	A_1	A_2	A_3	A_4	Ranking
1.0	0	0.6014	0.6748	0.3413	0.5826	$A_2 > A_1 > A_4 > A_3$
0.8	0.2	0.6547	0.5972	0.3305	0.5429	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.6	0.4	0.6336	0.5575	0.3706	0.5416	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.5	0.5	0.6336	0.5575	0.3706	0.5416	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.4	0.6	0.6336	0.5575	0.3706	0.5416	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.2	0.8	0.6336	0.5575	0.3706	0.5416	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0	1.0	0.6336	0.5575	0.3706	0.5416	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$

جدول ۳- وزن های نسبی بهینه برای چهار معیار با استفاده از روش wlsdn

α	β	w_1	w_2	w_3	w_4
1.0	0	0.3263	0.2965	0.3773	0
0.8	0.2	0.2820	0.4630	0.1955	0.0594
0.6	0.4	0.2751	0.4692	0.1782	0.0775
0.5	0.5	0.2747	0.4699	0.1732	0.0821
0.4	0.6	0.2750	0.4701	0.1694	0.0856
0.2	0.8	0.2761	0.4697	0.1636	0.0905
0	1.0	0.2775	0.4691	0.1594	0.0939

چهار مجموعه از مقادیر ارزیابی همگی با هم، چهار گزینه را به صورت $a_1 > a_2 > a_4 > a_3$ رتبه‌بندی می‌کنند. این رتبه‌بندی از روابط اولویت ضربی و اطلاعات ماتریس عینی تصمیم بدست آمده اما روابط اولویت فازی تصمیم گیرنده هنوز در نظر گرفته نشده‌اند. پس این رتبه‌بندی هنوز رتبه‌بندی نهایی نیست. برای تعیین رتبه‌بندی نهایی چهار گزینه، هم روابط اولویت فازی و هم ضربی و هم اطلاعات ماتریس تصمیم‌گیری باید بصورت همزمان در نظر گرفته شوند. این مهم با حل مدل (۱۹) یا مدل‌های معادل آن (۲۴ و ۲۵) و (۳۵) برای $p=1,2,\infty$ می‌تواند انجام شود. برای ترکیب‌های متفاوت اطلاعات عینی و اولویت‌های ضربی، جدول ۱ تا ۶ وزن‌های نسبی بهینه برآورد شده و مقادیر ارزیابی وزن کلی برای چهار معیار و نیز رتبه‌بندی نهایی بدست آمده از روش‌های مختلف برای $p=1,2,\infty$ را نشان می‌دهد. از آنجا که $(\alpha, \beta) = (0, 1)$ و $(\alpha, \beta) = (1, 0)$ نشان‌دهنده‌ی دو ترکیب خیلی زیاد هستند، که هیچیک روابط اولویت فازی یا روابط اولویت ضربی را در نظر نمی‌گیرند، زمانی که دو رابطه‌ی اولویت باید بصورت همزمان در نظر گرفته شوند، باید از آنها اجتناب شود. در این حالت، مهم نیست که چگونه α و β ترکیب می‌شوند، سه روش $wlsdn$ ، $wmdn$ و همگی رتبه‌بندی مشابه $a_1 > a_2 > a_4 > a_3$ را ارایه می‌دهند. بنابراین a_1 بهترین انتخاب برای تصمیم گیرنده است. همچنین ملاحظه شده است که وزن‌های بدست آمده از روش $wlsdn$ بیشترین حساسیت را به تغییر مقادیر α و β نسبت به روش‌های $wmdn$ و دارند. این مشاهده، نتایج ما را در بخش ۳.۶ مبنی بر اینکه مدل (۱۹) با $p=1$ یا نسبت به تغییر α و β قوی‌تر از $p=2$ است را تایید می‌کند.

جدول ۴- مقادیر ارزیابی وزن کلی چهار گزینه و رتبه‌بندی آنها با استفاده از روش $wlsdn$

α	β	A_1	A_2	A_3	A_4	Ranking
1.0	0	0.6108	0.6911	0.3263	0.5876	$A_2 > A_1 > A_4 > A_3$
0.8	0.2	0.6458	0.5909	0.3415	0.5432	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.6	0.4	0.6435	0.5743	0.3526	0.5415	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.5	0.5	0.6416	0.5696	0.3569	0.5414	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.4	0.6	0.6397	0.5660	0.3606	0.5413	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.2	0.8	0.6363	0.5605	0.3666	0.5415	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0	1.0	0.6333	0.5566	0.3714	0.5416	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$

جدول ۵- وزن‌های نسبی بهینه برای چهار معیار با استفاده از روش $wmdn$

α	β	w_1	w_2	w_3	w_4
1.0	0	0.3263	0.2965	0.3773	0
0.8	0.2	0.2928	0.4943	0.2129	0
0.6	0.4	0.2772	0.4686	0.1595	0.0946
0.5	0.5	0.2772	0.4686	0.1595	0.0946
0.4	0.6	0.2772	0.4686	0.1595	0.0946
0.2	0.8	0.2772	0.4686	0.1595	0.0946
0	1.0	0.2772	0.4686	0.1595	0.0946

جدول ۶- مقادیر ارزیابی وزن کلی چهار گزینه و رتبه بندی آنها با استفاده از روش wmdn

α	β	A_1	A_2	A_3	A_4	Ranking
1.0	0	0.6592	0.6802	0.2856	0.5645	$A_2 > A_1 > A_4 > A_3$
0.8	0.2	0.6717	0.6315	0.2928	0.5349	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.6	0.4	0.6331	0.5562	0.3718	0.5417	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.5	0.5	0.6331	0.5562	0.3718	0.5417	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.4	0.6	0.6331	0.5562	0.3718	0.5417	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0.2	0.8	0.6331	0.5562	0.3718	0.5417	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$
0	1.0	0.6331	0.5562	0.3718	0.5417	$A_1 > A_2 > A_4 > A_3$

در نهایت، دریافتیم که مثال مورد بررسی در این قسمت برای زوجی که می خواهند خانه یا چیز دیگری بخرند، زمانی که یکی روابط اولویت فازی و دیگری روابط اولویت ضربی ارایه می دهد، قابل کاربرد است. تصمیم نهایی هم بر اساس روابط اولویت ها و هم اطلاعات ماتریس عینی تصمیم است.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله، یک روش کلی تصمیم گیری چند شاخصه برای ترکیب اولویت های ذهنی و اطلاعات ماتریس عینی تصمیم ارایه شد تا تصمیم بر مبنای این رویکرد ترکیبی اتخاذ شود. سه حالت خاص از این روش بررسی شدند. تعمیم این روش به تصمیم گیری گروهی و انتخاب پارامترهای تصمیم نیز بررسی شد. یک مثال عددی برای نشان دادن کاربرد روش های تصمیم گیری چند شاخصه پیشنهادی بررسی شد. از آنجا که این روش ها، هم روابط اولویت های فازی و هم ضربی را به صورت همزمان در نظر می گیرد، هر روشی که تنها یکی از آنها را در نظر گیرد، می تواند به عنوان حالتی خاص از روش های ما دیده شود.

فهرست منابع و مآخذ

- [1] f. chiclana, f. herrera, e. herrera-viedma, integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision-making based on fuzzy preference relations, fuzzy sets and systems 97 (1998) 33–48.
- [2] f. chiclana, f. herrera, e. herrera-viedma, integrating multiplicative preference relations in a multipurpose decision-making model based on fuzzy preference relations, fuzzy sets and systems 122 (2001) 277–291.
- [3] z. p. fan, g. f. hu, s. h. xiao, a method for multiple attribute decision-making with the fuzzy preference relation on alternatives, comput. indus. eng. 46 (2004) 321–327.
- [4] z. p. fan, j. ma, y. p. jiang, y. h. sun, l. ma, a goal programming approach to group decision making based on multiplicative preference relations and fuzzy preference relations, European j. oper. res. (in press).
- [5] z. p. fan, j. ma, q. zhang, an approach to multiple attribute decision-making based on fuzzy preference information on alternatives, fuzzy sets and systems 131 (2002) 101–106.
- [6] z. p. fan, s. h. xiao, g. f. hu, an optimization method for integrating two kinds of preference information in group decision-making, comput. indust. eng. 46 (2004) 329–335.
- [7] f. herrera, e. herrera-viedma, f. chiclana, multiperson decision-making based on multiplicative preference relations, european j. oper. res. 129 (2001) 372–385.
- [8] c. l. huang, k. yoon, multiple attribute decision-making: methods and applications, springer, berlin, 1981.
- [9] s. lipovetsky, w. m. conklin, robust estimation of priorities in the ahp, european j. oper. res. 137 (2002) 110–122.
- [10] j. ma, z. p. fan, l. h. huang, a subjective and objective integrated approach to determine attribute weights, european j. oper. res. 112 (1999) 397–404.
- [11] t. l. saaty, the analytic hierarchy process, mcgraw-hill, new york, 1980.
- [12] y. m. wang, on fuzzy multiattribute decision-making models and methods with incomplete preference information, fuzzy sets and systems 151 (2005) 285–301.
- [13] y. m. wang, g. w. fu, using the factor analysis method to make decision for multiple attributes, j. decision-making decision support systems 2 (4) (1992) 71–79.
- [14] y. m. wang, g. w. fu, a new method of determining the weight coefficients among multiple attributes, j. tsinghua univ. 33 (6) (1993) 97–102.
- [15] y. m. wang, g. w. fu, using multiobjective decision-making method to make decision for multiple attributes, control and decision 8 (1) (1993) 25–29.

- [16] y. m. wang, g. w. fu, using nonlinear programming method to make decision for multiattributes, j. decision-making decision support systems 3 (1) (1993) 54–61.
- [17] y. m. wang, g. w. fu, application of principal components in multiattribute decision making, systems eng. -theory methodol. appl. 2 (2) (1993) 42–48.
- [18] y. m. wang, c. parkan, multiple attribute decision-making based on fuzzy preference information on alternatives: ranking and weighting, fuzzy sets and systems 153 (2005) 331–346.
- [19] x. xu, a note on the subjective and objective integrated approach to determine attribute weights, european j. oper. res. 156 (2004) 530–532.

