



نسخه از دور

و  
GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS  
سال دوم، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۹  
Vol.2, No.3, Autumn 2010  
۶۰-۴۳

## طراحی و ایجاد یک سیستم استنتاج فازی، با به کارگیری خوشه‌بندی فازی و الگوریتم ژنتیک در محیط GIS (مطالعه موردی: مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت)

محمد اصلانی\*، علی‌اصغر آل‌شیرازی

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
۲. دانشیار گروه مهندسی GIS، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۲/۱۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۷/۶

### چکیده

اکثر موجودیت‌ها در سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) ماهیتی غیرقطعی دارند؛ و به همین خاطر نیاز به ارائه سیستمی که توانایی استنتاج از داده‌های مکانی غیرقطعی را داشته باشد کاملاً احساس می‌شود. یکی از تواناترین سیستم‌های استنتاجی که در سال‌های اخیر مورد توجه دانشمندان قرار گرفته، سیستم‌های استنتاج فازی (FIS) است. هدف این مقاله ارائه روشی نو برای طراحی و ایجاد سیستم استنتاج فازی در محیط GIS است. در این تحقیق بخشی از توابع عضویت و قوانین فازی به صورت خودکار و با استفاده از داده‌های ورودی-خروجی، و بخشی دیگر به صورت غیرخودکار و از طریق مصاحبه با کارشناس استخراج شدند. برای استخراج خودکار توابع عضویت و قوانین فازی، خوشه‌بندی فازی و الگوریتم ژنتیک (GA) به کار گرفته شد. ابتدا توابع عضویت و قوانین فازی اولیه با خوشه‌بندی داده‌ها و تصویر کردن آنها بر روی محورهای مختصات استخراج گردیدند و سپس با به کارگیری الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی فرم توابع عضویت و قوانین فازی اولیه پرداخته شد. در مرحله نهایی، بخش دیگری از توابع عضویت و قوانین فازی از طریق مصاحبه با کارشناس استخراج گردیدند و به سیستم استنتاج فازی افزوده شدند. سیستم استنتاج فازی طراحی شده، دارای کاربردهای مختلفی است. در این تحقیق از این سیستم برای به کارگیری در مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت در منطقه ۲ شهر تهران استفاده شد. با توجه به دیدگاه‌های کارشناسان سوخت و داده‌های موجود، از ۱۰ لایه اطلاعاتی تأثیرگذار در مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت استفاده گردید. نتایج به دست آمده نشان دادند که الگوریتم ژنتیک دقت مدل‌سازی سیستم استنتاج فازی را ۵۳ درصد بیش از خوشه‌بندی افزایش داده است. همچنین با بررسی هیستوگرام نقشه مطلوبیت جایگاه‌های سوخت ملاحظه شد که ۹ درصد از مساحت کل منطقه پتانسیل لازم را برای احداث جایگاه‌های سوخت در خود دارد.

**کلیدواژه‌ها:** جایگاه سوخت، الگوریتم ژنتیک، خوشه‌بندی فازی، سیستم استنتاج فازی، سامانه اطلاعات مکانی.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، گروه مهندسی GIS  
Email: maslani@sina.kntu.ac.ir

## ۱- مقدمه

دشوار است و می‌تواند منجر به نتایج ناکارآمد شود (Herrera et al., 1998)، زیرا کارشناس فقط خود را می‌تواند دانش خودآگاه (دانشی که با عبارتهای زبانی بیان شدنی است) بیان کند، ولی توان بیان دانش ناخودآگاهش (دانشی که نمی‌توان آن را با عبارتهای زبانی بیان کرد) نیست. بنابراین با تلفیق هر دو روش ایجاد سیستم استنتاج فازی (خودکار و غیر خودکار) می‌توان تا حد زیادی نقاط ضعف هر یک از روش‌ها را برطرف ساخت - که این خود از نوآوری‌های این تحقیق محسوب می‌شود. برای ایجاد سیستم استنتاج فازی به صورت خودکار از روی داده‌های ورودی - خروجی روش‌های مختلفی از جمله خوشه‌بندی فازی (Pal et al., 2002; Sugeno and Kang, 1988) و الگوریتم ژنتیک (GA) (Cordón et al., 2001 a) وجود دارند.

در مقاله حاضر ابتدا با استفاده از خوشه‌بندی فازی - و به طور خاص فازی C Means - توابع عضویت و قوانین «اگر-آن‌گاه» فازی به صورت خودکار استخراج شدند. سپس الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی توابع عضویت و قوانین فازی استخراج شده از طریق خوشه‌بندی به کار رفت، که این روند در واقع هدف اصلی تحقیق حاضر است. در این تحقیق برای ایجاد داده‌های ورودی و خروجی از روش فازی AHP<sup>۱</sup> استفاده شد، که دارای ساختار سلسله‌مراتبی و مبتنی بر مقایسه‌های زوجی است (Kahraman et al., 2004). در این روش ورودی‌ها (معیارها) در محل‌ها یا نقاط مختلف در اختیار کارشناس قرار می‌گیرد و کارشناس براساس فرایند فازی AHP به مقایسه زوجی این محل‌ها می‌پردازد و در نهایت براساس محاسبات فازی، وزن نهایی (خروجی) برای هر محل به دست می‌آید. با این روش دانش ناخودآگاه کارشناس در داده‌های ورودی - خروجی گنجانده می‌شود. پس از ایجاد سیستم استنتاج فازی با استفاده از داده‌های ورودی - خروجی،

استفاده از روش‌های استنتاجی و استدلالی هوشمند و کمک آنها به انسان در تصمیم‌گیری‌های مکانی، باعث حرکت سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) به سمت هوشمندی و جایگزینی آنها (به جای انسان) در تصمیم‌گیری‌ها شده است (Malerba et al., 2003). با توجه به پیچیدگی‌های تصمیم‌گیری‌های مکانی، و نیز از آنجا که بیشتر موجودیت‌های مکانی ماهیتی نامعین دارند و یا عدم قطعیت از طریق منابع مختلف به آنها منتقل می‌گردد، نیاز به روشی که بتواند عدم قطعیت را مدل‌سازی کند احساس می‌شود. از روش‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی عدم قطعیت، منطق فازی است (Reshmidevi et al., 2009; Zadeh, 1965). این منطق می‌تواند عدم اطمینان را در جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، تجزیه و تحلیل، تلفیق، ارزیابی و نمایش داده‌ها مدل‌سازی کند (Lodwick, 2008). یکی از معروف‌ترین کاربردهای منطق فازی، در سیستم‌های استنتاج فازی<sup>۱</sup> (FIS) است (Al-Jarrah and Abu-Qadis, 2006; Cay and Iscan, 2011). در سیستم‌های استنتاج فازی ارتباط بین معیارها از طریق قوانین «اگر - آن‌گاه» برقراری می‌شود. در این قوانین بخش مقدم نشان‌دهنده شرایطی است که باید تأمین شود؛ و بخش تالی نشان‌دهنده خروجی است. ایجاد سیستم‌های استنتاج فازی مستلزم به وجود آوردن توابع عضویت و قوانین فازی است که می‌توانند به صورت خودکار (از طریق داده‌های ورودی و خروجی) و غیر خودکار (از طریق مصاحبه با کارشناس) ایجاد شوند. موفقیت سیستم‌های استنتاج فازی که توابع عضویت و قوانین فازی آنها به صورت خودکار ایجاد شده‌اند، بستگی به تعداد و همچنین توزیع و اعتمادپذیری داده‌ها دارد و در صورتی که تعداد داده‌ها ناکافی باشد، خروجی سیستم استنتاج فازی دقت چندانی نخواهد داشت (Herrera and Lozano, 2009). از طرف دیگر، استخراج توابع عضویت و قوانین فازی به صورت غیر خودکار و از طریق مصاحبه با کارشناس بسیار

1. Fuzzy Inference Systems

2. Fuzzy Analytic Hierarchical Process

سوخت‌گیری را کاهش می‌دهد، اما این مدل نیازمند ماتریسی است که جریان ترافیکی را از مبدأهای مختلف به مقاصد مختلف نشان دهد. تهیه این ماتریس برای مناطق مختلف دشوار است و گاه اصلاً امکان‌پذیر نیست (Upchurch and Kuby, 2010). استفاده از آنالیزهای شبکه باعث می‌شود که به صورت همزمان نتوان معیارهای مختلف چندانی را به کار گرفت. برای حل این مشکل می‌توان لایه‌های اطلاعاتی (معیارها) را وزن‌دهی و تلفیق کرد.

زیاری و حسین‌مردی (۲۰۱۰) با وزن‌دهی به معیارهای و تلفیق آنها، به ارزیابی مکان‌های جایگاه‌های سوخت پرداختند. اما آنها عدم قطعیت در توصیف و رتبه‌بندی معیارها را در نظر نگرفتند. حسینلو و ابراهیم‌زاده (۲۰۰۸) عدم قطعیت در معیارها را در نظر گرفتند و با استفاده از منطق فازی به تعیین مکان بهینه جایگاه‌های سوخت پرداختند. یکی از کاربردهای منطق فازی در سیستم‌های استنتاج فازی است. مطالعات مختلفی در زمینه ارزیابی اراضی برای یک کاربری خاصی (مکان‌یابی) در محیط GIS با استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی انجام گرفته است (Jarrah and Abu-Qdais, 2006; Cay and Iscan, 2009; Reshmidevi et al., 2011). اما تاکنون در خصوص مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت با استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی، تحقیقات چندان جامعی صورت نگرفته است. بنابراین طراحی و پیاده‌سازی سیستم استنتاج فازی در محیط GIS برای مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت، از دیگر از نوآوری‌ها این تحقیق به‌شمار می‌آید.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، منطقه ۲ شهر تهران با طول جغرافیایی  $51^{\circ}24' - 51^{\circ}19'$  و عرض جغرافیایی  $35^{\circ}49' - 35^{\circ}41'$  است (شکل ۱).

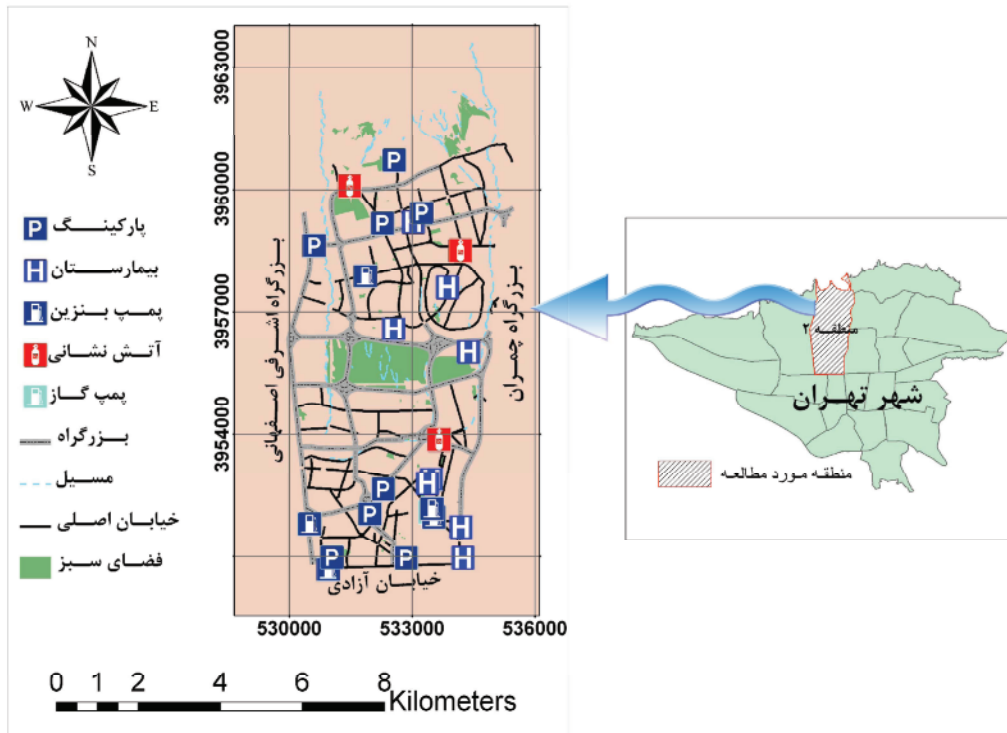
تعدادی توابع عضویت فازی و قوانین فازی از طریق مصاحبه با کارشناس (روش غیرخودکار) استخراج شدند و به سیستم استنتاج فازی اضافه گردیدند و عملکرد آن را بهبود بخشیدند.

برای ارزیابی عملکرد سیستم استنتاج فازی پیشنهاد شده، از این سیستم برای مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت استفاده شد. تعیین مکان بهینه جایگاه‌های سوخت اهمیت فراوانی دارد، زیرا همواره مقدار زیادی از سوخت اتومبیل‌ها برای رسیدن به جایگاه‌های سوخت هدر می‌رود و باعث آلودگی شهرها می‌شود (Upchurch and Kuby, 2010). به‌علاوه، انتخاب مکان بهینه جایگاه‌های سوخت باعث افزایش کارایی آنها در برآورده ساختن تقاضای سوخت می‌گردد (Wang and Wang, 2010).

### ۱-۱- مروری بر پیشینه تحقیق

بررسی‌ها و مطالعات گوناگونی در خصوص مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت انجام گرفته است. گودچایلد و نورون‌ها (۱۹۸۷) از مدل P-Median در محیط سامانه اطلاعات مکانی به منظور مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت استفاده کردند.

مدل P-Median مدلی براساس آنالیزهای شبکه است که مکان تعداد مشخصی جایگاه سوخت (P) را به‌گونه‌ای تعیین می‌کند که مجموع فواصل سفر از مناطق مسکونی تا جایگاه‌های سوخت کمینه گردد. از این مدل در اغلب تحقیقات استفاده شده است (Nicholas et al., 2004; Nicholas and Ogden, 2006). استفاده از این مدل می‌تواند باعث افزایش سفرهای تک‌منظوره (صرفاً سوخت‌گیری) گردد. از دیگر مدل‌های مبتنی بر آنالیزهای شبکه، مدل FCLM<sup>۱</sup> است (Hodgson, 1990). این مدل به‌گونه‌ای مکان P جایگاه سوخت را تعیین می‌کند که رانندگان در طول مسیرهای‌شان بتوانند سوخت‌گیری کنند. استفاده از این مدل، سفرهای غیرضروری برای



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

محل‌های مناسب برای احداث جایگاه‌های سوخت در این شهر، به چالش بزرگی بدل گشته است.

## ۲-۲- تعیین معیارهای مؤثر و آماده‌سازی داده‌ها

با بررسی ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، داده‌های موجود، دیدگاه‌های کارشناسان و مطالعات پیشین، ۱۰ معیار مؤثر برای جایگاه‌های سوخت مشخص گردید، که اینها هستند: ۱- نزدیکی به خیابان‌های اصلی؛ ۲- نزدیکی به بزرگراه‌ها؛ ۳- دوری از حریم رودخانه‌های شهری و مسیل‌ها؛ ۴- فاصله مناسب از میدان‌های شهر؛ ۵- فاصله مناسب از شعبه‌های موجود فعلی؛ ۶- دوری از کاربری‌های آسیب‌پذیر (مانند بیمارستان‌ها)؛ ۷- نزدیکی به مراکز آتش‌نشانی؛ ۸- فاصله مناسب از پارک‌های عمومی و فضای سبز درون‌شهری؛ ۹- فاصله مناسب از پارکینگ‌های عمومی؛ و ۱۰- فاصله مناسب از ایستگاه‌های پمپ‌گاز.

با توجه به معیارهای مذکور ۱۰ لایه اطلاعاتی پایه،

این منطقه با مساحتی در حدود ۴۲ کیلومتر مربع، از شمال به محدوده قانونی شهر، از جنوب به خیابان آزادی، از شرق به بزرگراه چمران و مسیل درکه، و از غرب به بزرگراه محمدعلی جناح و بزرگراه اشرفی اصفهانی و مسیل فرحزاد محدود می‌گردد. دارا بودن بافت بسیار متراکم و جمعیت بالا، مکان‌یابی جایگاه‌های سوخت را در این منطقه حیاتی‌تر کرده است.

شهر تهران از پرجمعیت‌ترین شهرهای دنیا محسوب می‌شود و بر اساس آمار منتشر شده، حدود ۳۶ درصد از جمعیت شهرنشین کل کشور را در خود جای داده است و نرخ رشد جمعیتی حدود ۲ درصد در سال دارد. افزایش جمعیت در این شهر باعث رشد تعداد خودرو - و به تبع آن، رشد تقاضای سوخت - می‌شود (Aghakhani, 1999). بنابراین، احداث جایگاه‌های سوخت در شهر تهران بسیار ضروری است. از طرف دیگر، افزایش جمعیت در شهر تهران باعث افزایش تراکم ساختمان شده و به همین خاطر یافتن

مقادیر خروجی، ۲۰ محل مختلف برای وزن‌دهی در منطقه با توزیع مناسب انتخاب شدند. برای انتخاب این محل‌ها، منطقه مورد مطالعه با استفاده از آنالیزهای GIS به ۲۰ بخش مساوی تقسیم گردید. در هر بخش یک نقطه با توجه به دیدگاه‌های کارشناس، به گونه‌ای انتخاب گردید که در نهایت تمامی ۲۰ نقطه به صورت تقریباً یکنواخت در منطقه توزیع شده باشند. هر چه تعداد نقاط بیشتر باشد، دقت مدل‌سازی سیستم استنتاج فازی افزایش می‌یابد. اما به دلیل محدودیت دسترسی به کارشناس در این تحقیق تنها از ۲۰ نقطه استفاده شد (شکل ۲).

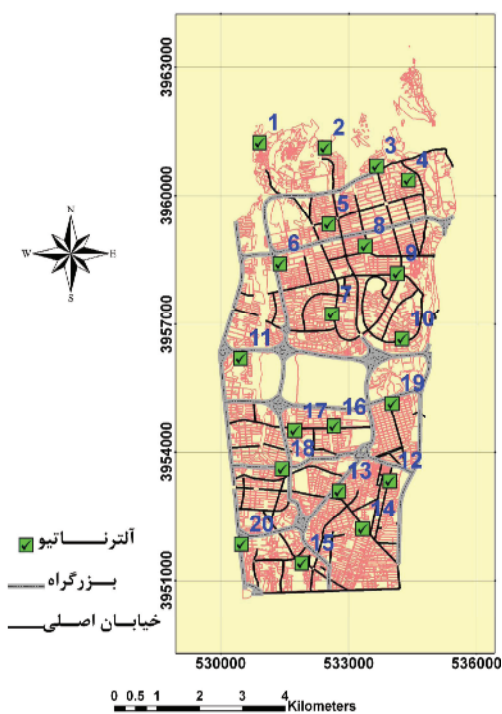
### ۲-۳- روش مطالعه

شکل ۳ مراحل انجام کار این تحقیق را به طور جامع نشان می‌دهد. مراحل ۱ تا ۶ به آماده‌سازی داده‌ها مربوط می‌شوند که در بخش‌های ۱-۲ و ۲-۲ شرح داده شدند. مرحله ۷ به منظور وزن‌دهی به نقاط انتخاب شده است. مراحل ۸ تا ۱۱ مراحل طراحی و ایجاد سیستم استنتاج فازی‌اند. مرحله ۱۲ به کارگیری از سیستم استنتاج فازی برای تولید نقشه مطلوبیت جایگاه سوخت است.

### ۲-۳-۱- ارزیابی میزان مطلوبیت نقاط انتخاب شده با استفاده از فازی AHP

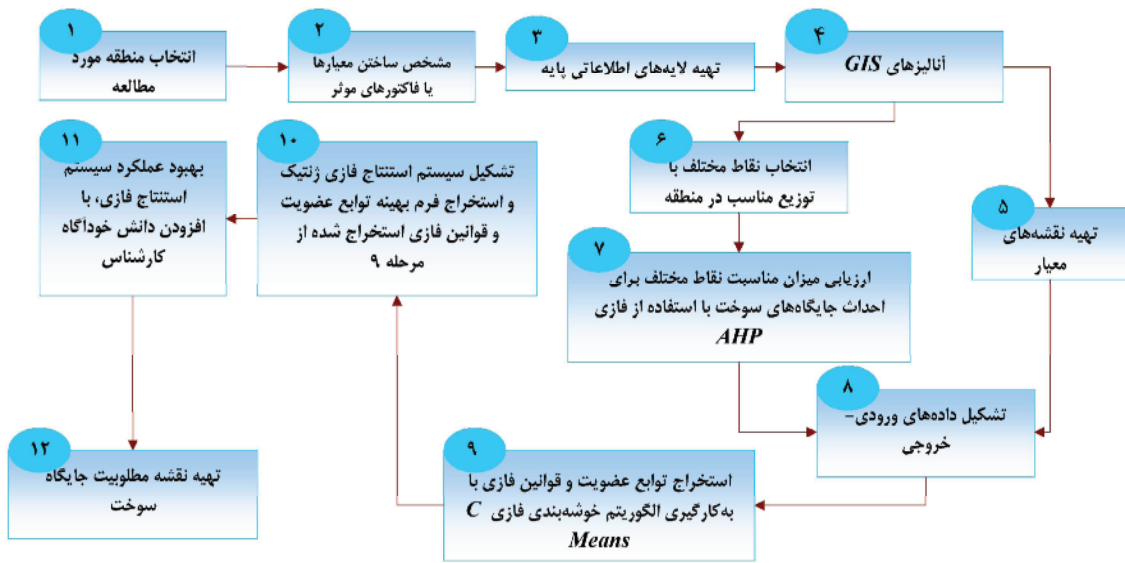
برای ایجاد داده‌های ورودی-خروجی (به‌منظور ایجاد خودکار سیستم استنتاج فازی)، ضروری است مقادیر خروجی که میزان مطلوبیت محل‌های مختلف را (نقاط نشان داده شده در شکل ۲) برای احداث جایگاه سوخت نشان می‌دهند، تعیین میزان مطلوبیت نقاط در این مرحله استفاده کرد. فازی AHP (Kahraman et al., 2004) از جمله روش‌هایی است که با استفاده از دانش کارشناس به تعیین میزان مطلوبیت نقاط مختلف می‌پردازد. این روش تعمیم‌یافته روش (Saaty, 1980) AHP با استفاده از منطق فازی است.

که شامل نقشه خیابان‌های اصلی، نقشه بزرگراه‌ها، نقشه مسیل‌ها و رودخانه‌ها، نقشه موقعیت میدان‌های شهر، نقشه موقعیت پمپ بنزین‌های فعلی، نقشه موقعیت کاربری‌های آسیب‌پذیر، نقشه موقعیت مراکز آتش‌نشانی، نقشه موقعیت فضاهای سبز و نقشه موقعیت ایستگاه‌های پمپ گاز موجود است، از شهرداری تهران با مقیاس  $\frac{1}{10,000}$  تهیه شدند. با به کارگیری آنالیزهای GIS بر روی نقشه‌های پایه، نقشه‌های معیار استخراج گردیدند.



شکل ۲. نقاط انتخاب شده برای وزن‌دهی

برای ایجاد سیستم استنتاج فازی به صورت خودکار، به داده‌های ورودی و خروجی نیاز است. این داده‌ها در نقاطی هستند که مقادیر ورودی (نقشه‌های معیار) و مقادیر خروجی (میزان مطلوبیت برای احداث جایگاه سوخت) در آنها مشخص است. برخلاف مقادیر ورودی که برای تمام نقاط منطقه مورد مطالعه در دسترس‌اند، مقادیر خروجی موجود نیستند. برای تعیین



شکل ۳. مراحل انجام کار در این تحقیق

رابطه (۱)

$$\tilde{A} = (M_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (L_{12}, m_{12}, u_{12}) & \dots & (L_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (L_{21}, m_{21}, u_{21}) & (1,1,1) & \dots & (L_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (L_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (L_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

در رابطه (۱)  $M_{ij} = (L_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$  و  $M_{ij}^{-1} = (1/u_{ij}, 1/m_{ij}, 1/L_{ij})$  است.

در ادامه برای هر یک از سطرهاى ماتریس مقایسات زوجی، ارزش  $S_k$  که خود یک عدد فازی مثلثی است، با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد (Wang et al., 2008).

$$\tilde{S}_K = \sum_{j=1}^n M_{kj} \otimes \left[ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که  $\otimes$  ضرب توسعه یافته دو عدد فازی است. در مرحله دوم درجه امکان برای  $\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j$  به وسیله رابطه (۳) تعیین می‌شود (Wang et al., 2008). در رابطه (۳)،  $\tilde{S}_i = (l_i, m_i, u_i)$ ،  $\tilde{S}_j = (l_j, m_j, u_j)$  است.

هر دو روش یعنی AHP و فازی AHP - بر مبنای مقایسه‌های زوجی‌اند (Vahidnia et al., 2009) و کارشناس باید بین دو فاکتور یا عامل، آنی را که مهم‌تر است، همراه با درجه اهمیت آن، مشخص کند - که همین امر موجب مدل‌سازی بخشی از دانش خودآگاه و همچنین ناخودآگاه می‌شود. استفاده از روش فازی AHP باعث مدل‌سازی عدم قطعیت در دیدگاه‌های کارشناس و کاهش ناسازگاری می‌گردد (Kuo et al., 1999) و به همین خاطر در تحقیق حاضر، از این روش استفاده شده است. پژوهشگران مختلف روش‌های گوناگونی را برای فازی AHP ارائه کرده‌اند، که از آن میان می‌توان به روش‌های ارائه شده به وسیله باکلی (Buckley, 1985)، بوند (Boender et al., 1989) و چانگ (Chang, 1996; Vahidnia et al., 2009) اشاره کرد. به دلیل سادگی در محاسبات در روش چانگ، در این تحقیق از آن استفاده شد. در ادامه، مراحل محاسبه وزن نقاط به روش چانگ به اختصار تشریح می‌گردد. این روش اعداد فازی مثلثی برای بیان ارجحیت معیارها به کار می‌روند.

انجام خوشه‌بندی بر روی داده‌های ورودی - خروجی (X-Y) هر بردار از این داده‌ها با درجه‌ای از عضویت متعلق به هر یک از خوشه‌های فازی خواهد شد. با تصویر کردن هر خوشه بر روی محورهای مختصات می‌توان توابع عضویت و قوانین فازی را استخراج کرد. بنابراین تعداد خوشه‌ها با تعداد توابع عضویت برای هر متغیر ورودی و خروجی و تعداد قوانین برابر است.

فازی C Means از روش‌های رایج خوشه‌بندی فازی غیرنظارت شده است (Bezdek, 1981). در این الگوریتم هر داده می‌تواند به چندین دسته با درجه عضویت‌های متفاوت تعلق گیرد. این الگوریتم پارامتر C (تعداد خوشه‌ها) را به عنوان ورودی در نظر می‌گیرد و مجموعه n شیء را به C خوشه‌افزار می‌کند (Di Martino et al., 2007). نکته درخور اهمیت در الگوریتم فازی C Means تعیین تعداد بهینه خوشه‌هاست که رابطه نزدیکی با تعداد توابع عضویت و قوانین فازی دارد. برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها از شاخص‌های ارزیابی خوشه‌ها<sup>۱</sup> (CVI) استفاده می‌شود (Ramze Rezaee et al., 1998).

فوکویاما و سوجینو فرمولی را براساس فشردگی و جدایی برای محاسبه شاخص ارزیابی خوشه مطرح ساختند (Fukuyama and Sugeno, 1989). فشردگی، شاخصی برای ارزیابی پراکندگی داده‌های داخل هر خوشه، و تفکیک نیز شاخصی برای اندازه‌گیری جدایی خوشه‌هاست (رابطه ۵). در این زمینه ترم نخست نشان‌دهنده میزان فشردگی است، ترم دوم درجه جدایی بین خوشه‌ها، و  $\bar{v}$  نشان‌دهنده میانگین مرکز خوشه‌هاست. تعداد بهینه خوشه‌ها با مینیمم سازی  $V_{FS}$  به ازای  $c = 2, 3, \dots, c_{max}$  به دست می‌آید.

رابطه (۵)

$$V_{FS} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c \mu_{ij}^m \|x_k - v_i\|^2 - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c \mu_{ij}^m \|v_i - \bar{v}\|^2$$

#### 1. Cluster Validity Index

رابطه (۳)

$$V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) = \begin{cases} 1; m_i \geq m_j \\ \frac{u_i - l_j}{(u_i - m_i) + (m_j - l_j)}; \\ 0; \text{otherwise} \end{cases}$$

$$l_j \leq u_i \quad i, j = 1, \dots, n; j \neq i$$

در نهایت بردار وزن شاخص‌ها  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$  برای ماتریس مقایسه فازی  $\tilde{A}$  با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد (Wang et al., 2008).

رابطه (۴)

$$w_i = \frac{V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j | j = 1, \dots, n; j \neq i)}{\sum_{k=1}^n V(\tilde{S}_k \geq \tilde{S}_j | j = 1, \dots, n; j \neq k)}, i = 1, \dots, n$$

برای محاسبه وزن نهایی هر نقطه باید یک ماتریس مقایسه فازی برای مقایسه زوجی معیارها و n (تعداد معیارها) ماتریس مقایسه فازی برای مقایسه زوجی نقاط به ازای هر معیار تشکیل شود. بنابراین به طور کلی باید  $n+1$  ماتریس مقایسه زوجی تشکیل گردد. در مرحله نهایی با محاسبه وزن هر معیار و وزن هر نقطه به ازای هر معیار و ترکیب تمامی وزن‌ها می‌توان وزن نهایی هر نقطه را به دست آورد. در این تحقیق به دلیل وجود ۱۰ معیار ۱۱ ماتریس مقایسه زوجی تشکیل گردید.

#### ۲-۳-۲- استخراج توابع عضویت و قوانین فازی،

##### با به کارگیری خوشه‌بندی فازی C Means

با داشتن مجموعه‌ای از داده‌های ورودی - خروجی و خوشه‌بندی آنها می‌توان سیستم استنتاج فازی را به صورت خودکار ایجاد کرد. در این تحقیق مقادیر نقشه‌های معیار در نقاط انتخاب شده به عنوان X (ورودی) و وزن‌های غیرفازی (مطلوبیت نقاط برای احداث جایگاه سوخت) به دست آمده از طریق فازی AHP به عنوان Y (خروجی) در نظر گرفته شدند. با

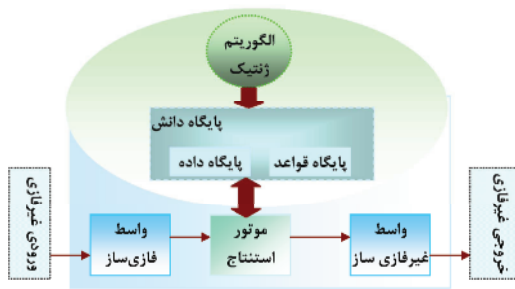
رابطه (۷)

Rule L: If  $(x_1, A_1^L \dots \text{And } x_n, A_n^L)$  Then  $y, B^L$

در رابطه (۷)  $x_1, x_2, \dots, x_n$  متغیرهای ورودی اند و  $y$  متغیر خروجی سیستم استنتاج فازی است. همچنین  $A_1^L, A_2^L, \dots, A_n^L, B^L$  توابع عضویت فازی موجود در پایگاه داده‌ها هستند. در این تحقیق از توابع عضویت گوسین در پایگاه داده‌ها استفاده شده است (رابطه ۸). در رابطه مذکور،  $c$  نشان‌دهنده مرکز منحنی است و  $\sigma$  را مشخص می‌سازد.

رابطه (۸)

$$\mu_A(x) = \exp\left(-\frac{(c-x)^2}{2\sigma^2}\right)$$



شکل ۴. سیستم استنتاج قاعده مبنای فازی ژنتیک

منبع: Cardón et al., 2001a

ج) موتور استنتاج: وظیفه موتور استنتاج محاسبه خروجی فازی از روی ورودی‌های فازی شده براساس قوانین فازی تعریف شده است. در این تحقیق، به دلیل سادگی در محاسبات، موتور استنتاج مینیمم (روش حداقل حداکثر ممدانی) به کار گرفته شد (Wang, 1996).

مرحله نخست در این موتور استنتاج ترکیب درجات عضویت فازی توابع ورودی با استفاده از عملگر AND (معادل حداقل) است. مرحله دوم موتور استنتاج

در رابطه (۵)  $\mu_{ij}$  نشان‌دهنده درجه عضویت نقطه  $z$  ام به خوشه  $i$  ام،  $\|x_j - v_i\|$  نرم اقلیدسی بین  $x_j$  و  $v_i$  و  $C_{max}$  بیشترین میزان تعداد خوشه‌هاست.

### ۲-۳-۳- سیستم استنتاج فازی ژنتیک

برای استخراج فرم بهینه توابع عضویت و قوانین فازی مرحله پیشین می‌توان از سیستم استنتاج فازی ژنتیک استفاده کرد. سیستم استنتاج فازی ژنتیک نوعی سیستم استنتاج فازی است که با الگوریتم‌های تکاملی همچون الگوریتم ژنتیک تکمیل شده است (Cordón et al., 2001a). با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌توان توانایی یادگیری و تطبیق را به سیستم‌های استنتاج فازی افزود (Herrera, 2005). شکل ۴ نحوه عملکرد سیستم استنتاج فازی ژنتیک را به خوبی نمایش می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، سیستم استنتاج فازی ژنتیک از ۵ جزء اصلی تشکیل شده است (Cordón et al., 2001a).

الف) واسط فازی‌ساز: این واسط دارای تابعی است که ورودی‌های غیرفازی را به مقادیر فازی تبدیل می‌کند (Wang, 1996). یکی از رایج‌ترین فازی‌سازها، سینگلتون فازی<sup>۱</sup> است که در این تحقیق از آن استفاده شده است. فازی‌ساز سینگلتون یک نقطه  $X^* \in U$  با مقدار حقیقی را به یک عدد منفی فازی  $A'$  در  $U$  (مجموعه مرجع) به گونه‌ای می‌نگارد که مقدار تعلق در نقطه  $X^*$  برابر با ۱ و در دیگر نقاط  $U$  برابر با صفر شود (رابطه ۶) (Mendel, 1995).

$$\mu_{A'}(x) = \begin{cases} 1; & x = X^* \\ 0; & \text{Otherwise} \end{cases} \quad \text{رابطه (۶)}$$

ب) پایگاه دانش: این پایگاه از دو جزء پایگاه داده و پایگاه قوانین تشکیل شده است. پایگاه داده شامل توابع عضویت فازی است، و پایگاه قوانین مجموعه قوانین فازی به صورت «اگر-آن‌گاه» را در بر می‌گیرد (رابطه ۷).

1. Singleton Fuzzifier



روند میزان‌سازی<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. در پروسه یا روند میزان‌سازی مجموعه‌ای از قوانین از پیش تعریف شده وجود دارد و هدف همانا پیدا کردن فرم بهینه توابع عضویت است (Yaochu et al., 1999)؛ اما در صورتی که هدف موردنظر، بهینه‌سازی فرم قوانین فازی و یا بهینه‌سازی همزمان فرم توابع عضویت و قوانین فازی باشد، آن‌گاه فرایند یادگیری نام دارد (cordón et al., 2001b). یادگیری قوانین به روش‌های مختلفی همچون پتسبرگ<sup>۳</sup> (Smith, 1980)، میشیگان (Holland and Reitman, 1977) و یا یادگیری تکراری قوانین<sup>۴</sup> (Venturini, 1993) انجام می‌پذیرد. در روش نخست، هر کروموزوم نماینده تمام قوانین است و در روش دوم هر کروموزوم یک قانون را نشان می‌دهد و تمامی قوانین به وسیله کل جمعیت نمایش داده می‌شوند. در این تحقیق ابتدا به میزان‌سازی توابع عضویت فازی پرداخته شد و در گام بعدی عمل یادگیری بر روی قوانین فازی با استفاده از روش پتسبرگ اجرا گشت. نکته درخور توجه در روند میزان‌سازی و یادگیری، مشخص ساختن توابع عضویت و قوانین فازی اولیه است. در این مقاله از خوشه‌بندی فازی C Means برای ایجاد توابع عضویت و قوانین فازی اولیه استفاده شده است. بنابراین توابع عضویت و قوانین فازی به دست آمده از طریق خوشه‌بندی فازی C Means، به عنوان توابع عضویت و قوانین فازی اولیه برای سیستم استنتاج فازی ژنتیک در نظر گرفته شدند. مزیت این کار آن است که توابع عضویت و قوانین فازی استخراج شده با استفاده از فازی C Means به فرم بهینه نزدیک می‌شوند و در صورت استفاده از آنها در سیستم استنتاج فازی ژنتیک، الگوریتم ژنتیک سریع‌تر می‌تواند به فرم بهینه توابع عضویت و قوانین فازی همگرا شود.

ممدانی شامل تلفیق درجه عضویت فازی قواعدی است که تابع عضویت فازی آنها یکسان است. در این مرحله از عملگر OR، (معادل حداقل) استفاده می‌گردد (Karimi et al., 2009).

د) واسط غیرفازی‌سازی: غیرفازی‌سازی فرایند تبدیل خروجی فازی به مقادیر غیرفازی است. مقدار عددی غیرفازی باید به گونه‌ای تعیین گردد که به بهترین نحو نماینده مقادیر فازی استنتاج‌شده خروجی باشد. روش‌های مختلفی برای غیرفازی‌سازی وجود دارند که از آن جمله می‌توان به Mean (Ross, 2004) Maximum Membership و مرکز ثقل (Al-Jarrah and Abu-Qadis, 2006) اشاره کرد. در این تحقیق از روش مرکز ثقل، به دلیل رایج‌تر بودن آن استفاده شد.

ه) الگوریتم ژنتیک: الگوریتم ژنتیک روش تصادفی حل مسئله است که از فرایند تکاملی بیولوژیکی طبیعی تبعیت می‌کند. این الگوریتم دنباله‌رو قوانین انتخاب طبیعی گونه‌ها با بهترین تطابق است (Gen and Cheng, 2000). حالت‌های مسئله در این الگوریتم به کروموزوم معروف‌اند؛ بدین معنی که با استفاده از برخی متغیرهای تولیدکننده کد، فضای طراحی به فضای ژنتیکی انتقال می‌یابد. در این الگوریتم معمولاً از اپراتورهای عمومی ادغام<sup>۱</sup> و جهش استفاده می‌شود. سیکل تکاملی در الگوریتم ژنتیک شامل تولید جمعیت و تکامل با استفاده از اپراتورهای ادغام و جهش است (Morley et al., 2001).

ضرورت به کارگیری سیستم‌های استنتاج فازی ژنتیک در این است که می‌توان فرم توابع عضویت و قوانین فازی موجود در سیستم استنتاج فازی را - که رابطه مستقیمی با دقت مدل‌سازی دارند- بهینه کرد. در واقع با به کارگیری سیستم‌های استنتاج فازی ژنتیک می‌توان دقت مدل‌سازی را افزایش داد (Herrera, 2005).

مرحله نخست در طراحی سیستم استنتاج فازی ژنتیک، تصمیم‌گیری درباره هدف بهینه‌سازی (توابع عضویت یا قوانین فازی) است. در صورتی که بهینه‌سازی فرم توابع عضویت هدف مد نظر باشد، این

1. Crossover
2. Tuning
3. Pittsburgh
4. Iterative Rule Learning

## ۲-۳-۴- بهبود عملکرد سیستم استنتاج فازی با

### افزودن دانش خودآگاه کارشناس

سیستم استنتاج فازی تشکیل شده تا این مرحله، با استفاده از داده‌های ورودی - خروجی به وجود آمده است و با توجه به اینکه داده‌های ورودی-خروجی به کار رفته به نحوی دربرگیرنده بخشی از دانش خودآگاه و ناخودآگاه کارشناس‌اند، بنابراین سیستم استنتاج فازی تشکیل شده به نحوی همان بخش از دانش خودآگاه و ناخودآگاه موجود در داده‌ها را در بر می‌گیرد. نکته درخور توجه در این میان آن است که سیستم استنتاج فازی تشکیل شده، وابستگی شدیدی به داده‌های ورودی-خروجی دارد. به عبارت دیگر، افزایش تعداد داده‌های ورودی-خروجی باعث مدل‌سازی بخش بیشتری از دانش خودآگاه و ناخودآگاه کارشناس می‌شود. اما به دلیل زمان‌بر بودن روش فازی AHP و محدودیت دسترسی به کارشناس در این تحقیق فقط از ۲۰ داده ورودی-خروجی استفاده گردید. بنابراین برای اینکه بتوان ضعف ناشی از کمبود تعداد داده‌های ورودی-خروجی را برطرف کرد، در مرحله نهایی با مصاحبه با کارشناس بخش دیگری از دانش خودآگاه او نیز در قالب توابع عضویت و قوانین فازی به سیستم استنتاج فازی افزوده شد.

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- نتایج ارزیابی میزان مطلوبیت نقاط انتخاب شده

در این مرحله دو کارشناس سوخت از شرکت ملی

پخش فرآورده‌های نفتی ایران به ارزیابی معیارها و نقاط انتخاب شده پرداختند. این ارزیابی‌ها در ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی براساس تجربیات کارشناس (دانش ناخودآگاه و خودآگاه) و مقادیر نقشه‌های معیار در نقاط مختلف (نشان داده شده در شکل ۲) انجام گرفت. یک ماتریس مقایسات زوجی برای اولویت‌بندی معیارها و ۱۰ ماتریس مقایسات زوجی برای اولویت‌بندی نقاط مختلف براساس هر ۱۰ معیار معرفی شده در مرحله پیشین ایجاد شدند. اعداد فازی مثلثی برای اولویت‌بندی معیارها و نقاط انتخاب شده به کار رفتند. به عنوان مثال، مفهوم عدد فازی (۵، ۳، ۱/۲) که برای مقایسه دو معیار C1 و C2 بیان شده، آن است که در حالت معمول اهمیت معیار C1 حدود ۳ برابر، در حالت خوش‌بینانه حدود ۵ برابر و در حالت بدبینانه ۱/۲ اهمیت معیار C2 است. سپس با استفاده از روابط ۲ و ۳ و ۴ بردارهای وزن برای تمامی ماتریس مقایسه زوجی محاسبه شدند. به عنوان مثال، جدول ۱ ماتریس مقایسات زوجی ۱۰ معیار وزن محاسبه شده برای تمامی معیارها را نشان می‌دهد.

پس از آن، وزن معیارها و وزن نقاط براساس هر معیار با یکدیگر تلفیق شدند، و سرانجام وزن هر نقطه (میزان مطلوبیت آن محل برای احداث جایگاه سوخت) با توجه به تمامی معیارهای مؤثر محاسبه گردید (جدول ۲).

جدول ۱. ماتریس مقایسات زوجی و وزن نهایی محاسبه شده به وسیله فازی AHP

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	وزن معیارها
C1	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۳,۵)	(۱,۳,۵)	(۱/۲,۳,۵)	(۱/۴,۱/۲,۲)	(۲,۳,۵)	(۲,۴,۵)	(۳,۵,۷)	(۳,۵,۷)	(۱,۲,۴)	۰.۱۳۸۱۷
C2	(۱/۵,۱/۳,۲)	(۱,۱,۱)	(۱,۳,۵)	(۱/۴,۱/۲,۲)	(۱/۵,۱/۲,۱)	(۱/۲,۳,۵)	(۱/۲,۳,۵)	(۳,۵,۷)	(۲,۴,۶)	(۱,۳,۵)	۰.۱۲۷۵۶
C3	(۱/۵,۱/۳,۱)	(۱/۵,۱/۳,۱)	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۱/۵,۱/۳)	(۱/۵,۱/۳,۱/۲)	(۱/۲,۱,۳)	(۱,۳,۵)	(۱,۳,۵)	(۱,۳,۵)	(۱,۲,۴)	۰.۱۰۳۷۶
C4	(۱/۵,۱/۳,۲)	(۱/۲,۲,۴)	(۳,۵,۷)	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۲,۴)	(۱,۳,۵)	(۱/۲,۲,۴)	(۲,۳,۵)	(۱,۳,۵)	(۱,۳,۵)	۰.۱۲۹۸۵
C5	(۱/۲,۲,۴)	(۱,۲,۵)	(۲,۳,۵)	(۱/۴,۱/۲,۲)	(۱,۱,۱)	(۱/۲,۲,۴)	(۱/۳,۲,۴)	(۲,۳,۵)	(۱,۳,۵)	(۱/۳,۱,۴)	۰.۱۱۲۱۸
C6	(۱/۵,۱/۳,۱/۲)	(۱/۵,۱/۳,۲)	(۱/۳,۱,۲)	(۱/۵,۱/۳,۱)	(۱/۴,۱/۲,۲)	(۱,۱,۱)	(۱/۵,۱/۳,۱/۲)	(۱/۲,۳,۵)	(۱/۲,۱,۲)	(۱/۴,۱/۲,۱)	۰.۰۷۸۳۶
C7	(۱/۵,۱/۴,۱/۲)	(۱/۵,۱/۳,۲)	(۱/۵,۱/۳,۱)	(۱/۴,۱/۲,۲)	(۱/۴,۱/۲,۳)	(۲,۳,۵)	(۱,۱,۱)	(۲,۳,۵)	(۱,۲,۴)	(۱,۲,۵)	۰.۱۰۴۶۲
C8	(۱/۲,۱/۵,۱/۳)	(۱/۲,۱/۵,۱/۳)	(۱/۵,۱/۳,۱)	(۱/۵,۱/۳,۱/۲)	(۱/۵,۱/۳,۱/۲)	(۱/۵,۱/۳,۲)	(۱/۵,۱/۳,۱/۲)	(۱,۱,۱)	(۱/۴,۱/۲,۲)	(۱/۵,۱/۳,۱/۲)	۰.۰۳۹۶۱۵
C9	(۱/۲,۱/۵,۱/۳)	(۱/۶,۱/۴,۱/۲)	(۱/۵,۱/۳,۱)	(۱/۵,۱/۳,۱)	(۱/۵,۱/۳,۱)	(۱/۲,۱,۲)	(۱/۴,۱/۲,۱)	(۱/۲,۲,۴)	(۱,۱,۱)	(۱/۴,۱/۳,۱)	۰.۰۶۲۰۴۲
C10	(۱/۴,۱/۲,۱)	(۱/۵,۱/۳,۱)	(۱/۴,۱/۲,۱)	(۱/۵,۱/۳,۱)	(۱/۳,۱,۳)	(۱,۲,۴)	(۱/۵,۱/۲,۱)	(۲,۳,۵)	(۱,۳,۴)	(۱,۱,۱)	۰.۰۹۴۹۶۵

جدول ۲. وزن نهایی غیرفازی شده برای هر یک از نقاط

P.N.	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
وزن نقاط مختلف (میزان مطلوبیت نقاط)	۰/۱۶۱	۰/۱۶۲	۰/۱۶۷	۰/۳۸۳۶	۰/۶۴۴۵	۰/۱۵۵	۰/۱۵۲۹۴	۰/۱۸۶	۰/۱۸۷	۰/۱۷۲
۰/۸۷	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
وزن نقاط مختلف (میزان مطلوبیت نقاط)	۰/۱۵۷۲۴	۰/۱۶۸۸	۰/۱۶۶	۰/۱۵۷۲	۰/۷۴۶	۰/۱۸۵۳	۰/۹۳۷	۰/۴۶۱	۰/۷۸	۰/۲۵

روی محورهای مختصات تصویر گشت و بدین ترتیب توابع عضویت و قوانین فازی برای هر متغیر ورودی و خروجی استخراج گردیدند. در این تحقیق از توابع عضویت گوسین استفاده شده است (رابطه ۸).

تعداد قوانین و توابع عضویت استخراج شده برای هر متغیر ورودی و خروجی در این مرحله برابر ۶ است، زیرا تعداد قوانین فازی و تعداد توابع عضویت با تعداد خوشه‌ها برابرند. با توجه به اینکه تعدادی از توابع عضویت به‌دست آمده از طریق خوشه‌بندی با یکدیگر هم‌پوشانی زیادی داشتند، این قبیل توابع عضویت با یکدیگر ادغام شدند و تابع عضویت واحدی را ایجاد کردند و تأثیر آنها نیز بر روی قوانین اصلاح گردید. بنابراین تعداد توابع عضویت در برخی از متغیرها (معیار ورودی و وزن خروجی) به کمتر از ۶ کاهش یافت. جدول ۴ تعداد توابع عضویت فازی به‌کار رفته برای هر متغیر را نشان می‌دهد.

به عنوان مثال، شکل ۵ توابع عضویت به‌دست آمده برای متغیر ورودی فاصله تا بزرگراه را نشان می‌دهد. همان‌طور که این شکل نیز نشان می‌دهد، تعداد توابع عضویت در این متغیر برابر ۵ است.

### ۳-۳- تشکیل سیستم استنتاج فازی ژنتیک و

#### استخراج فرم بهینه توابع عضویت و قوانین فازی

در این مرحله توابع عضویت و قوانین فازی به‌دست آمده از طریق خوشه‌بندی فازی C Means، به عنوان توابع عضویت و قوانین فازی اولیه برای تشکیل سیستم استنتاج فازی ژنتیک در نظر گرفته شدند.

### ۳-۲- توابع عضویت و قوانین فازی استخراج

#### شده از طریق خوشه‌بندی فازی

بعد از تشکیل داده‌های ورودی-خروجی، از الگوریتم فازی C Means برای خوشه‌بندی استفاده شد. مقادیر نقشه‌های معیار در نقاط انتخاب شده به عنوان X و وزن‌های غیرفازی (مطلوبیت نقاط برای احداث جایگاه سوخت) به‌دست آمده از طریق فازی AHP به عنوان Y در نظر گرفته شدند و با استفاده از الگوریتم فازی C Means خوشه‌بندی گردیدند. برای تعیین تعداد بهینه خوشه‌ها از شاخص‌های ارزیابی خوشه فوکویاما سوجینو ( $V_{FS}$ ) استفاده شد (رابطه ۵). جدول ۳ مقادیر شاخص ارزیابی خوشه  $V_{FS}$  را به ازای تعداد خوشه‌ها نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشخص است، کمترین میزان  $V_{FS}$  به ازای مقدار  $C=6$ ، و بدین ترتیب تعداد بهینه خوشه‌ها ۶ است.

جدول ۳. تغییرات  $V_{FS}$  نسبت به C

$V_{FS}$	تعداد خوشه‌ها (C)	$V_{FS}$	تعداد خوشه‌ها (C)
-۰/۵۷۱	۸	-۰/۱۳۱	۲
-۰/۵۹۷	۹	-۰/۴۱۲	۳
-۰/۵۸۴	۱۰	-۰/۴۷۷	۴
-۰/۵۵۸	۱۱	-۰/۴۹۷	۵
-۰/۵۴۹	۱۲	-۰/۵۹۹	۶
-۰/۵۴۵	۱۳	-۰/۵۳۵	۷

در ادامه کار، با استفاده از فازی C Means داده‌های ورودی - خروجی خوشه‌بندی شدند و هر خوشه بر

جدول ۴. تعداد توابع عضویت فازی به کار رفته برای هر متغیر

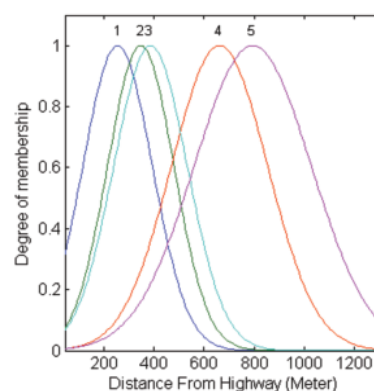
متغیر	تعداد توابع عضویت به کار رفته
نزدیکی به خیابان‌های اصلی	۴
نزدیکی به بزرگراه‌ها	۵
دوری از حریم رودخانه‌های شهری و مسیل‌ها	۳
فاصله استاندارد و مناسب از میدان شهر	۵
فاصله مناسب از شعبه‌های فعلی	۶
دوری از کاربری‌های آسیب‌پذیر	۵
نزدیکی به مراکز آتش‌نشانی	۳
فاصله مناسب از پارک‌های عمومی و فضای سبز درون‌شهری	۵
فاصله مناسب از پارکینگ‌های عمومی	۵
فاصله مناسب از ایستگاه‌های پمپ‌گاز	۶
وزن خروجی (میزان مطلوبیت برای احداث جایگاه سوخت)	۶
<b>مجموع</b>	<b>۵۳</b>

دارای ۱۰۶ ژن خواهد بود. نرخ یا درصد ادغام و جهش در الگوریتم ژنتیک به ترتیب ۰/۷ و ۰/۱ انتخاب شدند. همچنین عملگر ادغام دو نقطه<sup>۱</sup> برای ایجاد فرزندان<sup>۲</sup> مورد استفاده قرار گرفت. البته لازم به ذکر است که معرفی احتمال ادغام و جهش به تابع هدف وابسته است. تابع هدف در واقع سازوکار یا مکانیسم اندازه‌گیری است که برای ارزیابی وضعیت کروموزوم‌ها به کار می‌رود. در اینجا تابع هدف رابطه (۹) است.

$$MSE = \sqrt{\sum_{i=1}^k (y_{oi} - y_{ci})^2} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه ۹، k تعداد داده‌های ورودی-خروجی، و معادل ۲۰ است؛ و  $y_{ci}$  خروجی سیستم استنتاج فازی ژنتیک برای i امین داده و  $y_{oi}$  خروجی مورد انتظار است. با اجرای الگوریتم ژنتیک فرم بهینه توابع عضویت محاسبه شدند. به عنوان مثال، شکل ۶ تابع عضویت به دست آمده برای متغیر ورودی فاصله تا بزرگراه را نشان می‌دهد.

سپس به میزان‌سازی توابع عضویت فازی پرداخته شد؛ بدین معنا که با ثابت نگه داشتن قوانین فازی اولیه، فرم بهینه توابع عضویت استخراج گردید.



شکل ۵. توابع عضویت استخراج شده از طریق خوشه‌بندی برای متغیر ورودی فاصله تا بزرگراه

برای این منظور پارامترهای تمام توابع عضویت فازی (تابع عضویت گوسین)  $(\sigma_i, c_i)$  در داخل هر کروموزوم کدگذاری شدند، به گونه‌ای که هر کروموزوم نماینده کل توابع عضویت فازی باشد. به دلیل اینکه پایگاه داده دارای ۵۳ تابع عضویت فازی است و هر تابع عضویت با دو پارامتر کدگذاری شده‌اند، هر کروموزوم

1. Two Point Crossover  
2. Offspring

خودآگاه او نیز در قالب توابع عضویت و قوانین فازی به سیستم استنتاج فازی افزوده شد.

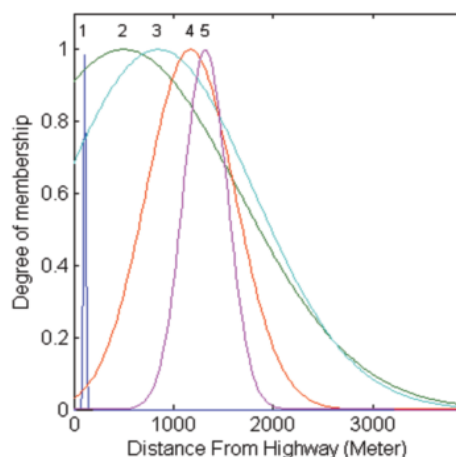
### ۳-۴- تهیه نقشه مطلوبیت جایگاه سوخت

تمامی نقشه‌های معیار محاسبه شده از آنالیزهای GIS وارد سیستم استنتاج فازی نهایی شدند و مقادیر خروجی به ازای تک تک پیکسل‌ها محاسبه گردید. بدین ترتیب نقشه مطلوبیت احداث جایگاه سوخت در واحد پیکسل ایجاد شد. در ادامه لایه قطعات ملکی منطقه مورد مطالعه قرار گرفتند و نقشه ایجاد شده (در واحد پیکسل) بر روی هم قرار داده شدند و میانگین مقادیر پیکسل‌های موجود در هر قطعه ملکی به عنوان میزان مطلوبیت به هر قطعه ملکی نسبت داده شد؛ و نقشه مطلوبیت احداث جایگاه سوخت در واحد پارسل ایجاد گشت. در نهایت مقادیر مطلوبیت بین ۰ و ۱ نرمالیزه شدند و سپس به پنج کلاس ۰/۲-۰ (نامناسب) و ۰/۴-۰/۲ و ۰/۶-۰/۴ و ۰/۸-۰/۶ و ۱-۰/۸ (مطلوبیت بالا) طبقه‌بندی شدند. شکل ۷ نقشه مطلوبیت احداث جایگاه سوخت به دست آمده را نشان می‌دهد.

### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

انعطاف‌پذیری زیاد سیستم‌های استنتاج فازی باعث افزایش کاربرد آنها در سال‌های اخیر در علم GIS و به‌ویژه در مکان‌یابی کاربری‌های مختلف شده است. توابع عضویت و قوانین فازی از جمله ارکان اصلی سیستم‌های استنتاج فازی محسوب می‌شوند. توابع عضویت و قوانین فازی می‌توانند از روی داده‌های ورودی-خروجی به صورت خودکار و یا از طریق مصاحبه با کارشناس به صورت غیرخودکار استخراج شوند. برای استخراج خودکار توابع عضویت و قوانین فازی روش‌های مختلفی مانند خوشه‌بندی فازی و الگوریتم ژنتیک وجود دارد، که در این تحقیق از هر دو روش به عنوان مکمل یکدیگر در دو مرحله جداگانه استفاده شد. در مرحله نخست به استخراج فرم اولیه توابع عضویت و قوانین فازی با استفاده از خوشه‌بندی

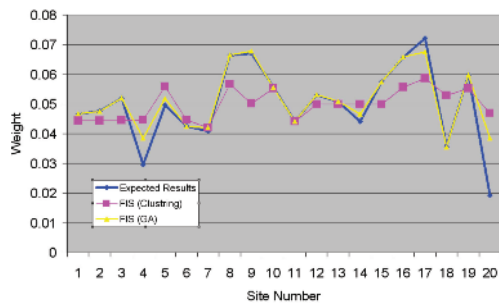
در گام بعدی با ثابت نگه داشتن فرم بهینه توابع عضویت فازی به استخراج فرم بهینه قوانین فازی پرداخته شد (روند یادگیری). برای این منظور ترم‌های قوانین فازی در داخل هر کروموزوم کدگذاری شدند، به گونه‌ای که هر کروموزوم نماینده کل قوانین باشد. به دلیل اینکه پایگاه قوانین دارای ۶ قانون (۶ خوشه) با ۱۱ ترم (۱۰ متغیر ورودی و ۱ متغیر خروجی) است، هر کروموزوم ۶۶ ژن دارد. از تنظیمات ژنتیکی استفاده شده در روند میزان‌سازی نیز در این مرحله استفاده گردید. با اجرای الگوریتم ژنتیک فرم بهینه قوانین فازی محاسبه شدند. با بررسی قوانین فازی به دست آمده مشخص گردید که این قوانین دقیقاً مشابه قوانین استخراج شده از طریق خوشه‌بندی فازی هستند. این موضوع نشان می‌دهد که قوانین فازی اولیه استخراج شده از طریق خوشه‌بندی، بهترین فرم ممکن را داشته‌اند.



شکل ۶. توابع عضویت استخراج شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای متغیر ورودی فاصله تا بزرگراه

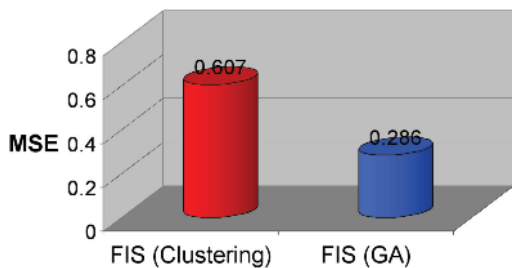
سیستم استنتاج فازی به دست آمده تا این مرحله، به دلیل محدودیت در تعداد داده‌های ورودی-خروجی نمی‌تواند به طور کامل ارتباط بین فضای ورودی و خروجی را پوشش دهد. برای رفع این نقیصه در مرحله نهایی با مصاحبه با کارشناس بخش دیگری از دانش

سیستم استنتاج فازی به دست آمده از طریق الگوریتم ژنتیک بسیار بیشتر از روش خوشه‌بندی به خروجی‌های مورد انتظار نزدیک‌اند، که این خود نشان‌دهنده بهبود دقت مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک است.



شکل ۸. مقایسه خروجی مورد انتظار و خروجی به دست آمده از سیستم استنتاج فازی ناشی از خوشه‌بندی و الگوریتم ژنتیک

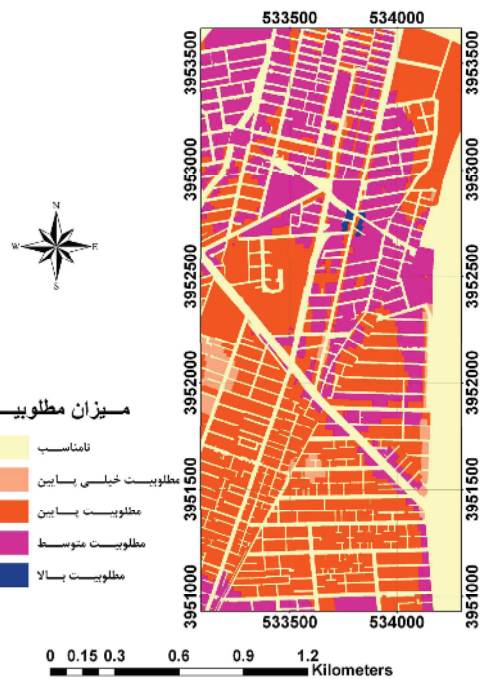
برای ارزیابی دقیق‌تر دقت مدل‌سازی، مقادیر MSE (رابطه ۹) برای هر دو سیستم استنتاج فازی محاسبه گردید. شکل ۹ مقادیر MSE (رابطه ۱۰) را برای دو سیستم استنتاج فازی به دست آمده از طریق خوشه‌بندی فازی و الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. این شکل حاکی از افزایش ۵۳ درصد دقت مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک است.



شکل ۹. مقایسه MSE محاسبه شده با استفاده از سیستم استنتاج فازی به دست آمده از خوشه‌بندی و الگوریتم ژنتیک

همچنین برای ارزیابی نقشه مطلوبیت، هیستوگرام مربوط به این نقشه برای ۵ کلاس مطلوبیت ترسیم شد (شکل ۱۰). همان‌طور که مشخص است، ۹ درصد از منطقه مطلوبیت بالایی برای احداث جایگاه سوخت دارند.

فازی پرداخته شد؛ و در مرحله دوم، الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی توابع عضویت و قوانین فازی اولیه به کار رفت. به عبارت بهتر، الگوریتم ژنتیک برای افزایش دقت مدل‌سازی سیستم استنتاج فازی اولیه (تشکیل شده از توابع عضویت و قوانین فازی اولیه) به کار گرفته شد. به منظور بررسی بهبود دقت مدل‌سازی به وسیله الگوریتم ژنتیک، دو سیستم استنتاج فازی - یکی با استفاده از توابع عضویت و قوانین فازی اولیه و دیگری با استفاده از توابع عضویت و قوانین فازی استخراج شده از طریق الگوریتم ژنتیک - ایجاد گردید. سپس با ارائه مقادیر ورودی ۲۰ نقطه انتخاب شده در مراحل قبل به این دو سیستم استنتاج‌سازی، مقادیر خروجی محاسبه شدند.



شکل ۷. نقشه مطلوبیت احداث جایگاه سوخت

شکل ۸ مقادیر خروجی مورد انتظار و خروجی سیستم استنتاج فازی به دست آمده از طریق خوشه‌بندی و الگوریتم ژنتیک را جداگانه نشان می‌دهد. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، خروجی‌های

همچنین سایر کاربری‌ها - مانند پارکینگ، بیمارستان و پارک- مورد استفاده قرار داد.

#### ۵- منابع

Aghakhani, Z., 1999, **The Estimating Models of Fuel Demand in Transportation Section**, Budgeting and Programming Journal, 38, 101-128.

Al-Jarrah, O., and Abu-Qdais, H., 2006, **Municipal Solid Waste Landfill Siting Using Intelligent System**, Waste Management, 26(3), 299-306.

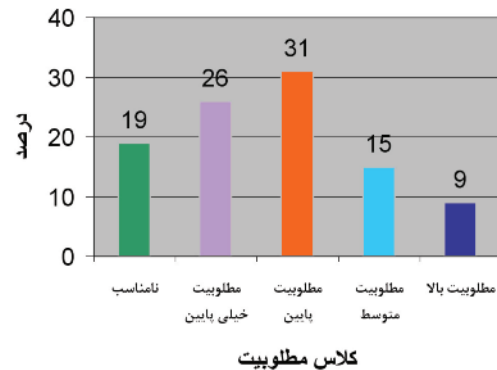
Bezdek, J.C., 1981, **Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms**, Kluwer Academic Pub, MA, USA.

Boender, C. G. E., de Graan, J. G., and Lootsma, F. A., 1989, **Multi-criteria Decision Analysis with Fuzzy Pairwise Comparisons**, Fuzzy Sets and Systems, 29(2), 133-143.

Buckley, J. J., 1985, **Fuzzy Hierarchical Analysis**, Fuzzy Sets and Systems, 17(3), 233-247.

Cay, T., and Iscan, F., 2011, **Fuzzy Expert System for Land Reallocation in Land Consolidation**, Expert Systems with Applications, In Press.

Chang, D.-Y., 1996, **Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP**, European Journal of Operational Research, 95(3), 649-655.



شکل ۱۰. درصد مساحت کلاس‌های مطلوبیت مختلف در منطقه مورد مطالعه

با بررسی مناطقی که در کلاس مطلوبیت بالا قرار داشتند و همچنین نظر کارشناس، چندین محل برای احداث جایگاه سوخت تعیین گردید، که از آن جمله می‌توان به محدوده‌ای در ضلع شمالی خیابان مرزداران و همچنین محدوده‌ای در ضلع شمالی بولوار دریا اشاره کرد. تحقیقات مختلفی در زمینه تلفیق سیستم‌های استنتاج فازی و ارزیابی مطلوبیت اراضی انجام شده است ( Al-Jarrah and Abu-Qdais, 2006; Reshmidevi et al., 2009). در تمامی این قبیل تحقیقات کلیه توابع عضویت و قوانین فازی از طریق مصاحبه با کارشناس و به صورت غیرخودکار استخراج شدند. اما به دلیل اینکه تبدیل تمام دیدگاه‌های کارشناس به توابع عضویت و قوانین فازی بسیار دشوار است و نمی‌توان دانش کارشناس (خودآگاه و ناخودآگاه) را به طور کامل مدل‌سازی کرد، این سیستم‌ها کارایی لازم را ندارند. لیکن در این تحقیق بخشی از توابع عضویت و قوانین فازی از طریق مصاحبه با کارشناس و بخشی دیگر به صورت خودکار و از طریق داده‌های ورودی - خروجی، که خود در برگرفته بخشی از دانش کارشناس (خودآگاه و ناخودآگاه) است، پرداخته شد.

لازم به ذکر است که فرایند پیشنهادی در این تحقیق مستقل از تعداد و نوع معیارهای ارائه شده است و می‌توان آن را با تغییرات لازم برای دیگر مناطق و

- Cordón, O., Herrera, F., Hoffmann, F., and Magdalena, L., 2001a, **Genetic Fuzzy Systems: Evolutionary Tuning and Learning of Fuzzy Knowledge Bases**, World Scientific Pub Co Inc, Singapore.
- Cordón, O., Herrera, F., Magdalena, L., and Villar, P., 2001b, **A Genetic Learning Process for the Scaling Factors**, granularity and contexts of the fuzzy rule-based system data base, *Information Sciences*, 136(1-4), 85-107.
- Di Martino, F., Loia, V., and Sessa, S., 2007, **Extended Fuzzy C-Means Clustering in GIS Environment for Hot Spot Events**, *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*, Springer, Berlin Heidelberg, 101-107.
- Fukuyama, Y., and Sugeno, M., 1989, **A New Method of Choosing the Number of Clusters for the Fuzzy C-means Method**, In: *Proceedings of the Fifth Fuzzy Systems Symposium*, 247–250.
- Gen, M., and Cheng, R., 2000, **Genetic Algorithms and Engineering Optimization**, Wiley-interscience, New York.
- Goodchild, M. F., Noronha, V. T., 1987, **Location-allocation and Impulsive Shopping: the Case of Gasoline Retailing**, In: *Spatial Analysis and Location-Allocation Models*. van Nostrand Reinhold, New York, pp. 121–136.
- Herrera, F., 2005, **Genetic Fuzzy Systems: Status, Critical Considerations and Future Directions**, *International Journal of Computational Intelligence Research*, 1(1-2), 59-67.
- Herrera, F., and Lozano, M., 2009, **Fuzzy Evolutionary Algorithms and Genetic Fuzzy Systems: A Positive Collaboration between Evolutionary Algorithms and Fuzzy Systems**, *Computational Intelligence*, 83-130.
- Herrera, F., Lozano, M., and Verdegay, J. L., 1998, **A Learning Process for Fuzzy Control Rules Using Genetic Algorithms**, *Fuzzy Sets and Systems*, 100(1-3), 143-158.
- Hodgson, M. J., 1990, **A Flow Capturing Location Allocation Model**, *Geographical Analysis*, 22(3), 270–279.
- Holland, J. H., and Reitman, J. S., 1977, **Cognitive Systems Based on Adaptive Algorithms**, In: *Pattern-directed inference systems*, Academic Press, New York, 313-329.
- Hosseiniou, M. H., and Ebrahimzadeh, B., 2008, **Optimization of CNG Station Locations in Intercity Networks**, *Map Asia*.
- Kahraman, C., Cebeci, U., and Ruan, D., 2004, **Multi-attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey**, *International Journal of Production Economics*, 87(2), 171-184.



- Karimi, M., Mesgari, M. S., and Sharifi, M. A., 2009, **Modelling Ecological Capability, Using Fuzzy Logic (Case Study Area: Borkhar and Meymeh Townships)**, Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, 1(1), 17-38.
- Kuo, R. J., Chi, S. C., and Kao, S. S., 1999, **A Decision Support System for Locating Convenience Store Through Fuzzy AHP**, Computers & industrial engineering, 37(1-2), 323-326.
- Lodwick, W., 2008, **Fuzzy Surfaces in GIS and Geographical Analysis: Theory, Analytical Methods, Algorithms and Applications**, CRC Press, New York.
- Malerba, D., Esposito, F., Lanza, A., Lisi, F.A., and Appice, A., 2003, **Empowering a GIS with Inductive Learning Capabilities: the case of INGENS**, Computers, Environment and Urban Systems, 27(3), 265-281.
- Mendel, J. M., 1995, **Fuzzy Logic Systems for Engineering: a Tutorial**, In: Proceedings of the IEEE, 83(3), 345-377.
- Morley, M. S., Atkinson, R. M., Savi, D. A., and Walters, G. A., 2001, **GANet: Genetic Algorithm Platform for Pipe Network Optimisation**, Advances in Engineering Software, 32(6), 467-475.
- Nicholas, M.A., Handy, S.L., and Sperling, D., 2004, **Using Geographic Information Systems to Evaluate Siting and Networks of Hydrogen Stations**, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2004(1880), 126-134.
- Nicholas, M.A., and Ogden, J., 2006, **Detailed Analysis of Urban Station Siting for California Hydrogen Highway Network**, Transportation Research Record, 1983, 121-128.
- Pal, K., Mudi, R. K., and Pal, N. R., 2002, **A New Scheme for Fuzzy Rule-based System Identification and its Application to Self-tuning Fuzzy Controllers**, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 32(4), 470-482.
- Ramze Rezaee, M., Lelieveldt, B. P. F., and Reiber, J. H. C., 1998, **A New Cluster Validity Index for the Fuzzy C-mean**, Pattern Recognition Letters, 19(3-4), 237-246.
- Reshmidevi, T.V., Eldho, T.I., and Jana, R., 2009, **A GIS-integrated Fuzzy Rule-based Inference System for Land Suitability Evaluation in Agricultural Watersheds**, Agricultural Systems, 101(1-2), 101-109.
- Ross, T.J., 2004, **Fuzzy Logic with Engineering Applications**, Wiley, England.
- Saaty, T.L., 1980, **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, resource allocation**, McGraw-Hill, New York.

- Smith, S.F., 1980, **A Learning System Based on Genetic Adaptive Algorithms**, University of pittsburgh, pittsburgh.
- Sugeno, M., and Kang, G.T., 1988, **Structure Identification of Fuzzy Model**, Fuzzy Sets and Systems, 28(1), 15-33.
- Upchurch, C., and Kuby, M., 2010, **Comparing the P-median and Flow-refueling Models for Locating Alternative-fuel Stations**, Journal of Transport Geography, 18(6), 750-758.
- Vahidnia, M.H., Alesheikh, A.A., and Alimohammadi, A., 2009, **Hospital Site Selection Using Fuzzy AHP and its Derivatives**, Journal of Environmental Management, 90(10), 3048-3056.
- Venturini, G., 1993, **SIA: A Supervised Inductive Algorithm with Genetic Search for Learning Attributes Based Concepts**, In: Proceedings of European Conference on Machine Learning, pp. 280-296.
- Wang, L.X., 1996, **A Course in Fuzzy Systems and Control**, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Wang, Y.-M., Luo, Y., and Hua, Z., 2008, **On the Extent Analysis Method for Fuzzy AHP and its Applications**, European Journal of Operational Research, 186(2), 735-747.
- Wang, Y.W., and Wang, C.-R., 2010, **Locating Passenger Vehicle Refueling Stations**, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 46(5), 791-801.
- Yaochu, J., Von Seelen, W., and Sendhoff, B., 1999, **On Generating FC3 Fuzzy Rule Systems from Data Using Evolution Strategies**, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 29(6), 829-845.
- Ziari, Y., and Hosseinmardi, M., 2010, **Investigation and Analysis of Urban Land use and Weighting the Criteria of Siting CNG Station Using AHP Model (Case Study: Gas Region 4 in Tehran)**, Human Geography, 1(1), 39-52.
- Zadeh, L.A., 1965, **Fuzzy Sets, Information and Control**, 8(3), 338-353