

## ارزیابی شهرک‌های صنعتی با استفاده از MCDM فازی در GIS

روزبه شاد<sup>۱\*</sup>، محمد سعدی مسگری<sup>۲</sup>، علی اکبر آبکار<sup>۳</sup>، علیرضا وفایی نژاد<sup>۴</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار گروه مهندسی GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

۳- استادیار دانشکده محیط زیست، دانشگاه، تهران، ایران

۴- استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه علوم و تحقیقات آزاد، تهران، ایران

دریافت: ۸۷/۴/۵ پذیرش: ۸۷/۱۱/۲۷

### چکیده

در حال حاضر با در نظر گرفتن عوامل جغرافیایی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی، مکان‌ها و نواحی برای تجمع واحدهای صنعتی به صورت شهرک یا مجتمع، انتخاب و سازمان‌دهی می‌شوند. برای دستیابی به این مقصود، لازم است که پس از فرایند تعیین مکان‌های مناسب، تصمیم‌گیری مقتضی به منظور تشخیص مکان بهینه نهایی انجام شود. این موضوع با در نظر گرفتن شرایط نامعین جغرافیایی و عوامل گوناگون اثرگذار، پیچیده و مشکل‌می‌شود. مباحثی مانند تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله تکنیک‌های ریاضی است که در سیستم اطلاعات جغرافیایی قادر است مشکلاتی مانند نحوه ارزیابی گزینه‌های مکانی را در شرایط پیچیده و نامعین جغرافیایی حل کند.

بنابراین در این مقاله هدف آن است که با استفاده از مفهوم تلفیق مدل‌های تلفیقی فازی روش جدیدی برای حل مسائل چند معیاره نامعین جغرافیایی اجرا شود. به این منظور مدل نوع دوم و سطح دوم مجموعه‌های فازی برای مسأله ارزیابی ده شهرک صنعتی استان آذربایجان شرقی انتخاب شد که در آن تابع تعلق فازی نهایی بر حامل گزینه‌های مفروض تعریف می‌شود. در نهایت، در ارزیابی نهایی مدل احتمالی فازی به جای مدل‌های کلاسیک برای مقایسه ارزش‌های فازی به کار گرفته شده و با نظرات کارشناسی مقایسه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: مجموعه‌های فازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ارزیابی، تصمیم‌گیری چند معیاره.



## ۱- مقدمه

نتایج تحقیقی مختلف در زمینه کاربردهای تصمیم‌گیری چند معیاره در مسأله ارزیابی شهرک‌های صنعتی نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری چند معیاره فقط یک راه حل ریاضی برای مسائل خاص نیست و زمینه تئوری وسیعی دارد: (Bana & et al, 1997:28-37). با این وجود تقریباً تمامی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره دارای متدولوژی و ساختار مشترکی برای حل مسائل جغرافیایی هستند (Liu and Stewart, 2004: 985-999; Bana and Costa, 1990). ارزیابی شهرک‌ها و واحدهای صنعتی دارای چنین خصوصیتی است که معیارهای جغرافیایی اصلی آن، میزان دسترسی‌ها به شهرک ( $C_1$ )، امکانات زیربنایی ( $C_2$ )، عوامل محیط زیستی ( $C_3$ )، عوامل طبیعی ( $C_4$ ) و هزینه احداث ( $C_5$ ) می‌باشد. چنین مسائلی در دو مرحله قابل حل هستند (Valls and Torr, 2000: 159-168). مرحله اول ترجیح‌بندی<sup>2</sup> می‌باشد که در آن مقادیر اهمیت معیارهای جغرافیایی برای مقایسه گزینه‌ها تلفیق می‌شوند. در مرحله دوم که اولویت‌بندی<sup>3</sup> نام دارد، گزینه‌های به‌دست آمده براساس میزان اهمیت نسبی رتبه‌بندی شده و از مقایسه‌های فازی برای تعیین میزان رتبه فازی استفاده می‌شود. چنین فرایندی دارای مشکلاتی به شرح ذیل است که در مراجع مختلف به طور مفصل در مورد آن‌ها توضیح داده شده است.

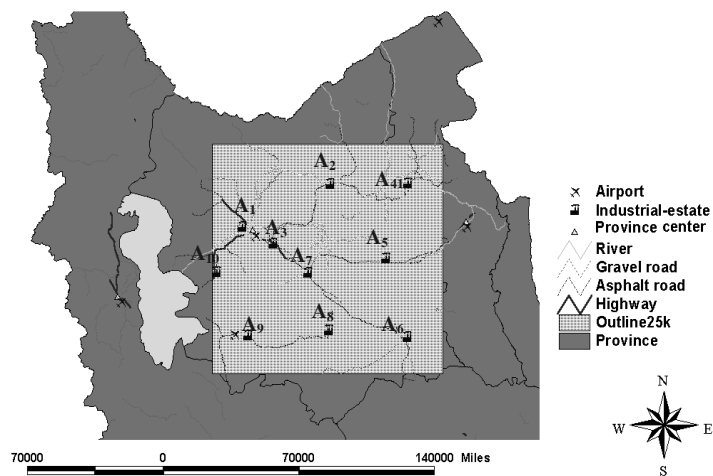
- یافتن مقیاس مشترک بین معیارهای عینی و ذهنی (Chen, 2001: 65-73; Bakalowicz, 2005: 148-165; Solomon and Queil, 2006: 1029-1041)
- روش تلفیق نظرات متخصصان (Herrera& et. al., 1996: 175-90; Lee, 2000:261-271)
- نحوه تلفیق معیارهای محلی (Peneva and Popchev, 2003: 615-633; Saaty,1997: 234-281)
- متدهای تلفیق و روش‌های تلفیقی (Roubens, 1997: 199-206)
- مقایسه و اولویت‌بندی مقادیر نامعین (Liu and Stewart, 2004: 986).

با توجه به مشکلات مذکور در این مقاله سعی بر آن است که روش جدیدی برای تلفیق مدل‌های تلفیقی ارائه شود که قادر باشد با طی یک روال منطقی مشکلات فوق را در مسأله

---

2. Rating  
3. Ranking

ارزیابی شهرک‌های صنعتی و در محیط GIS حل کند. محدوده مطالعاتی مورد نظر در استان آذربایجان شرقی در نظر گرفته شده است. این محدوده با مساحت ۳۳۹۴۷ کیلومتر مربع حوزه وسیعی از استان آذربایجان شرقی را تحت پوشش قرار می‌دهد (شکل ۱).



شکل ۱ محدوده مطالعاتی

۱۰ شهرک صنعتی A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>, A<sub>5</sub>, A<sub>6</sub>, A<sub>7</sub>, A<sub>8</sub>, A<sub>9</sub>, A<sub>10</sub> در محدوده مورد نظر موجود می‌باشد که در نتیجه گزینه‌های خوبی برای ارزیابی مکانی مدل‌های تلفیقی در این محدوده هستند.

## ۲- ارزیابی شهرک‌های صنعتی و معیارهای مؤثر

فاکتورهای مؤثر در مکان شهرک‌های صنعتی با توجه به دیدگاه‌های صنعت نسبت به مکان‌یابی به دو گروه ذهنی و عینی طبقه‌بندی می‌شوند. معیارهای ذهنی معیارهایی هستند که بر اساس تجربیات و نظرات متخصص تعریف می‌شوند، در صورتی که معیارهای عینی براساس نتایج عددی نامرتبط با عقاید متخصص، تعیین می‌شوند.



- معیارهای ذهنی: دسترسی‌ها ( $C_1$ ): مجموعه عوامل و فاکتورهای مؤثر برای دسترسی مناسب به تسهیلاتی مانند جاده، راه‌آهن، فرودگاه، امکانات شهری، نیروی کار روستایی، مراکز آموزشی، امکانات درمانی، ایستگاه‌های پلیس و ... است.

امکانات زیربنایی ( $C_2$ ): شامل عوامل و فاکتورهای مؤثر برای تأمین امکانات زیربنایی مانند آب، برق، گاز، تلفن و ... است.

محیط‌زیست ( $C_3$ ): شامل عوامل و فاکتورهای مؤثر در حفاظت از محیط‌زیست مانند آلودگی هوا، حفاظت از جنگل‌ها، حفاظت از مراتع، جلوگیری از انقراض نسل حیوانات و ... است.

عوامل طبیعی ( $C_4$ ): عوامل موجود در طبیعت یا نشأت گرفته از طبیعت مانند شیب زمین، وزش باد، زلزله، رودخانه و ... را در بر می‌گیرد.

معیارهای عینی: شامل هزینه ساخت‌وساز ( $C_5$ ) است که با قیمت‌گیری آماری از نرخ‌های موجود و بر اساس ویژگی‌های توپوگرافی محل و مصالح مورد نیاز به دست می‌آید.

جدول ۱ تلفیق اهمیت وزن‌ها

وزن معیار	وزن فازی
$C_1$	(۰/۳۰۰، ۰/۵۶۷، ۰/۸۶۷)
$C_2$	(۰/۶۳۳، ۰/۸۰۰، ۱/۰۰۰)
$C_3$	(۰/۴۰۰، ۰/۶۳۳، ۰/۹۳۳)
$C_4$	(۰/۳۰۰، ۰/۵۶۷، ۰/۸۶۷)
$C_5$	(۰/۷۰۰، ۱/۰۰۰، ۱/۰۰۰)

کلاس‌های اصلی که همان  $C_1$ ،  $C_2$ ،  $C_3$ ،  $C_4$ ،  $C_5$  هستند، از راه تلفیق مجموع وزنی این معیارها تولید شده و مورد ارزیابی کیفی کارشناسی قرار می‌گیرند. برای تعریف اهمیت هر کلاس اصلی معیار لازم است که ابتدا معنای هر عبارت بیانی (مانند «خیلی کم» و «کم» و ...) با استفاده از مفهوم زیرمجموعه‌های فازی در بازه صفر تا یک تعریف شود. سپس نظرات

متخصصان در مورد اهمیت معیارها اخذ و تلفیق شده و تخمین نهایی انجام گیرد. برای تلفیق نظرات یک رابطه ساده به صورت ذیل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \oplus W_{ij} \quad (1)$$

$W_i$  اهمیت وزن  $i$  امین معیار و  $W_{ij}$  اهمیت وزنی  $i$  امین معیار مشخص شده به وسیله متخصصان زام می‌باشد،  $n$  تعداد متخصصان دخیل و  $\oplus$  اپراتور جمع فازی است (جدول ۱).

### ۳- مبانی و مفاهیم مورد نیاز

زیرمجموعه پیوسته فازی  $S(A \subset B)$  یا میزان تعلق "A زیرمجموعه B است" بر اساس تئوری برش‌های  $\alpha$  در مجموعه‌های فازی قابل تعیین است. اگر A یک مقدار فازی باشد، می‌توان نوشت:

$$A = \bigcup_{\alpha} \alpha A_{\alpha} \quad (2)$$

به نحوی که  $\alpha A_{\alpha}$  زیرمجموعه فازی  $(x \in U, \mu_A(x) \geq \alpha)$  می‌باشد،  $A_{\alpha}$  محمل زیرمجموعه فازی  $\alpha A_{\alpha}$  و U مجموعه مرجع مورد نظر است. بنابراین تعریف محاسبه زیرمجموعه‌ای برای تعیین این که بازه کریسپ  $A_{\alpha}$  تا چه درجه‌ای زیر مجموعه بازه کریسپ  $B_{\alpha}$  می‌باشد، مورد نیاز است  $(S(A_{\alpha} \subset B_{\alpha}))_{\alpha}$

$$S(A_{\alpha} \subset B_{\alpha}) = \frac{W(A_{\alpha} \cap B_{\alpha})}{W(A_{\alpha})} \quad (3)$$

که در آن  $W(A_{\alpha})$  پهنای بازه  $A_{\alpha}$  و  $W(A_{\alpha} \cap B_{\alpha})$  پهنای محدوده هم‌پوشی بازه‌های  $A_{\alpha}$  و  $B_{\alpha}$  می‌باشد.



جدول ۲ درجه زیرمجموعه اهمیت‌های وزنی معیارها با توجه به عبارت‌های کلامی

	VL	L	M	H	VH
W <sub>1</sub>	0	۲/۸۳	۴۸/۰۴	۱۹/۸۶	۰/۹۲
W <sub>2</sub>	0	0	۲/۴۴	۳۷/۴۵	۱۴/۶۷
W <sub>3</sub>	0	۰/۴۰	۲۴/۵۳	۳۵/۶۹	۲/۸۲
W <sub>4</sub>	0	۲/۸۳	۴۸/۰۴	۱۹/۸۶	۰/۹۲
W <sub>5</sub>	0	0	۱۱/۵۱	۱۱/۵۱	۱۰۰

جدول ۳ ترجیح‌بندی کلامی معیارها

	عبارت بیانی	اعداد فازی
C <sub>1</sub>	M	(۰/۳۰۰، ۰/۵۶۷، ۰/۸۶۷)
C <sub>2</sub>	H	(۰/۶۳۳، ۰/۸۰۰، ۱/۰۰۰)
C <sub>3</sub>	H	(۰/۴۰۰، ۰/۶۳۳، ۰/۹۳۳)
C <sub>4</sub>	M	(۰/۳۰۰، ۰/۵۶۷، ۰/۸۶۷)
C <sub>5</sub>	VH	(۰/۷۰۰، ۱/۰۰۰، ۱/۰۰۰)

برای به‌دست آوردن یک تخمین تلفیقی از محاسبات زیرمجموعه‌ای بر اساس برش‌های  $\alpha$  (رابطه ۴) به صورت پیشنهاد می‌شود.

$$S(A \subset B) = \frac{\sum_{\alpha} \alpha S(A_{\alpha} \subset B_{\alpha})}{\sum_{\alpha} \alpha}$$

این روش برای تخمین درجه هر یک از اهمیت‌های وزنی تلفیق شده ( $W_i$ ) که از راه میانگین‌گیری نظرات متخصصان به‌دست می‌آیند، استفاده می‌شود. نتایج در جدول ۲ ارائه شده است که در آن مقادیر پررنگ‌تر بیش‌ترین درجات زیر مجموعه بودن را نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان مقادیر اهمیت‌های وزنی تلفیق شده حاصل از عبارت‌های بیانی را به صورت جدول ۳ نشان داد.

فرض کنید که  $X_{ij}$  نتایج ترجیح‌بندی فازی گزینه‌های  $A_i (i=1,2,\dots,m)$  با توجه به معیارهای  $C_j (j=1,\dots,n)$  باشند و  $X_{ij}$  ها با استفاده از اعداد مثلثی فازی نمایش داده شوند؛ یعنی  $X_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ . بنابراین می‌توان آن‌ها را به دو گروه معیار سود و هزینه تقسیم و هم مقیاس کرد.

جدول ۴ مقادیر فازی معیارهای محلی به شکل کلامی

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$A_1$	Very High	High	Medium	low	Medium
$A_2$	Medium	Medium	low	High	Low
$A_3$	High	High	Medium	Low	Medium
$A_4$	High	Medium	low	High	Low
$A_5$	High	Medium	low	Medium	High
$A_6$	High	Medium	low	Low	Medium
$A_7$	High	High	Medium	Low	Medium
$A_8$	Very High	Medium	Medium	Medium	High
$A_9$	Very High	Medium	High	Medium	High
$A_{10}$	Very High	High	High	Medium	Very High

- معیارهای سود (۵)

$$\tilde{r}_{ij} = \left\{ \frac{a_{ij}}{c_{ij}^*}, \frac{b_{ij}}{c_{ij}^*}, \frac{c_{ij}}{c_{ij}^*} \right\}, \quad c_{ij}^* = \max_i c_{ij}$$

$$\mu_B = \begin{cases} 1 & \text{if } r_j \leq r_{j \min} \\ \frac{r_j - r_{j \min}}{r_{j \max} - r_{j \min}} & \text{if } r_{j \min} \leq r_j \leq r_{j \max} \\ 0 & \text{if } r_j \geq r_{j \max} \end{cases}$$



معیارهای هزینه (۶)

$$\tilde{r}_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} \bar{a}_j, \bar{a}_j, \bar{a}_j \\ c_{ij}, b_{ij}, a_{ij} \end{array} \right\}, \quad \bar{a}_j = \min_i a_{ij} \quad \mu_B =$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \cdot \\ \cdot \\ \frac{r_j - r_{j \min}}{r_{j \max} - r_{j \min}} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{if } r_j \leq r_{j \min} \\ \text{if } r_{j \min} \leq r_j \leq r_{j \max} \\ \text{if } r_j \geq r_{j \max} \end{array} \right.$$

که در (۵) و (۶)  $r_{j \max} = \max_i c_{ij}$  و  $r_{j \min} = \min_i a_{ij}$  در جدول ۴ تخمین‌های کلامی از گزینه‌های مقایسه شده با در نظر گرفتن همه معیارها نشان داده شده است. معمولاً برای مقایسه مقادیر فازی روشهای احتمالاتی دارای عملکرد مناسبی هستند. برای روشن شدن موضوع اگر فرض کنیم  $\tilde{A}$  و  $\tilde{B}$  مقادیر فازی بر روی  $X$  و مرتبط با توابع تعلق  $\mu_A(x)$  و  $\mu_B(x)$  باشند، آنگاه  $\tilde{A}$  و  $\tilde{B}$  را با مجموعه‌ای از برشهای  $\alpha$  میتوان نمایش داد.

$$\tilde{A} = \bigcup_{\alpha} A_{\alpha}, \tilde{B} = \bigcup_{\alpha} B_{\alpha} \quad B_{\alpha} = \{x \in X : \mu_B(x) \geq \alpha\} \quad (۷)$$

$$A_{\alpha} = \{x \in X : \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$\tilde{A} \text{ rel } \tilde{B} = \bigcup_{\alpha} A_{\alpha} \text{ rel } B_{\alpha} \quad \text{rel} = \{<, =, >\} \quad (۸)$$



در این صورت اگر  $A_\alpha$  و  $B_\alpha$  بازه‌های کریسپ باشند، آن گاه احتمال  $P(A_\alpha < B_\alpha)$  برای هرزوج  $A_\alpha$  و  $B_\alpha$  قابل محاسبه خواهد بود. مجموعه  $P_\alpha$  در ذیل ممکن است به صورت محمل زیر مجموعه فازی عمل کند.

$$P_\alpha(\alpha \in (0, 1]) \quad P(\tilde{B} > \tilde{A}) > \{\alpha / P_\alpha(B_\alpha > A_\alpha)\} \quad (9)$$

در رابطه فوق مقدار  $\alpha$  درجه‌ای از عضویت به مقدار فازی  $P(\tilde{A} < \tilde{B})$  تلقی می‌شود. نتایج به دست آمده به سادگی طبیعت محاسبات فازی را نشان می‌دهند که در نتیجه مفهوم احتمالات فازی را می‌توان به صورت مستقیم در آن‌ها مورد استفاده قرار داد. با وجود این اندیس‌های اعداد حقیقی نیازمند مقایسه فازی هستند که به این منظور از مجموع وزنی ذیل استفاده می‌شود.

$$\bar{P}(\tilde{B} > \tilde{A}) = \frac{\sum \alpha P_\alpha(B_\alpha > A_\alpha)}{\sum \alpha} \quad (10)$$

عبارت اخیر دلالت می‌کند بر این که استفاده از برش  $\alpha$  برای تخمین احتمال کلی با افزایش یافتن عدد آن افزایش پیدا می‌کند. در مقالات مختلف روش‌های گوناگونی برای تلفیق معیارهای محلی ارائه شده است، ولی در عمل بهترین روش اثبات شده‌ای وجود ندارد. در مسأله تلفیق اگر معیارهای محلی  $1$  تا  $n$  که به صورت غیریکسان اولویت‌بندی شده‌اند، بر روی یک مجموعه از گزینه‌های  $X$  مرتبط با توابع عضویت  $\mu_1(x)$  تا  $\mu_n(x)$  ( $x \in X$ ) نشان داده شوند، آن گاه گزینه بهینه  $x_0$  را به صورت ذیل می‌توان مشخص کرد.

$$x_0 = \arg \max_{x \in X} \min(\mu_C(x)) \quad (11)$$

$$\mu_C(x) = \mu_1^{w_1}(x) \wedge \mu_2^{w_2}(x) \wedge \dots \wedge \mu_n^{w_n}(x)$$

$$w_1, w_2, \dots, w_n > 0, \quad \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i = 1$$



که در رابطه فوق اپراتور مینیمم فازی بین توابع عضویت قرار گرفته است،  $n$  نمایانگر تعداد معیارهای محلی است و  $w_i$  میزان اهمیت هر معیار است. اپراتور تلفیقی مینیمم در بعضی مواقع با مفاهیم شهودی تصمیم‌گیرنده در مورد بهینگی سازگار نیست. به نظر می‌رسد که هر یک از اپراتورهای مشخص تلفیقی دارای مزایا و معایب خاص خود هستند و انتخاب بهترین اپراتور در مواجهه با مسائل سلسله‌مراتبی پیچیده امری محال است. بنابراین در ارتباط با کاربردهای پیچیده‌ای که با معیارهای زیاد روبه‌رو هستند، منطقی‌ترین کار استفاده از همه انواع اپراتورهای تلفیقی مرتبط می‌باشد که در صورت اعمال هر یک ممکن است نتایج گوناگونی حاصل شود. برای رفع این مشکل روش جدیدی برای تلفیق اپراتورهای تلفیقی پیشنهاد می‌شود که در آن مدهای تلفیقی مختلفی انتخاب شده‌اند که معمولاً به صورت ترکیبی برای ساختن اپراتورهای تلفیقی پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرند (روابط ۱۲، ۱۳ و ۱۴).

$$M_{\gamma} = \mu_1(C_1)^{w_1} \otimes \mu_2(C_2)^{w_2} \otimes \dots \otimes \mu_n(C_n)^{w_n} \quad (12)$$

$$M_{\gamma} = \min(\mu_1(x_1)^{w_1}, \mu_2(x_2)^{w_2}, \dots, \mu_n(x_n)^{w_n}) \quad (13)$$

$$M_{\gamma} = w_1 \otimes \mu_1(x_1) \oplus w_2 \otimes \mu_2(x_2) \oplus \dots \oplus w_k \otimes \mu_n(x_n) \quad (14)$$

$$M_{\xi} = \mu_1(C_1)^{w_1} \hat{t} \mu_2(C_2)^{w_2} \hat{t} \dots \hat{t} \mu_n(C_n)^{w_n} \quad (15)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در روابط فوق از اپراتورهای جمع و ضرب فازی  $(\oplus, \otimes)$  استفاده شده است. اپراتور  $\hat{t}$  به نام  $\mathbf{t}$  نرم یا گر است که قابل اعتمادترین اپراتور تلفیقی معرفی شده است. به راحتی می‌توان فهمید که این روش براساس استدلال غیردقیق عمل می‌کند که در آن روابط به صورت نامحسوس در مدهای تلفیقی مفروض لحاظ می‌شوند. در مجموعه‌های فازی نوع ۲ و سطح ۲ که بر روی محمل مرکبی از گزینه‌های مقایسه شده تعریف می‌شوند، برای تلفیق مدهای تلفیقی از اپراتورهای مینیمم، جمع و ضرب استفاده

نمی‌شود. لذا در توالی نامحدود مسائل تلفیقی کاربرد دارند. مجموعه‌های فازی نوع دوم گسترشی از مجموعه‌های فازی معمولی (نوع اول) هستند که در آن‌ها تابع عضویت زیرمجموعه فازی به وسیله زیرمجموعه دیگری تعیین می‌شود. اگر  $A$  مجموعه فازی نوع دوم بر محمل زیر مجموعه  $X$  باشد، آن گاه برای برخی از  $x \in X$  تابع عضویت  $\mu_A(x)$ ، مجموعه‌ای فازی با تابع عضویت  $\mu_x^{I_2}(y)$  خواهد بود. مجموعه‌های فازی سطح دوم روی محملی که المان‌های یک مجموعه فازی معمولی هستند، تعریف می‌شوند. بنابراین اگر مجموعه فازی  $A$  بر مجموعه گسسته  $z_i \quad i=1,2,\dots,N$  تعریف شده باشد و  $x_j$  ها به وسیله مجموعه‌های فازی معمولی بر روی مجموعه مرجع گسسته  $x_j \quad j=1,\dots,M$  مشخص شده باشد، آن گاه زیر مجموعه فازی  $A$  با استفاده از معادلات ذیل به صورت سطح دوم تعریف می‌شود.

$$z_i = \left\{ \frac{\mu_i^{I_2}(x_j)}{x_j} \right\}, \quad A = \left\{ \frac{\mu_A(z_i)}{z_i} \right\} \quad (16)$$

$$A = \left\{ \frac{\max[\mu_A(z_i)\mu_i^{I_2}(x_j)]}{x_j} \right\} \quad i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, M \quad (17)$$

از رابطه (۱۶) می‌توان فهمید که ممکن است درجه عضویت نهایی  $x_j$  در مجموعه  $A$  به صورت ذیل باشد.

$$\mu_A(z_j) = \max_i [\mu_A(z_i)\mu_i^{I_2}(x_j)], \quad j = 1, \dots, M \quad (18)$$

فرض کنید که مجموعه‌ای از گزینه‌ها به نام  $x_j \quad (j=1,2,\dots,M)$  و  $N$  مدل تلفیقی به نام  $M_i$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) وجود داشته باشند. معمولاً در عمل، تخمین اعتمادپذیری مدهای تلفیقی، حداقل در حالت بیانی امکان‌پذیر است. بنابراین طبیعی است که عقاید متخصصان در مورد نزدیکی عملگرهای مفروض تلفیقی  $M_i$  به انواع مختلف تلفیق‌ها با  $\mu_A(M_i) \quad i=1,\dots,N$



نمایش داده شوند که در واقع همانند روش تلفیقی ایدئال است. بنابراین  $M$  ایدئال با استفاده از تابع عضویت خود روی مدها تلفیقی مقایسه شده به صورت ذیل تعریف می‌شود.

$$M_{ideal} = \left\{ \frac{\mu(M_i)}{M_i} \right\}, \quad i = 1, \dots, N. \quad (19)$$

در نتیجه به ازای همه  $x_j$ ها، تخمین‌های  $M_i(x_j)$  با استفاده از مدهای تلفیقی  $M_i$  محاسبه می‌شود. به صورت فرمال هر  $M_i$  روی گزینه‌های مورد مقایسه  $x_j$  تعریف شده و در نتیجه هر  $M_i$  را با یک زیرمجموعه فازی می‌توان نشان داد.

$$M_i = \left\{ \frac{M_i(x_j)}{x_j} \right\}, \quad j = 1, \dots, M. \quad (20)$$

$M_i(x_j)$  درجه عضویت گزینه‌های متعلق به مجموعه "خوب" را (که با استفاده از مدهای تلفیقی  $M_i$  تخمین زده شده‌اند) تعیین می‌کند. با جایگزین کردن رابطه (۲۰) در (۱۹) و با استفاده از رابطه (۱۱) خواهیم داشت.

$$M_{ideal} = \left\{ \frac{\mu_{ideal}(M_i)}{M_i} \right\}, \quad i = 1, \dots, N \quad (21)$$

$$\mu_{ideal}(x_j) = \max_i [\mu(M_i) M_i(x_j)] \quad (22)$$

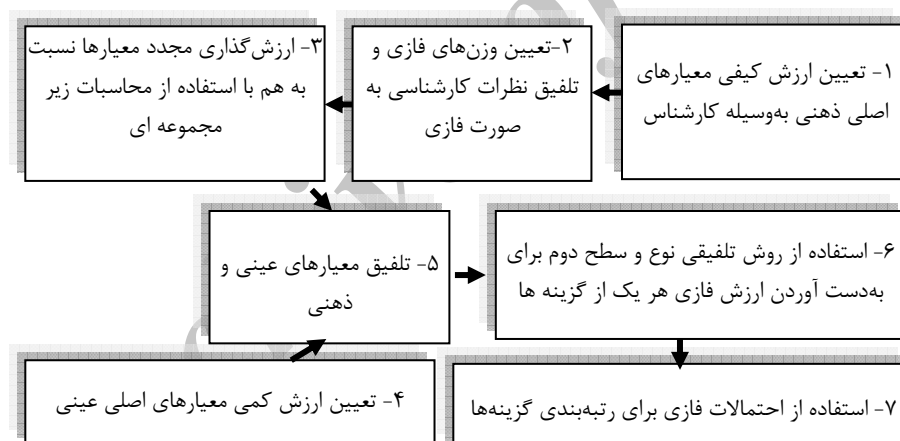
در نهایت با توجه به روابط ۲۱ و ۲۲ بهترین گزینه با استفاده از رابطه ذیل تعیین می‌شود.

$$x_{best} = \arg \max_j \mu_{ideal}(x_j) \quad (23)$$

با توجه به این که  $\mu(M_i)$  و یا  $M_i(x_j)$  مقادیر فازی هستند، رابطه (۲۳) به صورت هم‌زمان قادر است همانند زیر مجموعه فازی نوع ۲ و سطح ۲ عمل کند.

#### ۴- پیاده‌سازی

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش‌های قبلی الگوی پیاده‌سازی مورد نظر به صورت شکل ۴ می‌باشد. در کاربرد مطلوب ابتدا باید مقدار  $\mu(M_i)$  برای  $i=1,2,3$  محاسبه شود. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده می‌توان گفت که روش تلفیقی مینیمم  $M_2$  و  $M_4$  از روش تلفیقی ضرب  $M_1$  قابل اعتمادتر است و به همین ترتیب روش تلفیقی ضرب  $M_1$  نسبت به روش تلفیقی جمع  $M_3$  قابل اعتمادتر است. این ارزیابی کلامی را می‌توان با استفاده از یک فرم عددی و ماتریس مقایسه دو دویی نمایش داد (جدول ۵).



شکل ۴ الگوی پیاده‌سازی



جدول ۵ مقایسه دوتایی مدهای تلفیق

	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$
$M_1$	۱	۱:۳	۹	۱:۳
$M_2$	۳	۱	۹	۱
$M_3$	۱:۹	۱:۹	۱	۱:۹
$M_4$	۳	۱	۹	۱

عدد ۳ در این جا نشان می‌دهد که  $M_2$  و  $M_3$  قابل اعتمادتر از روش تلفیقی ضرب  $M_1$  می‌باشند.

$$\mu(M_1) = 0.195, \quad \mu(M_2) = 0.39, \quad \mu(M_3) = 0.025, \quad \mu(M_4) = 0.39 \quad (24)$$

بنابراین روش ایدئال تلفیقی مورد نظر به صورت ذیل نمایش داده می‌شود.

$$M_{ideal} = \left\{ \frac{\mu(M_1)}{M_1}, \frac{\mu(M_2)}{M_2}, \frac{\mu(M_3)}{M_3}, \frac{\mu(M_4)}{M_4} \right\} \quad (25)$$

با توجه به کاربرد مورد نظر می‌توان نوشت.

$$M_i = \left\{ \frac{M_i(A_1)}{A_1}, \frac{M_i(A_2)}{A_2}, \frac{M_i(A_3)}{A_3}, \frac{M_i(A_4)}{A_4}, \frac{M_i(A_5)}{A_5}, \dots \right\}, i=1,2,3,4, \dots, 10 \quad (26)$$

مقدار فازی  $M_i$  (میزان مناسب بودن سایت) که در آن  $i=1,2,3,4, \dots, 10$  در جدول ۵ نشان داده شده است. بنابراین رابطه (۱۹) به شکل ذیل در می‌آید.

$$M_{ideal} = \left\{ \frac{\mu_{ideal}(A_1)}{A_1}, \frac{\mu_{ideal}(A_2)}{A_2}, \frac{\mu_{ideal}(A_3)}{A_3}, \frac{\mu_{ideal}(A_4)}{A_4}, \frac{\mu_{ideal}(A_5)}{A_5}, \dots \right\} \quad (27)$$

به این ترتیب که

$$\mu_{ideal}(\text{suitable\_site}) = \max_i (\mu(M_i)M_i(\text{suitability})), i = 1, 2, 3, 4$$

$$\text{suitable\_site} \in \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, \dots, A_n\}$$

جدول ۶ نتایج مقایسه و ارزیابی

	$\mu_{ideal}$
$A_1$	(۰/۰۸۴ ، ۰/۲۲۸ ، ۰/۳۴۸)
$A_2$	(۰/۰۲۹ ، ۰/۱۸۸ ، ۰/۲۸۸)
$A_3$	(۰/۰۳۹ ، ۰/۱۶۷ ، ۰/۲۹۸)
$A_4$	(۰/۰۶۳ ، ۰/۲۰۵ ، ۰/۳۱۰)
$A_5$	(۰/۰۰۸ ، ۰/۱۲۰ ، ۰/۲۴۰)
$A_6$	(۰/۰۱۴ ، ۰/۱۴۶ ، ۰/۲۵۸)
$A_7$	(۰/۰۳۹ ، ۰/۱۶۷ ، ۰/۲۹۸)
$A_8$	(۰/۰۲۹ ، ۰/۱۸۷ ، ۰/۲۸۵)
$A_9$	(۰/۰۸۰ ، ۰/۲۱۵ ، ۰/۳۲۰)
$A_{10}$	(۰/۰۲۱ ، ۰/۱۸۱ ، ۰/۲۷۸)

با توجه به این که کم‌ترین وزن به روش تلفیقی جمع اختصاص داده شده است، مشارکت این روش در رتبه‌بندی نهایی مینیمم می‌شود. آن چه که در این مورد غیر قابل چشم‌پوشی است، آن است که خصوصیات منفی روش تلفیقی جمع وزن‌دار باعث رتبه‌بندی یکسان در کاربرد مورد نظر می‌شود. برای بررسی اعتبار نتایج رتبه‌بندی، یک مقایسه نهایی از نتایج ارزیابی شهرک‌ها با نظرات کارشناسی انجام گرفت که حدود ۷۷ درصد با نظرات ارائه شده کارشناسی تطبیق داشت (جدول ۸). این موضوع نشان می‌دهد که روش مورد نظر قادر است تا حد خوبی ارزیابی را مطابق با ذهنیت متخصصان انجام دهد.



جدول ۷ روابط احتمالاتی نهایی

$P(A_1 > A_9)$	۱۱%
$P(A_9 > A_4)$	۳%
$P(A_4 > A_7)$	۲%
$P(A_7 \approx A_5)$	-
$P(A_5 > A_7)$	۹%
$P(A_7 \approx A_8)$	-
$P(A_8 > A_{10})$	۱%
$P(A_{10} > A_7)$	۳۱%
$P(A_7 > A_6)$	۳۱%

جدول ۸ رتبه‌بندی حاصل از نظرات کارشناسی

$P(A_1 > A_9)$	۱۰%
$P(A_9 > A_4)$	۵%
$P(A_4 > A_7)$	۵%
$P(A_7 \approx A_5)$	-
$P(A_5 > A_7)$	۱۰%
$P(A_7 \approx A_8)$	-
$P(A_8 > A_{10})$	۵%
$P(A_{10} > A_7)$	۴۰%
$P(A_7 > A_6)$	۴۰%

### ۵- نتیجه‌گیری

شرایط کنونی ایران، نحوه ارزیابی شهرک‌ها و نواحی صنعتی در نقاط مختلف کشور به روش سنتی نشان می‌دهد که به مسأله آمایش سرزمین، در مقیاس ملی و منطقه‌ای توجهی نمی‌شود و تقسیم کار و محدوده وظایف از دیدگاه کارشناسی مطرح نیست بلکه سیاست‌ها و اعمال



نفوذها باعث شکل‌گیری آمایش سرزمین شده و می‌شود. این قضیه باعث تداخل در وظایف و کاهش کارایی نواحی و شهرک‌های صنعتی خواهد شد. تصمیم‌گیری‌های بهینه در سیستم‌های اطلاعات مکانی کمک مؤثری در حل این مشکل هستند. این نوع از مسائل معمولاً در دو مرحله ترجیح‌بندی و اولویت‌بندی قابل حل هستند. در شرایط نامعین و فازی برای دستیابی به راه حل مناسب مشکلاتی مانند نمایش هم‌زمان انواع مختلف معیارها، تلفیق نظرات متخصصان، نحوه تلفیق معیارها و تلفیق روش‌های تلفیقی وجود دارند.

در این مقاله روش مناسبی برای حل تلفیق مدل‌های تلفیقی با استفاده از مجموعه‌های فازی نوع ۲ و سطح ۲ ارائه شد که در آن ارزیابی نهایی گزینه‌های مقایسه شده با استفاده از توابع عضویت فازی و روی محملی مرکب انجام گرفت. برای بررسی این مدل مسأله ارزیابی شهرک‌های صنعتی به عنوان کاربرد مورد نظر انتخاب شد که در نهایت نتایج به دست آمده از آن نشان داد که با توجه به وجود معیارهای متنوع در این مسأله و تأثیرات مختلف آن‌ها بر روی یکدیگر مد تلفیقی جمع فازی باید کم‌ترین تأثیر را داشته باشد.

## ۶- منابع

- Bana E., Costa C., Stewart TJ, Vansnick J- C ; Multicriteria decision analysis: some thoughts based on the tutorial and discussion session of the ESIGMA meetings, *European Journal of Operational Research*, 1997.
- Bana E., Costa C.; Reading in multiple criteria decision aid; Berlin: *Springer*, 1990.
- Liu D., Stewart T., ;Object-oriented decision support system modeling for multicriteria decision making in natural resource management ; *Computers and Operations Research*, 2004.
- Valls A., Torra V., Using classification as an aggregation tool in MCDM; *Fuzzy Sets and Systems*, 2000.
- Chen C-T, A fuzzy approach to select the location of distribution center; *Fuzzy Sets and Systems*, 2001.



- Bakalowicz M.; Karst ground water: A challenge for new resources; *Journal of Hydrology*, 2005.
- Solomon S, Queil F., Groundwater study using remote sensing and geographical information system in the central highlands Eritrea; *Journal of hydrology*, 2006.
- Herrera F, Herrera-Vieda E, Verdegay JL.; Direct approach processes in group decision making using linguistic OWA operators; *Fuzzy Sets and Systems*, 1996.
- Lee H.; Group decision making using fuzzy sets theory for evaluating the rate of aggregative risk in software development; *Fuzzy Sets and Systems*, 2000
- Peneva V, Popchev I.; Properties of the aggregation operators related with fuzzy relations; *Fuzzy Sets and Systems*, 2003.
- Saaty T., A scaling method for priorities in hierarchical structures; *Journal of Mathematical Psychology*, 1977.
- Roubens M., Fuzzy sets and decision analysis; *Fuzzy Sets and Systems*, 1997.