

هم‌چنین با مقایسه نتایج مقاله حاضر با نتایج مطالعه صورت گرفته در منطقه که بر اساس پارامترهای صرفاً سیل‌خیزی انجام شده بود، مشخص می‌گردد که با در نظر گرفتن دیدگاه یکپارچه در مسائل آبخیزداری می‌توان به نتایج دقیق‌تر هم در امر اولویت‌بندی مناطق مستعد سیل‌خیزی و هم مناطق مستلزم اجرای عملیات آبخیزداری رسید. هم‌چنین با توجه به نتایج روش MSE مشخص می‌گردد که اوزان معیارها در روش فازی میخایلو ف به روش کلاسیک نزدیکتر است و در بین روش‌های فازی نیز اوزان محاسبه شده از روش‌های باکلی و میخایلو ف به یکدیگر نزدیکتر هستند.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، تصمیم‌گیری چند معیاره، آبخیزداری، سیلاب شهری، آبخوان‌داری، مدیریت یکپارچه

مقدمه

آب یکی از منابع حیاتی برای بشریت است و وظیفه اصلی بشریت نیز حفاظت از این منبع گرانبها برای حال و آینده است. منابع آب در بسیاری از مناطق جهان کاهش یافته است. رشد سریع جمعیت هم‌چنین توسعه مناطق شهری، صنعتی، کشاورزی و نحوه مصرف آب در این مناطق همه دلیلی بر بحران آب کنونی موجود در جهان است. در بیش‌تر مناطق جهان مردم یا با مشکلات مربوط به کمبود آب یا آلودگی آن مواجه هستند. بنابر این امنیت آب یکی از موارد بسیار ضروری و در اولویت اکثر شهرهای جهان است. با توجه به این موضوع، مدیریت آب نقش بسیار مهمی برای کمک کردن به مردم و محیط زیست ایفا می‌کند [۱].

مدیریت آب یکی از چالشی‌ترین مشکلات و مهم‌ترین امور برای بشریت محسوب می‌شود. آب‌های سطحی به این دلیل که بیش‌تر در معرض دید قرار دارند، فهم و مدیریت آن‌ها راحت‌تر انجام می‌گیرد اما آب‌های زیرزمینی به دلیل پنهان بودن و کم‌تر در معرض دید قرار گرفتن، به سختی مدیریت می‌شوند و اطلاعات و مفاهیم کم‌تری از آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی شناخته شده است [۲].

امروزه در کشورهای توسعه یافته مدیریت یکپارچه منابع آب^۲ به‌منظور تعامل میان آب‌های سطحی و زیرزمینی بیش‌تر مورد استقبال قرار می‌گیرد و به‌منظور دست یافتن به اهداف این دیدگاه در اکثر طرح‌های زهکشی شهری و مدیریت سیلاب رعایت می‌گردد. در کشورهای کم‌تر توسعه یافته متأسفانه فهم و درک بسیار پایینی

ارزیابی روش‌های فازی و کلاسیک تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های منطقه ۲۲ تهران از منظر آبخیزداری

علی حاجی الیاسی^۱

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۷

چکیده

امروزه توسعه شهرنشینی و افزایش ساخت و ساز و افزایش رشد صنعتی شدن شهرها در کشورهای در حال توسعه و پیشرفته منجر به کاهش سطوح نفوذپذیر، تغییر اقلیم و مصرف و تقاضای بیش از حد از منابع آب سطحی و زیر سطحی شده است. بنابراین اکثر شهرها با پدیده‌هایی نظیر سیلاب‌های شدید، کمبود آب‌های سطحی و زیر سطحی، نشست زمین، گرد و غبار و ... مواجه شده‌اند. هم‌چنین ناکارآمدی استفاده از راهکارهای سنتی مدیریت سیلاب منجر به ایجاد سیلاب‌های عظیم در شهرها می‌شود که باعث ایجاد خسارت‌های فراوان جانی و مالی و آبرفتگی‌ها و ترافیک‌های شدید در این مناطق می‌شود. و آبخیزداری از جمله روش‌های سازگار با طبیعت است که علاوه بر مهار سیلاب به مدیریت آن نیز می‌پردازد و با ایجاد مدیریت یکپارچه میان منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی تا حدود زیادی مشکلات را رفع می‌کند. در این تحقیق از رویکرد به هم پیوسته مدیریت سیلاب با استفاده از معیارهای آبخیزداری با استفاده از نرم‌افزار GIS استفاده می‌شود و سپس وزن‌های معیارها به‌منظور ترکیب آن‌ها با استفاده از روش فازی چانگ، باکلی، میخایلو ف محاسبه می‌گردد و با توجه به مجموع اوزان که برابر یک گردیده و هم‌چنین با استفاده از نرخ سازگاری گوس و بوچر که مقدارش کم‌تر از ۰/۱ گردیده است، صحت‌سنجی می‌شود. سپس مراحل مذکور برای روش کلاسیک تحلیل سلسله مراتبی نیز صورت می‌گیرد و با استفاده از اولویت‌بندی صورت گرفته در مورد ۱۵ زیرحوضه منطقه ۲۲ تهران و هم‌چنین استفاده از روش میانگین مربع خط مشخص می‌گردد که هر چهار روش اولویت‌های شماره یک الی چهار را یکسان نشان می‌دهند و اختلاف میان آن‌ها در ۱۱ زیر حوضه دیگر است.

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گرایش آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی
Email: alielyasi2015@gmail.com

از مفهوم "مدیریت جامع و یکپارچه" وجود دارد که از دلایل آن می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- عدم وجود دانش کافی نزد عموم مردم و یا حتی افراد مجرب در مناطق مختلف پیرامون مسائل و مشکلات و دلایل آن است. کمبود دانش تصمیم‌گیران سبب بالا رفتن هزینه‌ها می‌شود، چرا که برخی واحدهای اقتصادی از مزایای چنین موقعیت‌هایی برای افزایش سود خود استفاده می‌کنند.

۲- کمبود مهارت‌های مدیریتی: شهرداری‌ها دارای ساختار مناسبی برای برنامه‌ریزی و مدیریت جنبه‌های مختلف آب در محیط شهری نیستند [۳].

با توجه به مطالب مذکور و هم‌چنین تحقیقات عملی و تئوری که در زمینه مدیریت بهم پیوسته یا یکپارچه صورت گرفته است، اثرپذیری دیدگاه یکپارچه در مسائل مربوط به منابع آب و محیط زیست در اجرای طرح‌هایی از جمله آب‌خیزداری، آبخوانداری، مدیریت سیلاب و... امری لازم و اجتناب‌ناپذیر است. آب‌خیزداری و آبخوانداری از جمله روش‌هایی هستند که به‌منظور مدیریت سیلاب و حفظ منابع طبیعی در راستای دیدگاه مدیریت یکپارچه قرار دارد و منجر به ارتباط تعاملی میان آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. تحقیقات بسیاری در زمینه اولویت‌بندی معیارها با استفاده از روش‌های فازی و کلاسیک سلسله‌مراتبی صورت گرفته است استیگوثر^۱ و همکاران به بررسی مدیریت یکپارچه حوزه آب‌خیز با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی پرداختند و معیارهایی نظیر کیفیت آب، آلودگی، محیط زیست، هزینه‌ها و... را مد نظر قرار دادند و بدین وسیله بهترین برنامه برای اجرای طرح‌های یکپارچه‌سازی حوزه آب‌خیز را معرفی نمودند [۴].

حمدی کلالی^۲ و همکاران با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش MCDA به بررسی مناطقی که خاک مستعد پذیر به‌منظور تصفیه‌سازی آب برای تصفیه‌سازی آب برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی در شمال شرق تونس پرداختند. در این تحقیق معیارهایی نظیر شیب، نوع خاک، عمق آبخوان و... در نظر گرفته شد و در نهایت مناطقی که دارای این ویژگی بودند، یافت شدند [۵].

چاوداری^۳ و همکاران با اتخاذ روش تحلیل سلسله‌مراتبی در تصمیم‌گیری خود به بررسی اولویت‌پذیری زیرحوضه‌های بسیار کوچک آب‌خیزداری^۴ با استفاده از روش AHP در محیط GIS بر روی حوزه آب‌خیز مایوراکشی^۵ در هند پرداختند. در این روش از پارامترهای مربوط به پتانسیل فرسایش‌پذیری^۶، نرخ فرسایش‌پذیری^۷ و ظرفیت انتقال رسوب در منطقه استفاده گردید و هم‌چنین در همین سال آهر^۸

و آدینارایانا^۹ از روش فازی سلسله‌مراتبی برای تشخیص مکان‌های مناسب اجرای طرح‌های آب‌خیزداری در حد فاصل کوه‌ها تا مناطق کم آب پایین دست در غرب هند، استفاده نمودند [۶].

یزداندوست و همکاران با در نظر گرفتن رویکرد یکپارچه مدیریت سیلاب شهری به تعیین اولویت‌بندی مناطق مستعدپذیر از منظر سیلاب با استفاده از پارامترهای محیط زیستی و اجتماعی و فنی بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی و استفاده از نرم‌افزار GIS با استفاده از ۱۲ پارامتر با دیدگاه هیدرولیکی برای منطقه ۲۲ تهران پرداختند که نتیجه این تحقیق نشان داد که حوضه رودخانه کن مستعدپذیرترین منطقه از لحاظ سیل‌خیزی و اجرای طرح‌های توسعه کم‌اثر در کل سطح منطقه است [۷].

یاسر میناتور^{۱۰} و همکاران با استفاده از روش تاپسیس^{۱۱} فازی به توسعه روش‌های تصمیم‌گیری فازی و رتبه‌بندی مشکلات در حوضه مدیریت منابع آب پرداختند و با بررسی نرخ سازگاری به این نتیجه رسیدند که روش تاپسیس فازی نتایج خوبی برای بررسی و اولویت‌بندی پروژه‌های منابع آب ارائه می‌دهد [۸].

گاما^{۱۲} و همکاران با استفاده از GIS و RS به اولویت‌بندی حوضه‌های آب‌خیز غرب آفریقا برای توسعه طرح‌های کشاورزی پرداختند نتایج این مطالعه نشان دهنده کاربرد مدلسازی مکانی در اولویت‌بندی حوضه‌های آب‌خیز به‌منظور توسعه مناطق است [۹]. رضوی طوسی و سامانی در تحقیقی راهکار تازه‌ای را در روش تصمیم‌گیری اتخاذ نمودند و مدل تصمیم‌گیری هیبریدی متشکل از روش فازی Dematel، فازی Vikor و روش فازی ANP را برای اولویت‌بندی پنج حوزه آب‌خیز بزرگ در ایران از منظر اقتصادی و اجتماعی و محیطی در نظر گرفتند [۱۰]. مشرام^{۱۳} و همکاران به مقایسه روش‌های FAHP و AHP برای اولویت‌بندی حوضه‌های آب‌خیز در هند پرداختند. روش اتخاذ شده در این مطالعه روش فازی چانگ بود که نتیجه گرفته شد با استفاده از روش فازی در مقایسه با روش AHP نتایج دقیق‌تری حاصل می‌شود. [۱۱] رحمتی و همکاران فاکتورهای توپو هیدرولوژی را به پارامترهای متداول مورفومتریک اضافه نمودند و با استفاده از GIS به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوزه آب‌خیز گلستان پرداختند. [۱۲] مشرام و همکاران از روش‌های متفاوت Saw و Topsis برای اولویت‌بندی حوضه‌های آب‌خیز استفاده نمودند و مشخص گردید که پارامترهای مورفومتریک تاثیر بسیار زیادی بر مناطق مستعد فرسایش دارند [۱۳].

در اکثر تحقیقات بررسی شده که به اولویت‌بندی مناطق از منظر آب‌خیزداری و آبخوانداری پرداخته‌اند از پارامترهایی نظیر فیزیولوژی منطقه و مورفومتریک از قبیل: شیب، ضریب شکل منطقه، آبراهه‌های منطقه و... یا پارامترهای اختصاصی آب‌خیزداری نظیر ضریب انتقال

1. Steiguer
2. Hamadi Kallali
3. Chowdary
4. micro-watershed
5. Mayurakshi
6. PEI
7. SDR
8. Aher

9. Adinarayana
10. Yasser Minatour
11. TOPSIS
12. Gumma
13. MSE

رسوب، ضریب هدایت هیدرولیکی خاک و... استفاده نموده‌اند. بنابراین در تحقیق حاضر سعی بر آن شده به مسائل و پارامترهایی پرداخته شود که کم‌تر به آن‌ها توجه شده است و پارامترها علاوه بر پارامترهای آبخیزداری، پارامترهای سیل‌خیزی و آبخوانداری نیز به آن اضافه شده است و دیدگاه یکپارچه نگر در تعیین معیارها در نظر گرفته شد. از سوی دیگر ۴ روش فازی که بیش‌ترین کاربرد را دارند با یکدیگر و هم‌چنین با روش کلاسیک تحلیل سلسله مراتبی مقایسه شده‌اند تا میزان مشابهت و تفاوت روش‌ها با استفاده از روش میانگین مربع خطا مشخص گردد و تفاوت اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها توسط این روش‌ها مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

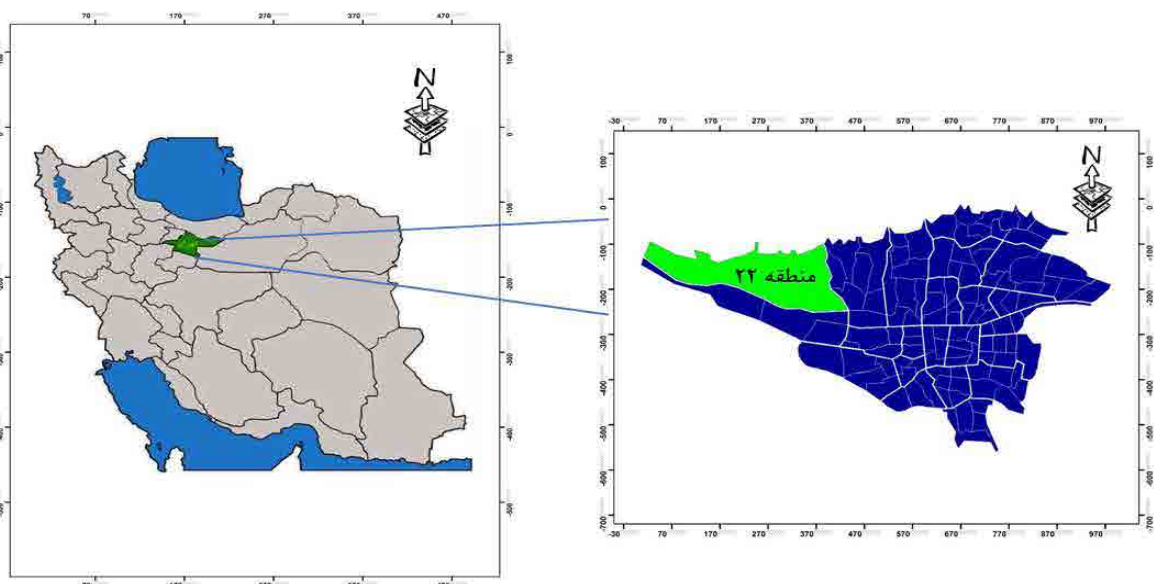
منطقه مورد پژوهش

این مطالعه بر روی حوزه آبخیز منطقه ۲۲ تهران صورت گرفته است. منطقه ۲۲ شهرداری تهران بدون تردید بزرگ‌ترین و وسیع‌ترین توسعه شهری متصل به تهران می‌باشد. این منطقه با مساحت ۵۸۸۱ هکتار وسعت (طبق پهنه‌بندی مصوب سال ۱۳۹۱)، با هدف رفع کمبودهای خدماتی حوزه غرب تهران و نیز جابجایی بخشی از جمعیت ساکن در بافت‌های فرسوده تهران مرکزی و نیز اسکان بخشی از جمعیت شهر تهران ایجاد شد. منطقه ۲۲ شهرداری تهران در غرب تهران و در دامنه جنوبی امتداد رشته کوه‌های البرز قرار دارد. هم‌چنین این منطقه بین طول‌های شرقی ۵۱° ۵۱' ۱۰" تا ۴۰° ۵۱' ۲۰" و عرض‌های شمالی ۳۵° ۳۲' ۱۶" تا ۳۵° ۵۷' ۱۹" در قسمت شمال غربی شهر تهران و در پایین دست حوضه آبریز رودخانه کن و وردیج واقع شده است. این منطقه در شمال با کوهستان البرز مرکزی، در شرق با حریم رودخانه کن، در جنوب با آزاد راه تهران-کرج و در غرب با محدوده جنگل‌های دست کاشت وردآورد محدود می‌گردد و با مناطق پنج و ۲۱ شهرداری تهران هم‌جوار است.

مسیر رودخانه کن که از شمال به جنوب جریان دارد پس از نقطه خروجی در سرتاسر حد شرقی محدوده طرح کشیده شده و پذیرنده آب‌های سطحی حوزه‌های شرقی خود که از طریق کانال‌های انحرافی به آن متصل می‌شوند نیز می‌باشد. رودخانه وردآورد نیز در امتداد شمالی جنوبی و به موازات رودخانه کن جریان دارد و در قسمت شمالی در غرب منطقه میانی امتداد یافته که در پائین دست، حد غربی محدوده طرح را تشکیل می‌دهد در این منطقه چند حوزه آبخیز مثل حوزه‌های آبخیز باغ اناری، رودخانه کن، رودخانه کرج (وردآورد) و دانشگاه وجود دارد. بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری، مقایسه سطح منطقه ۲۲ با سطح مناطق ۲۲ گانه تهران (۷۰۷۵۰ هکتار) حاکی از تعلق حدود ۸/۴ درصد (۶۲۰۰ هکتار) از مساحت محدوده خدماتی شهر تهران به منطقه ۲۲ و گویای وسعت چشم‌گیر و جایگاه مهم این منطقه در ساختار کالبدی تهران آینده، به‌ویژه در حوزه غربی آن است. از این مقدار اراضی منطقه ۱۲۶۵ هکتار پارک و فضای سبز، ۶۲ هکتار فضای آموزشی، ۱۶۸ هکتار آموزش عالی، ۲۳۸ هکتار خدماتی، ۳۲۲ هکتار فضای آموزشی، ۳۵۵ هکتار دریاچه و ۱۱۶۲ هکتار مسکونی می‌باشد. تراکم مسکونی به سه ناحیه تراکم کم (۱۰۰ واحد در هکتار)، تراکم متوسط (۱۳۵ واحد در هکتار) و تراکم زیاد (۲۰۰ واحد در هکتار) تقسیم شده است. لازم به ذکر است میزان کلی بارندگی سالانه در این منطقه ۲۸۱ میلی‌متر در سال بوده است. [۱۴] شکل شماره یک بیانگر موقعیت منطقه ۲۲ در شهر تهران است.

انتخاب هدف و معیارها

در مطالعه حال حاضر با هدف مکان‌یابی مستعدپذیرترین ناحیه از منظر آبخیزداری و آبخوانداری و مقایسه میان روش‌های فازی و کلاسیک تحلیل سلسله مراتبی، ابتدا نیاز است تا معیارها تعیین گردند و درخت سلسله مراتب تشکیل گردد و سپس هر کدام بر



شکل ۱: موقعیت منطقه ۲۲ در شهر تهران

سپس باید این نظریات را به یک نظر واحد تبدیل کرد تا بر اساس آن تصمیم بهینه حاصل آید. مناسب‌ترین روش برای این کار استفاده از میانگین هندسی است.

$$\bar{a}_{ij} = \left(\prod_{k=1}^N a_{ij}^{(k)} \right)^{\frac{1}{N}} \quad (1)$$

پس از آن برای تعیین اولویت از عمل نرمال‌سازی استفاده می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{\bar{a}_{ij}}{\sum_{i=1}^n \bar{a}_{ij}} \quad (2)$$

بعد از نرمال کردن از مقادیر هر سطر میانگین موزون با ضریب 1N گرفته می‌شود. مقادیر حاصل از میانگین موزون نشان دهنده اولویت هر متغیر است. سپس نرخ سازگاری با انجام مراحل زیر محاسبه شد:

$$I.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

در اینجا n بیان کننده تعداد شاخص‌های رقیب با تعداد متغیرهای مورد نظر است سپس مقدار R. I که مقدار شاخص تصادفی است و آن را ساعتی و هارکر تهیه کرده‌اند از جدول شماره ۳ می‌ایم و پس از آن نرخ سازگاری C. I را با استفاده از فرمول زیر محاسبه خواهد شد:

$$C.I = \frac{I.I}{R.I} \quad (4)$$

چنانچه نرخ سازگاری کم‌تر از یک باشد، یعنی مقایسات زوجی از سازگاری و دقت بالایی برخوردار است. جدول شماره ۳ بیانگر نرخ سازگاری تصادفی در روش کلاسیک است [۱۶].

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی روش چانگ (اعداد مثلثی فازی)

یکی از روش‌های به کار گرفته شده در این تحقیق روش تحلیل توسعه‌ای (EA) یا روش فازی چانگ است که بر اساس اعداد فازی مثلثی در سال ۱۹۹۶ توسط دانشمندی چینی به نام یونگ چانگ ابداع گردید. گام‌های حل مسئله در این روش به صورت زیر است: گام اول: تشکیل درخت سلسله مراتبی و شناسایی و تعیین هدف، معیارهای اصلی و گزینه‌ها است که این بخش کاملاً مطابق با روش کلاسیک آن می‌باشد [۱۷].

گام دوم (مقایسات زوجی): در روش فازی چانگ، شناخت مقیاس‌های فازی با استفاده از اعداد فازی مثلثی یافت می‌شود. طیف اعداد به کار رفته در این روش همانند روش کلاسیک از ۱ تا ۹ یا ۱۰ است. جدول شماره ۲ بیانگر مقیاس مقایسات زوجی در روش‌های فازی تحلیل سلسله مراتبی است [۱۷].

اساس روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک بر اساس محدوده در نظر گرفته شده برای هر معیار، از یک تا ده در سطح منطقه نمره‌دهی شوند تا بتوان با ترکیب کردن این معیارها به نقشه‌ای واحد در محیط GIS دست یافت. در این تحقیق ۱۲ معیار که متناسب با دو دیدگاه مذکور باشد، در نظر گرفته شد که شامل: شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه، فاصله از چاه و قنات، عمق و سطح آب چاه، عمق قنات، پیک رواناب، آلودگی، فاصله از ایستگاه هیدرومتری، فاصله از سدهای خاکی و انحرافی، هستند. بنابراین با توجه به روش‌های اتخاذ شده در این تحقیق که شامل روش کلاسیک تحلیل سلسله مراتبی و روش‌های فازی چانگ مثلثی، باکلی و میخایلوو می‌باشند که زیر مجموعه روش تحلیل سلسله مراتبی فازی^۱ و متناسب با تصمیم‌گیری چند معیاره فازی هستند، لازم است در ابتدا اقدام به تشکیل درخت سلسله مراتبی گردد.

روش‌شناسی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک

تحلیل سلسله مراتبی توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۷۰ به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره معرفی گردید. روش AHP رویکرد اصلی تصمیم‌گیری است. این روش به نحوی طراحی گردیده است تا به طور هم‌زمان به دو صورت بصری و منطقی بتواند به انتخاب بهترین معیار از میان معیارهای فراوانی که در نظر گرفته شده است، با توجه به گزینه‌های ارزیابی شده، بپردازد. در این فرآیند تصمیم گیرنده با اتخاذ مقایسه‌های زوجی میان معیارها به ایجاد اولویت کلی میان آن‌ها می‌پردازد و سپس اقدام به رتبه‌بندی میان گزینه‌های موجود می‌نماید و هم چنین با دارا بودن نرخ ناسازگاری به عدم تضاد در قضاوت میان گزینه‌ها، به تصمیم گیرنده یاری می‌رساند [۱۵].

شروع این روش با تعیین شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها است. پس از آن شاخص‌ها به صورت دودویی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. جدول شماره یک بیانگر مقیاس مقایسات زوجی است.

جدول ۱: مقایسه زوجی در روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک

تعریف	درجه اهمیت
اهمیت یکسان	۱
نسبتاً برتر	۳
برتری زیاد	۵
برتری بسیار زیاد	۷
برتری فوق العاده زیاد	۹
ارزش‌های بینابین در قضاوت‌ها	۲، ۴، ۶، ۸

$$\begin{aligned}
 V &= (M \geq M_1 M_2, \dots M_k) = \\
 &V(M \geq M_1) \text{ and } (M > M_2) \text{ and } \dots \text{ and } M \geq M_k \\
 &= \min V(M \geq M_i) \\
 d'(A_i) &= \min V(S_i \geq S_k) \\
 W' &= (d'(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T, \\
 A_i &(i = 1, 2, \dots, n)
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

گام هفتم (محاسبه بردار وزن نهایی): در مرحله آخر، بردار وزن بدست آمده از مرحله قبل که نرمال نشده بود، را نرمالایز می‌کنیم تا بردار وزن نهایی که هدف نهایی ما از محاسبات فازی است را بدست آوریم. که این امر با استفاده از فرمول زیر امکان‌پذیر است [۱۷]:

$$W_i = \frac{W'_i}{\sum W'_i} \quad (7)$$

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی روش باکلی

روش Fuzzy AHP ارائه شده توسط باکلی در سال ۱۹۸۵، شکل تعمیم یافته ای از روش AHP کلاسیک است. این روش به تصمیم گیرندگان کمک خواهد کرد که به جای استفاده از اعداد قطعی از اعداد فازی بهره ببرند. [۱۸] در این روش برای مقایسه زوجی گزینه‌ها از اعداد فازی دوزنقه‌ای و برای به دست آوردن وزن‌ها و ارجحیت‌ها از روش میانگین‌گیری هندسی استفاده می‌شود. این روش به سادگی به حالت فازی قابل تعمیم است. اعداد فازی دوزنقه‌ای به منظور مدیریت و کار کردن با داده‌هایی که عدم قطعیت ذاتی دارند، انتخاب می‌گردند. الگوریتم روش باکلی را می‌توان در قالب چهار گام زیر بیان کرد [۱۹]:

گام اول- اهمیت نسبی معیارها با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی، ارزیابی و برآورد می‌شود. تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی دوزنقه‌ای برای ارزیابی اهمیت معیارها است. گام دوم - با استفاده از عمل میانگین‌گیری، اعداد فازی دوزنقه‌ای به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود:

$$\tilde{c}_{jk} = 1/k [\tilde{c}_{jk}^1 (+) \tilde{c}_{jk}^2 \dots (+) \tilde{c}_{jk}^k] \quad (8)$$

در اینجا نظرات و عملکردهای انفرادی کارشناسان گروه‌بندی می‌شود، که k تعداد کارشناسان و $\tilde{c}_{jk}^1, \tilde{c}_{jk}^2, \dots, \tilde{c}_{jk}^k$ ارزیابی K امین تصمیم گیرنده بین معیارهای j ام و k ام در ماتریس مقایسه زوجی است. گام سوم - وزن‌های فازی $\tilde{w}_j, \tilde{w}_k$ به صورت رابطه (۹) محاسبه می‌گردد:

$$\sum_{j=1}^n a_j, \quad \tilde{a}_j = [\prod_{k=1}^n a_{jk}]^{1/n} \quad (9)$$

جدول ۳: نرخ سازگاری تصادفی

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
RI	۰/۰	۰/۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

جدول ۲: مقایسه زوجی روش‌های فازی تحلیل سلسله مراتبی

مقیاس اعداد فازی مثلثی	توضیحات	اعداد فازی
(۱ و ۱)	ترجیح برابر	۱
(۱ و ۲ و ۳)	ترجیح کم تا متوسط	۲
(۲ و ۳ و ۴)	ترجیح متوسط	۳
(۳ و ۴ و ۵)	ترجیح متوسط تا زیاد	۴
(۴ و ۵ و ۶)	ترجیح زیاد	۵
(۵ و ۶ و ۷)	ترجیح زیاد تا خیلی زیاد	۶
(۶ و ۷ و ۸)	ترجیح خیلی زیاد	۷
(۷ و ۸ و ۹)	ترجیح خیلی زیاد تا کاملاً	۸
(۸ و ۹ و ۱۰)	ترجیح کاملاً زیاد	۹

گام سوم (تشکیل ماتریس مقایسات زوجی با اعداد فازی): در این مرحله با استفاده از نظر کارشناس یا کارشناسان، به هر شاخص نمره مخصوص به خود داده می‌شود و ماتریس مقایسات زوجی شکل می‌گیرد [۱۷].

گام چهارم (محاسبه ماتریس S): به منظور محاسبه ماتریس S مطابق رابطه آن، هر یک از اجزاء اعداد فازی را نظیر به نظیر جمع می‌کنیم و در معکوس فازی مجموع کل ضرب می‌کنیم. این مرحله شبیه محاسبه وزن‌های نرمال شده در روش AHP معمولی، متتها با اعداد فازی است [۱۷].

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \odot \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (4)$$

گام پنجم (محاسبه درجه بزرگی ماتریس‌های S): در روش EA، پس از محاسبه S ها، باید درجه بزرگی آن‌ها را نسبت به هم به دست آورد. بنابر این مطابق شروط زیر می‌توان درجه بزرگی را محاسبه نمود.

$$V(S_i > S_k) = \begin{cases} 1 & m_i \geq m_k \\ 0 & I_k \geq u_i \\ \frac{I_k - u_i}{(m_i - u_i) - (m_k - I_k)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

گام ششم (محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی): در این مرحله کافیت، بردار وزن نرمالایز نشده را با محاسبه کم‌ترین مقدار (مینیمم) V های محاسبه شده در مرحله قبل، بدست آوریم.

و در انتها شاخص سازگاری بر طبق روابط زیر و با توجه به مقادیر جدول شماره ۴ که بیانگر نرخ شاخص‌های تصادفی تولید شده توسط گوس و بوچر است، محاسبه می‌گردد:

$$CI^m = \frac{(\lambda_{max}^m - n)}{(n-1)} \quad (16)$$

$$CI^g = \frac{(\lambda_{max}^g - n)}{(n-1)}$$

پس از محاسبه نرخ سازگاری برای هر دو ماتریس حد میانه و کران بالا و پایین اعداد فازی، اگر شاخص از مقدار ۰/۱ بیش‌تر گردید باید در ماتریس مقایسات زوجی و نمره‌دهی به معیارها تجدید نظر کرد و در صورتی که شاخص سازگاری کم‌تر از ۰/۱ گردید، محاسبات صحیح است. جدول شماره ۴ بیانگر شاخص سازگاری تصادفی در روش‌های فازی است.

جدول ۴: شاخص سازگاری تصادفی

اندازه ماتریس	RI ^m	RI ^g
۱	۰	۰
۲	۰	۰
۳	۰/۴۸۹۰	۰/۱۷۹۶
۴	۰/۷۹۳۷	۰/۲۶۲۷
۵	۰/۰۷۲۰	۰/۳۵۹۷
۶	۱/۱۹۹۶	۰/۳۸۱۸
۷	۱/۲۸۷۴	۰/۴۰۹۰
۸	۱/۳۴۱۰	۰/۴۱۶۴
۹	۰/۳۷۹۳	۰/۴۳۴۸
۱۰	۱/۴۰۹۵	۰/۴۴۵۵
۱۱	۱/۴۱۸۱	۰/۴۵۳۶
۱۲	۱/۴۴۶۲	۰/۴۷۷۶
۱۳	۱/۴۵۵۵	۰/۴۶۹۱
۱۴	۱/۴۹۱۳	۰/۴۸۰۴
۱۵	۱/۴۸۹۶	۰/۴۸۸۰

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی روش میخیلوف

رویکرد اولویت‌بندی فازی یا میخیلوف، رویکردی نوین به‌منظور بررسی و ارزیابی فرآیندهای دارای عدم قطعیت، به‌منظور تعیین وزن‌های محلی و وزن‌های نسبی استفاده شده است که اولین بار در سال ۲۰۰۴ معرفی شد [۲۱].

یکی از ویژگی‌های مهم این روش محاسبه‌ی نرخ سازگاری در حالت فازی است که در اکثر روش‌های دیگر به آن پرداخته نشده است. علاوه بر این نیازمند مجموعه‌ی کامل مقایسه‌های زوجی به صورت فازی نیست و حل مدل غیر خطی حاصل نیز از سایر مدل‌های غیر خطی راحت‌تر است. در این روش فرض می‌شود مقایسه‌های زوجی فازی به صورت اعداد فازی مثلثی $(1_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ است. $\tilde{a}_{jk} = (1_{jk}, m_{jk}, u_{jk})$ به گونه‌ای استخراج بردار قطعی وزن $\tilde{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$

به‌طور مشابه می‌توان b_j, c_j, d_j را نیز تعریف کرد. سپس وزن‌های فازی w_j به صورت رابطه (۱۰) تعریف می‌شود:

$$\tilde{w}_j = \left(\frac{a_j}{d}, \frac{b_j}{c}, \frac{c_j}{b}, \frac{d_j}{a} \right), \quad \forall j \quad (10)$$

گام چهارم - وزن‌های فازی دوزنقه‌ای، غیر فازی و نرمال‌سازی شد. به‌منظور غیر فازی‌سازی اعداد فازی دوزنقه‌ای، از رابطه (۱۱) استفاده می‌شود.

$$a_j = \frac{\frac{a_j}{d} + 2\left(\frac{b_j}{c} + \frac{c_j}{b}\right) + \frac{d_j}{a}}{6} \quad (11)$$

حال، به‌منظور استانداردسازی وزن‌های قطعی رابطه (۱۲) به کار برده می‌شود.

$$w_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

محاسبه نرخ سازگاری و صحت‌سنجی روش‌های فازی

لازم به ذکر است در روش فازی چانگ و روش فازی باکلی برای محاسبه نرخ سازگاری و صحت‌سنجی اوزان به دست آمده، می‌توان از روش گوس و بوچر استفاده نمود که مراحل آن به شرح زیر است: [۲۰]

در ابتدا با تشکیل دو ماتریس بر اساس حد میانه و میانگین هندسی کران بالا و پایین اعداد فازی مطابق رابطه زیر به محاسبه نرخ سازگاری می‌پردازد.

$$A^m = [a_{ijm}]$$

$$A^g = \sqrt{a_{ijm} a_{ijl}} \quad (13)$$

سپس بردار وزن هر ماتریس مطابق روابط زیر محاسبه می‌گردد که این روش منطبق بر روش ساعتی است.

$$w_i^m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ijm}}{\sum_{i=1}^n a_{ijm}}$$

$$w_i^m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ijm}}{\sum_{i=1}^n a_{ijm}} \quad w^m = [w_i^m]$$

$$w^m = [w_i^m]$$

$$w_i^g = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\sqrt{a_{ijm} a_{ijl}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{a_{ijm} a_{ijl}}}$$

$$w_i^g = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\sqrt{a_{ijm} a_{ijl}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{a_{ijm} a_{ijl}}} \quad w^g = [w_i^g]$$

$$w^g = [w_i^g]$$

سپس بزرگ‌ترین مقدار ویژه را برای هر ماتریس با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\lambda_{max}^m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ijm} \left(\frac{w_j^m}{w_i^m} \right)$$

$$\lambda_{max}^g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{a_{ijm} a_{ijl}} \left(\frac{w_j^g}{w_i^g} \right) \quad (15)$$

maximise λ

(۲۲)

Subject to

$$(m_{ij} - l_{ij})\lambda w_i - w_i + l_{ij}w_j \leq 0$$

$$(u_{ij} - m_{ij})\lambda w_j + w_i + u_{ij}w_j \leq 0$$

$$\sum_{k=1}^n w_k = 1, w_k > 0, k = 1, 2, \dots, n,$$

$$i = 1, 2, \dots, n-1, j = 2, 3, \dots, n, j > i$$

مثبت بودن (λ^*) در جواب مدل فوق بیانگر سازگاری نسبی مجموعه قضاوت‌های فازی و مقدار منفی (λ^*) نشان دهنده ناسازگاری قوی قضاوت هاست.

روش میانگین مربع خطا^۱

در این شاخص به خطاهای کوچک‌تر وزن‌های بزرگتری داده می‌شود. به عبارتی در مقایسه روش‌های روشی که مقدار خطای کوچک‌تری دارد برگزیده می‌شود. بدین معنی که روش مذکور از دقت بالاتری برخوردار است. در پژوهش حاضر برای مقایسه‌ی دقت و نزدیکی روش‌های فازی نسبت به یکدیگر و نزدیکی روش AHP کلاسیک با روش‌های فازی در محاسبه اوزان معیارها از شاخص MSE استفاده شده است، که برای محاسبه شاخص آن داریم: r_i ضریب حاصل از روش کلاسیک تحلیل سلسله مراتبی و K_i ضریب حاصل از روش‌های فازی هر شاخص و n تعداد شاخص‌ها است. رابطه‌ی ریاضی شاخص مذکور به صورت زیر می‌باشد: [۱۶]

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i - k_i)^2}{n} \quad (۲۳)$$

روش تحقیق

مرحله اول

پس از اتخاذ روش فازی سلسله مراتبی و تعیین معیارها و تشکیل درخت سلسله مراتب مطابق شکل شماره دو، نیاز است که هر کدام از لایه‌ها بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک بر اساس محدوده در نظر گرفته شده برای هر معیار (مقادیر عددی)، از یک تا ده در سطح منطقه نمره‌دهی شوند تا بتوان با ترکیب کردن این معیارها به نقشه‌ای واحد در محیط GIS دست یافت. از آنجا که تحلیل سلسله مراتبی معمولاً شامل سه بخش هدف، معیارها (اصلی و فرعی) و گزینه‌ها می‌تواند باشد پس لازم است جایگاه هر یک در نرم‌افزار مشخص گردد. در یک آنالیز چند معیاره در محیط GIS، گزینه‌ها در پایگاه داده GIS مطرح می‌شوند و هر لایه نقشه حاوی مقادیر ویژگی‌های اختصاص یافته به گزینه‌ها است و هدف در انتهای امر با اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها توسط یک نقشه مشخص می‌گردد. برای هر معیار یک لایه نقشه در محیط نرم‌افزار ایجاد خواهد شد و با توجه به اینکه ۱۲ معیار برای تعیین اولویت‌بندی در نظر گرفته شده است، بنابراین ۱۲ لایه ایجاد خواهد شد و تمام

می‌شود که نرخ‌های اولویت $\frac{w_i}{w_j}$ تقریباً در محدوده‌ی قضاوت‌های فازی ابتدایی قرار گیرد. به عبارت دیگر وزن‌ها طوری تعیین می‌شود که رابطه‌ی فازی زیر برقرار باشد: [۲۲]

$$l_{ij} \leq \frac{w_i}{w_j} \leq u_{ij} \quad (۱۷)$$

هر بردار وزنی قطعی (w) با درجه‌ای در نامعادلات فازی فوق صدق می‌کند که از طریق تابع عضویت خطی (برحسب نرخ مجهول $\frac{w_i}{w_j}$) قابل اندازه‌گیری است: [۲۱]

$$u_{ij}\left(\frac{w_i}{w_j}\right) = \begin{cases} \frac{\left(\frac{w_i}{w_j}\right) - l_{ij}}{m_{ij} - l_{ij}}, & \frac{w_i}{w_j} \leq m_{ij} \\ \frac{u_{ij} - \left(\frac{w_i}{w_j}\right)}{u_{ij} - m_{ij}}, & \frac{w_i}{w_j} \geq m_{ij} \end{cases} \quad (۱۸)$$

حل مسئله‌ی اولویت‌بندی فازی مبتنی بر دو فرض اصلی است. اولین فرض نیازمند وجود ناحیه‌ی موجه فازی غیر تهی P روی ابر صفحه‌ی سیمپلکس $n-1$ بعدی Q^{n-1} است. [۲۲]

$$Q^{n-1} = \left\{ (w_1, \dots, w_n) \mid w_i > 0, \sum_{i=1}^n w_i = 1 \right\} \quad (۱۹)$$

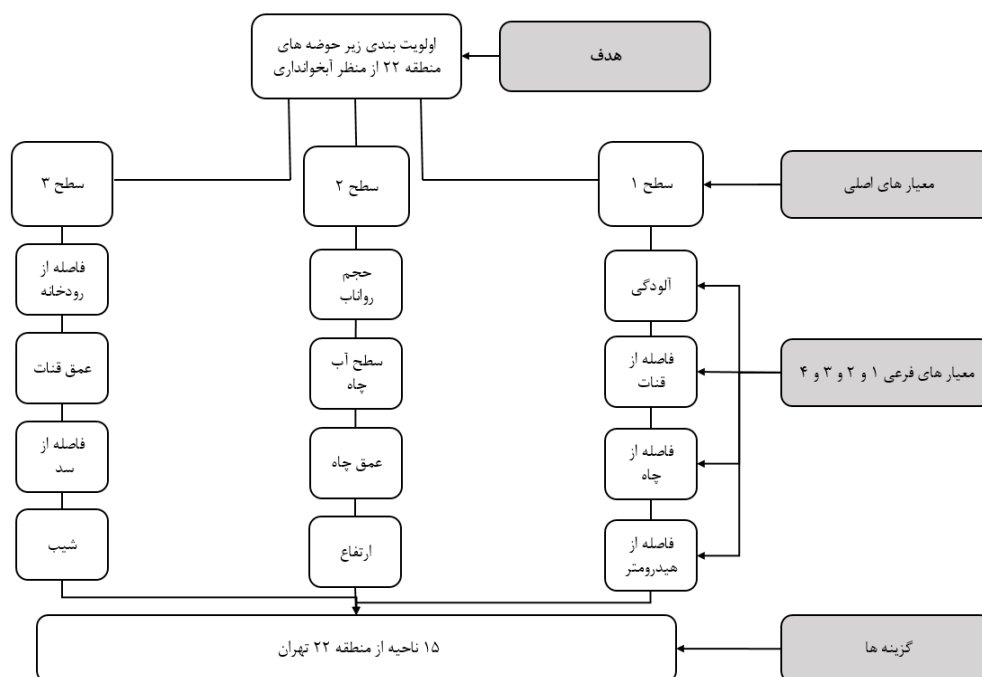
تابع عضویت ناحیه موجه فازی P از رابطه‌ی ۲۰ به دست می‌آید:

$$\mu_P(w) = \min_{ij} \{ \mu_{ij}(w) \mid i = 1, \dots, n-1; j = 2, \dots, n; j > i \} \quad (۲۰)$$

با تعریف توابع عضویت به‌عنوان مجموعه‌های فازی $L = [-\infty, 1]$ ، می‌توان فرض ناتهی بودن P روی سیمپلکس را آزاد کرد. اگر قضاوت‌های فازی خیلی ناسازگار باشند، آنگاه $\mu_P(w)$ برای تمام بردارهای اولویت نرمال $w \in Q^{n-1}$ مقادیر منفی می‌گیرد. دومین فرض یک قاعده‌ی انتخاب مشخص می‌کند که یک بردار اولویت دارای بالاترین درجه عضویت در تابع عضویت تلفیقی را تعیین می‌کند. ثابت می‌شود که $\mu_P(w)$ یک مجموعه‌ی محدب است، بنابراین همیشه یک بردار اولویت $w^* \in Q^{n-1}$ وجود دارد که دارای بیش‌ترین درجه‌ی عضویت (λ^*) است. [۲۲]

$$\lambda^* \mu_P(w^*) = \max_{w \in Q^{n-1}} \min_{ij} \{ \mu_{ij}(w) \} \quad (۲۱)$$

با در نظر گرفتن شکل خاص توابع عضویت، مسئله‌ی اولویت‌بندی کمینه - بیشینه فوق تبدیل به یک مسئله بهینه‌سازی غیر خطی می‌شود [۲۱]:



شکل ۲: درخت سلسله مراتبی بر اساس اهداف و معیارهای تعیین شده

منطقه (۱۵ زیر حوضه) بر اساس ۱۲ معیار سنجیده و نمره‌دهی خواهد شد. معیار نمره‌دهی برای هر پارامتر ممکن است متفاوت باشد، بدین صورت که معیار آلودگی هر چه کم‌تر مناسب‌تر و نمره بالاتر دریافت خواهد کرد، درحالی که پیک رواناب هر چه بیش‌تر، زیر حوضه مستعد اعمال عملیات آبخیزداری و آبخیزداری در منطقه خواهد بود و نمره بالاتری خواهد گرفت. لازم به ذکر است مقدار دبی اوج رواناب در سطح منطقه توسط نرم‌افزار SWMM و با استفاده از رخداد بارش دو ساعته در بازه‌های ده دقیقه‌ای و دوره بازگشت ده ساله که از اداره هواشناسی کشور واقع در ایستگاه مهرآباد دریافت شد، محاسبه و اعمال گردید.

مرحله دوم

پس از انجام مراحل پیشین و نمره‌دهی به تمام سطوح منطقه لازم است که اهمیت هر معیار که با یافتن وزن آن یافت می‌شود، محاسبه گردد تا علاوه بر اولویت‌بندی معیارها بتوان مناطق مستعد پذیر در نواحی ۱۵ گانه در منطقه را از لحاظ آبخیزداری و ... با ترکیب کردن ۱۲ لایه در محیط GIS یافت. بنابراین لازم است تا طبق متدهای اتخاذ شده در این تحقیق که روش فازی چانگ و باکلی و میخایلوپ که زیر مجموعه روش فازی AHP که از روش‌های تخمین اوزان توسط روش فازی تصمیم‌گیری چند معیاره^۱ است، استفاده شود. پس بر طبق این روش‌ها لازم است که برای این ۱۲ معیار ماتریس

مقایسه زوجی ۱۲ در ۱۲ تشکیل شود و وزن هر یک پس از انجام محاسبات به دست آید اما از آنجا که از محدودیت‌های این روش‌ها این است که مقایسه زوجی (دودویی) برای بیش از هشت معیار باعث ایجاد شاخص ناسازگاری بیش از ۰/۱ می‌شود پس برای انجام محاسبه دقیق اوزان، ۱۲ شاخص به سه گروه با نام‌های سطح یک و دو و سه تقسیم می‌شوند که در هر یک چهار معیار با سطح اهمیت بسیار بالا، نسبتاً بالا، متوسط و کم قرار داده می‌شود. از این رو با تشکیل سه ماتریس مقایسه زوجی چهار در چهار برای هر گروه وزن معیارها به دست می‌آید اما باید خود سه سطح نیز با تشکیل ماتریس سه در سه مقایسه زوجی شوند تا وزن سطوح به دست آید و این‌ها در اوزان معیارها ضرب گردند تا وزن‌های اصلی ۱۲ معیار به دست آید و صحت کار زمانی مشخص می‌شود که مجموع اوزان برابر یک شود. وزن تمامی معیارها و رتبه‌بندی آن‌ها در هر سه روش فازی و روش کلاسیک در جدول شماره پنج نشان داده شده است در این جدول مجموع اوزان برابر یک گردیده که نشان از صحت اوزان به دست آمده حاصل از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری است. سپس با داشتن وزن هر معیار و لایه‌های مربوط به آن‌ها در محیط GIS، لایه‌ها با یکدیگر ترکیب شدند و نقشه جامعی از کل سطح منطقه در محیط نرم‌افزار حاصل گردید. لازم به ذکر است شاخص ناسازگاری نیز با استفاده از روش گوگوس و بوچر و توسط ماکرونویسی در برنامه اکسل تهیه گردید که دو معیار CR^g و CR^m هر دو کم‌تر از ۰/۱ شدند.

جدول ۵: اوزان و رتبه‌بندی معیارهای به دست آمده از روش‌های فازی و کلاسیک

میخایلو ف	باکلی	چانگ	AHP	روش‌ها
رتبه‌بندی	اوزان اصلی	رتبه‌بندی	اوزان اصلی	معیارها
۱	۳۸۷۳۵۱۷/۰	۱	۲۰۹۸۹۹/۰	آلودگی
۲	۰۷۷۹۲۲۰/۰	۲	۱۳۶۹۸۳/۰	دبی اوج رواناب
۳	۰۶۴۷۲۶۶۲/۰	۳	۱۱۴۴۵۰/۰	فاصله از رودخانه
۱۲	۰۲۳۴۱۸۳/۰	۱۲	۰۰۷۴۶۴/۰	شیب
۱۱	۰۱۷۳۱۶۰/۰	۱۱	۰۱۴۸۹۸/۰	ارتفاع
۱۰	۰۴۲۹۲۱۴/۰	۱۰	۰۴۹۴۳۲/۰	عمق قنات
۶	۰۹۶۸۳۷/۰	۶	۰۸۵۰۰۷/۰	فاصله از قنات
۹	۰۴۳۲۹۰۰/۰	۹	۰۶۱۲۸۲/۰	عمق چاه
۵	۰۶۵۴۴۸۰۰۷/۰	۵	۰۸۷۹۷۲/۰	فاصله از سد
۷	۰۴۳۲۹۰۰۴۱/۰	۷	۰۸۰۶۲۸/۰	سطح آب چاه
۸	۰۵۵۳۳۵۶/۰	۸	۰۶۳۷۲۷/۰	فاصله از ایستگاه هیدرومتری
۴	۰۹۶۸۳۷۹/۰	۴	۰۸۸۴۲۲/۰	فاصله از چاه
۰۱۴۶۹۵۸/۱	۰۰۰۰۰۴۵۴۷/۱	۰۰۰۱۶۳/۱	۱	مجموع اوزان

مرحله سوم

همان طور که قبلاً ذکر گردید در نرم‌افزار GIS هر معیار دارای محدوده‌ای از اعداد است که این محدوده توسط دیدگاه AHP کلاسیک نمره‌دهی شده است و پس از رتبه‌بندی بر اساس این روش تحلیل فازی برای یافتن اوزان هر معیار صورت گرفته است. بنابراین پس از یافتن اوزان اصلی معیارها و رتبه‌بندی آن‌ها و دست یافتن به نقشه کلی اثر معیارها بر سطح منطقه، حال نیاز است تا این ۱۲ معیار برای نواحی منطقه ۲۲ با یکدیگر ترکیب شوند تا نقشه اصلی که نشان‌دهنده مستعدپذیرترین نواحی از منطقه ۲۲ است، یافت شود که برای این کار نیاز است تا میانگین وزن دار هر ناحیه از یک تا ده نمره‌دهی شود. برای این کار اثرات هر معیار که قبلاً بر سطح منطقه مشخص گردیده بود یک به یک در هر ناحیه بررسی می‌گردد و بر اساس نمره‌هایی که هر معیار در هر ناحیه دارد، میانگین وزندار آن‌ها محاسبه می‌شود و در انتها میانگین وزن دار کل معیارها برای ناحیه مد نظر محاسبه می‌گردد و سرانجام با مقایسه‌ی نتایج حاصل از آن برای هر ناحیه، نواحی رتبه‌بندی می‌شوند.

مرحله چهارم

در این مرحله با استفاده از روش میانگین مربع خطا به قیاس میان روش‌های فازی با یکدیگر و همچنین قیاس آن‌ها با روش کلاسیک

پردازش می‌شود که بر حسب نتایج به دست آمده از این دیدگاه مطابق جدول شماره ۶ مشخص می‌گردد که روش‌های فازی میخایلو ف و کلاسیک، تطابق بالایی، به دلیل خطای کم‌تر روش میخایلو ف نسبت به باقی روش‌ها، دارد و همچنین در مقایسه روش‌های فازی با یکدیگر مطابق نتایج به دست آمده مشخص می‌گردد که روش باکلی و میخایلو ف تطابق بیش‌تری با یکدیگر نسبت به روش فازی چانگ دارند.

جدول ۶: مقایسه روش‌های فازی و کلاسیک توسط MSE

میانگین خطا (MSE)	روش‌های فازی در مقایسه با روش AHP
۰/۰۰۰۰۴۱۸	میخالوف
۰/۰۰۰۱۰۵	باکلی
۰/۰۰۳۳۲	چانگ
میانگین خطا (MSE)	مقایسه روش‌های فازی
۰/۰۰۰۱۴۹	میخالوف و باکلی
۰/۰۰۳۳۵	چانگ و میخالوف
۰/۰۰۳۴۹	چانگ و باکلی

بحث و تحلیل نتایج

بر طبق نتایج به دست آمده، حاصل از روش‌های فازی و کلاسیک تحلیل سلسله مراتبی و با توجه به مقایسه روش‌های مذکور با یکدیگر و صحت‌سنجی آن‌ها با روش گوس و بوچر و ارزیابی روش‌ها با استفاده از روش MSE و نتایج حاصل از اولویت‌بندی مناطق ۱۵ گانه منطقه ۲۲ تهران، می‌توان برآورد نمود که از لحاظ نزدیکی روش‌های فازی با روش کلاسیک در محاسبه اوزان معیارها، روش میخایلوو و کلاسیک به دلیل خطای کم‌تر نسبت به سایر مقایسات به یکدیگر نزدیک‌تر هستند و از طرفی در میان مقایسه میان روش‌های فازی از لحاظ محاسبه اوزان معیارها نیز روش باکلی و میخایلوو به یکدیگر نزدیک‌تر هستند. هم‌چنین با اولویت‌بندی مناطق ۱۵ گانه توسط روش‌های مذکور مطابق جدول شماره ۷ و نمودار شکل شماره ۳ مشاهده می‌گردد که نواحی با اولویت یک الی چهار در هر چهار روش علی‌رغم اختلافات در اوزان معیارها با یکدیگر مشابه‌اند اما در ۱۱ ناحیه دیگر در بعضی نواحی اشتراک و در بعضی دیگر اختلافاتی با یکدیگر دارند که دلیل این اختلافات متفاوت بودن دقت هر روش نسبت به دیگری است. از طرفی با مقایسه اولویت‌بندی منطقه حاصل از روش‌های مذکور با تحقیق سال ۲۰۱۴ که توسط یزداندوست و همکاران صورت گرفته شده است و به بررسی مستعدپذیری نواحی منطقه ۲۲ تهران با استفاده از پارامترهای هیدرولیکی و از منظر سیل‌خیزی پرداخته است و روش

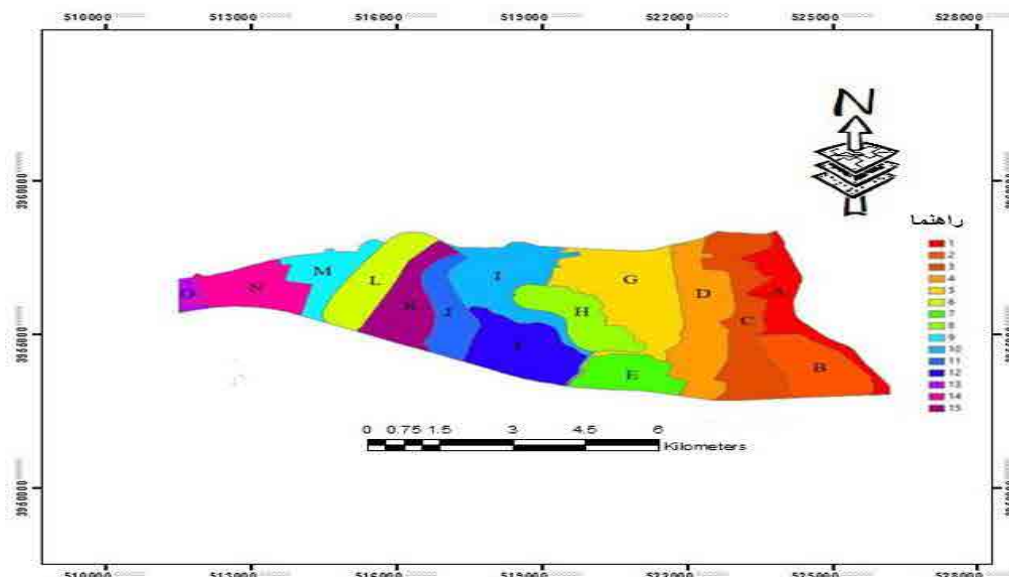
تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک به کار برده است، مشخص می‌گردد که ناحیه A که مستعدپذیرترین ناحیه از لحاظ آبخیزداری و اجرای آن در سطح منطقه مشخص گردیده است، از منظر سیل‌خیزی و با پارامترهای متفاوت نیز به‌عنوان مستعد پذیرترین ناحیه از لحاظ سیلاب نیز تعیین گردیده بود که نتیجه حاصله گواهی بر ارتباط تعاملی میان روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی در یافتن مستعدپذیرترین ناحیه است و نشان می‌دهد که روش اولویت‌بندی با پارامترهای آبخیزداری از منظر یکپارچه‌نگری تفاوت چندانی با روش‌های هیدرولیکی و منظر سیل‌خیزی ندارد بلکه تکمیل‌کننده آن نیز است. جدول شماره ۸ نشان‌دهنده اولویت‌بندی حاصل از دیدگاه آبخیزداری و سیل‌خیزی است و هم‌چنین شکل شماره ۴ نشان‌دهنده اولویت‌بندی زیرحوضه با روش چانگ است. علاوه بر موارد مذکور از لحاظ میزان تشابه روش‌ها در اولویت‌بندی نواحی، مشخص می‌گردد که در میان روش‌های فازی، روش باکلی و چانگ با هشت مورد تشابه بیش‌ترین تعداد نواحی مشترک در اولویت‌بندی نواحی منطقه را دارند و در میان مقایسه روش‌های فازی و کلاسیک، روش باکلی با روش کلاسیک با نه مورد و روش چانگ با روش کلاسیک با هفت مورد بیش‌ترین تشابه در اولویت‌بندی نواحی را به خود اختصاص دادند.

جدول ۷: اولویت‌بندی نواحی منطقه ۲۲ تهران در روش‌های فازی و کلاسیک

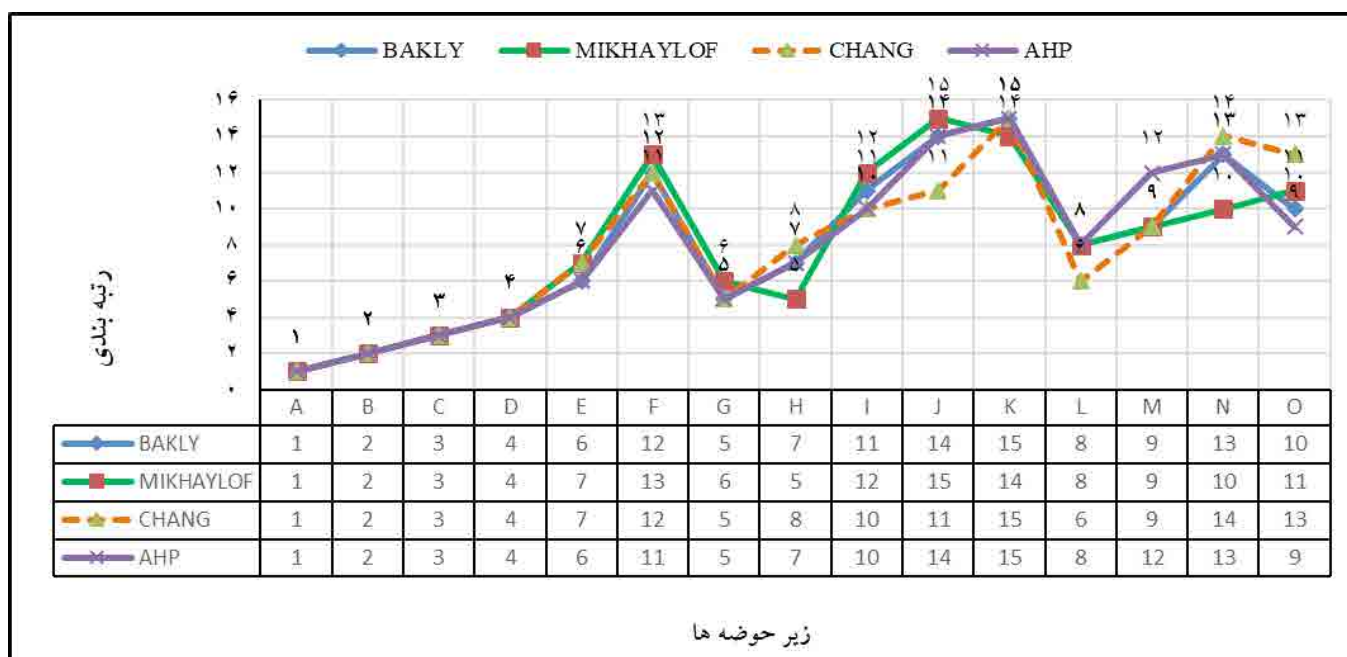
نواحی روش‌ها	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
AHP	۱	۲	۳	۴	۶	۱۱	۵	۷	۱۰	۱۴	۱۵	۸	۱۲	۱۳	۹
چانگ	۱	۲	۳	۴	۷	۱۲	۵	۸	۱۰	۱۱	۱۵	۶	۹	۱۴	۱۳
باکلی	۱	۲	۳	۴	۶	۱۲	۵	۷	۱۱	۱۴	۱۵	۸	۹	۱۳	۱۰
میخایلوو	۱	۲	۳	۴	۷	۱۳	۶	۵	۱۲	۱۵	۱۴	۸	۹	۱۰	۱۱

جدول ۸: مقایسه اولویت‌بندی زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی از دیدگاه آبخیزداری و سیل‌خیزی

زیر حوضه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
رتبه‌بندی	A	B	C	D	G	L	E	H	M	I	J	F	O	N	K
دیدگاه آبخیزداری	A	B	C	D	G	L	E	H	M	I	J	F	O	N	K
دیدگاه سیل‌خیزی	A	G	C	D	I	J	L	M	K	N	O	B	F	E	H



شکل ۴: اولویت‌بندی زیرحوضه‌های منطقه ۲۲ تهران در روش چانگ



شکل ۵: اولویت‌بندی نواحی منطقه ۲۲ تهران در روش‌های مختلف

نتیجه‌گیری

به‌منظور جلوگیری از اقدامات کنترل سیلاب نامناسب و افزایش هزینه‌ها و خسارات جانی و مالی فراوان به دلیل انتخاب نامناسب مناطق مستعد سیل‌خیزی و اقدامات مدیریتی نظیر آبخیزداری، نیاز به تعیین اولویت‌بندی زیر حوضه‌های یک حوزه آبخیز است. به‌طور معمول، در رویکرد متداول مربوط به اولویت‌بندی مناطق مستعد اجرای عملیات آبخیزداری، پارامترهایی نظیر پوشش گیاهی و مسائل مربوط به خاک منطقه در نظر گرفته می‌شود این در حالی است که

با در نظر گرفتن دیدگاه یکپارچه پارامترهای دیگری نظیر فاصله از رودخانه، آلودگی آب زیرزمینی، پیک سیلاب شهری، توپوگرافی و ... که نقش مهمی در کنار عوامل مذکور ایفا می‌کنند، می‌تواند برای اولویت‌بندی هر چه بهتر منطقه در نظر گرفته شود. بنابراین برای یک تصمیم‌گیری مناسب چندین پارامتر متناسب با هدف می‌بایست در نظر گرفته شود. تصمیم‌گیری چند معیاره فازی یک روش بسیار مفید برای تسهیل و نزدیکی نتایج به واقعیت است و هنگامی که این تکنیک با نرم‌افزار GIS ترکیب می‌شود، ابزار مناسبی را برای تعیین

6. Chowdary, V., et al. 2013. Multi-criteria decision making approach for watershed prioritization using analytic hierarchy process technique and GIS. *Water resources management*, 27 (10): 3555-3571.

7. Birgani, Y.T., F. Yazdandoost, and E. Dehlavi. 2014. Integrated Approach in Spatial Priority of Urban Areas for Implementation of Urban Drainage Plans Using Analytic Hierarchy Process and GIS for 22nd Municipal District of Tehran. 13th International Conference on Urban Drainage. Sarawak, Malaysia, 12-19.

8. Minatour, Y., et al. 2015. Water supply management using an extended group fuzzy decision-making method: a case study in north-eastern Iran. *Applied Water Science*, 5 (3): 291-304.

9. Gumma, M.K.; Birhanu, B.Z.; Mohammed, I.A.; Tabo, R.; Whitbread, A.M. 2016. Prioritization of Watersheds across Mali Using Remote Sensing Data and GIS Techniques for Agricultural Development Planning. *Water*, 8 (6): 260.

10. Razavi Toosi, S.L., Samani, J.M.V. 2017. Prioritizing Watersheds Using a Novel Hybrid Decision Model Based on Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP and Fuzzy VIKOR. *Water Resource Manage*, 31: 2853-2867.

11. Meshram, S.G., Alvandi, E., Singh, V.P. et al. 2019. Comparison of AHP and fuzzy AHP models for prioritization of watersheds. *Soft Compute*, 23: 13615–13625.

12. Rahmati, O., Samadi, M., Shahabi, H., Azareh, A., Ra, E., Alilou, H., Chapi, K. 2019. SWPT: An automated GIS-based tool for prioritization of sub-watersheds based on morphometric and topo-hydrological factors. *Geoscience Frontiers*, 10(6): 2167-2175.

13. Meshram, S.G., Alvandi, E., Meshram, C. et al. 2020. Application of SAW and TOPSIS in Prioritizing Watersheds. *Water Resource Manage*, 34: 715–732

14. Dehlavi, E. 2013. Integrated Stormwater Management Modelling using RS & GIS (Case Study: the 22nd municipal district of Tehran), in Department of Water Engineering Faculty of Civil Engineering., K.N. Toosi University of Technology, p167.

15. Saaty, T.L. and L.G. Vargas. 2012. Models, methods, concepts & applications of the analytic

اولویت‌بندی مکانی می‌تواند فراهم سازد. در این مقاله یک مدل با سه روش فازی متفاوت و یک روش کلاسیک تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مستعد اجرای عملیات آبخیزداری با در نظر گرفتن ۱۲ معیار یکپارچه نگر از این رویکرد توسعه داده شده است و مدل ارائه شده در منطقه ۲۲ شهرداری تهران که منطقه در حال توسعه است، مورد مطالعه قرار گرفته است. طبق نتایج به دست آمده نیز چهار زیرحوضه از ۱۵ زیر حوضه شرق منطقه در اولویت بالای اجرای عملیات آبخیزداری است. نتایج حاصل از این مدل و نقشه اولویت‌بندی مکانی به دست آمده حاصل از این رویکرد با رویکرد سیل‌خیزی، نشان دهنده این است که علی‌رغم تفاوت در معیارها و روش‌ها می‌توان با در نظر گرفتن معیارهای یکپارچه نگر در آبخیزداری به نتایج مشابه، به خصوص در زیرحوضه‌های دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالا رسید. هم‌چنین نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان داد که از میان روش‌های فازی چانگ، باکلی و میخیلوف، روش‌های باکلی و میخیلوف تشابه بیشتری به یکدیگر دارند و در مقایسه روش کلاسیک با روش‌های فازی، روش میخیلوف به روش کلاسیک تحلیل سلسله مراتبی نزدیکتر است بنابر این مشخص می‌گردد که روش فازی چانگ به نسبت بر دیگر روش‌های فازی ارجحیت دارد. هم‌چنین این مدل کمک شایانی به برنامه ریزان شهری خواهد کرد تا برنامه‌های زهکشی شهری را براساس اقدامات کنترل سیلاب به خصوص آبخیزداری تنظیم نمایند و دیدگاه یکپارچه‌نگری را در تحقیقات خود لحاظ نمایند تا بتوانند مناطق مستعد سیل‌خیزی و هم‌زمان مناطق مستعد اجرای عملیات آبخیزداری را به بهترین نحو تشخیص دهند و اقدامات لازم را پیش از وقوع سیلاب انجام دهند.

منابع

1. Banger, A., et al. 2016. Ground water recharge through Surface Rain Water Harvesting for Buildings in Urban Area. *Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME)*, 38-51.

2. Jakeman, A.J., et al. 2016. Integrated groundwater management: an overview of concepts and challenges. *Integrated groundwater management*. Springer, 3-20.

3. Mehrabadi, M. 2017. Urban flood management, publishing Noavar. Tehran, p10. (In Persian)

4. De Steiguer, J., J. Duberstein, and V. Lopes. 2003. The analytic hierarchy process as a means for integrated watershed management. in First interagency conference on research on the watersheds, 734-740.

5. Kallali, H., et al. 2007. GIS-based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites. *Desalination*, 1(3): 111-119.

20. Gogus, O. and T.O. Boucher. 1988. Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy Sets and Systems*, 94(1):133-144.
21. Zegordi, S.H., A. Nazari, and E. Rezaee Nik. 2014. Project risk assessment by a hybrid approach using fuzzy-anp and fuzzy-topsis. *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, 29-1(2):14.
22. Mikhailov, L. 2003. Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgements. *Fuzzy sets and systems*, 134(3):365-385.
- hierarchy process. Springer Science & Business Media, (Vol.175).
16. Bareimanei, F. and H. Rasti. 2015. Comparative Study of Accuracy rate of Fuzzy AHP and Classical AHP Methods for Ranking Indicators Affecting on the Quality of Life Case study: Mahban Village, Township Nikshahr Township. *Journal of Geography and development*, 12: 1-14.
17. Chang, D.-Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, 95(3): 649-655.
18. Buckley, J.J. 1985. Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy sets and systems*, 17 (3): 233-247.
19. Aghdar, H., et al. 2017. Comparison Fuzzy-AHP and ANP Decision Making methods for The Land Suitability Rating In order to Ecotourism Landuse (Case study: Khaeiz region of Behbahan). *Journal of Human Geography Research*, 49: 621-635.



Abstract

Evaluation of the Fuzzy and Classical Methods of Hierarchical Analysis in Prioritizing the Sub-basins of the 22nd District of Tehran from Watershed Management Perspectives

A. Haji Elyasi¹

Received: 2020/05/21 Accepted: 2020/12/27

Nowadays, urbanization and increasing construction and industrialization of cities in developing and developed countries have led to reduced permeable surfaces, climate change, and excessive use of and demand for surface and subsurface water resources. Therefore, most cities have faced phenomena such as severe floods, scarcity of surface and subsurface waters, land subsidence, dust and so on. In addition, the inefficiency of traditional flood management strategies has resulted in massive floods in cities, causing extensive financial and life losses, inundation, and heavy traffic in these areas. Aquifer and watershed management are among the environmentally friendly ways that manage floods, in addition to controlling them, and solve the problems to a great extent by the integrated management of surface and groundwater resources. In this study, an integrated flood management approach is applied on the basis of the aquifer management criteria using GIS software. Then, the weights of the criteria are calculated using the fuzzy method (fuzzy AHP) of Chang, Buckley, and Mikhailov, and the above steps are performed for the classical method of hierarchical analysis as well. Based on the prioritized 15 sub-basins of the 22nd district of Tehran as well as the mean squared error (MSE), it turns out that all the 4 methods show the priorities 1 to 4 alike, and the differences among them are in the other 11 sub-basins. The results of the MSE method also show that the criteria weights in Mikhailov's fuzzy method are closer to those of the classical method, and among the fuzzy methods the weights calculated from the Buckley and Mikhailov's methods are closer to each other.

Keywords: Prioritize, Watershed management, Urban flood, Aquifer management, Integrated management, Criteria Decision Making Multiple

1 . K. N. Toosi University of Technology, master degree of water and hydraulic structure. Email: alielyasi2015@gmail.com