نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیستم، شماره ششم، ۱۳۹۲
http://jwsc.gau.ac.ir

کاربرد تحلیل سلسله مراتبی فازی در تعیین مکان‌های مناسب جمع‌آوری آب باران (مطالعه موردی: دشت بیرجند)

***عباس خاشعی‌سیوکی[۱]، ابوالفضل اکبرپور[۱]، اکبر کشاورز[۲] و حامد فروغی‌فر[۳]**

[۱]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، [۲]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، [۳]استادیار گروه مهندسی زراعت، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۱/٤/۲۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۹/۲٦

چکیده

انسان امروزی بنا به‌دلایل مختلفی از جمله افزایش جمعیت، خشکسالی‌ها و کاهش میزان بارندگی، پیشرفت صنعت و اثر سوء آن بر منابع آب و غیره به‌طور جدی با مشکل کمبود آب مواجه است. برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث افت شدید سطوح ایستابی گردیده است. از طرفی میزان هدررفت رواناب حاصل از بارندگی در جهان و بالاخص در کشور ما بسیار زیاد و قابل توجه می‌باشد. بنابراین تمایل به سمت استفاده بهینه از رواناب‌ها و منابع آب سطحی کنترل نشده به‌جای برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی امری لازم و ضروری است. هدف از این پژوهش تعیین مکان‌های مستعد جمع‌آوری آب باران با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی است. در این پژوهش با استفاده از روش لامبدای ماکزیمم[1] وزن‌های فازی معیارها محاسبه شدند. سپس لایه‌های فازی شده معیارها با تأثیر وزن‌های مربوطه با یکدیگر ترکیب شده و لایه ترکیبی نهایی حاصل شد. این لایه در پنج کلاس ضعیف، متوسط، نسبتاً خوب، خوب و بسیار خوب طبقه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که طبقات نامبرده به‌ترتیب ۰/٦۳۵، ۸/۳۷، ۳٤/۳۲، ۵۳/۷ و ۲/۹۷ درصد از کل دشت را به

*مسئول مکاتبه: abbaskhashei@birjand.ac.ir

1- Lambda-Max method

خود اختصاص دادند. با توجه به نقشه نهایی دشت بیرجند از غرب دشت به سمت شرق آن بر استعداد دشت در جمع‌آوری آب باران افزوده می‌شود.

واژه‌های کلیدی: جمع‌آوری آب باران، تحلیل سلسله مراتبی فازی[1]، سیستم اطلاعات جغرافیایی[2]، دشت بیرجند

مقدمه

در جهان امروز عواملی همچون افزایش چشمگیر جمعیت کره‌زمین و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع محیط‌زیست برای تأمین نیازهای اقتصادی، تأثیر خاص خود را در رابطه با منابع آب برجای گذارده است به‌طوری‌که مسائل مربوط به بحران و مدیریت آب از دیدگاه سازمان ملل متحد پس از مشکل جمعیت به‌عنوان دومین مسئله اصلی جهان شناخته شده است. باید توجه داشت که امکان افزایش منابع آب شیرین جهان و حل این بحران وجود ندارد، تنها کاری که می‌توان کرد، بهبود روش‌های استفاده از آن است (ببران و هنربخش، ۲۰۰۷). سطح مناطق سیل خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد گردیده است. به‌عبارتی دیگر ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ٤۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل خیزی متوسط تا خیلی زیاد هستند. از این نظر ۵۹۲ شهر، ٦٦ هزار روستا، ۲ هزار رشته قنات، یک میلیون هکتار از اراضی زراعی و بخش عظیمی از جاده‌های کشور و تأسیسات صنعتی در معرض خطر سیل‌گیری و تخریب قرار دارند. (ایلخچی و همکاران، ۲۰۰۲) بنابراین باتوجه به افت شدید سطوح آب زیرزمینی و وجود بیلان منفی دراین منابع محدود به‌ویژه طی خشک‌سالی‌های اخیر کنترل و استفاده هرچه بیشتر از رواناب سطحی و کنترل نشده امری لازم و ضروری است.

در سال ۱۹٦۵ لطفی‌زاده نظریه سیستم‌های فازی را معرفی کرد. واژه فازی به معنای مبهم و گنگ است. ریاضیات فازی از توانایی انسان برای درک مفاهیم مبهمی ناشی شده که قابلیت ارائه و آنالیز با ریاضیات کلاسیک را ندارند (لی و هوپس، ۱۹۹٦). توانایی مجموعه‌های فازی انتقال تدریجی از عدم عضویت به عضویت و برعکس با کمک تابع عضویت است. تابع عضویت درجه عضویت آلمان‌های

1- Fuzzy Analytical Hierarchy Process
2- Geographic Information System

مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد و مقداری بین صفر و یک را می‌گیرد (کوره‌پزان دزفولی، ۲۰۰۵). برخلاف منطق بولین که برمبنای منطق صفر و یک (باینری) بوده و اساساً نگرشی دو ارزشی به قضایا دارد (متکان و همکاران، ۲۰۰۹) در منطق فازی این قطعیت وجود نداشته و علاوه‌بر اعضایی که ۱۰۰ درصد عضوی از یک مجموعه هستند (۱) و اعضایی که ۱۰۰ درصد عضو آن مجموعه نمی‌باشند (۰) همچنین اعضایی نیز وجود دارند که به‌طور تقریبی عضوی از یک مجموعه می‌باشند [۰،۱]. مهم‌ترین نقص منطق فوق، یکسان درنظر گرفتن وزن لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده بدون توجه به اهمیّت ضریب زیست‌محیطی آن می‌باشد (زارع‌صفت و همکاران، ۲۰۱۱).

جوتیپراکاش و ساتی (۲۰۰۹) به ارزیابی ساختارها و روش‌های جمع‌آوری آب باران با استفاده از سیستم تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1]) برای مناطق صنعتی بزرگ مقیاس در یک منطقه صنعت خودروسازی بزرگ واقع در نزدیکی ناسیک (ایگاتپوری)، ماهاراشترای هندوستان پرداختند. آن‌ها در نهایت به‌این نتیجه رسیدند که اگر روش AHP همراه با تمامی معیارهای ممکن استفاده شود می‌تواند ابزاری مفیدتر جهت ارزیابی روش‌ها و ساختارهای RWH باشد. لولی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از یک روش FAHP[2] به ارزیابی آسیب‌پذیری اکوسیستم و محیط‌زیست در ناحیه مخزن دنجیانگکو (DRA[3]) در چین پرداختند. براساس شرایط زیست‌محیطی و اثرات آنتروپیک آسیب‌پذیری به پنج سطح کلاس‌بندی شد: دارای پتانسیل، سبک، متوسط، سنگین و خیلیسنگین. نتایج نشان دادند که آسیب‌پذیری زیست‌محیطی در DRA به‌طور کلی در حد اعتدال است. زارع نقادهی و همکاران (۲۰۰۹) جهت انتخاب روش بهینه استخراج معدن برای معدن بوکسیت جاجرم از روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی (FAHP) استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که FAHP توانایی رتبه‌بندی ارزشیابی مسائل که AHP معمولی عاجز از انجام آن می‌باشد را دارد. آن‌ها با استفاده از FAHP و محاسبات مناسب یک روش خاک‌برداری و خاکریزی متداول و مرسوم را به‌عنوان روش بهینه استخراج معدن زیرزمینی انتخاب نمودند. خاشعی سیوکی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی روش FAHP در تعیین مکان‌های مناسب استحصال آب زیرزمینی در دشت نیشابور پرداختند نتایج پژوهش نشان داد که روش FAHP می‌تواند مکان‌های مناسب استحصال آب را تعیین نماید. صادقی و اکبرپور (۲۰۱۱) با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم DSS[4] مبتنی‌بر GIS به تعیین

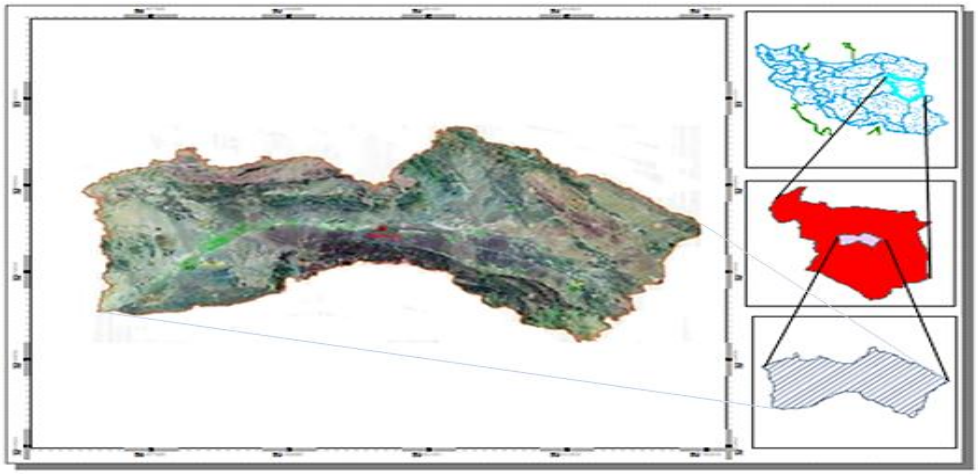
1- Analytic Hierarchical Process
2- Fuzzy Analytic Hierarchical Process
3- Danjiangkou Reservoir Area
4- Decision support system

مکان‌های مستعد جمع‌آوری آب باران در حوضه آبریز بیرجند پرداختند. در این پژوهش از دو روش جهت تعیین RWH[1] استفاده شده است که روش اول مبتنی‌بر خصوصیات فیزیکی حوضه مانند شیب، بارندگی، بافت خاک، عمق خاک، کاربری اراضی و شبکه آبراهه‌ها بوده و روش دوم برظرفیت منطقه در تولید رواناب استوار است. ایشان در نهایت به‌این نتیجه رسیدند که با توجه به وسعت منطقه روش اول مناسب‌تر می‌باشد. هدف از این پژوهش نیز تعیین مکان‌های مناسب جمع‌آوری آب باران با درنظر گرفتن معیارهای بارندگی، شیب، عمق خاک، بافت خاک، کاربری اراضی و زهکشی است با این تفاوت که از روش FAHP به‌جای روش DSS استفاده شده است و همچنین جهت تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارها با تهیه پرسش‌نامه از نظرات کارشناسان مختلفی استفاده شد که در پژوهش صادقی و همکاران (۲۰۱۱) این کار صورت نگرفت. مقایسه نتایج نهایی این پژوهش با موقعیّت جغرافیایی سازه‌های احداث شده فعلی در سطح دشت بیرجند نیز از دیگر تفاوت‌های این پژوهش با پژوهش صورت گرفته توسط صادقی و همکاران (۲۰۱۱) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز بیرجند که یکی از زیر حوضه‌های کویر لوت محسوب می‌شود، به‌عنوان مهم‌ترین دشت جنوب خراسان در شرق کشور و در فاصله ٤٨٠ کیلومتری جنوب شهر مشهد، با مختصات ٣٤ و ٣٢ تا ٨ و ٣٣ عرض شمالی و ٤١ و ٥٨ تا ٤٤ و ٥٩ طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). از شمال به دشت‌های اسدآباد و چاهک موسویه، از جنوب به دشت مختاران و از شرق به دشت سربیشه محدود می‌شود (میرعربی و نخعی، ۲۰۰۸).

1- Rain Water Harvesting



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت بیرجند.

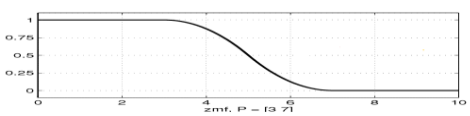
فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP): فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از روش‌های قوی و ساده حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاری است و در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش ارزیابی چند معیاری ابتدا در سال ۱۹۸۰ به‌وسیله ال ساعتی پیشنهاد گردید (زبردست، ۲۰۰۱).

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP): با وجود مزایای بسیار AHP، به‌کارگیری این روش دارای کمبودهایی است: این روش اساساً ۱- در کاربردهای تصمیم‌گیری crisp (مجعد، خشک، تصمیم‌گیری‌هایی که در آن‌ها پدیده عدم قطعیت لحاظ نشده است) استفاده شده است ۲- مقیاس نامتعادل قضاوت را مورد بررسی قرار می‌دهد ۳- عدم اطمینان‌های موجود در قضاوت‌های فردی را در نظر نمی‌گیرد ٤- قضاوت‌های ذهنی، انتخاب و عملکرد تصمیم‌گیران تأثیرات بسیار زیادی در نتایج آن دارد. به‌علاوه موضوع قابل قبول این است که ارزیابی‌های افراد از شاخص‌های کیفی اغلب ذهنی و غیر دقیق می‌باشند. بنابراین AHP متعارف و کلاسیک، در دستیابی دقیق نیازمندی‌های تصمیم‌گیران ناکافی و ناکار آمد به‌نظر می‌رسد و قادر به انعکاس کامل تفکر بشری نیست (دانش‌شکیب و فضلی، ۲۰۰۹). به‌منظور مدل‌سازی این نوع از عدم اطمینان‌ها در ترجیحات افراد بشر، تئوری مجموعه‌های فازی با مقایسات زوجی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ترکیب می‌شود. به‌این ترتیب درک دقیق‌تری از فرآیند تصمیم‌گیری ارائه شده حاصل می‌گردد (آیاگ و ازدمیر، ۲۰۰٦). بنابراین به‌منظور استفاده از

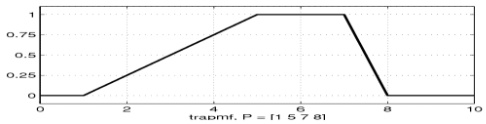
مزایای هر دو تکنیک فازی و AHP همچنین غلبه‌بر نقاط ضعف آن‌ها، ونلارهون وپیدریز اولین بار اصول منطق فازی را در تحلیل سلسله مراتبی به‌کار بردند.

از جهت افزایش دقت و انعطاف‌پذیری در قضاوت‌ها به‌منظور یافتن بالاترین پتانسیل، GIS می‌تواند توام با منطق FAHP مورد استفاده قرار گرفته و ابزاری قدرتمند را برای حل و تصمیم‌گیری ارائه دهد (ساعتی، ۱۹۸۰).

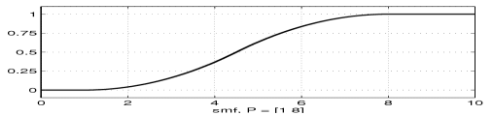
تهیه لایه‌های فازی جهت استانداردسازی ارزش عضویت معیارهای ارزیابی: جهت تعیین مکان‌های مناسب جمع‌آوری آب باران نه معیار بارندگی، شیب منطقه، عمق و بافت خاک، کاربری اراضی، زهکشی و فواصل تا مناطق مسکونی، زراعات آبی و زراعات دیم به‌عنوان معیارهای تأثیرگذار درنظر گرفته شدند و داده‌ها و اطلاعات خام آن‌ها از سازمان‌های مربوطه تهیه گردید. پس از ساخت لایه‌های رستری آن‌ها در محیط GIS 9.3, ArcMap اقدام به فازی نمودن آن‌ها شد. جهت فازی کردن داده‌های پیوسته از توابع عضویت فازی استفاده شد که در شکل ۲ به چند نمونه از این توابع اشاره شده است. این توابع به هر یک از اعضای مجموعه عضوهای هر معیار ارزشی از صفر تا یک ([۱ و ۰]) نسبت می‌دهند. باتوجه به افزایشی، کاهشی و یا افزایشی- کاهشی بودن هریک از معیارها تابع فازی مناسب جهت فازی نمودن آن معیار انتخاب شد. معیارهایی که ماهیت داده‌های آن‌ها گسسته بود نیز به‌صورت گسسته اقدام به فازی نمودن آن‌ها گردید (جدول ۱) (شکل ۲).



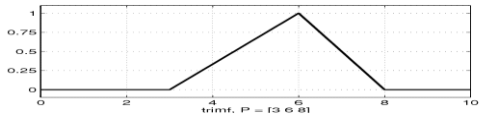
نمودار تابع عضویت Z Shape



نمودار تابع عضویت ذوزنقه



نمودار تابع عضویت S Shape



نمودار تابع عضویت مثلثی

شکل ۲- چند نمونه از نمودارهای مربوط به توابع عضویت فازی.

محاسبه وزن‌های فازی با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی: ۱- پس از تهیه پرسش‌نامه نظرات کارشناسان مختلف در مورد میزان اهمیّت و ارزش هر معیار در تعیین هدف موردنظر جمع‌آوری و سپس برای هر کدام از کارشناسان یک ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شد. ۲- جهت بر طرف نمودن مشکل ناهماهنگی در قضاوت‌های شخصی کارشناسان از ضریب سازگاری ساعتی (CR[1]) استفاده شد. چنان‌چه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است در غیر این صورت باید در قضاوت‌ها تجدیدنظر شود (زبردست، ۲۰۰۱).

$$CI = \frac{\gamma_{max} - n}{n - 1} \quad , \qquad CR = \frac{CI}{RI} \tag{۱}$$

CI[2]: شاخص سازگاری در قضاوت‌ها CR: ضریب سازگاری در قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان

RI[3]: شاخص تصادفی بودن n: تعداد معیارهای تصمیم‌گیری γ_{max}: مقدار ویژه بیشینه

۳- با استفاده از (جدول ۱) نمرات ماتریس‌های مقایسه زوجی کارشناسان به اعداد فازی مثلثی که هر کدام نماینده یک متغیر زبانی هستند تبدیل شدند و ماتریس‌های مقایسات زوجی فازی به شکل رابطه ۲ (باکلی، ۱۹۸۵) به‌دست آمدند.

$$R^k = [r_{ij}]^k \tag{۲}$$

R^k: ماتریس مقایسه زوجی تصمیم‌گیرنده K ام r_{ij}: اهمیت نسبی بین معیار تصمیم‌گیری i و j

1- Consistency Ratio
2- Consistency Index
3- Random Index

جدول ۱- اعداد فازی متناسب با متغییر زبانی (لولی و همکاران، ۲۰۰۹).

متغییر زبانی	اعداد فازی مثلثی مثبت	اعداد فازی مثلثی مثبت معکوس
اهمیت مساوی	(۱،۱،۱)	(۱،۱،۱)
دارای اهمیت متوسط	(۳،۲،۱)	(۱، ۱/۲، ۱/۳)
دارای اهمیت معتدلانه	(٤،۳،۲)	(۱/۲، ۱/۳، ۱/٤)
دارای اهمیت متوسط	(٥،٤،۳)	(۱/۳، ۱/٤، ۱/٥)
دارای اهمیت قوی	(٦،٥،٤)	(۱/٤، ۱/٥، ۱/٦)
دارای اهمیت متوسط	(۷،٦،٥)	(۱/٥، ۱/٦، ۱/۷)
دارای اهمیت خیلی قوی	(۸،۷،٦)	(۱/٦، ۱/۷، ۱/۸)
دارای اهمیت متوسط	(۹،۸،۷)	(۱/۷، ۱/۸، ۱/۹)
دارای اهمیت به‌شدت قوی	(۹،۹،۹)	(۱/۹، ۱/۹، ۱/۹)

٤- براساس روش لامبدای ماکزیمم پیشنهاد شده توسط سی‌سورا و باکلی (۲۰۰۱) وزن‌های فازی معیارهای تصمیم‌گیری براساس رویه زیر محاسبه شدند:

٤-۱- استفاده از برش آلفا: با درنظر گرفتن $\alpha = 1$ ماتریس $R_{\mathrm{b}}^{\mathrm{k}}$ و $\alpha = 0$ ماتریس‌های R_a^k و R_c^k برآورد شدند.

$$\alpha = 1 \rightarrow R_b^k = \left(r_{ij}\right)_b^k,\ \ \alpha = 0 \rightarrow \left\{R_a^k = \left(r_{ij}\right)_a^k, R_c^k = \left(r_{ij}\right)_c^k \right. \qquad (۳)$$

K: تعداد کارشناسان

a، b و c به‌ترتیب نقاط مینیمم، مرکز و ماکزیمم یک عدد فازی مثلثی هستند.

٤-۲- براساس روش AHP در هر کدام از ماتریس‌های $R_{\mathrm{b}}^{\mathrm{k}}$، $R_{\mathrm{a}}^{\mathrm{k}}$ و $R_{\mathrm{c}}^{\mathrm{k}}$ وزن‌های معیارها برآورد شدند.

$$\mathrm{w}_{\mathrm{b}}^{\mathrm{k}} = (w_i)_b^k \ \ , \ \ w_a^k = (w_i)_a^k \ \ , \ \ w_c^k = (w_i)_c^k \ \ i = 1,2,\dots,n \qquad (٤)$$

٤-۳- ثابت‌های $M_{\mathrm{a}}^{\mathrm{k}}$ و $M_{\mathrm{c}}^{\mathrm{k}}$ طبق فرمول‌های زیر برآورد شدند.

$$\mathrm{M}_{\mathrm{a}}^{\mathrm{k}} = min\left\{\frac{w_{ib}^k}{w_{ia}^k}\middle| 1 \le i \le n\right\},\ \ M_c^k = max\left\{\frac{w_{ib}^k}{w_{ic}^k}\middle| 1 \le i \le n\right\} \qquad (٥)$$

٤-٤- سپس حدود بالا و پاین وزن‌های فازی به شکل زیر محاسبه شدند.

$$\mathrm{W}_{\mathrm{ia}}^{*\mathrm{k}} = M_a^k w_{ia}^k \ , \ W_{ic}^{*k} = M_c^k w_{ic}^k \qquad (٦)$$

باندهای بالا و پایین ماتریس وزن‌ها نیز به شکل زیر می‌باشد.

$$\mathrm{W}_{\mathrm{a}}^{*\mathrm{k}} = (\mathrm{w}_{\mathrm{i}}^{*})_{\mathrm{a}}^{\mathrm{k}}, \qquad W_c^{*k} = (w_i^*)_c^k \ \ i = 1,2,\dots,n \qquad (٧)$$

٤-٥- با ترکیب W_a^{*k} ، W_b^{*k} و W_c^{*k} ماتریس وزن‌های فازی برای کارشناس K ام به دست آمد (سی‌سورا و باکلی، ٢٠٠١؛ لولی و همکاران، ٢٠٠٩).

$$W_i^k = \left(w_{ia}^{*k}, w_{ib}^{*k}, w_{ic}^{*k}\right) \ \ i = 1,2,\dots,n \qquad (٨)$$

٤-٦- جهت ترکیب نظرات کارشناسان مختلف از میانگین هندسی وزن‌های فازی آن‌ها استفاده شد.

$$W = \left(\prod_{k=1}^{k} w_i^k\right)^{\frac{1}{k}} \qquad (٩)$$

$w_{\mathrm{i}}^{\mathrm{k}}$: وزن فازی معیار i ام از کارشناس k ام

W: وزن فازی ترکیب شده معیار i ام از کارشناس k ام

٤-٧- وزن‌های فازی به‌دست آمده در بالا با استفاده از معادله پیشنهاد شده توسط چن (٢٠٠٠) غیر فازی شده و به‌صورت کلاسیک در آمدند.

$$CC_i = d(w_i,0)/d(w_i,1) + d(w_i,0) \ , \ \ i = 1,2,\dots,n \ , 0 \le CC_i \le 1 \qquad (١٠)$$

$$d(w_i,0) = \sqrt{1/3\left((w_{ia}-0)^2 + (w_{ib}-0)^2 + (w_{ic}-0)^2\right)} \qquad (١١)$$

$$d(w_i,1) = \sqrt{1/3\left((w_{ia}-1)^2 + (w_{ib}-1)^2 + (w_{ic}-1)^2\right)} \qquad (١٢)$$

$d(w_i, 0)$ و $d(w_i, 1)$ فواصل اندازه‌گیری شده مابین دو عدد فازی موردنظر است. وزن‌های فازی و کلاسیک معیارها در جدول ۲ نشان داده شده است.

ارزیابی استعداد حوضه آبریز جهت مکان‌یابی بهترین مناطق جمع‌آوری آب باران: در لایه‌های فازی شده معیارها به هر کدام از پیکسل‌ها (گزینه‌ها) ارزشی بین صفر تا یک [۰، ۱] تعلق می‌گیرد که درجه عضویت مقدار خام معیار مربوطه درآن پیکسل می‌باشد. در هر پیکسل وزن محاسبه شده مربوط به هر معیار را در درجه عضویت معیار موردنظر مربوط به آن پیکسل ضرب نموده تا ارزش واقعی هر معیار در هر پیکسل به‌دست آید. از آن‌جا که عملگر ضرب جبری فازی عملگری بسیار محافظه‌کارانه و با حساسیت بالا است و مقادیر تلفیقی عضویت فازی بسیار کوچک و نزدیک به صفر و در بسیاری از پیکسل‌ها ارزش صفر را تولید می‌کند بنابراین استفاده از آن نتایج را متفاوت با واقعیت نشان داد. صفر بودن ارزش عضویت فازی در عملگر ضرب جبری فازی باعث شد تا عملگر گاما نیز نتایج رضایت بخشی را ایجاد نکند. بنابراین از این دو عملگر در روی هم‌اندازی لایه‌ها استفاده نشد و با استفاده از عملگر جمع جبری فازی که مکمل عملگر ضرب جبری فازی است در محیط GIS 9.3، لایه‌های فازی ضمن تأثیر وزن‌هایشان با یکدیگر ترکیب شده و لایه اطلاعاتی نهایی استعداد منطقه حاصل گردید (شکل ۵). با رسم نمودار فراوانی تجمعی ارزش پیکسل‌های نقشه RWH، مرزهای طبقات مختلف آن تعیین شدند (خاشعی‌سیوکی و همکاران، ۲۰۱۱).

عملگرهای فازی:

$$\text{عملگر جمع جبری فازی} = 1 - \prod_{i=1}^{x}(1 - \mu(i)) \qquad (۱۳)$$

$$\text{عملگر ضرب جبری فازی} = \prod_{i=1}^{x} \mu(i) \qquad (۱٤)$$

$$\text{عملگر گاما} = \left(1 - \prod_{i=1}^{x}(1 - \mu(i))\right)^{\gamma} * \left(\prod_{i=1}^{x} \mu(i)\right)^{1-\gamma} \qquad (۱۵)$$

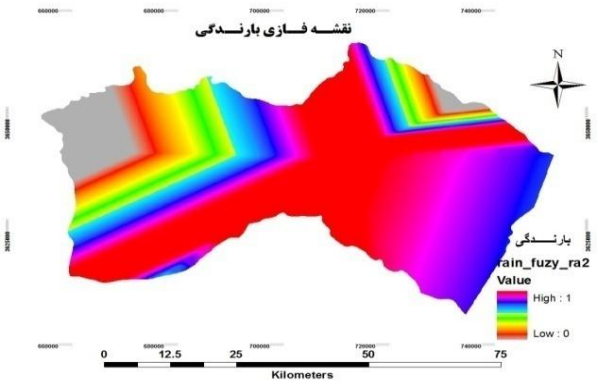
$\mu(i)$: تابع عضویت فازی معیار i ام و i = ۱، ۲، .... نقشه معیارهای تلفیقی

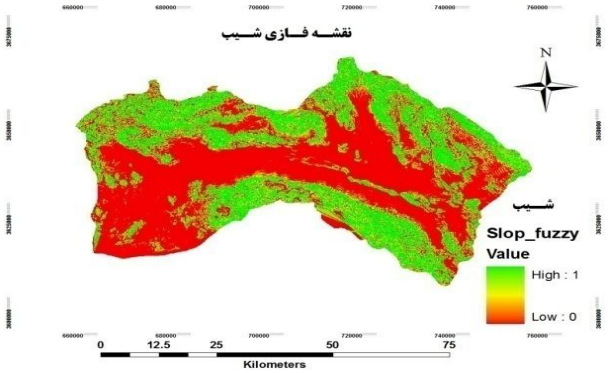
جهت مقایسه نتایج به‌دست آمده با وضعیت موجود فعلی در منطقه داده‌های مربوط به موقعیت جغرافیایی سازه‌های احداث شده در دشت بیرجند طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۹ از سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری شهرستان بیرجند تهیه شدند. با منطبق نمودن این سازه‌ها با لایه ترکیبی نهایی نتایج حاصله با طرح‌های آبخیزداری احداث شده دراین دشت طی سال‌های نامبرده مورد مقایسه قرار گرفتند (شکل ٦). در پژوهش‌هایی که دراین زمینه صورت گرفته مانند پژوهش‌های صادقی و همکاران و همچنین جبر و آوار، این مقایسه صورت نگرفته است.

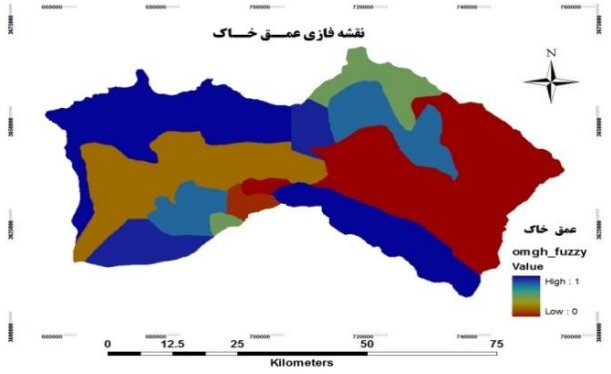
نتایج و بحث

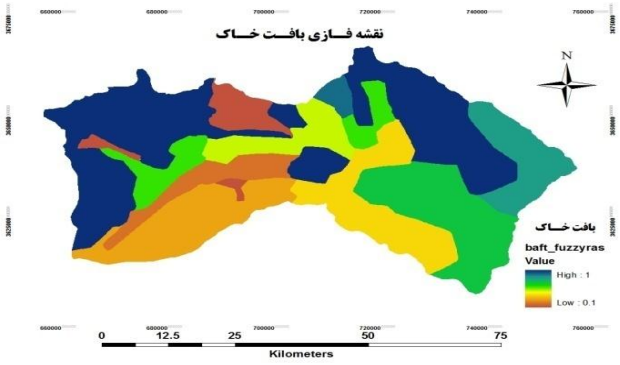
باتوجه به‌این که معیارهای بارندگی، شیب و فاصله تا مناطق مسکونی دارای ارزشی افزایشی-کاهشی در تحقق هدف پژوهش می‌باشند با استفاده از تابع عضویت ذوزنقه‌ای فازی شدند. معیارهای عمق خاک، فاصله تا زراعات آبی و فاصله تا زراعات دیم معیارهایی کاهشی هستند و با تابع عضویت Z Shape به ارزش‌های فازی تبدیل شدند. معیارهای بافت خاک، کاربری اراضی و زهکشی (آبراهه) نیز معیارهای گسسته هستند و ارزش‌های فازی به‌صورت گسسته به آن‌ها تعلق گرفت.

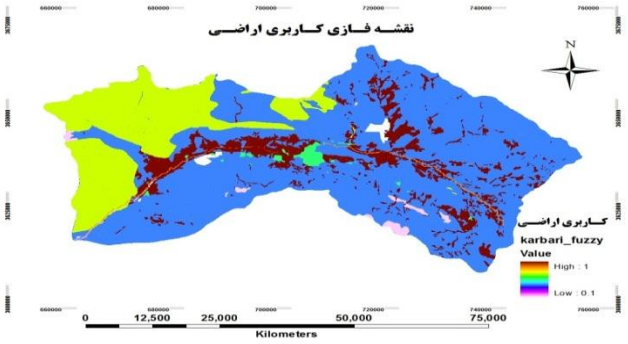
نقشه‌های فازی شده معیارهای نام‌برده در (شکل ۳) نشان داده شده است.

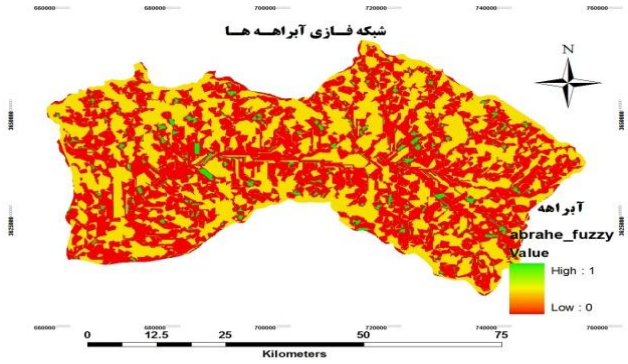


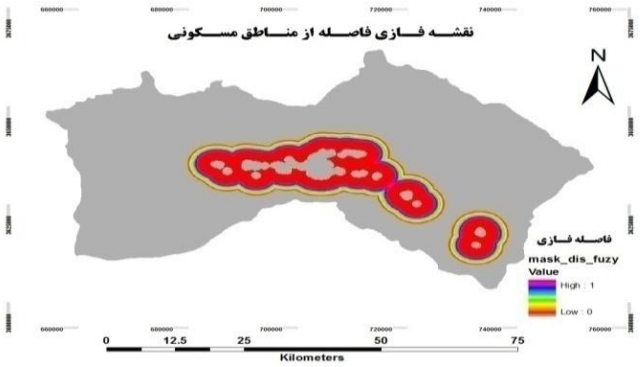

نقشه فازی شیب
N
شیب
Slop_fuzzy
Value
High : 1
Low : 0
0 12.5 25 50 75
Kilometers

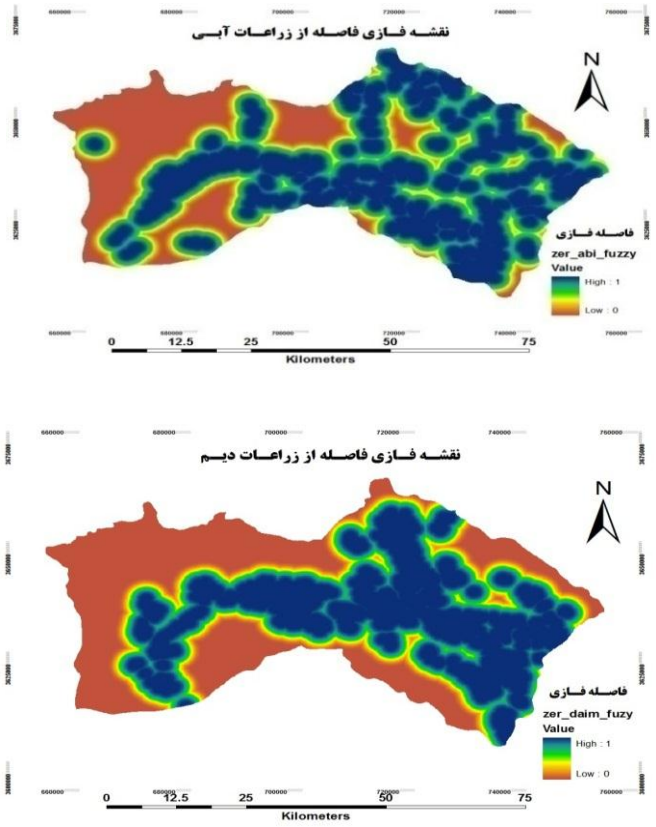

نقشه فازی عمق خاک
N
عمق خاک
omgh_fuzzy
Value
High : 1
Low : 0
0 12.5 25 50 75
Kilometers


نقشه فازی بافت خاک
N
بافت خاک
baft_fuzzyras
Value
High : 1
Low : 0.1
0 12.5 25 50 75
Kilometers


نقشه فازی کاربری اراضی
N
کاربری اراضی
karbari_fuzzy
Value
High : 1
Low : 0.1
0 12,500 25,000 50,000 75,000
Kilometers


شبکه فازی آبراهه ها
N
آبراهه
abrahe_fuzzy
Value
High : 1
Low : 0
0 12.5 25 50 75
Kilometers


نقشه فازی فاصله از مناطق مسکونی
N
فاصله فازی
mask_dis_fuzy
Value
High : 1
Low : 0
0 12.5 25 50 75
Kilometers



شکل ۳- نقشه‌های فازی شده معیارها.

وزن‌های فازی و غیرفازی شده معیارها در (جدول ۲) نشان داده شده‌اند.

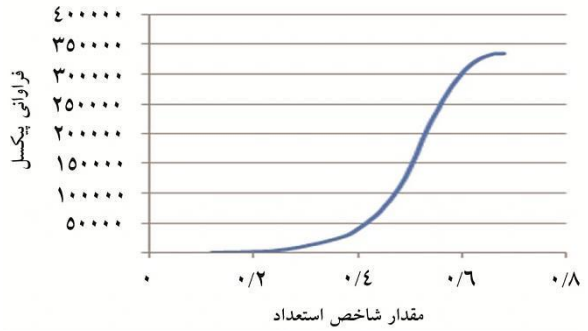
جدول ۲- وزن‌های فازی و غیرفازی شده معیارهای تصمیم‌گیری.

بارندگی شیب	بافت خاک	عمق خاک		کاربری زهکشی		فاصله تا مناطق مسکونی	فاصله تا زراعت‌های آبی	فاصله تا زراعت‌های دیم
۰/۳٦۸	۰/۲	۰/۱۱۱۵	۰/۰۷٦	۰/۰۵۹	۰/۰۷	۰/۰٤۲۵	۰/۰٦٤۵	۰/۱۱۳۹۷
(۰.۱۹۰.۳۳۰.۵٤)	(۰.۱۰.۱۷۰.۲۹)	(۰.۰۵۰.۰۹۰.۱٦)	(۰.۰٤۰.۰٦۰.۱۱)	(۰.۰۳۰.۰۵۰.۰۸)	(۰.۰۳۰.۰٦۰.۰۱)	(۰.۰۳۰.۰٤۰.۰۵)	(۰.۰٦۲۰.۰٦۳۰.۰٦۸)	(۰.۱۱٤۰.۱۱٤۰.۱۱٤)

نمودار فراوانی تجمعی ارزش پیکسل‌های نقشه RWH، در شکل ٤ و مرزهای طبقات مختلف آن در جدول ۳ مشاهده می‌شود (خاشعی سیوکی و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به نمودار در نقاط ۰/۲۲، ۰/۳۸ و ۰/٦۳ تغیر شیب نمودار محسوس‌تر می‌باشد.

جدول ۳- محدوده و درصد مساحت هر طبقه از دشت.

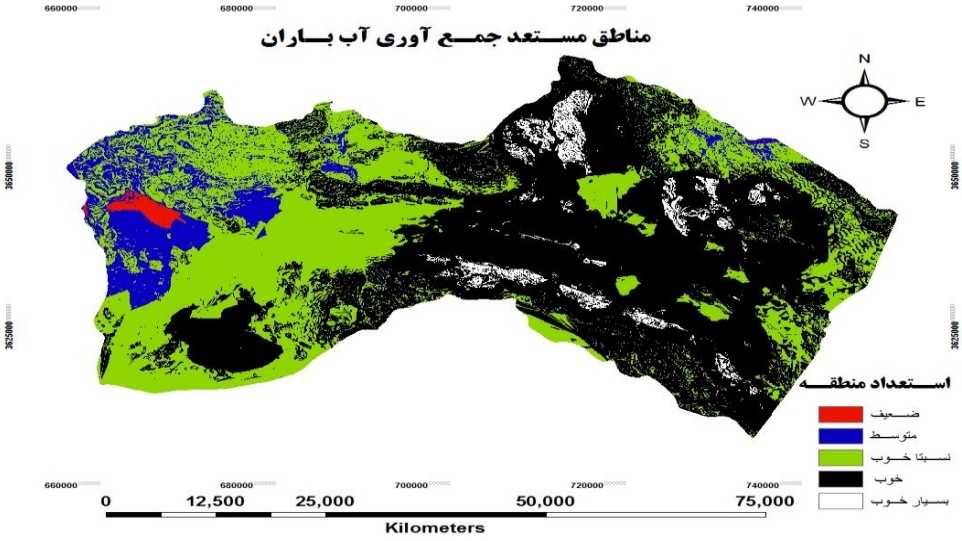
طبقات	محدوده شاخص	درصد مساحت
ضعیف	۰/۱۱۳۷-۰/۲۲	۰/٦۳۵ درصد
متوسط	۰/۲۲-۰/۳۸	۸/۳۷ درصد
نسبتا خوب	۰/۳۸-۰/۵	۳٤/۳۲ درصد
خوب	۰/۵-۰/٦۳	۵۳/۷ درصد
بسیار خوب	۰/٦۳-۰/٦۷۸۳	۲/۹۷ درصد



شکل ٤- نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌های مربوط به نقشه ترکیبی مناطق مستعد جمع‌آوری باران.

وزن‌های محاسبه شده نشان می‌دهند که معیار بارندگی بیشترین تأثیر را در تعیین هدف پژوهش دارد. به طریق بیان شده در بخش مواد و روش‌ها پس از تأثیر وزن‌ها در لایه‌های مربوطه و ادغام آن‌ها با هم لایه ترکیبی نهایی حاصل گردید که در شکل ۵ نشان داده شده است. در نواحی غربی دشت و تا حدودی شمال شرقی آن معیار بارندگی کم و ناچیز بوده و دارای ارزش فازی صفر و یا نزدیک به صفر می‌باشد. معیارهای عمق خاک، فاصله تا زراعت دیم و فاصله تا زراعت آبی نیز در نواحی غربی دارای ارزش فازی پایین بوده و فاکتور شیب نیز در قسمت‌های غربی ضعیف و در نواحی شمال شرق دشت ترکیبی از ارزش‌های فازی ضعیف و قوی می‌باشد. ولی معیارهای بافت خاک و کاربری اراضی

در نواحی غربی و شمال شرقی دشت به‌ترتیب مناسب و تا حدودی مناسب بوده و دارای ارزش فازی خوبی می‌باشند اما به‌دلیل وزن کمی که به آن‌ها تعلق گرفته است نمی‌توانند تغییری اساسی در نتایج این نواحی ایجاد نمایند. بنابراین انتظار می‌رود که نتایج نیز نواحی غربی و شمال شرقی دشت را در کلاس ضعیف از نظر جمع‌آوری آب باران طبقه‌بندی کنند.

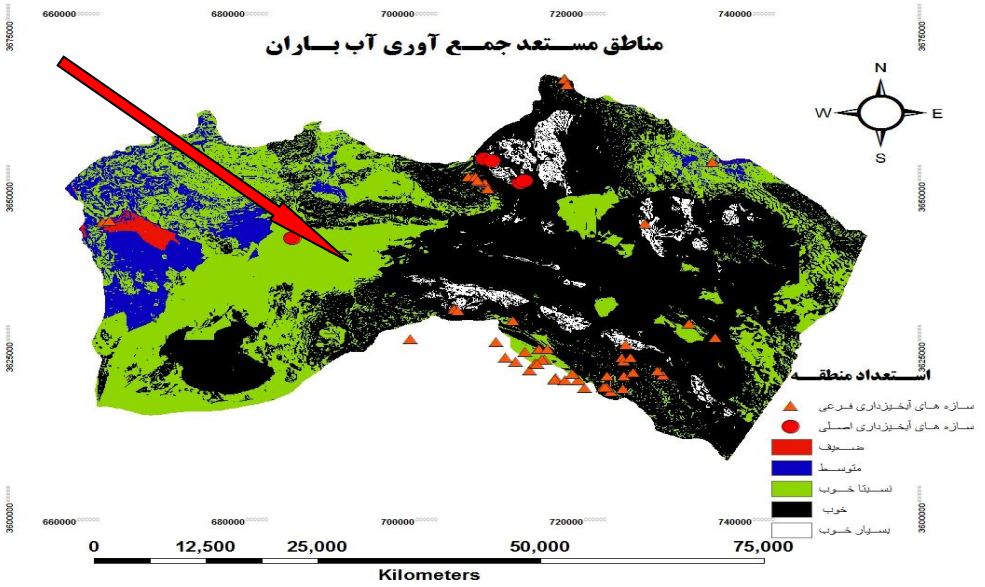


شکل ۵- طبقه‌بندی استعداد حوضه آبریز بیرجند به‌منظور جمع‌آوری باران.

در نواحی شمالی و نوار جنوبی دشت نیز معیارهای بارندگی، شیب، عمق خاک، فاصله تا زراعت دیم و فاصله تا زراعت آبی دارای ارزش‌های فازی مناسب یک و نزدیک به یک بوده و معیارهای کاربری اراضی و بافت خاک نیز در این نواحی نامناسب بوده و دارای ارزش‌های فازی صفر و نزدیک به صفرند ولی باز به‌دلیل وزن‌های ناچیزی که به آن‌ها تعلق گرفته است تأثیر چشمگیری در نتایج نهایی ندارند و بنابراین این نواحی در کلاس‌های خوب و بسیار خوب قرار می‌گیرند.

با توجه به شکل ٦ نتایج به‌دست آمده با موقعیت فعلی سازه‌های آبخیزداری احداث شده در سطح دشت همخوانی و مطابقت خوبی دارند. سازه‌هایی که با پیکان قرمز رنگ مشخص شده‌اند سرریز انحرافی و بند خاکی شورآب سیوجان هستند که با هدف آبخوان‌داری و تغذیه سفره‌های زیرزمینی احداث شده‌اند و اهداف این پژوهش را دنبال نمی‌کنند به‌همین دلیل بیشتر در کلاس نسبتاً خوب واقع

شده‌اند. سازه‌هایی که موقعیت آن‌ها در کلاس ضعیف قرار گرفته است پشته خاکی می‌باشند. بعضی از این سازه‌ها از لحاظ مرزبندی‌های سیاسی جزء شهرستان بیرجند محسوب شده امّا موقعیّت جغرافیایی آن‌ها در محدوده حوضه آبریز دشت بیرجند قرار نمی‌گیرد.



شکل ٦- موقعیت سازه‌های آبخیزداری در دشت بیرجند.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش تعیین مکان‌های مناسب جمع‌آوری آب باران با استفاده از فرآیند FAHP در سطح حوضه آبریز بیرجند است که جهت نیل به این هدف ابتدا وزن‌های معیارهای تصمیم‌گیری با استفاده روش لامبدای ماکزیمم و با ترکیب روش‌های AHP و فازی (FAHP) محاسبه و سپس لایه‌های رستری معیارها با استفاده از توابع عضویت فازی به لایه‌های فازی تبدیل شدند. لایه‌های فازی شده پس از تأثیر وزن‌های فازی، با استفاده از عملگر جمع جبری فازی با همدیگر ترکیب شده و لایه اطلاعاتی نهایی مناطق مستعد تهیه شد. با طبقه‌بندی استعداد دشت در پنج کلاس ضعیف، متوسط، نسبتاً خوب، خوب و بسیار خوب به‌ترتیب ۰/٦۳، ۸/۳۷، ۳٤/۳۲، ۵۳/۷ و ۲/۹۷ درصد از سطح دشت در این طبقات قرار گرفت. نتایج نشان دادند که مناسب‌ترین قسمت‌های سطح دشت از

نظر جمع‌آوری آب باران بیشتر در قسمت شرقی دشت واقع شده‌اند که در طبقات خوب و بسیار خوب قرار می‌گیرند. مقایسه نتایج به‌دست آمده از روش FAHP با موقعیت سازه‌های احداث شده در سطح دشت نشان داد که این سازه‌ها تقریباً در طبقه خوب واقع شده‌اند.

منابع

1.Ayag, Z., and Ozdemir, R.G. 2006. A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives. J. Intell Manuf. 17: 179-190.

2.Babran, S., and Honarbakhsh, N. 2007. The crisis of water situation in Iran and the world. Rahbord J. 16: 48. 193-212. (In Persian)

3.Buckley, J.J. 1985. Fuzzy Hierarchical Analysis. Fuzzy Sets Syst. 17: 233–247.

4.Chen, C.T. 2000. Extensions of TOPSIS for group decision–making under fuzzy environment. Fuzzy Sets Syst. 114: 1, 1–9.

5.Csutora, R., and Buckley, J.J. 2001. Fuzzy hierarchical analysis: The Lambda-Max method. Fuzzy Sets Syst. 120: 181–195.

6.Daneshshakib, M., and Fazli, S. 2009. Differentiation between successful and unsuccessful companies using a combination approach (FAHP-TOPSIS) in Tehran Stock Exchange. J. Management Sciences of Iran. fourth year. no 15. Fall of 2009. 88-115. (In Persian)

7.Ilakhchi, A., Hajabbasi, M.A., and Jalalian, A. 2002. Effect of Change of pasture land to dry land on Runoff. J. Agricultural and Natural Resources Sciences. 6: 4, 25-36. (In Persian)

8.Jothiprakash, V., and Mandar, V., Sathe. 2009. Evaluation of rainwater harvesting methods and structures using analytical hierarchy process for a large scale industrial area. J. Water resource and protection, 1: 427-438.

9.Khashei-Siuki, A., Ghahraman, B., and Koochekzadeh, M. 2011. Evolution groundwater potential of aquifer using fuzzy analytic hierarchy process method (Case Study: NayShabur Plain). J. water research of Iran. 9: 5, 171-180. (In Persian)

10.Koorehpazan Dezfuli, A., 2005. Principles of Fuzzy set theory and its applications in the modeling of water engineering problems. Amirkabir univ. press, 260p.

11.Lee, W., and Hoops, J.A. 1996. Prediction of cavitations damage for spillways. ASCE J. hydraulic engineering. ASCE. 122: 9, 481-488.

12.Lu, li., Zhi-hua, Shi., Wei, Yin., Dun, Zhu., Sai, Leung. Ng., Chong-fa, Cai., and a-lin, Lei. 2009. A fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to eco-environmental vulnerability assessment for the Danjiangkou reservoir area. China. eco logical modeling, 220: 3439-3447.

13.Lotfizadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. Information control, 8: 3, 338-353.

14.Matkan, A.A., Shakiba, A.R., Pourali, H., and Ebadi, E. 2009. Crisp and Fuzzy cision Making in Multistore Public Parking Lots. Environmental Sciences. 6: 3. 207-222.
15.Mirarabi, A., and Nakhai, M. 2008. Prediction of groundwater level fluctuations in Birjands plain using artificial neural network. Proceedings of Twelfth Symposium of Geological Society of Iran. Ahvaz. National Company of South Oil areas. (In Persian)
16.Saaty, T.L. 1980. the Analytical Hierarchy Process, Planning Priority, Resource Allocation, TWS Publications, USA.
17.Sadeghi, S.H., Akbarpoor, A. 2011. Comparing two different strategies in locating zone areas to rain water harvesting using decision support system (DSS) based on GIS Case study: Birjand plain). Eleventh Irrigation and reduce evaporation Seminar. Kerman. 8-10 February 2011. (In Persian)
18.Zare Naghadehi, M., Mikaeil, R., and Ataei, M., 2009. The application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to selection of optimum underground mining method for Jajarm bauxite mine. Iran. Expert systems with applications, 36: 8218-8226.
19.Zaresefat, M., Kalantari, N., Aram, A., Roohi, H., and Cheraghi, G.H. 2011. Potential for natural feeding of groundwater using FAHP method and GIS software. Case study: North of Dezful. proceedings of the Thirtieth meeting of earth sciences. 21-23 of February of 2011.
20.Zebardast, A. 2001. application of analytical hierarchy process (AHP) in urban and regional planning. J. fine arts. No 10.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(6), 2013
http://jwsc.gau.ac.ir

Application of Fuzzy Analytical Hierarchy Process in sites determination of rain water harvesting (Case study: Birjand Basin)

***A. Khashei Siouki[1], A. Akbarpour[1], A. Keshavarz[2] and H. Foroughi[3]**

[1]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Birjand University, [2]M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Birjand University, [3]Assistant Prof., Dept. of Agronomy Engineering, Birjand University

Received: 07/11/2012; Accepted: 12/16/2012

Abstract

Human being nowadays is facing water shortages problems due to various reasons including population growth, drought and reduced rainfall, development of industry and its adverse effects on water resources. The uncontrolled harvesting of groundwater resources has caused a severe drop in water table. On the other hand, loss of runoff from rainfall worldwide and especially in our country is very high and significant. Therefore the optimum use of runoff and uncontrolled surface water resources have to be applied instead of uncontrolled harvesting of groundwater resources. The aim of this study is to determine potential sites rainwater harvesting using Fuzzy Analytical Hierarchy Process. In this study, using max lambda method, fuzzy weighted of criteria were calculated. Then fuzzy layers of criteria with effect of respective weights were combined and finally combined layer was obtained. This layer was classified in five classes of, poor, average, rather good, good and very good. Results showed that the classes were named respectively, 0.635, 8.37, 34.32, 53.7 and 2.97 percent of total plain allocated to him. The final map of Birjand plain from west to the east the plain potential in harvesting rain water increases.

Keywords: Rain water harvesting, Fuzzy analytical hierarchy process, GIS, Birjand plain.

* Corresponding author; Email: abbaskhashei@yahoo.com