

جانمایی تصفیه خانه های فاضلاب در کلان شهر ها به کمک تلفیق روش های تصمیم گیری چند معیاره و GIS (مطالعه موردی: شهر تهران)

مصطفی نشاسته گر^۱؛ مسعود تجریشی^۲؛ احمد ابریشم چی^۳

چکیده

یکی از مسائل مهم مطرح در کنار کمبود و تقاضای آب در شهرهای بزرگ، مسئله دفع فاضلاب است. همچنین ادامه روند استفاده مجرد از سیستم های تصفیه متمرکز نگرانی هایی از قبیل محدودیت های ظرفیت تصفیه خانه متمرکز، افزایش رشد جمعیت، کاهش آب ناشی از تغییرات در چرخه های جهانی آب و تامین آسایش خاطر مردم منطقه در مواقع بحرانی را در پی دارد. بنابراین استفاده از سیستم های تصفیه غیرمتمرکز و ماهواره ای برای کلان شهرها از جمله شهر تهران امری ضروری است. حال موضوع مهم در این راستا انتخاب مکان مناسب برای قرارگیری تصفیه خانه های غیرمتمرکز در سطح شهر تهران است. روش هایی که از تصمیم گیری چند معیاره برای مکانیابی استفاده می کنند، از جمله این راهکارها هستند. با استفاده از تصمیم گیری چند معیاره می توان انتظار داشت محل معرفی شده، کلیه معیارهای مورد نظر را به نسبت وزنی که دارند ارضا می کند. همچنین استفاده از منطق فازی در تصمیم گیری، مسئله عدم قطعیت و عدم دقت مرتبط با آگاهی تصمیم گیرنده در اختصاص دادن وزن دقیق به معیارها را حل کرده است. در این تحقیق با تعریف معیارها، زیرمعیارها و وزن های موثر در مکانیابی تصفیه خانه غیرمتمرکز، که این وزن ها به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و برش آلفا بدست آمده اند، و با کمک گرفتن از نقشه هایی بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به تعیین نقاط بهینه پرداخته شده است.

واژه های کلیدی: مکانیابی، تصمیم گیری چند معیاره، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فرآیند تحلیل

سلسله مراتبی فازی، برش آلفا

۱- مقدمه

یکی از مسائل مهم مطرح در کنار کمبود و تقاضای آب در شهرهای بزرگ، مسئله دفع فاضلاب است. با توجه به ادامه روند استفاده مجرد از سیستم های تصفیه متمرکز نگرانی هایی در مورد این گونه از تصفیه خانه ها از قبیل: محدودیت های ظرفیت، افزایش رشد جمعیت، کاهش آب ناشی از تغییرات در چرخه های جهانی آب و تامین آسایش خاطر مردم منطقه در مواقع بحرانی وجود دارد [۱]. یکی از سیستم های موجودی که ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی را یکجا در بر می گیرد، استفاده از سیستم های تصفیه ماهواره ای و تصفیه غیر متمرکز است. امروزه با استفاده از سیستم های تصفیه ماهواره ای و غیر متمرکز علاوه بر جلوگیری از هزینه های بالای شبکه های انتقال، امکان استفاده از پساب تصفیه شده در محل تولید و محل های مورد نیاز امکان پذیر می باشد.

مسئله دفع و تصفیه فاضلاب برای کلان شهرها همانند شهر تهران یک امری ضروری است. با توجه به تکمیل نشدن طرح های فاضلاب تهران در مدت زمان پیش بینی شده، مشخص است که ادامه این روند شهر تهران را با مشکل مواجه خواهد کرد. وجود تصفیه خانه های کوچک موجود در بعضی مناطق تهران هم جوابگوی نیاز امروز و فردای تهران نیست. از طرفی دیگر با توجه به اقلیم خشک تهران، نیاز به پساب تصفیه شده در سطوح مختلف مصرف

^۱ دانشجوی ارشد مهندسی محیط زیست، دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف، neshsatehgar@civil.sharif.edu

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران و دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف، tajrishy@sharif.ir

^۳ استاد دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف، abrisham@sharif.ir

بشدت احساس می شود. به همین منظور شهر تهران نیاز به یک برنامه صحیح برای دفع فاضلاب خود دارد. این برنامه صحیح نیازمند تعیین تعداد تصفیه خانه لازم و جانمایی مناسب آنها با توجه به امکان استفاده مجدد از پساب و بهبود وضعیت کیفی مسیل های داخل شهر می باشد.

بدهی است تعداد زیادی از عوامل در تصمیم گیری انتخاب مکان مناسب برای احداث تصفیه خانه غیر متمرکز دخیل اند که استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با توجه به قابلیت خود در مدیریت حجم زیاد داده های مکانی از منابع مختلف مطلوب می باشد. ذخیره، بازیابی، آنالیز و نمایش اطلاعات مطابق با خصوصیات تعیین شده توسط کاربر از مشخصات بارز این سیستم اطلاعاتی می باشد. استفاده از روش های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) برای ارزش گذاری معیارها موثر در تصمیم گیری و انتخاب مکان مناسب یکی از راهکارهای مفیدی است که در ادبیات مکان یابی به چشم می خورد [۲]. در این تحقیق با استفاده از تلفیق GIS و روشهای تصمیم گیری چند معیاره به انتخاب مناسب ترین مکان برای احداث تصفیه خانه های غیر متمرکز پرداخته شده است. معیارهای فاصله از پارک ها و فضاهای سبز جهت استفاده از پساب تصفیه شده، فاصله از تصفیه خانه های قدیمی موجود به منظور سهولت بسط و توسعه آن ها، فاصله از خطوط لوله اصلی شبکه فاضلاب (تونل های شرقی و غربی فاضلاب) به منظور عمل استخراج و تصفیه فاضلاب، تراکم جمعیت، فاصله از شبکه فاضلاب بهره برداری شده، فاصله از شبکه فاضلاب اجرا شده، فاصله از مناطق دارای افت آب زیرزمینی به منظور تغذیه آب زیرزمینی توسط پساب تصفیه شده، پهنه بندی مناطق و کاربری بر اساس طرح جامع تهران و فاصله از مسیل ها به منظور دفع پساب تصفیه شده از جمله معیارهای موثر انتخاب شده در این راستا می باشند.

۲- پیشنهاد مطالعات

۲-۱- سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مکانیابی

در طول چند سال اخیر از GIS به عنوان یک سیستمی برای مدیریت، نمایش و تحلیل داده های مکانی برای سهولت بخشیدن و کاهش هزینه ها در فرآیند مکان یابی استفاده شده است. هدف از یک مکان یابی پیدا کردن مکانی بهینه می باشد که تمام معیارهای از پیش تعریف شده را ارضا کند. فرآیند مکان یابی معمولاً شامل دو فاز اصلی غربالگری (تشخیص یک تعداد محدودی از مکان های موجود از کل محدوده مورد بررسی با توجه به عوامل محدود کننده) و ارزیابی (در راستای بررسی گزینه ها برای تعیین مکان مناسب تر) می باشد. گاهی یک گروه زیادی از عوامل متضاد در هر دو فاز وارد می شوند.

در این گونه مواقع یک تعدادی از ابزارها برای تعیین مکان بهینه در دسترس می باشند. این ابزارها شامل سیستم های خبره (Expert System) برای مسائلی که دارای تعریف و ساختار مشخص هستند و سیستم پشتیبان تصمیم گیری (Decision support system) برای مسائلی که دارای ساختار واضحی نیستند و یا ترکیب این دو بکار می روند. اما ترکیب GIS با روش های MCDM می تواند مکان یابی را در حالت هایی که مسئله دارای ساختار واضحی نیست و یا دارای ساختاری نیمه واضح است، به این معنی که تصمیم گیرندگان اطلاعات کامل و قابل اطمینانی راجع به معیارها، گزینه های تصمیم گیری و نتیجه حاصله ندارند، آسان کند [۳].

۲-۲- فرآیند سلسله مراتبی فازی (FAHP)

در ارزیابی هر موضوعی نیاز به معیار اندازه گیری با شاخص الزامی است. انتخاب شاخص مناسب این امکان را می دهد که مقایسه درستی بین معیارها یا آلترناتیوها صورت پذیرد. اما وقتی که چند یا چندین شاخص برای ارزیابی در نظر گرفته می شود، کار ارزیابی پیچیده می شود و پیچیدگی کار زمانی بالا می گیرد که معیارهای چند یا چندین گانه با هم در فضا و از جنس های مختلف باشند. در این هنگام کار ارزیابی و مقایسه از حالت ساده تحلیلی که ذهن

قادر به انجام آن است خارج می شود و به یک ابزار تحلیل عملی قوی نیاز خواهد بود. یکی از ابزارهای توانمند برای چنین وضعیت هایی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است.

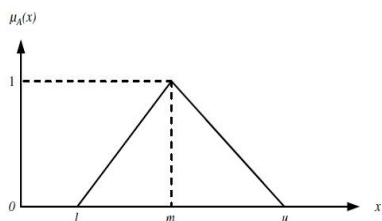
فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یک روش انعطاف پذیر و کمی برای انتخاب گزینه های تصمیم گیری بر اساس نسبت ارجحیتشان به یک یا چندین معیار مورد نظر می باشد. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از روش های تصمیم گیری چند معیاره می باشد که از ساختار سلسله مراتبی برای ارائه یک مسئله استفاده کرده و سپس به بسط و توسعه ارجحیت گزینه ها با توجه به قضاوت صورت گرفته توسط کاربر می پردازد [۴].

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی علاوه بر محبوبیتش اغلب با انتقاد ناتوانی در دخیل کردن عدم قطعیت و عدم دقت مرتبط با آگاهی تصمیم گیرنده در ارائه وزن های دقیق مواجه است. از آنجایی که کمبود قطعیت یک مشخصه رایج از مسائل تصمیم گیری است، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) برای حل این مسائل توسعه داده شده بود. این روش به تصمیم گیرندگان اجازه بیان تقریبی یا انعطاف پذیر اولویت ها با استفاده از اعداد فازی می دهد که عدم کمبود قطعیت در داده های ورودی را با اعمال فازی در قضاوت پوشش می دهد [۵].

تئوری مجموعه فازی یک تئوری ریاضی طراحی شده با مدلی از ابهام فرآیند انسان شناختی است. این تئوری به طور اساسی یک تعمیم از مجموعه تئوری است که مرزهای ناقص شفاف را توصیف می کند. تابع عضویت $\mu_A(x)$ از یک مجموعه فازی بر روی یک دامنه از اعداد حقیقی عمل کرده و عموماً یک مقیاسی بین فواصل ۰ و ۱ میدهد.

از این رو فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی یک دامنه از مقدارهایی برای بیان عدم قطعیت تصمیم گیرندگان استفاده می کند. تصمیم گیرنده آزاد است تا یک دامنه از مقدارهایی را که بازتابی است از اطمینانش انتخاب کند. تصمیم گیرنده متناوباً می تواند معیارهایش را بر حسب حالت های خوش بینانه، بد بینانه یا متعادل به ترتیب با نشان دادن دامنه مقداری از زیاد، کم و یا متوسط تعیین کند [۶].

یک قضاوت غیر قطعی کارشناسی می تواند بوسیله عدد فازی نشان داده شود. یک عدد فازی مثلثی، یک نوع مخصوص از عدد فازی است که تابع عضویت آن بوسیله سه عدد حقیقی (l, m, u) تعریف میشود. این تابع عضویت در شکل (۱) نشان داده شده و توصیف ریاضی آن بوسیله رابطه ۱ بیان شده است.



شکل (۱): عدد فازی مثلثی $A=(l, m, u)$

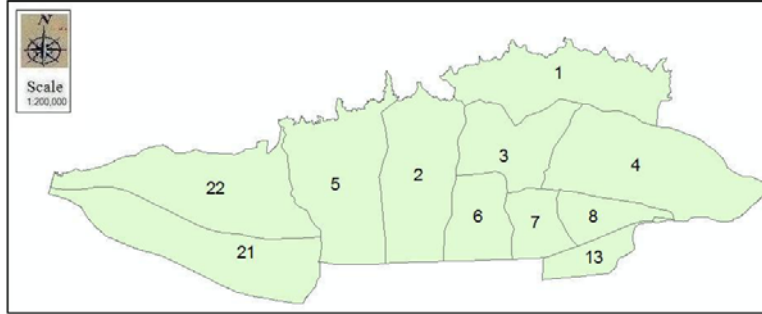
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (1)$$

که در آن m, l و u به ترتیب حدهای پایین، وسط و بالای اعداد فازی مثلثی هستند. تعداد زیادی از روش های FAHP بر پایه اعداد فازی مثلثی پیشنهاد داده شده اند. در این تحقیق روش برش آلفا، که روشی است مطمئن در کاربرد های مکان یابی توسط GIS [۷]، برای بدست آوردن وزن نهایی معیارها مورد استفاده قرار گرفته شده است. عملکرد این روش در پنج گام تشکیل ماتریس مقایسه زوجی فازی مثلثی، بکاربرد بسط توسعه فازی و تشکیل ماتریس عملکرد، چک کردن رتبه فازی بر اساس روش برش آلفا، اعمال روش برش آلفا و اعمال تابع λ و بدست آوردن وزنهایی نهایی نرمال شده قابل توضیح می باشد.

۳- متدولوژی و تحلیل

۳-۱- جمع آوری اطلاعات و داده های مورد نیاز

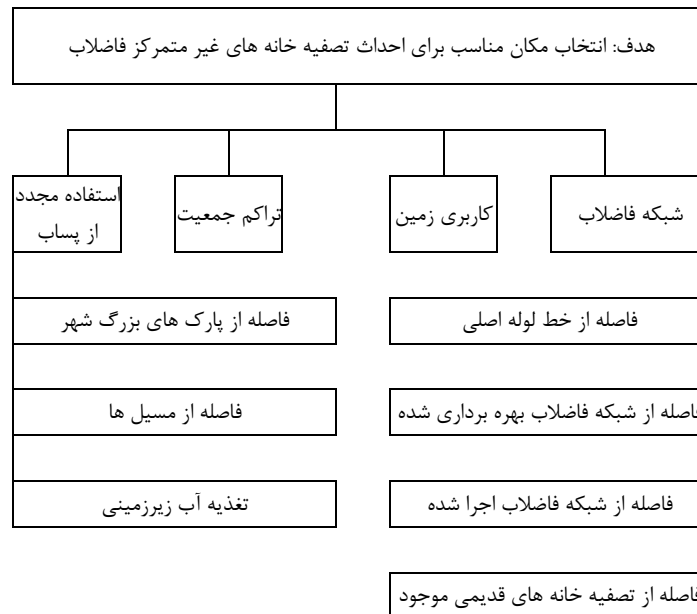
محدوده مورد مطالعه مناطق ۱ تا ۸، ۱۳، ۲۱ و ۲۲ شهر تهران را در بر می گیرد که در شکل (۲) قابل مشاهده می باشد. نقشه های مورد نیاز بر اساس معیارهای تعریف شده در این تحقیق می باشند. اکثر این نقشه ها با توجه به داده های معتبر موجود، در نرم افزار Arc GIS ساخته شده و در تحلیل مسئله موجود به کار گرفته شده اند.



شکل (۲): محدوده مورد مطالعه

۳-۲- ساختار سلسله مراتبی برای معیارها و زیر معیارها

ساختار سلسله مراتبی به گونه ای شکل می گیرد که هدف تصمیم گیری در راس این سلسله قرار می گیرد. به همین ترتیب معیارهای اصلی در سطح دوم و اگر زیر معیاری برای معیارهای اصلی وجود داشته باشد در سطح دوم و به همین ترتیب تا اینکه در سطح آخر گزینه های تصمیم گیری بیان می شود. در این تحقیق هدف اصلی، معیارها و زیر معیارها به صورت شکل (۳) قابل مشاهده هستند.



شکل (۳): ساختار سلسله مراتبی برای معیارها و زیر معیارها



۳-۳- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی فازی معیارها و زیر معیارها

بعد از مشخص شدن معیارها و زیر معیارها، طبق روش FAHP باید ماتریس مقایسات زوجی را تشکیل داد. این ماتریس به مقایسه دو به دویی معیارها می پردازد که این عمل برای تمام سطوح معیارها اصلی و زیر معیارها انجام می شود. جداول (۱)، (۲) و (۳) نشان دهنده این ماتریس ها می باشند.

جدول (۱): ماتریس مقایسه زوجی فازی معیارهای اصلی

| معیار | شبکه فاضلاب | استفاده مجدد از پساب | کاربری زمین | تراکم جمعیت |
|----------------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|
| شبکه | (۱ و ۱) | (۴ و ۲) | (۶ و ۳) | (۷ و ۳) |
| استفاده مجدد از پساب | (۱/۴ و ۱/۲) | (۱ و ۱) | (۵ و ۳) | (۴ و ۲) |
| کاربری زمین | (۱/۶ و ۱/۴) | (۱/۵ و ۱/۳) | (۱ و ۱) | (۴ و ۲) |
| تراکم جمعیت | (۱/۷ و ۱/۵) | (۱/۶ و ۱/۴) | (۱/۴ و ۱/۲) | (۱ و ۱) |

جدول (۲): ماتریس مقایسه زوجی فازی زیر معیار شبکه

| معیار | فاصله از خط لوله اصلی فاضلاب | فاصله از شبکه فاضلاب بهره برداری شده | فاصله از تصفیه خانه های قدیمی موجود | فاصله از شبکه فاضلاب اجرا شده |
|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| فاصله از خط لوله اصلی فاضلاب | (۱ و ۱) | (۳ و ۱) | (۳ و ۱) | (۷ و ۳) |
| فاصله از شبکه فاضلاب بهره برداری شده | (۱ و ۳) | (۱ و ۱) | (۳ و ۱) | (۷ و ۳) |
| فاصله از تصفیه خانه های قدیمی موجود | (۱ و ۳) | (۱ و ۳) | (۱ و ۱) | (۷ و ۳) |
| فاصله از شبکه فاضلاب اجرا شده | (۱/۷ و ۱/۵) | (۱/۶ و ۱/۴) | (۱/۷ و ۱/۵) | (۱ و ۱) |

جدول (۳): ماتریس مقایسه زوجی فازی زیر معیار استفاده مجدد از پساب

| معیار | تغذیه آب زیرزمینی | تغذیه آب های بزرگ شهر | فاصله از مسیل ها |
|----------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| تغذیه آب زیرزمینی | (۱ و ۱) | (۵ و ۳) | (۷ و ۳) |
| فاصله از پارک های بزرگ شهر | (۱/۵ و ۱/۳) | (۱ و ۱) | (۵ و ۳) |
| فاصله از مسیل ها | (۱/۷ و ۱/۵) | (۱/۵ و ۱/۳) | (۱ و ۱) |

۳-۴- اعمال روش برش آلفا

با توجه به توضیحات داده شده برای روش برش آلفا، این روش را بر روی ماتریس های مقایسه زوجی فازی اعمال کرده که بر طبق آن وزن هر یک از معیارها و زیر معیارها در هر سطح بدست می آید. با توجه به تحلیل حساسیت انجام گرفته به α مقدار ۰.۶ و به λ سه مقدار صفر، ۰.۵ و ۱ اختصاص داده شده است. جداول (۴)، (۵) و (۶) نشان دهنده این وزن ها می باشند. جدول (۸) وزن نهایی معیارها را نشان می دهد.

جدول (۴): وزن معیارهای اصلی

| α | λ | معیار | | | | تراکم جمعیت |
|----------|-----------|-------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | شبکه فاضلاب | استفاده مجدد از پساب | کاربری زمین | تراکم جمعیت | |
| ۰.۶ | ۰ | ۰.۴۶۱۰ | ۰.۳۱۷۲ | ۰.۱۴۱۳ | ۰.۰۸۰۵ | وزن |
| | ۰.۵ | ۰.۴۵۴۵ | ۰.۳۲۱۸ | ۰.۱۴۹۱ | ۰.۰۷۴۶ | |
| | ۱ | ۰.۴۵۱۶ | ۰.۳۲۳۸ | ۰.۱۵۲۷ | ۰.۰۷۱۹ | |

جدول (۵): وزن زیر معیار های شبکه فاضلاب

| زیر معیار های شبکه فاضلاب | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-----|--------|
| α | λ | فاصله از خط لوله اصلی فاضلاب | فاصله از شبکه فاضلاب بهره برداری شده | فاصله از تصفیه خانه های قدیمی موجود | فاصله از شبکه فاضلاب اجرا شده | وزن | |
| ۰.۶ | ۰ | ۰.۳۱۱۷ | ۰.۳۱۱۷ | ۰.۳۱۱۷ | ۰.۰۶۵۰ | | ۰.۳۱۴۵ |
| | ۰.۵ | ۰.۳۱۴۵ | ۰.۳۱۴۵ | ۰.۳۱۴۵ | ۰.۳۱۴۵ | | |
| | ۱ | ۰.۳۱۵۹ | ۰.۳۱۵۹ | ۰.۳۱۵۹ | ۰.۳۱۵۹ | | |

جدول (۶): وزن زیر معیار استفاده مجدد از پساب

| زیر معیار استفاده مجدد از پساب | | | | | | |
|--------------------------------|-----------|------------------|----------------------------|-------------------|-----|--------|
| α | λ | فاصله از مسیل ها | فاصله از پارک های بزرگ شهر | تغذیه آب زیرزمینی | وزن | |
| ۰.۶ | ۰ | ۰.۱۱۴۱ | ۰.۲۸۴۶ | ۰.۶۰۱۳ | | ۰.۱۰۷۲ |
| | ۰.۵ | ۰.۱۰۷۲ | ۰.۲۹۸۹ | ۰.۵۹۳۹ | | |
| | ۱ | ۰.۱۰۴۰ | ۰.۳۰۵۴ | ۰.۵۹۰۶ | | |

جدول (۷): وزن نهایی معیار ها

| α | λ | فاصله از خط لوله اصلی فاضلاب | فاصله از شبکه فاضلاب بهره برداری شده | فاصله از تصفیه خانه های قدیمی موجود | فاصله از شبکه فاضلاب اجرا شده | تغذیه آب زیرزمینی | فاصله از پارک های بزرگ شهر | فاصله از مسیل ها | کاربری زمین | تراکم جمعیت |
|----------|-----------|------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------|-------------|-------------|
| ۰.۶ | ۰ | ۰.۱۴۳۷ | ۰.۱۴۳۷ | ۰.۱۴۳۷ | ۰.۰۲۹۹ | ۰.۱۹۰۷ | ۰.۰۹۰۳ | ۰.۰۳۶۲ | ۰.۱۴۱۳ | ۰.۰۸۰۵ |
| | ۰.۵ | ۰.۱۴۲۹ | ۰.۱۴۲۹ | ۰.۱۴۲۹ | ۰.۰۲۵۷ | ۰.۱۹۱۱ | ۰.۰۹۶۲ | ۰.۰۳۴۵ | ۰.۱۴۹۱ | ۰.۰۷۴۶ |
| | ۱ | ۰.۱۴۲۶ | ۰.۱۴۲۶ | ۰.۱۴۲۶ | ۰.۰۲۳۶ | ۰.۱۹۱۲ | ۰.۰۹۸۹ | ۰.۰۳۳۷ | ۰.۱۵۲۷ | ۰.۰۷۱۹ |

۳-۵- بدست آوردن اندیس تناسب

اندیس تناسب برای هر پیکسل از رستر نهایی در نرم افزار Arc GIS طبق رابطه (۲) انجام می پذیرد.

$$V_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij} \quad (2)$$

که در این رابطه، V_i اندیس تناسب ناحیه i ام، n تعداد کل معیارها، w_j وزن معیار j ام و v_{ij} ارزش (امتیاز) محاسبه شده ناحیه i تحت معیار j است. ترم v_{ij} یکی از ورودی های این نرم افزار می باشد که در جدول (۸) به طور دقیق مشخص شده است. در این امتیاز دهی عدد ۹ به عنوان بیشترین ارزش و عدد ۱ به عنوان کمترین ارزش در نظر گرفته شده است.

۳-۶- ورود اطلاعات به نرم افزار Arc GIS و برداشت نتیجه

در این مرحله غربالگری اولیه را با حذف محدوده های غیر مجاز انجام داده و تنها نواحی مجاز که نام آن ها در جدول (۸) ذکر شده است، برای ادامه کار باقی خواهند ماند. نهایتاً نواحی مناسب برای احداث تصفیه خانه غیر متمرکز بر حسب اولویت نواحی مشخص شده بدست می آیند.



جدول (۸): امتیاز تعلق گرفته به دامنه تغییرات درون معیارها

| معیارها و دامنه تغییرات آن ها | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------|--|---|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| امتیاز | فاصله از خط لوله اصلی (متر) | فاصله از شبکه فاضلاب بهره برداری شده (متر) | فاصله از تصفیه خانه های قدیمی موجود (متر) | فاصله از شبکه فاضلاب اجرا شده (متر) | فاصله از پارک های بزرگ شهر (متر) | فاصله از مسیل ها (متر) | تغذیه آب زبرزمینی (متر) | کاربری زمین (براساس پهنه بندی) | تراکم جمعیت (نفر در هکتار) |
| ۹ | ۰-۱۰۰۰ | ۰-۵۰۰ | ۰-۵۰۰ | ۰-۵۰۰ | ۰-۲۵۰ | ۰-۲۵۰ | ۰-۵۰۰ | G12 | ۲۴۰-۲۹۰ |
| ۸ | ۱۰۰۰-۲۰۰۰ | ۵۰۰-۱۰۰۰ | ۵۰۰-۱۰۰۰ | ۵۰۰-۱۰۰۰ | ۲۵۰-۵۰۰ | ۲۵۰-۵۰۰ | ۵۰۰-۱۰۰۰ | G31 | ۱۸۰-۲۴۰ |
| ۷ | ۲۰۰۰-۳۰۰۰ | ۱۰۰۰-۲۰۰۰ | ۱۰۰۰-۲۰۰۰ | ۱۰۰۰-۲۰۰۰ | ۵۰۰-۱۰۰۰ | ۵۰۰-۱۰۰۰ | ۱۰۰۰-۲۰۰۰ | G11 | ۱۵۰-۱۸۰ |
| ۶ | ۳۰۰۰-۴۰۰۰ | ۲۰۰۰-۴۰۰۰ | ۲۰۰۰-۴۰۰۰ | ۲۰۰۰-۴۰۰۰ | ۱۰۰۰-۱۵۰۰ | ۱۰۰۰-۱۵۰۰ | ۲۰۰۰-۴۰۰۰ | - | ۱۰۰-۱۵۰ |
| ۵ | ۴۰۰۰-۵۰۰۰ | ۴۰۰۰-۶۰۰۰ | ۴۰۰۰-۶۰۰۰ | ۴۰۰۰-۶۰۰۰ | ۱۵۰۰-۲۵۰۰ | ۱۵۰۰-۲۵۰۰ | ۴۰۰۰-۶۰۰۰ | S21, S22 | ۷۰-۱۰۰ |
| ۴ | ۵۰۰۰-۷۰۰۰ | ۶۰۰۰-۸۰۰۰ | ۶۰۰۰-۸۰۰۰ | ۶۰۰۰-۸۰۰۰ | ۲۵۰۰-۳۵۰۰ | ۲۵۰۰-۳۵۰۰ | ۶۰۰۰-۸۰۰۰ | G32 | ۳۵-۷۰ |
| ۳ | ۷۰۰۰-۹۰۰۰ | ۸۰۰۰-۱۰۰۰۰ | ۸۰۰۰-۱۰۰۰۰ | ۸۰۰۰-۱۰۰۰۰ | ۳۵۰۰-۴۵۰۰ | ۳۵۰۰-۴۵۰۰ | ۸۰۰۰-۱۰۰۰۰ | - | ۲۵-۳۵ |
| ۲ | ۹۰۰۰-۱۲۰۰۰ | ۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰ | ۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰ | ۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰ | ۴۵۰۰-۵۵۰۰ | ۴۵۰۰-۵۵۰۰ | ۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰ | - | ۱۵-۲۵ |
| ۱ | ۱۲۰۰۰ به بالا | ۱۵۰۰۰ به بالا | ۱۵۰۰۰ به بالا | ۱۵۰۰۰ به بالا | ۵۵۰۰ به بالا | ۵۵۰۰ به بالا | ۱۵۰۰۰ به بالا | M21 | ۱۰-۱۵ |

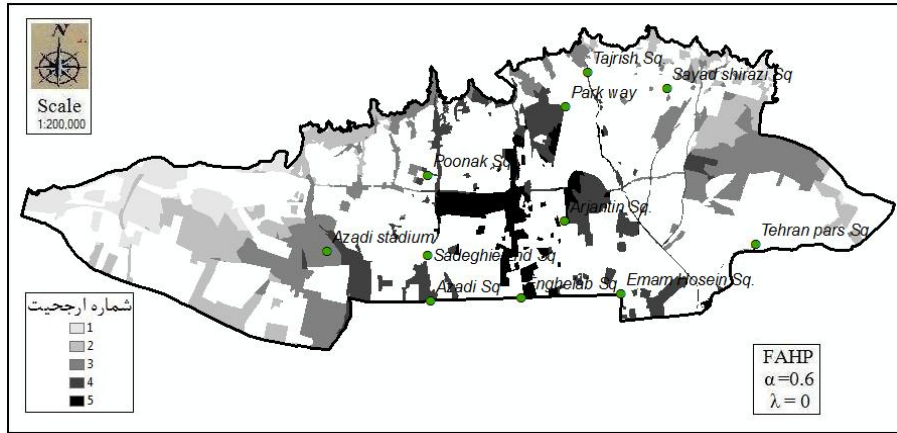
۴- تحلیل حساسیت

همانگونه که قبلا اشاره شد، در این تحقیق از تحلیل حساسیت بر روی روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی به منظور روشن شدن تاثیر عدم قطعیت در نظرات کارشناسان استفاده شده است. به گونه ای که از α برابر ۰.۶ و سه مقدار برای λ یعنی صفر، ۰.۵ و ۱ در این تحلیل استفاده شده است. α مقدارش از صفر به معنای نامطمئن بودن تصمیم گیرنده از دامنه قضاوت های فازی مثلثی انجام گرفته تا ۱ به معنای اطمینان قطعی تصمیم گیرنده تغییر می کند. همچنین مقدار λ از صفر به معنای بدبینانه ترین قضاوت تا ۱ به معنای خوش بینانه ترین قضاوت صورت گرفته تغییر می کند. مقدار α در این تحقیق ۰.۶ به معنای قضاوت با اطمینان خوب کارشناسان انتخاب شده است که این فرض با توجه به نظر خواهی های صورت گرفته از متخصصین معتبر می باشد.

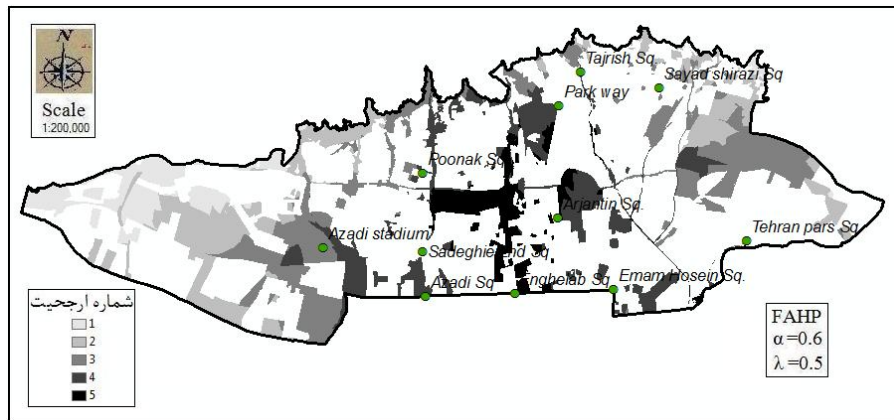
۵- نتایج

با توجه به نتایج بدست آمده همان طور که انتظار می رفت با استفاده از این متدولوژی محدوده های ارجح در ناحیه هایی از تهران قرار گرفته اند که تمام معیارها مورد نظر تصمیم گیرنده، با توجه به وزنی که به آن ها اختصاص یافته است را ارضا می کنند. معیارهای مهمی که مهمترین آن ها در راستای صرفه جویی در مصرف منابع آب شیرین و آب زیرزمینی با کمک گرفتن از استفاده مجدد از پساب می باشد. تمام نواحی مجاز در پنج ارجحیت مشخص شده اند. از شماره ۵ به رنگ سیاه که بیشترین ارجحیت تا شماره ۱ به رنگ خاکستری کم رنگ که کمترین ارجحیت را دارا می باشد. به عنوان مثال محدوده ارجح ۵ که بالاترین ارجحیت را دارا می باشد، محدوده ای است که پارک پردیسان را در خود جای داده است. به همین منوال در هر یک از این نواحی مکان هایی مناسب برای احداث تصفیه خانه غیر متمرکز وجود دارد که مکان های موجود در یک ناحیه همواره مکان های با ارزش حدودا یکسان در برآورد و ارضای معیارها می باشند.

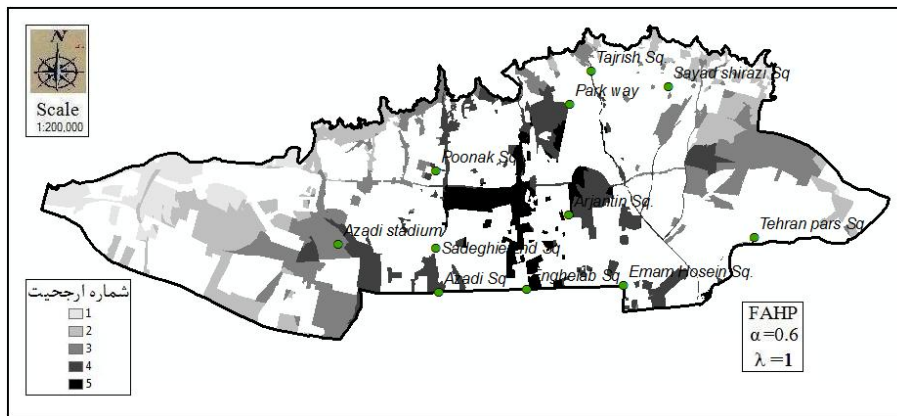
سه سناریوی مختلف برای مکان یابی تصفیه خانه های غیر متمرکز با توجه به اعمال تابع λ بر روی روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی بدست می آید. این سناریو ها نشان می دهد که چگونه تاثیر عدم قطعیت ها در فرآیند های تصمیم گیری و نهایتا در نتایج آن ها اثر گذار خواهد بود. در نهایت طبقه بندی نواحی مناسب برای احداث تصفیه خانه های غیرمتمرکز با توجه به α برابر ۰.۶ و λ های صفر، ۰.۵ و ۱ به صورت شکل های (۴)، (۵) و (۶) می باشد.



شکل (۴): طبقه بندی نواحی مناسب برای هدف با $\alpha=0.6$ و $\lambda=0$ (۵ بیشترین ارجحیت و ۱ کمترین ارجحیت)



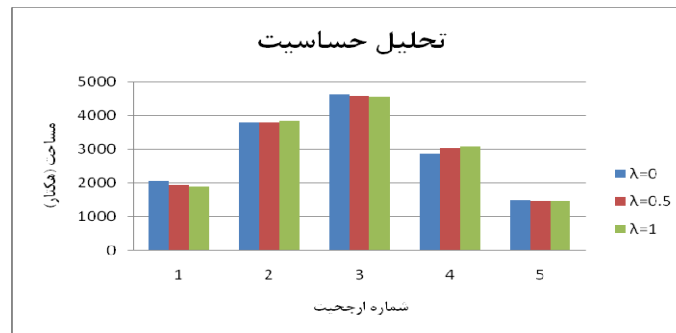
شکل (۵): طبقه بندی نواحی مناسب برای هدف با $\alpha=0.6$ و $\lambda=0.5$ (۵ بیشترین ارجحیت و ۱ کمترین ارجحیت)



شکل (۶): طبقه بندی نواحی مناسب برای هدف با $\alpha=0.6$ و $\lambda=1$ (۵ بیشترین ارجحیت و ۱ کمترین ارجحیت)

برای مقایسه مساحت های قرار گرفته در هر اولویت نسبت به اولویت متناظر با λ های متفاوت طبق شکل (۷)، می توان شاهد آن بود که با تغییر مقدار λ تفاوت محسوسی در اختلاف مساحت ها مشاهده نمی شود. از طرفی دیگر با توجه به اینکه هدف، تعیین مکانی برای تصفیه خانه غیر متمرکز می باشد به بررسی فضاهای مناسب از قبیل پارک ها و فضاهای باز موجود در این نواحی پرداخته شده است. بگونه ای که تمام مکان های مناسب در این محدوده ها با کمک نقشه های ماهواره ای و پیمایش زمینی مشخص و شناسایی شده و موقعیت آن ها در سه سناریوی حاضر بررسی

شده اند. دیده می شود نه تنها با تغییر مقدار λ تفاوت محسوسی در اختلاف مساحت ها مشاهده نمی شود، بلکه مکان های بررسی شده و قرار گرفته در این نواحی هم تغییر محسوسی در این سه سناریو نداده و در همان شماره اولویت خود می ماند.



شکل (۷): تحلیل حساسیت در روش FAHP

تعیین تعداد تصفیه خانه های قابل احداث در هر ناحیه بستگی به جمعیت تحت پوشش و ظرفیت تصفیه خانه دارد که با توجه به نظر متخصصان و کارشناسان قابل تعیین می باشد. البته این تحقیق شروعی برای ادامه و بررسی دقیق تر مکان های مناسب برای تصفیه خانه های غیر متمرکز در شهرهای بزرگ با رویکردهای جدیدتر می باشد.

مراجع

- [1] Asano, T.; Burton, F.L, Leverenz, R, Tchobanoglous, G, " *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications* ", 2007.
- [2] Malczewski, J, " *GIS and multicriteria decision analysis* ", John Wiley and Sons Inc., 392p
- [3] Zucca, A.; Sharifi, A.M.; Fabbri, A.G, " *Application of spatial multi-criteria analysis to site selection for a local park: a case study in the Bergamo Province* ", Italy, Journal of Environmental Management 88, 752–769, 2008.
- [4] Saaty, T.L, " *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation* ", McGraw-Hill, New York, NY, 437 pp, 1980.
- [5] Deng, H, " *Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparisons* ", International Journal of Approximate Reasoning 21, 215–231, 1999.
- [6] Jeganathan, C, " *Development of Fuzzy Logic Architecture to Access the Sustainability of the Forest Management* ", MSc. thesis. Enschede, ITC: 126, 2003.
- [7] Hogarth, R.M, " *Judgment and Choice* ", second ed. Wiley, New York, NY, 1987.