

## ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک‌های AHP و منطق فازی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی شمالی استان ایلام)

ثریا عباسی<sup>۱\*</sup>

مسعود حیدری<sup>۲</sup>

### چکیده

یکی از موضوعات مهم در مدیریت منابع آب، تشخیص رفتار آب‌های زیرزمینی است. هدف از این مقاله تهیه‌ی نقشه‌ی مناطق مستعد آب زیرزمینی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش منطق فازی و مقایسه‌ی نتایج آنها می‌باشد. برای رسیدن به این هدف از ۸ پارامتر تأثیرگذار مانند لیتولوژی، تراکم زهکشی، تغییرات شیب، کاربری اراضی، توپوگرافی، جمعیت و چشمه و چاه و گسل و شکستگی به صورت لایه‌ی اطلاعاتی این محدوده به وسعت ۵۲۱۸ کیلومتر مربع در شمال استان ایلام واقع شده است. نقشه‌ی نهایی حاصل از روش AHP نشان می‌دهد که بیشترین پتانسیل آب زیرزمینی در بخش‌های آهکی با تراکم بالای شکستگی وجود دارد. ارزیابی مدل‌های مختلف همپوشانی، با توجه به میزان تطابق با لیتولوژی، نشان می‌دهد که روش تلفیقی فازی OR (جمع جبری) نسبت به سایر روش‌ها برای پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه مناسب‌تر است. این روش با ۱۰۰۰ کیلومترمربع پتانسیل زیاد و خیلی زیاد در بخش‌های مرکزی نقشه، همخوانی قابل قبولی را با نقشه‌ی نهایی حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد و تطابق نقشه‌های مربوطه با نقشه‌ی چشمه و چاه در منطقه نیز صحت این روش‌ها را تأیید می‌کند.

کلمات کلیدی: پتانسیل آب زیرزمینی، GIS؛ منطق فازی، ایلام.

۱- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی- تکتونیک، دانشگاه بیرجند، دانشکده‌ی علوم پایه، گروه زمین‌شناسی، بیرجند (نویسنده مسئول).

Email: so.abbasi92@gmail.com

۲- کارشناسی ارشد زمین‌شناسی- تکتونیک، دانشگاه بیرجند، دانشکده‌ی علوم پایه، گروه زمین‌شناسی، بیرجند.

## مقدمه

بخش اعظمی از کشور ایران به علت قرارگرفتن در ناحیه‌ی آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک، میانگین بارش سالانه‌ی خیلی پایینی دارند، بنابراین به خاطر عدم دسترسی به آب‌های سطحی، منابع آب زیرزمینی در تأمین آب مصرفی در کشاورزی، شرب و صنعت نقش اساسی دارند همچنان که بر اساس آخرین آمار، ۵۵٪ از نیاز آبی کشورمان از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود (صداقت، ۱۳۷۲). در سال‌های اخیر به علت وقوع خشکسالی، استفاده از آب‌های زیرزمینی در کشورمان بسیار بیشتر شده است در نتیجه باید در مدیریت آب نهایت دقت لحاظ گردد. تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی زمانی اتفاق می‌افتد که جریان آب از سطح اساس آب زیرزمینی عبور می‌کند و به داخل ناحیه‌ی اشباع تراوش می‌کند. از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر وجود و حرکت آب زیرزمینی در یک ناحیه شامل توپوگرافی، لیتولوژی، ساختارهای زمین‌شناسی، عمق هوازدهی، فضای شکستگی‌ها، تخلخل اولیه، تخلخل ثانویه، شیب، الگوهای زهکشی، پوشش زمین و شرایط اقلیمی می‌باشد (گرین‌باوم، ۱۹۹۲؛ موکرچی، ۱۹۹۶؛ روی، ۱۹۹۶؛ جیس‌وال، ۲۰۰۳). تعیین مکان‌های مناسب استحصال آب شرب از آب‌های محصور در سفره‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین چالش‌های مورد بحث می‌باشد. یافتن مکان‌های مستعد استحصال با استفاده از روش‌های علمی نوین می‌تواند از هدررفت هزینه‌های گزاف حفر چاه جلوگیری کرده و طرح‌ها را از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر نماید. همچنین با استفاده از این روش‌ها می‌توان در مدت زمان کوتاهی منطقه وسیعی را مورد بررسی قرار داد و مکان‌های مناسب را در سطح آن منطقه تعیین نمود. در این مقاله، هدف مشخص نمودن بالاترین پتانسیل از لحاظ وجود آب زیرزمینی در بخشی از زاگرس ساده‌چین خورده است. برای رسیدن به این هدف، از هشت پارامتر تأثیرگذار در نفوذ آب به داخل زمین با کمک گرفتن از دو روش، تحلیل AHP و منطق فازی استفاده شده است.

تاکنون در ایران از این روش‌ها به صورت توأم و یا مجزا استفاده شده است. فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴)، به بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش منطق فازی در منطقه‌ی رودبار پرداختند. ازغدی و همکاران (۱۳۸۹)، به ارزیابی حاصلخیزی خاک بر اساس فاکتورهای فسفر، پتاسیم و مواد آلی برای گندم با استفاده از روش‌های FAHP پرداختند و نتیجه گرفتند که روش فازی AHP روش مناسبی برای پهنه‌بندی پارامترهای حاصلخیزی خاک است. خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۹۰)، به ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی (FAHP) بر اساس سه فاکتور افت، کیفیت آب و خصوصیات هیدرولیکی آبخوان در دشت نیشابور پرداخته‌اند و نتیجه گرفتند که نواحی جنوب غربی و حاشیه‌ی شرق دشت قابلیت بالایی در استحصال آب دارند.

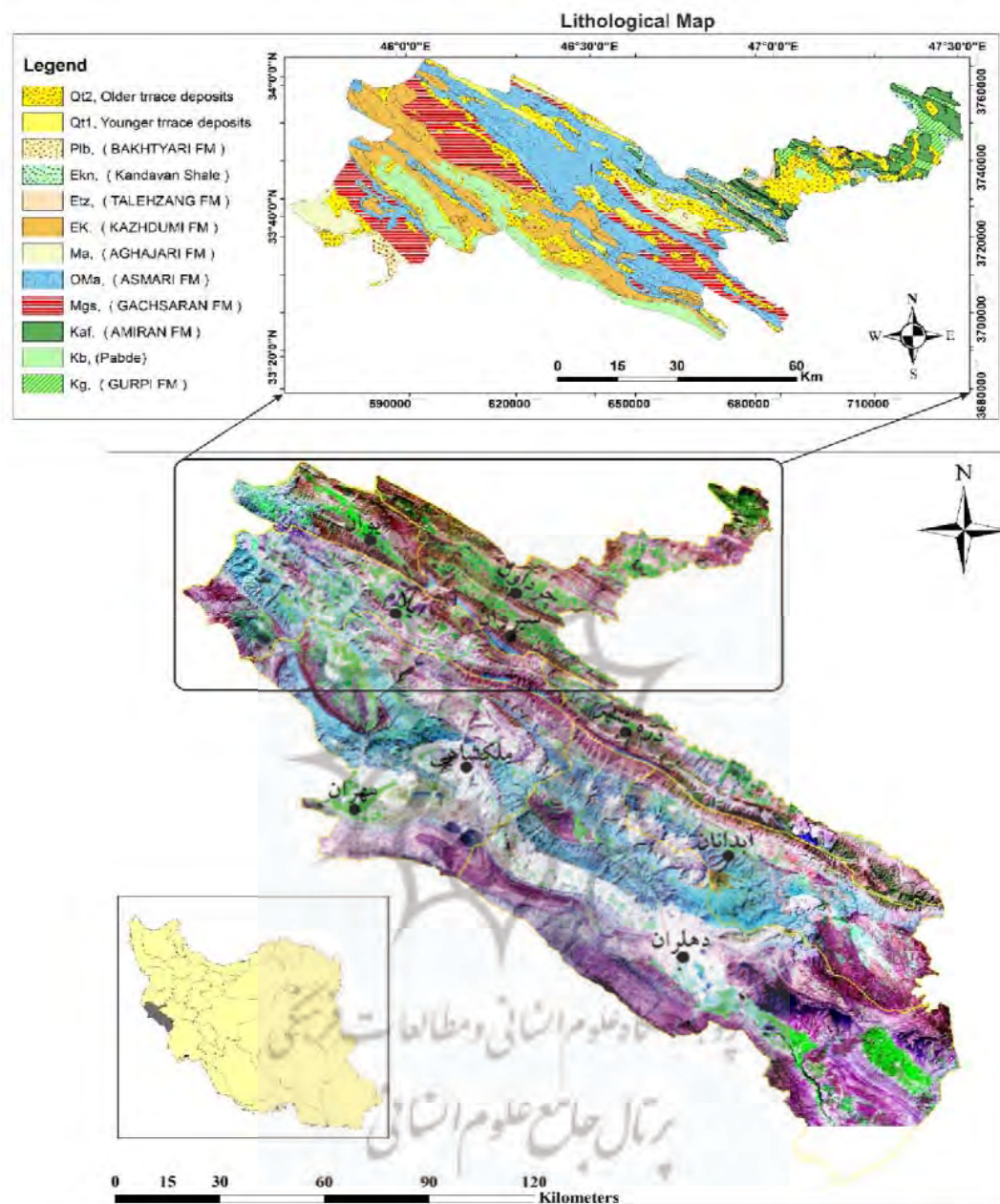
نیکنام و همکاران (۱۳۸۶)، به ارزیابی آسیب‌پذیری سفره‌ی آب زیرزمینی تهران-کرج با روش DRASTIC و منطق فازی پرداختند و نتایج حاصل‌شده را با منطق بولین مقایسه گردید. منطق فازی توانست مناطق با پتانسیل کم و خیلی کم را که در منطق بولین نشان داده نشده بودند، بهتر مشخص نماید.

همچنین در سایر نقاط جهان، محققان مختلف با تلفیق GIS و سنجش از دور یا استفاده از منطق فازی به بررسی آب‌های زیرزمینی پرداخته‌اند. لافان<sup>۱</sup> (۲۰۰۳)، با استفاده از روش منطق فازی و داده‌های ارتفاعی یک ابزار ارزیابی سریع را در یک ناحیه‌ی وسیع برای نواحی تخلیه‌ی آب‌زیرزمینی در استرالیا ارائه نموده است. ازرایل و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۶)، از آنالیز GIS و بررسی مقاومت‌پذیری برای ناحیه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی در رشته کوه هیمالیا در هندوستان پرداخته و نشان دادند که نتایج داده‌ها همخوانی خوبی با داده‌های مربوط به چاه دارد. لولی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) با استفاده از روش FAHP به ارزیابی آسیب‌پذیری اکوسیستم و محیط زیست در ناحیه‌ی مخزن دنجیانگو (DRA) در چین پرداختند. ایمران‌دار و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۰)، با استفاده از سنجش از دور، مدل ارتفاعی رقومی (DEM)، GIS و داده‌های صحرایی شرایط آب زیرزمینی را در حوضه‌ی ماموندیار بررسی نموده‌اند و ثابت کردند که استفاده از سنجش از دور و GIS به صورت همزمان ابزار سودمندی برای مطالعه آب زیرزمینی می‌باشند. رادر و آندرابی<sup>۵</sup> (۲۰۱۲) به مقدار پیش‌بینی پتانسیل آب‌های زیرزمینی در ناحیه‌ای در هندوستان از منطق فازی مبتنی بر GIS و سنجش از دور استفاده کردند.

### منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در بخش شمالی استان ایلام، با طول  $30^{\circ} 46'$  و  $30^{\circ} 47'$  شرقی و عرض  $32^{\circ} 20'$  و  $32^{\circ} 32'$  شمالی قرار دارد. به دلیل قرارداشتن این استان در بخش زاگرس ساده‌چین‌خورده (Simply Folded Belt)، منطقه به‌صورت چین‌خورده و کوهستانی می‌باشد. بخش‌های وسیعی از کوهستان‌های بلند بخش شمالی استان ایلام، از سازند آهکی آسماری تشکیل شده است (شکل ۱) که محل مناسبی برای ذخیره آب می‌باشد. این استان از نظر شرایط اقلیمی جزو مناطق گرمسیر در غرب کشور محسوب می‌گردد و در سال‌های اخیر نیز مانند سایر نقاط ایران خشکسالی بر این منطقه نیز اثر گذاشته است و بیشتر روخانه‌ها یا خشک و یا کم آب شده‌اند این امر لزوم توجه به آب‌های زیرزمینی را دو چندان کرده است.

1- Laffan  
2- Israil et al.,  
3- Luli et al.,  
4- Imran Dar et al.,  
5 - Rathar and Androbi



شکل (۱) موقعیت استان ایلام و نقشه‌ی لیتولوژی منطقه‌ی مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

### داده‌های مورد نیاز

پس از بررسی منابع و یافته‌های علمی مرتبط با موضوع، از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ایلام- کوه‌دشت (لیون، ۱۹۷۴) و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کوه‌دشت (مکلود، ۱۹۷۲)، ایلام (سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی ایران)، نفت (مک

لود، (۱۹۷۱)، و نرم‌افزارهای مرتبط (Expert Choice و Arc GIS, IDRISI) در راستای ژئورفرنس و رقومی کردن نقشه‌ها، تفسیر عوارض، تطبیق برداشت‌ها و تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی، همپوشانی آنها و تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی نهایی در طول فرآیند تحقیق به عنوان داده استفاده شده است. لایه‌های مورد نیاز به صورت زیر تهیه شده است:

(۱) تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی شامل: تغییرات شیب، تراکم زهکشی، توپوگرافی، لیتولوژی، گسل و شکستگی از نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای ETM+.

(۲) تهیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی کاربری اراضی، جمعیت، چشمه و چاه با کمک اطلاعات از قبل موجود در استان. این لایه‌های اطلاعاتی بر اساس سابقه‌ی تحقیق، موقعیت و شرایط منطقه، مقیاس و اطلاعات موجود در بخش شمالی استان ایلام، تهیه گردیده‌اند و به عنوان داده‌ی ورودی برای مراحل بعدی استفاده گردید. در این مقاله از دو روش به شرح زیر استفاده شده است:

**روش ۱: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup>:**

روش AHP یکی از روش‌های پرکاربرد تصمیم‌گیری چند عامله است. این روش، برای حل مسایل بدون ساختار در زمینه‌های مختلف مدیریت، سیاست، اقتصاد، جغرافیا و ... به کار می‌رود (مؤمنی، ۱۳۹۰). AHP از طریق تقسیم هدف در قالب چند قسمت ساده (معیار) به تجزیه و تحلیل آن می‌پردازد و پس از آن که گزینه‌ها و شاخص‌ها مشخص شد، به منظور یافتن ارزش بیرونی و در گام بعد به منظور یافتن ارزش درونی هر شاخص، در بین مشاهدات مقایسات زوجی انجام می‌دهد. تجزیه (ایجاد سلسله مراتب)، قضاوت مقایسه‌ای (به صورت زوجی با رعایت ساختار سلسله‌مراتب) و ترکیب اولویت‌ها (مبتهی بر نسبت-مقیاس در سطوح مختلف سلسله مراتبی مسأله‌ی مورد تصمیم) اصول سه‌گانه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است (مالچفسکی، ۱۳۸۵). در نهایت ماتریس زوجی تشکیل می‌شود که نسبت به اهمیت عوامل، از شماره ۱ تا ۹ می‌باشد (جدول ۱).

جدول (۱) مقایسات زوجی استفاده شده برای پارامترهای مورد استفاده

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مرجح
۷	ترجیح خیلی قوی
۵	ترجیح قوی
۳	کمی مرجح
۱	ترجیح یکسان
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق



## روش ۲: تئوری منطق فازی

تئوری فازی، ایجاد روشی نوین در بیان عدم قطعیت‌ها و ابهامات روزمره و یا حل مسائلی است که وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری هستند. برای پیش‌بینی سری‌های زمانی با استفاده از منطق فازی هم مدل‌های بسیاری در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۸۵ مطرح شده که از آنها برای پهنه‌بندی و پیش‌بینی پدیده‌ها می‌توان استفاده کرد (گورجر، ۲۰۰۶). یکی از اساسی‌ترین مباحث در تئوری منطق فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. اساس اختلاف روش‌های فازی با روش‌های دیگر، در تعریف این تابع است. تابع عضویت را می‌توان درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیر مجموعه‌های آن دانست که به صورت  $\mu_C(x)$  نمایش داده می‌شود. تعلق هر عضو مجموعه مرجع به یک عضو زیر مجموعه خاص، به صورت قطعی نیست. یعنی با قاطعیت نمی‌توان گفت که عضو مورد نظر متعلق به این مجموعه هست یا نه. این عدم قطعیت با نسبت دادن یک عدد بین ۰ و ۱ به این عضو انجام می‌گیرد. عضویت یک به یک مجموعه یعنی تعلق کامل و عضویت صفر یعنی عدم تعلق به مجموعه. هر چه درجه عضویت به یک نزدیک‌تر باشد نشانه‌ی تعلق بیشتر به مجموعه مورد نظر است و برعکس. به این ترتیب می‌توان زیرمجموعه‌های یک مجموعه فازی را با نسبت دادن عددهای ۰ و ۱ به هر عضو مجموعه، بازنمایی کرد (چمپاتی ری، ۲۰۰۷). با استفاده از توابع فازی می‌توان نقشه‌های مختلف را به تعدادی کلاس تفکیک نمود. بر این مبنا به هر کلاس از مجموعه، بر اساس میزان تأثیرگذاری، یک درجه عضویت بین صفر تا یک داده می‌شود.

## عملگرهای مدل منطق فازی

به منظور ترکیب لایه‌های فازی از عملگرهای فازی مختلفی استفاده می‌شود که شامل:

(۱) ضرب جبری فازی (Fuzzy Algebraic Product): در این عملگر، تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک، این اپراتور باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد. به همین دلیل این اپراتور از حساسیت بالایی در مکان‌یابی برخوردار است. این عملگر به صورت رابطه‌ی (۱) (سندهام و لگت، ۱۹۹۷) تعریف می‌شود:

$$\mu_{\text{Combination}} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (1) \text{ رابطه‌ی (۱)}$$

(۲) جمع جبری فازی (Fuzzy OR): این عملگر متمم مجموعه‌ها محاسبه می‌شود. به همین دلیل در نقشه‌ی خروجی برخلاف اپراتور ضرب جبری فازی، ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه

تعداد پیکسل بیشتری در طبقه خیلی خوب قرار می‌گیرد. این عملگر حساسیت خیلی کمی در مکان‌یابی دارد. این عملگر به صورت رابطه‌ی (۲) (سندهام و لگت، ۱۹۹۷) تعریف می‌شود:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x), \mu_C(x) \}; x \in X \quad (2)$$

(۳) اشتراک فازی (Fuzzy AND): این عملگر اشتراک مجموعه‌ها است. به این صورت که حداقل درجه‌ی عضویت را استخراج می‌کند یعنی در بین کلیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه‌ی نهایی منظور می‌کند. این عملگر به صورت رابطه‌ی (۳) (سندهام و لگت، ۱۹۹۷) تعریف می‌شود:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x), \mu_C(x) \} \quad (3)$$

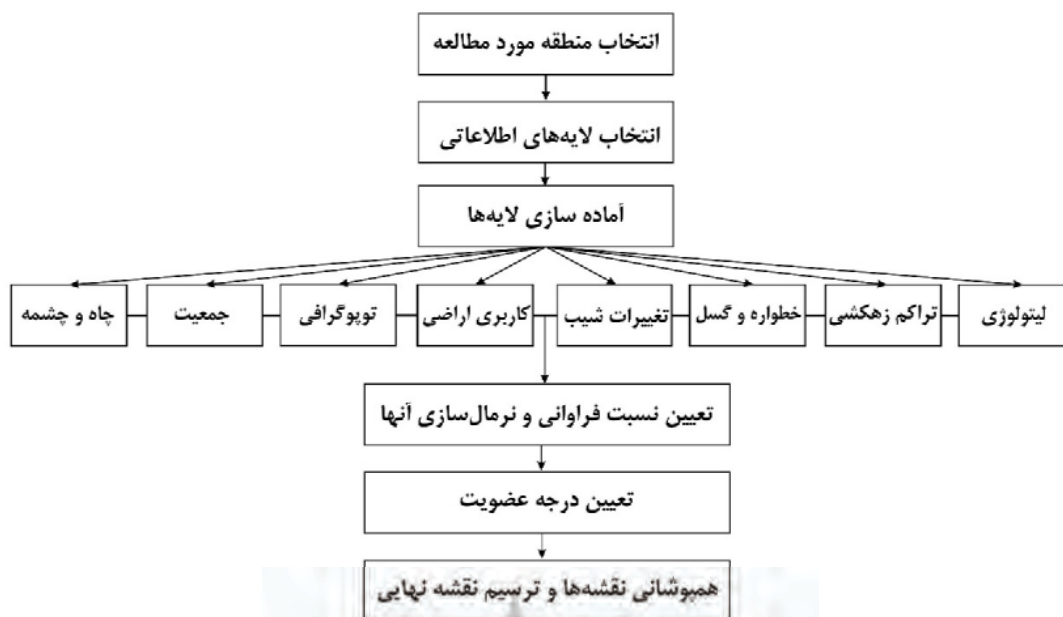
(۴) جمع جبری فازی (Fuzzy Algebraic Sum): این اپراتور مکمل حاصل ضرب جبری است. به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد (شریعت‌جعفری، ۱۳۸۶). این عملگر به صورت رابطه (۴) (سندهام و لگت، ۱۹۹۷) تعریف می‌شود:

$$\mu_{\text{Combination}} = \prod_{i=1}^n \mu_i(1 - \mu_i) \quad (4)$$

(۵) گامای فازی (Fuzzy Gamma): این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبر فازی و حاصل جمع جبری فازی به صورت رابطه‌ی (۵) (سندهام و لگت، ۱۹۹۷) تعریف می‌شود:

$$\mu_{\text{Combination}} = (\text{Fuzzy Algebraic Sum})^y * (\text{Fuzzy Algebraic Product})^{1-y} \quad (5)$$

که در آن  $y$  پارامتر انتخاب‌شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی  $y=1$  باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی  $y=0$  باشد، ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه  $y$  بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده‌ی سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی می‌باشند. نتایج به دست آمده از این عملگر نسبت به سایر عملگرها از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد (گرییم اف، ۱۳۷۹). به طور خلاصه اساس کاربرد منطق فازی در GIS مبتنی بر تبدیل نقشه‌های برداری به نقشه‌های شبکه‌ای و تولید نقشه‌های GRID می‌باشد (مالچفسکی، ۱۳۸۵). پهنه‌بندی به روش منطق فازی به صورت خلاصه در شکل (۲) ارایه شده است.



شکل (۲) روش پهنه‌بندی با استفاده از منطق فازی

## بحث و نتایج

### اولویت‌بندی عوامل مؤثر پتانسیل آب زیرزمینی

در منطق‌های کلاسیک، برای وزندهی به هر عامل، قسمت‌هایی که به طور تقریبی از نظر ویژگی‌های دیگر مشابه بوده و عامل مورد نظر تغییر می‌کند در نظر گرفته می‌شود و با مشاهده تغییرات این عامل و تأثیر آن بر پتانسیل آب زیرزمینی، با استفاده از جدول (۱) بر اساس نظر و دید کارشناس نسبت به منطقه عوامل به صورت دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و یکی از وزن‌های جدول انتخاب می‌شود که بستگی به دقت عمل، تجربه و میزان آشنایی کارشناس با منطقه دارد (کلارستاقی، ۱۳۸۱)، وزندهی بر اساس مدل‌های بی‌سیم<sup>۱</sup> و نظریه دمپستر- شفر<sup>۲</sup> که در آن مواردی همراه با سیستم‌های خبره کاوش به کار برده می‌شوند و وزندهی بر مبنای دانش و قضاوت کارشناسی است (چانگ، ۱۹۹۳ و کمپبل، ۱۹۸۳).

1- Linguistic Terms

2- Dempester-Shafer



جدول (۲) محاسبه‌ی وزن‌ها در روش AHP به منظور اضافه شدن به بانک اطلاعاتی

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)				
وزن نرمال	وزن آلترناتیو (وزن داخلی یا تراکم زیرطبقه)	وزن پارامتر (وزن خارجی)	آلترناتیو	پارامتر
۰/۰۸۷۵۶۳	۰/۲۶۸۵۹۷		۱	لیتولوژی
۰/۰۷۹۳۱۶	۰/۲۴۳۳۰۲		۲	
۰/۰۶۱۷۷	۰/۱۸۹۴۸	۰/۳۲۶	۳	
۰/۰۵۷۶۰۵	۰/۱۷۶۷۰۳		۴	
۰/۰۳۹۷۴۵	۰/۳۴۱۴۳۲		۵	
۰/۰۵۹۷۰۴	۰/۲۵۱۹۱۶		۱	آبراهه
۰/۰۸۰۹۱۹	۰/۲۵۱۹۱۶		۲	
۰/۰۴۰۸۶۵	۰/۱۷۲۴۲۶	۰/۲۳۷	۳	
۰/۰۳۴۶۰۴	۰/۱۴۶۰۰۸		۴	
۰/۰۲۰۹۰۸	۰/۰۸۸۲۱۸		۵	
۰/۰۱۴۴۲۳	۰/۰۹۸۷۸۹		۱	تراکم گسل و شکستگی
۰/۰۳۲۲۴۸	۰/۲۲۰۸۷۷		۲	
۰/۰۳۱۵۲۲	۰/۲۱۵۹۰۲	۰/۱۴۶	۳	
۰/۰۴۰۶۱۴	۰/۲۷۸۱۷۵		۴	
۰/۰۲۷۱۹۴	۰/۱۸۶۲۵۷		۵	
۰/۰۵۸۵۸۳	۰/۵۸۰۸۲۹		۱	تغییرات شیب
۰/۰۲۳۳۳۳	۰/۰۲۳۳۳۳		۲	
۰/۰۱۳۰۶۷۴	۰/۱۳۰۶۷۴	۰/۱۰۰	۳	
۰/۰۴۹۰۸۸	۰/۴۹۰۸۸		۴	
۰/۰۰۱۰۷۷	۰/۰۰۱۰۷۷		۵	
۰/۰۱۶۹۱	۰/۱۹۶۶۳۱۱		۱	کاربری اراضی
۰/۰۲۰۰۶۶	۰/۲۳۳۳۳۱		۲	
۰/۰۰۱۸۴۲	۰/۰۲۱۴۲۲	۰/۰۸۶	۳	
۰/۰۰۱۶۹۱	۰/۰۱۹۶۶۵		۴	
۰/۰۴۵۴۹	۰/۵۲۸۹۵۲		۵	
۰/۰۰۳۱۰۳	۰/۰۹۶۹۶۷		۱	توپوگرافی
۰/۰۰۸۷۶	۰/۲۷۳۷۵۲		۲	
۰/۰۱۰۲۷۴	۰/۳۲۱۰۵۹	۰/۰۳۲	۳	
۰/۰۰۷۲۸۵	۰/۲۲۷۶۴۹		۴	
۰/۰۰۲۵۷۸	۰/۰۸۰۵۷۳		۵	
۰/۰۱۵۷۱۹	۰/۴۷۶۳۴۳		۱	جمعیت
۰/۰۰۹۳۳۲	۰/۲۸۲۷۹۲		۲	
۰/۰۰۷۳۰۵	۰/۲۲۱۳۶۱	۰/۰۳۳	۳	
۰/۰۰۰۴۰۲	۰/۰۱۲۱۹۲		۴	
۰/۰۰۰۲۴۱	۰/۰۰۷۳۳۰۸		۵	
۰/۰۱۶۶۳۵	۰/۴۱۵۸۶۷۹۱		۱	چاه‌ها و چشمه‌ها
۰/۰۰۵۱۳۷	۰/۱۲۸۴۱۹		۲	
۰/۰۰۶۷۵۸	۰/۱۶۸۹۳۸۶	۰/۰۴	۳	
۰/۰۰۵۴۸	۰/۰۱۳۶۹۹۲		۴	
۰/۰۰۵۹۹۱	۰/۱۴۹۷۸۱		۵	

جدول (۳) وزن های محاسبه برای پارامترهای مورد استفاده در نرم‌افزار Expert Choice

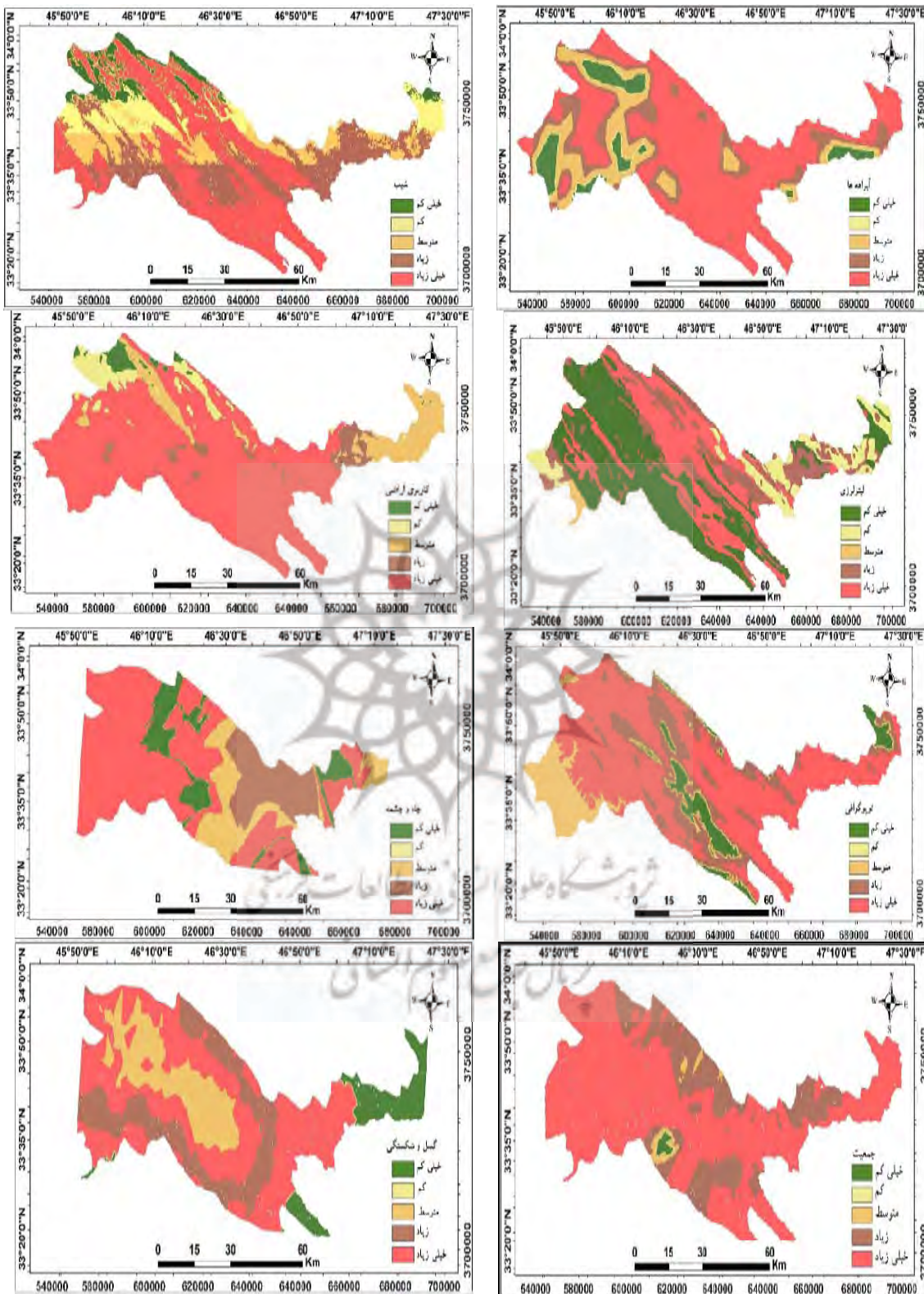
وزن خارجی	لیتولوژی	تراکم زهکشی	خطواره و گسل	تغییرات شیب	کاربری اراضی	توپوگرافی جمعیت	چاه و چشمه
۰/۳۲۶	لیتولوژی	۲	۳	۴	۵	۶	۸
۰/۲۳۷	تراکم زهکشی	۲	۲	۳	۴	۵	۸
۰/۱۴۶	خطواره و گسل	۲	۲	۳	۳	۴	۵
۰/۱۰	تغییرات شیب	۲	۲	۳	۳	۴	۴
۰/۰۸۶	کاربری اراضی	۲	۲	۳	۳	۴	۵
۰/۰۳۲	توپوگرافی	۲	۲	۳	۳	۴	۳
	جمعیت	۲	۲	۳	۳	۴	۲
۰/۰۴	چاه و چشمه	۲	۲	۳	۳	۴	۲

در این مطالعه نیز، نتایج این مقایسه‌ها به صورت یک ماتریس به نرم‌افزار Expert Choice وارد شده و در خروجی آن وزن هر پارامتر تعیین شده است (جدول ۲ و ۳). در این تحقیق بعد از انجام مراحل فوق، از بین عوامل، پارامتر لیتولوژی بیشترین وزن (۰/۳۲۶) و پارامترهای توپوگرافی و جمعیت کمترین وزن (۰/۰۳) را نشان می‌دهند.

#### پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی بر اساس دو روش ذکر شده

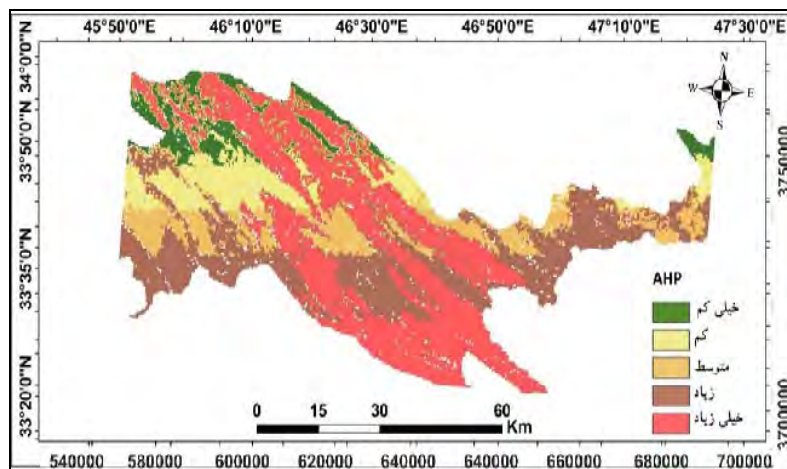
در این مقاله، برای پهنه‌بندی از دو روش AHP و منطق فازی استفاده شده است. در روش AHP برای محاسبه‌ی وزن کلاس‌های هر یک از عوامل (آلترناتیو)، از تراکم سطح آب زیرزمینی در کلاس مورد نظر بهره‌گیری شده است. سپس وزن هر عامل که از ماتریس وزن‌دهی به دست آمده است، در وزن کلاس‌های آن ضرب شده و وزن نرمال کلاس آن عامل، به دست آمده است (جدول ۲). سپس رسترهای وزن‌دار تهیه شده وارد محیط ArcMap شده و با هم تلفیق شده‌اند (شکل ۳) و در نهایت خروجی به دست آمده به عنوان نقشه‌ی پهنه‌بندی معرفی گردیده است (شکل ۴).

در روش Fuzzy، به منظور تجزیه و تحلیل‌های فازی در ابتدا وزن‌های به دست آمده از روش نسبت فراوانی، را با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice نرمال‌سازی نموده و به آنها عدد بین صفر و یک، داده شده است، سپس داده‌ها وارد نرم‌افزار Idrisi شده و با انتخاب نوع و شکل تابع عضویت، هر یک از نقشه‌های مزبور فازی تهیه گردیده است (شکل ۵). بعد از تهیه‌ی نقشه‌ها بر اساس عملگرهای فازی، اطلاعات وارد نرم‌افزار ArcMap شده و از تابع Raster Calculator برای تلفیق و هم‌پوشانی لایه‌ها استفاده شده و خروجی نهایی به عنوان نقشه‌ی پهنه‌بندی تهیه گردیده است (شکل ۶).

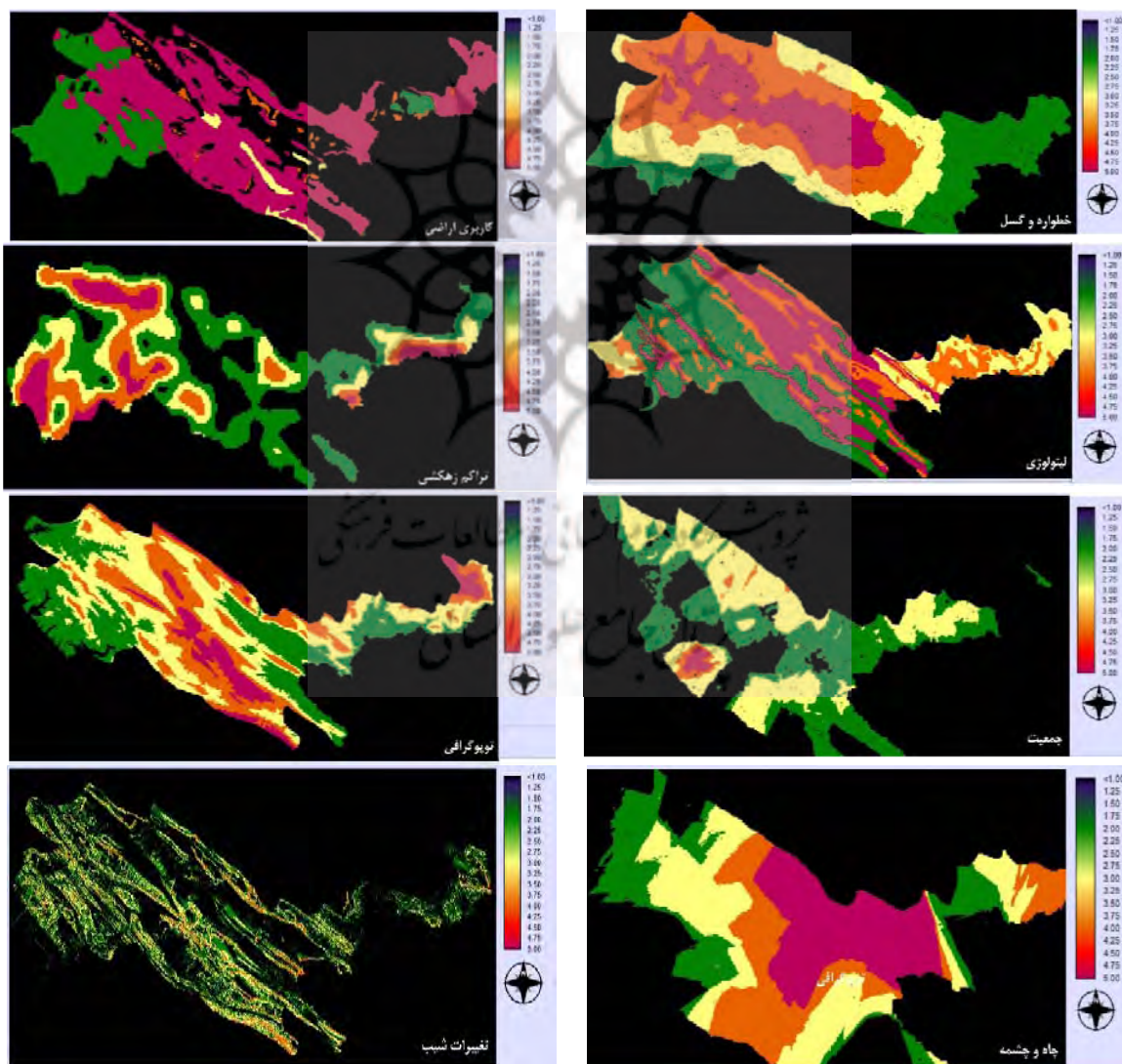


شکل (۳) نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی به روش AHP

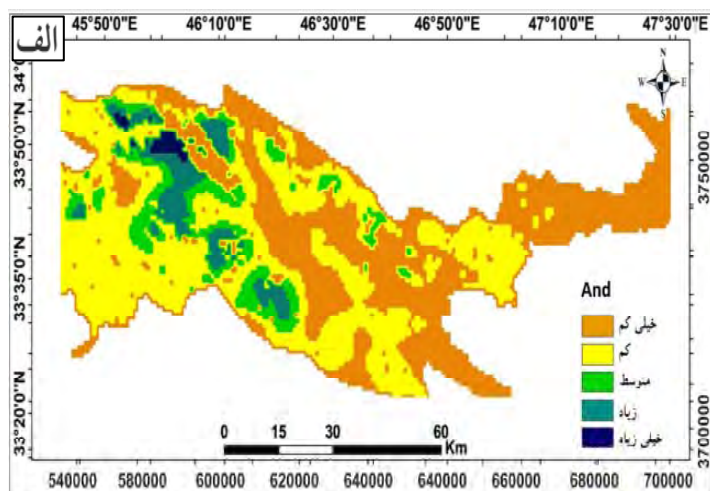




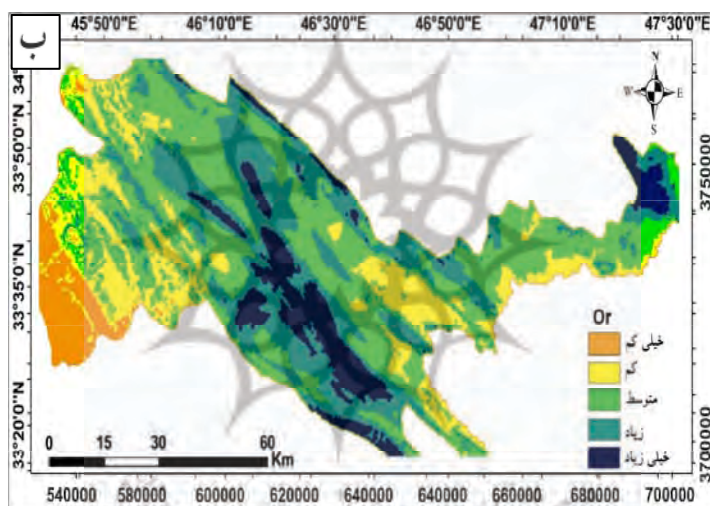
شکل (۴) نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی بر اساس AHP



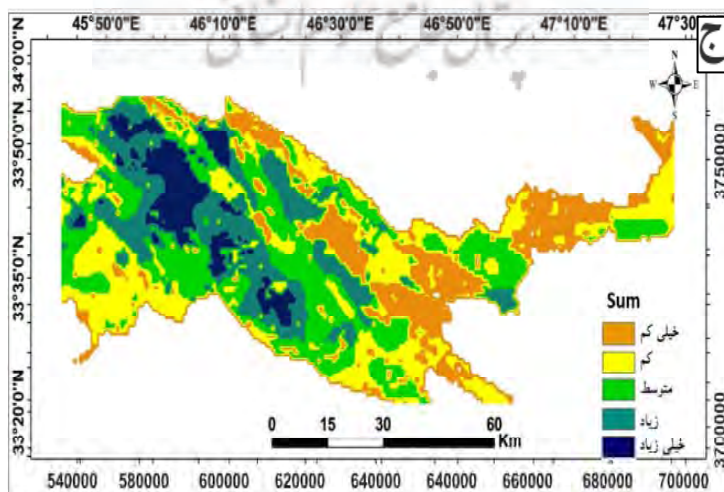
شکل (۵) نقشه‌های وزندار با استفاده از روش fuzzy



شکل (۶) نقشه‌های پهنه‌بندی نهایی آب زیرزمینی با روش منطق فازی، الف) عملگر And.

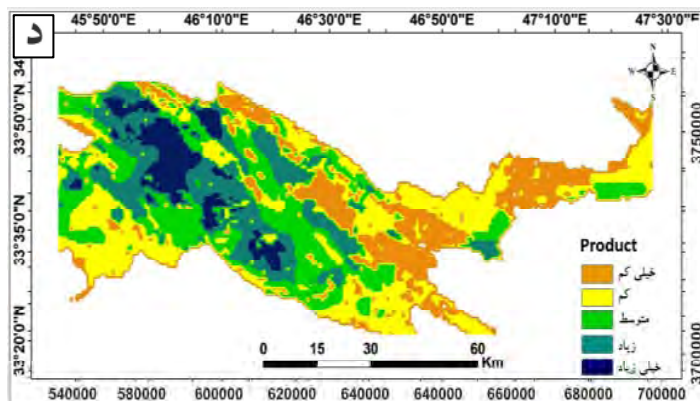


شکل (۷) نقشه‌های پهنه‌بندی نهایی آب زیرزمینی با روش منطق فازی ب) عملگر Or.

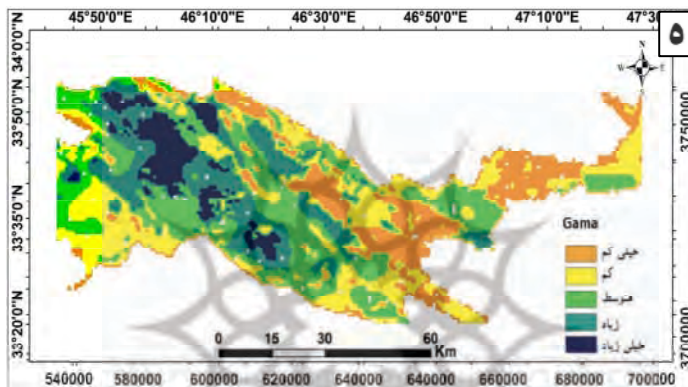


شکل (۸) نقشه‌های پهنه‌بندی نهایی آب زیرزمینی با روش منطق فازی ج) عملگر Sum.





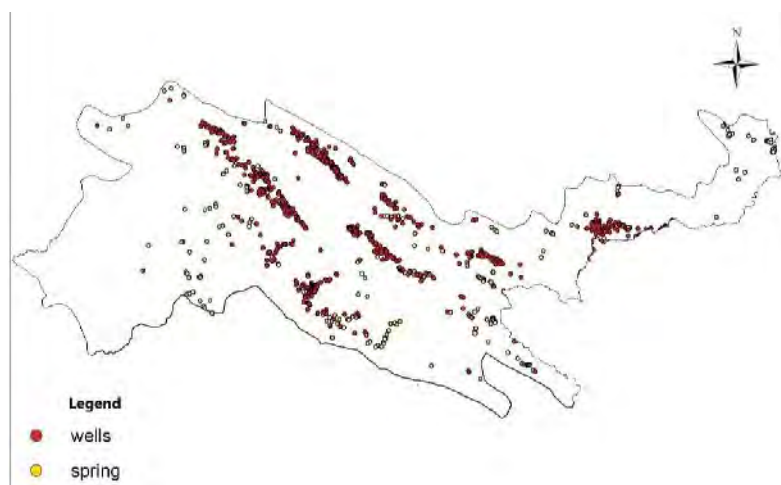
شکل (۹) نقشه‌های پهنه‌بندی نهایی آب زیرزمینی با روش منطق فازی (جد) عملگر Product



شکل (۱۰) نقشه‌های پهنه‌بندی نهایی آب زیرزمینی با روش منطق فازی (ه) عملگر Gama.

جدول (۳) محاسبه درصد و مساحت پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه

پتانسیل آب زیرزمینی	کلاس					مجموع
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	
Ahp	۸/۶	۱۲	۱۳/۱	۲۶/۷	۳۹/۶	٪۱۰۰
OR	۷۸	۳۵۹	۴۶۳/۴	۱۶۱۰/۲	۲۷۰۷/۱	۵۲۱۸ Km <sup>2</sup>
AND	۹	۳۵	۴۶/۱	۱۱/۵	۷/۴	٪۱۰۰
Product	۴۶۹/۶	۱۸۲۶/۳	۲۴۰۵/۵	۶۰۰	۳۸۶	۵۲۱۸ Km <sup>2</sup>
Sum	۵۱	۳۸/۷	۴	۳/۵	۲/۸	٪۱۰۰
Gamma	۲۶۶۱/۲	۲۰۱۹/۴	۲۰۸/۷	۱۸۲/۶	۱۴۶	۵۲۱۸ Km <sup>2</sup>
Product	۲۲	۳۱	۱۴	۲۵	۸	٪۱۰۰
Sum	۱۱۴۸	۱۶۱۷/۶	۷۳۰/۵	۱۳۰۴/۵	۴۱۷/۵	۵۲۱۸ Km <sup>2</sup>
Gamma	۱۴/۳	۲۶/۵	۳۱/۲	۲۰/۲	۷/۸	٪۱۰۰
Product	۷۴۶	۱۳۸۳	۱۶۲۸	۱۰۵۴	۴۰۷	۵۲۱۸ Km <sup>2</sup>
Sum	۱۶/۳	۱۶/۷	۲۸	۳۰/۵	۸/۵	٪۱۰۰
Gamma	۸۵۰/۵	۸۷۱/۴	۱۶/۷	۲۸	۴۴۳/۵	۵۲۱۸ Km <sup>2</sup>



شکل (۱۱) نقشه‌ی مربوط به محل چشمه و چاه‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه

در نتایج حاصل از روش منطق فازی، (اشکال مربوط به روش منطق فازی)، انطباق خوبی میان روش‌های تلفیق فازی Gama, Produce, Sum و And وجود دارد که بیشترین پتانسیل را در سازندهایی با جنس گچ و ژیس که نفوذپذیری و شکستگی کمتری دارند، نشان می‌دهد، این نتیجه با آنچه که در طبیعت وجود دارد تناقض دارد زیرا سازندهایی مانند گچساران دارای پتانسیل خیلی ضعیف برای وجود آب زیرزمینی می‌باشند. اما روش تلفیق فازی OR کاملاً متفاوت از سایر روش‌ها است.

این روش، تطابق خوبی با نقشه‌ی نهایی حاصل از روش AHP دارد و به نظر می‌آید مناسب‌ترین نتیجه را از میان روش‌های ذکر شده برای منطق فازی نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله مراتبی با روش منطق فازی OR، همخوانی خوبی با محل چشمه‌ها و چاه‌های ثبت‌شده در منطقه شمالی استان ایلام دارد (شکل ۷).

### بحث و نتیجه‌گیری

نقشه‌های مربوط به پتانسیل آب زیرزمینی یک تلاش سیستماتیک می‌باشد که به کمک فاکتورهای کلیدی و کنترل‌کننده به دست می‌آید. در این تحقیق از روش منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای تعیین مناسب‌ترین منطقه استحصال آب‌های زیرزمینی در بخش شمالی استان ایلام استفاده شده است. بکارگیری فاکتورهای سطحی و عمقی نشانگر محل‌هایی با پتانسیل آب زیرزمینی، یک جنبه‌ی مهم از مطالعات مدیریت منابع آب می‌باشد. در روش تحلیل سلسله مراتبی، از میان هشت پارامتر تأثیرگذار لیتولوژی، تراکم زهکشی، گسل و شکستگی، تغییرات شیب، کاربری اراضی، توپوگرافی، جمعیت و چشمه و چاه، پارامتر لیتولوژی بیشترین وزن (۰/۳۲۶) و پارامتر توپوگرافی کمترین وزن (۰/۰۳۲) را به خود اختصاص

دادند (شکل ۳ و جدول ۳). با توجه به شکل (۳)، بالاترین نقاط پتانسیل آب زیرزمینی در بخش‌های چین‌خورده‌ای است که سازندهای سخت آهکی و آبرفت دیده می‌شود که مکان مناسبی برای ایجاد شکستگی و انحلال و کارستی شدن این سنگ‌های کربناته و تجمع آب زیرزمینی می‌باشد (شکل ۱). در حدود ۶۵٪ از کل مساحت بخش شمالی استان ایلام، دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد و در حدود ۱۰٪ نیز استعداد خیلی کمی برای وجود آب زیرزمینی دارد. نتایج حاصل با توجه به شکل (۴)، بیشترین پتانسیل مربوط به وجود سازندهای آهکی مانند آسماری و ایلام و آبرفت‌ها و کمترین پتانسیل نیز مربوط به سازندهای نفوذناپذیری مانند گچساران با جنس انیدریت و گچ و سازندهای مارنی و شیلی مانند پابده و گورپی (به ترتیب) می‌باشد.



## منابع

- اعلمی‌ازغدی، علی؛ خراسانی، رضا؛ مکرم، مرضیه و عبدالامیر معزی (۱۳۸۹)، «ارزیابی حاصلخیزی خاک بر اساس فاکتورهای فسفر، پتاسیم و مواد آلی برای گندم با استفاده از GIS و AHP  $\pm$  تکنیک فازی»، آب و خاک، شماره ۵، صص ۹۷۳-۹۸۴.
- خاشعی‌سیوکی، عباس؛ قهرمان، بیژن و مهدی کوچک‌زاده (۱۳۹۰)، «ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت نیشابور)»، پژوهش آب ایران، شماره ۹، صص ۱۷۱-۱۸۰.
- تاناکا، کازوئو (۱۳۸۳)، «مقدمه‌ای بر منطق فازی برای کاربردهای عملی آن»، ترجمه: علی وحیدیان کامیاد و حامد رضا طارقیان، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- عباسی، ثریا (۱۳۸۸)، «استفاده از رهیافت سنجش از دور در شناسایی گسل‌های زیرسطحی و سبک دگرریختی آنها در ناحیه‌ی لرستان»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- فاطمی عقدا، سیدمحمود؛ غیومیان جعفر؛ تشنه‌لب، محمد و عقیل اشقلی فراهانی (۱۳۸۴)، «بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی - مطالعه‌ی موردی منطقه (رودبار)»، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۱، صص ۴۳-۶۴.
- قدسی‌پور، سیدحسن (۱۳۸۴)، «مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی»، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ چهارم، ۲۲۰ صفحه.
- کلارستاقی، عطاله (۱۳۸۱)، «بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی شیرین‌رود ساری»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
- کوره‌پزان دزفولی، امین (۱۳۸۴)، «اصول تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن در مدل‌های مسائل مهندسی آب»، دانشگاه امیرکبیر، جلد ۱، صص ۱۸۱-۱۷۰.
- گریم اف بونهام - کارتر (۱۳۷۹)، «سیستم اطلاعات جغرافیایی برای دانش‌پژوهان علوم زمین»، ترجمه گروه GIS، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- صداقت، محمود (۱۳۷۲)، «زمین و منابع آب (آب‌های زیرزمینی)»، انتشارات دانشگاه پیام نور.

- مالچفسکی، یاچک (۱۳۸۵)، «سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری»، ترجمه، اکبر پرهیزکار و عطا غفاری گیلانده، تهران، انتشارات سمت، صص ۳۶۴-۳۷۰.
- مؤمنی، منصور و علیرضا شریفی سلیم (۱۳۹۰)، «مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه»، مؤلف. صص ۵-۲.
- نیکنام، رامین؛ محمدی، کورش و وحید جوهری‌مجد (۱۳۸۶)، «ارزیابی آسیب‌پذیری سفره‌ی آب زیرزمینی تهران کرج با روش DRASTIC و منطق فازی»، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۳، صص ۳۹-۴۷.
- Champati-ray, P.K., Dimri, S., Lakhera, R.C., and Sati, S., (2007), "**Fuzzy- based Method for Landslide Hazard Assessment in Active Aeismic Zone of Himalaya**", *Landslides*, Vol. 4, PP: 101-111.
- Gooijer, J., Hyndman, R., (2006), "**25 Years of Time Series Forecasting**", *International Journal of Forecasting*, No. 2, PP: 443- 473.
- Greenbaum, D., (1992), "**Structural Influences on the Occurrence of Groundwater in SE Zimbabwe**", Geological Society, London, Special Publications, Vol. 66, PP: 77-85.
- Imran Dar, A., Sankar, K., Dar, M.A., (2010), "**Remote Sensing Technology and Geographic Information System Modeling: an integrated Approach towards the Mapping of Groundwater Potential Zones in Hardrock Terrain, Mamundiyar Basin**", *Journal of Hydrology*, Vol. 394, PP: 285-295.
- Israil, M., Al-hadithi, M., Singhal, D.C., (2006), "**Application of a Resistivity Survey and Geographical Information System (GIS) Analysis for Hydrogeological Zoning of a Piedmont Area, Himalayan Foothill Region, India**", *Journal of Hydrology*, Vol. 14, PP: 753-759.
- Jaiswal RK, Mukherjee S, Krishnamurthy J, Saxena R, (2003), "**Role of Remote Sensing and GIS Techniques for Generation of Groundwater Prospect Zones towards Rural Development—an Approach**", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, PP: 993-1008.
- Koorehpazan Dezfuli A., (2008), "**Theoretical Principles of Fuzzy Set Theory and Its Application in Modeling the Water Engineering Issues**", Amirkabir University of Technology, Jahad- Daneshgahi Publication, PP: 262.
- Laffan, Shawn, (2003), "**Rapid Appraisal of Groundwater Using Fuzzy Logic and Topography, Australia**".



- Iiewellyn, J.H., (1974), “**Geological Map of Ilam- Kuhdasht, Iranian Oil Operating Companies**”.
- Lu, L., Zhi-Hua, Shi. Wei, Y., Dun Z., Sai Leung N., G., Chong-Fa, C., and A-Lin L. (2009), “**A Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Approach to Eco-environmental Vulnerability Assessment for the Dnjiangkou Rrvoir Area**”, China, Ecological Odelling, Vol. 220, PP: 3439-3447.
- Macleod, J.H., (1971), “**Geological map of Naft, Iranian Oil Operating Companies**”.
- Macleod, J.H., (1972), “**Geological map of Kuhdasht, Iranian Oil Operating Companies**”.
- Mukherjee, S., (1996), “**Targetting Saline Aquifer by Remote Sensing and Geophysical Methods in a Part of Hamirpur–Kanpur, India**”, Journal of Hydrology, Vol. 19, PP: 1867–1884.
- Rather J.A., Andrabi Z.A.B.R., (2012), “**Fuzzy Logic Based GIS Modeling for Identification of Ground Water Potential Zones in the Jhagrabaria Watershed of Allahabad District, Uttar Pradesh, India**”, Inteational Journal of Advances in Remote Sensing and GIS, Vol. 1, PP: 218-233.
- Roy, A.K., (1996), “**Hydromorphogeological Mapping for Ground Water Targeting and Development in Dehradun Valley**”, Surya Publications, Dehradun.
- Sandham, W.A and Leggett, M., (1997), “**Geophysical Applications of Artificial Neural Networks and Fuzzy Logic**”: Overview and survey, 59th Ann. Internal. Mtg., Eur. Assn. Geoscince. Eng., Preconference Workshop on Geophysical Aplication of Articial Neural Networks and Fuzzy Logic, P: 0.1.
- Zadeh, L.A., (1965), “**Fuzzy Sets**”, Journal of Information and Cintrol, No, 8, PP: 338-353.
- Zadeh, L.A., (1973), “**Outline of Approach to Analysis of Complex System and Decision Process**”, IEEE Trans on System Man and Cybernetic, SMC, Vol. 1, PP: 28- 44.