

شناسایی مناطق کارستی با استفاده از مدل دمپسترشافر و روش فازی (منطقه مورد مطالعه: شمال غرب استان فارس)

مرضیه مکرّم* - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز.
مجید حجتی - کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیائی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۲۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴

چکیده

سرزمین‌های کارستی آب آشامیدنی ۲۵ درصد از جمعیت جهان را تأمین می‌کنند. منابع اقتصادی کارست، اهمیت سرزمین‌های کارستی در کشاورزی و دارا بودن عوامل اقلیمی دیرینه به منظور شناسایی تحولات ژئومورفولوژی مشخص می‌نماید. از طرفی مطالعه کارست‌ها در مناطق خشک به دلیل مناطق مناسبی که برای ذخیره سفرهای آب شیرین محسوب می‌شوند، بسیار مهم به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت موضوع هدف از این مطالعه تعیین مناطق کارستی با استفاده از الگوریتم جدیدی به نام دمپسترشافر و مقایسه آن با روش فازی می‌باشد. به منظور تعیین مناطق مستعد کارست از داده‌های زمین‌شناسی، فاصله از گسل، بارندگی، ارتفاع، دما، فاصله از رودخانه، شیب در محیط GIS استفاده شد. در روش فازی بعد از تهیه نقشه فازی برای هر یک از پارامترها به روش تحلیل سلسله مراتبی وزن هر یک از لایه‌ها مشخص شد. نتایج حاصل از مقایسه زوجی در روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که با توجه به نرخ ناسازگاری $0/01$ وضعیت زمین‌شناسی دارای بیشترین وزن ($0/297$) و شیب کمترین اهمیت (وزن $0/045$) در تعیین مناطق کارستی منطقه مورد مطالعه دارند. نتایج حاصل از روش فازی نشان داد که غرب منطقه احتمال وجود مناطق کارستی بیشتر است. در حالیکه نتایج حاصل از روش دمپسترشافر نشان دادند که مناطق غرب دارای مناطق کارستی بهتری نسبت به سایر مناطق هستند. با مقایسه دو روش و مقایسه آن با میزان فاصله از جاده نشان داد که روش دمپسترشافر دارای دقت بالاتری نسبت به روش فازی می‌باشد. بطوریکه در روش دمپسترشافر با افزایش سطح اطمینان و کاهش ریسک پذیری احتمال وجود مناطق کارستی کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: مناطق کارستی، مدل دمپسترشافر، روش فازی، روش تحلیل سلسله مراتبی، GIS.

مقدمه

به مجموعه فرایندهای زمین شناسی و پدیده‌های حاصل از انحلال سنگ‌ها کارست گفته می‌شود که با تشکیل بازشدگی‌ها، تخریب و تجزیه ساختمان و وضعیت سنگ‌ها مشخص می‌شود. محیط‌های کارستی از سنگ‌های انحلال پذیر و عمدتاً از سنگ‌های بیکربناته نظیر سنگ‌های آهکی، تشکیل یافته‌اند که محیطی مناسب برای بسیاری از فعالیتهای انسانی به ویژه تأمین منابع آب جهت استفاده شرب، کشاورزی، صنعت، و... می‌باشند. همچنین از دیدگاه منابع معدنی، ذخایر عظیمی از هیدروکربورها (نفت و گاز) در سازندهای کارستی موجود می‌باشند. از طرفی حدود ۲۵ درصد جمعیت جهان، آب مورد نیاز خود را از آبخوان‌های کارستی تأمین می‌کنند. بسیاری از روستاها و شهرهای به منابع آب کارستی وابسته هستند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین مطالعه کارست‌ها و تعیین مکان‌های کارستی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اهمیت موضوع برای مدیران، مطالعه در زمینه شناخت محیط‌های کارستی، ویژگی‌ها و نقش آنها در تغذیه منابع آب زیرزمینی و سایر منابع مهم می‌باشد.

مدل‌سازی مناطق کارستی یک موضوع جدید است که با پیشرفت GIS و RS توسط هوقس و همکاران^۱ (۲۰۰۶) و رادولویک^۲ (۲۰۱۲) مورد توجه قرار گرفت. قبل از این مطالعات، پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه تغذیه آبخوان‌های کارستی در حیطه مباحث هیدرودینامیکی و تعیین نوع تغذیه و نوع جریان بوده و بر ویژگی‌های منطقه انتقالی آبخوان تأکید داشته‌اند. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به بایو همکاران^۳ (۲۰۱۳)، فبلس و همکاران^۴ (۲۰۱۲)، وانگ و همکاران^۵ (۲۰۰۴)، و ژو و همکاران^۶ (۲۰۱۵) اشاره نمود.

کوتا و همکاران^۷ (۲۰۱۲) به بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی و هیدرودینامیکی در آبخوان پرداختند. یافته‌های تحقیق نشان داد که پاسخ هیدروشیمیایی و هیدرودینامیکی در آبخوان‌های کارستی به شرایط جریان در این آبخوان‌ها بستگی دارد. طاحونی^۸ (۱۳۷۴) به بررسی و شناخت اشکال کارست در منطقه دشت ارژن و کازرون به منظور تخمین حجم آبهای زیرزمینی پرداخت که با در نظر گرفتن عوامل ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی مناطق کارستی طبقه بندی گردید. شجاع و محمدی (۱۳۸۹) به بررسی اثر میزان و مقدار بارندگی در چشمه کارستی پیرغار بر روی شکل هیدروگراف و مشخصات هیدروژئولوژیکی آن پرداختند. نتایج نشان داد که با تغییر مقدار بارش ممکن است بخش‌های جدیدی از سیستم کارست در سفره فعال شود. شکری (۱۳۹۰) به مطالعه و بررسی توسعه کارست در حوضه آبرگیر چشمه علی دامغان با تلفیق مطالعات هیدروژئولوژی RS و GIS پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین درصد مساحت تشکیل دهنده حوضه آبرگیر چشمه دارای توسعه متوسط کارست بوده است. مرادی و همکاران (۲۰۱۶) از روش فازی به منظور تهیه نقشه مناطق مستعد کارست استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روش فازی دارای دقت خوب به منظور شناسایی مناطق کارستی می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیتی که مطالعه کارست‌ها و شناسایی آنها در حوضه‌های آبریز دارد، در این مطالعه مناطق کارستی شمال غرب استان فارس با استفاده از روش فازی و مدل دمپسترشافر^۹ با درجه سطوح اطمینان متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. مراحل تحقیق در فلوچارت زیر نشان داده شده است:

^۱ . Hughes, et al

^۲ . Radulovic

^۳ . Bai

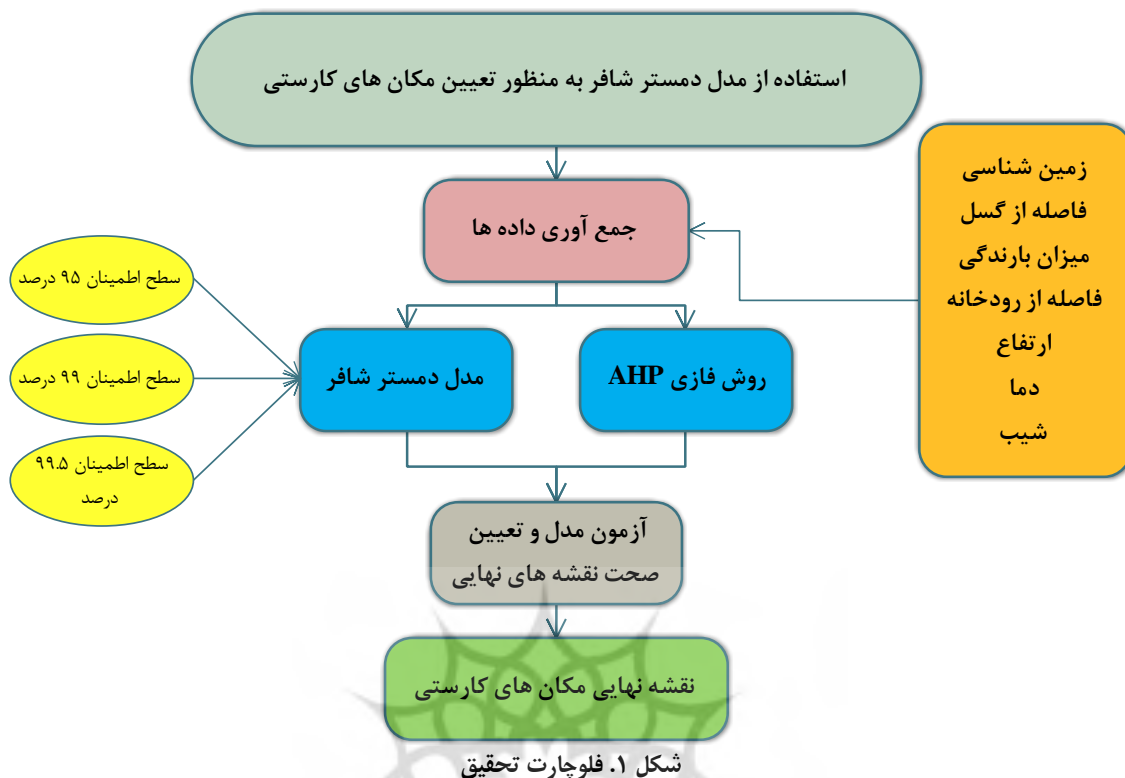
^۴ . Febles

^۵ . Wang

^۶ . Xu

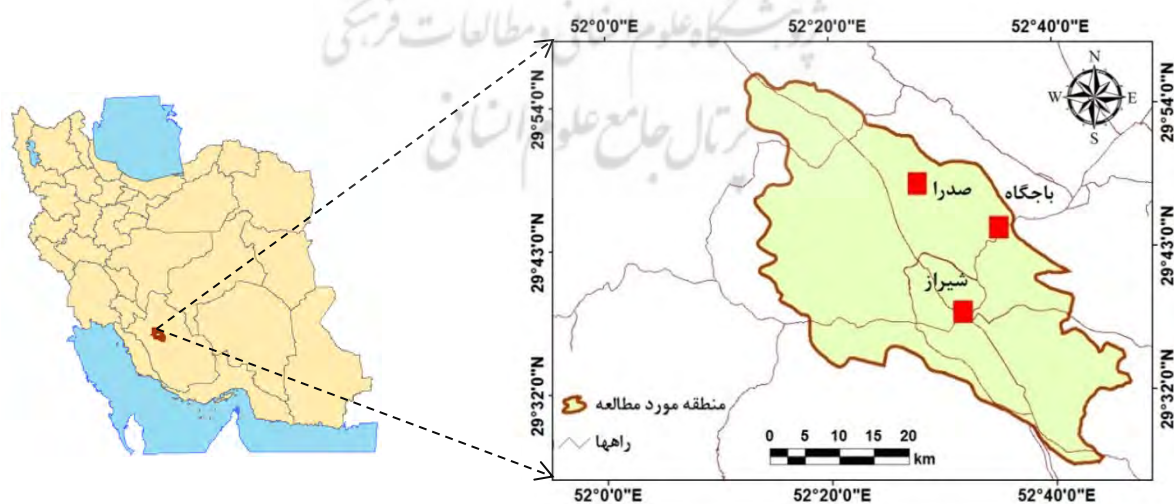
^۷ - Kuhta

^۹ Dempster° Shafer theory



منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال غرب استان فارس، ایران در موقعیت جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و ۵۲ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۸ دقیقه واقع شده است (شکل ۲). مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۴۲۸ کیلومتر مربع می‌باشد. بیشترین و کمترین ارتفاع در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۲۹۸۴ و ۱۴۳۳ متر می‌باشد.



روش تحقیق

روش فازی و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

تابع عضویت مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می کند و در واقع به تابعی که میزان درجه عضویت المان های مختلف را به یک مجموعه نشان می دهد، تابع عضویت گویند. تابع عضویت در مدل فازی به صورت معادله ۱ تعریف می شود:

$$A = \{x, \mu_A(x)\} \text{ for each } x \in X \dots \dots \quad (1)$$

μ_A تابع عضویتی است که درجه عضویت x را در مجموعه A تعریف می کند. مقداری که این تابع عضویتها اتخاذ می کنند بین ۰ تا ۱ است.

در این مطالعه با توجه به وجود انواع توابع عضویت، از تابع عضویت خطی طبق جدول زیر برای فازی کردن هر یک از فاکتورهای مؤثر استفاده شد. به منظور تعریف قوانین فازی برای هر یک از پارامترها از جدول ۱ استفاده شد:

جدول ۱. اهمیت هر یک از پارامترها به منظور تعیین مناطق کارستی

پارامتر	نامناسب	مناسب
زمین شناسی	حساسیت کم	حساسیت زیاد
فاصله از رودخانه	کمتر از ۵۰۰ متر	بیشتر از ۱۵۰۰ متر
فاصله از گسل	کمتر از ۱۰۰۰ متر	بیشتر از ۲۰۰۰ متر
شیب	کمتر از ۵ درصد	بیشتر از ۳۵ درصد
بارندگی	کمتر از ۷۰۰ میلی متر	بیشتر از ۱۰۰۰ میلی متر
ارتفاع	کمتر از ۱۰۰۰ متر	بیشتر از ۲۵۰۰ متر
دما	بیشتر از ۲۰ درجه	کمتر از ۱۰ درجه

با توجه به جدول ۱ مشخص می شود که حدود بحرانی برای تعیین توابع عضویت برای هر یک از پارامترها مقادیر واقع در ستون نامناسب و مناسب می باشد. به عنوان مثال در مواردی که دما بیشتر از ۲۰ درجه باشد عدد ۰ و کمتر از ۱۰ درجه باشد عدد ۱ و بین ۱۰ تا ۲۰ عدد بین ۰ تا ۱ را دریافت می کند. به این ترتیب تابع عضویت در محیط GIS برای هر یک از پارامترها تهیه می شود.

به منظور تهیه نقشه نهایی برای هر یک از لایه ها با توجه به درجه اهمیتی دارند طبق روش AHP وزنی در نظر گرفته شد. روش AHP بر مقایسه جفتی هر یک از پارامترها تکیه دارد. هر یک از فاکتورها بر اساس درجه اهمیتی که برای تعیین کارستی بودن منطقه دارند در محدوده ای از ۱ تا ۹ قرار می گیرند (Saaty & Vargas, 2001).

به عبارت دیگر به کمک ماتریس مقایسه زوجی طبق معادلات ۲ و ۳ ارزش و اهمیت هر معیار نسبت به دیگر معیارها را می توان مشخص نمود.

$$a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که i و j و k مقادیر مربوط به ماتریس مورد بررسی می‌باشد.

در محیط GIS بعد از تعیین وزن برای هر یک از پارامترها با اختصاص دادن وزن مربوطه به هر یک از لایه‌ها و همپوشانی آن‌ها نقشه نهایی تهیه می‌شود.

روش دمپسترشافر

تئوری دمپسترشافر که توسط دمپستر در سال ۱۹۷۶ معرفی شد (Dempster, 2008) و به وسیله شافر در سال ۱۹۷۹ بسط داده شده است (Shafer, 1976)، بر اساس باوری است که از شواهد نتیجه می‌شود به طوری که ساختار باور تئوری شاهد به مدل احتمال کلاسیک مربوط می‌شود. به طور کلی به منظور یافتن درجات اطمینان متفاوت برای تهیه نقشه‌های مناطق کارستی به کمک این الگوریتم مراحل زیر دنبال می‌شود:

فرض کنید یک مجموعه متناهی از عناصر است، یک عنصر می‌تواند یک فرضیه، یک هدف، یا موردی از وضعیت یک سیستم باشد. را چارچوب تشخیص می‌نامیم. مجموعه توان Ω ، به وسیله K معین می‌شود. به عنوان مثال فرض کنید

$$\theta = \{a, b, c\}$$

$$\Omega(\theta) = \{\phi, \{a\}, \{b\}, \{c\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{b, c\}, \{a, b, c\}\}$$

(رابطه ۴)

مجموعه تهی که بر وضعیت سیستم بی‌نقص دلالت دارد. $A = \{a, b\}$ زیر مجموعه است، یعنی $A \subset \theta$ بنا بر این A نقص سیستم در a یا b را بیان می‌کند و نقص سیستم را در a یا b یا c بیان می‌کند (Shafer 1976).

تابع جرم، عناصر کانونی و عناصر هسته اصلی

به منظور نشان دادن درجه اطمینان از هر زیر مجموعه چارچوب تصمیم‌گیری تابع جرم تعریف می‌شود (Chaabane et al. 2008). این تابع تمامی قطعیت که برای یک وضعیت وجود دارد را مدل می‌کند. تابع جرم را با m مشخص می‌کنند که به صورت روابط ۵ تا ۷ تعریف می‌شود:

$$m: \Omega(\theta) \rightarrow [0,1] \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\Omega(\theta) = 0 \quad (6)$$

$$\sum_{A \subset \Omega(\theta)} m(A) = 1 \quad (7)$$

رابطه ۵ به این معنا است که دامنه این تابع روی تمامی اعضای مجموعه چارچوب تشخیص (یعنی Ω) و برد آن در بازه بسته بین ۰ و ۱ است. تابع جرم m را یک تابع تخصیص احتمال اولیه (bpa^1) می‌نامند. $m(A)$ بیانگر نسبت سهم مجموعه A از تمام شواهد مربوطه و در دسترس است و از ادعایی که در مورد عنصر خاصی از Ω و متعلق به مجموعه A

¹ Basic probability assignment

است، (متعلق به مجموعه و نه به زیرمجموعه خاصی از A)، پشتیبانی می‌کند. در بررسی وضعیت دارای نقص سیستم، $m(A)$ می‌تواند به عنوان درجه باوری مطرح شود که توسط مشاهده مربوط به نقصی خاص، حاصل شده است. ممکن است اطلاعات و یا شواهد متفاوت، درجات متفاوتی از باور را نسبت به نقص داده شده، ایجاد کنند. هر زیر مجموعه A از یک عنصر کانونی^۱ نامیده می‌شود به طوری که $m(A) > 0$ ، همچنین c به عنوان یک عنصر هسته‌ای از تابع جرم در به صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود (Shafer 1976).

$$c = U_{m(A) \neq 0} A \quad (\text{رابطه ۶})$$

توابع باور^۲ و توابع موجه بودن^۳

تابع باور به صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود:

$$Bel(A) = \sum_{B \subset A} m(B) \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$Bel: \Omega(\theta) \rightarrow [0,1]$$

تابع موجه بودن به صورت رابطه ۸ تعریف می‌شود:

$$Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A}) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m(B) \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$Pl: \Omega(\theta) \rightarrow [0,1]$$

تابع $Bel(A)$ مقدار کل احتمالی که باید در میان عناصری از A باشد را اندازه گیری می‌کند و به معنای حتمیت و معنی داری از باور A و به منزله حد پایینی روی احتمال A است.

تابع $Pl(A)$ حداکثر مقدار احتمالی را که می‌تواند در میان عناصر A توزیع شود را اندازه گیری می‌کند. $Pl(A)$ درجه باور کلی مربوط به A را توصیف می‌کند و به منزله تابع حد بالایی روی احتمال A است (Shafer 1976).

بازه باور^۴ $[Bel(A), Pl(A)]$

این فاصله، فاصله باور عدم قطعیت را منعکس می‌کند و اندازه فاصله $Pl(A) - Bel(A)$ نادانسته‌های مربوط به A را توصیف می‌کند. همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، بازه‌های باور متفاوت، معنای متفاوتی را در بر خواهند داشت. تابع موجه بودن به واسطه تابعی به نام شک^۵، به تابع باور مرتبط شده و بر طبق رابطه ۹ به صورت تعریفی از باور بیان می‌شود (Shafer 1976):

^۱ Focal element

^۲ belief

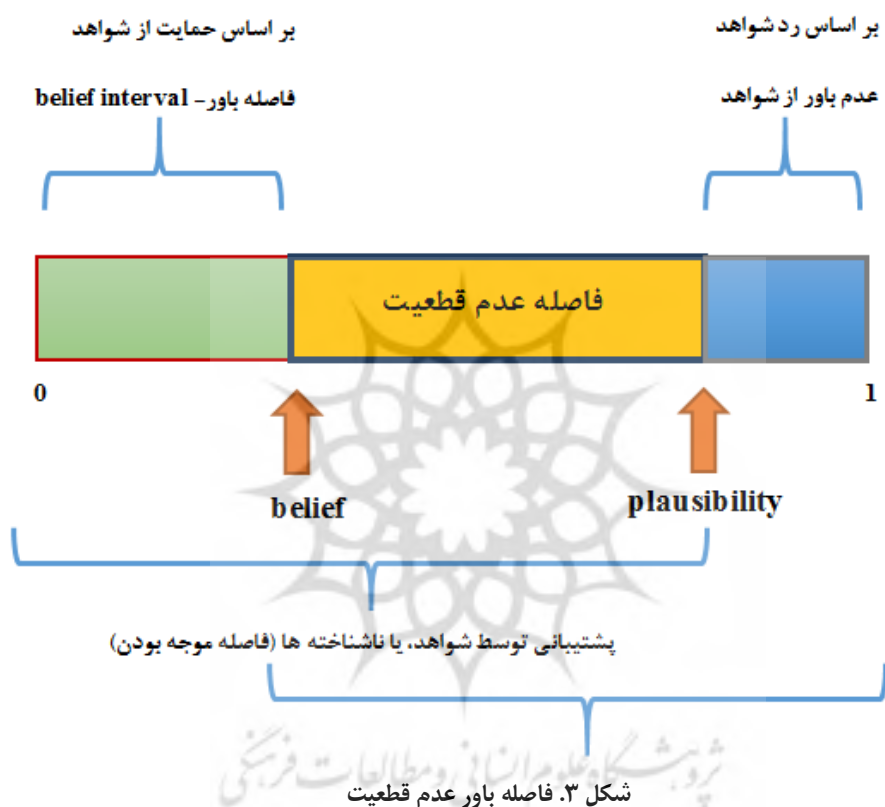
^۳ plausibility

^۴ Belief interval

^۵ Doubt

$$\begin{cases} Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A}) \\ Pl(A) = 1 - Doubt(A) \end{cases} \quad (\text{رابطه ۹})$$

شکل ۳ فاصله باور عدم قطعیت را نشان داده است.



جدول ۲ بازه‌های باور و مفهوم مرتبط به هر بازه

بازه	توضیح
[0,0]	مطمئناً هیچ حمایتی از فرضیه نمی‌شود
[1,1]	از فرضیه به طور مطلق پشتیبانی می‌کنیم
[0,1]	اطلاعات مطلقاً ناشناخته است و نمی‌توان استدلالی از شواهد داشت
	حمایت از فرضیه و تصمیم‌گیری (مثال)
[0.3,1]	متماایلیم از فرضیه حمایت کنیم.
[0,0.6]	حمایت از فرضیه، کاهش می‌یابد

برخی از خواص توابع باور و موجه بودن به صورت زیر است:

قواعد ترکیب شواهد

فرض کنید m_1 و m_2 دو تابع جرم به دست آمده از دو منبع اطلاعات متفاوت، بر اساس اطلاعات در دسترس باشد. چارچوب تشخیص برای هر دو منبع اطلاعاتی، یکسان است. مطابق قانون متعامد دمپستر (Shafer 1976) داریم؛

$$m(\phi) = 0 \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$$m(A) = \frac{1}{1-k} \sum_{B \cap C = A} m_1(B) \cdot m_2(C) \quad (13)$$

به طوری که

$$K = \sum_{B \cap C = A} m_1(B) \cdot m_2(C) > 0 \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

K جرم احتمال پایه مربوط ناسازگاری میان منابع شواهد را ارائه می‌دهد. طبق رابطه ۱۰، K از مجموع ضرب توابع جرم تمام زیر مجموعه‌هایی که اشتراک آنها تهی است، به دست می‌آید. عموماً K را به عنوان اندازه ناسازگاری بین منابع اطلاعات تفسیر می‌کنند. مقدار بزرگتر K بیانگر ناسازگاری بیشتر منابع است. مخرج $1-k$ در تساوی ۹، فاکتور نرمال کردن^۱ است. m نیز، تابع جرم در چارچوب تشخیص یکسان می‌باشد.

توجه کنید که جمع متعامد $m = m_1 + m_2$ ، ترکیب m_1 و m_2 را نشان می‌دهد و اطلاعات مشترکی از دو منبع را در بردارد. در ترکیب شواهد روابط زیر برقرار است:

$$m_1 \oplus m_2 = m_2 \oplus m_1 \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$m_1 \oplus (m_2 \oplus m_3) = (m_1 \oplus m_2) \oplus m_3 \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

به طور کلی برای n تابع جرم m_1, m_2, \dots, m_n اندازه ناسازگاری k به صورت زیر داده می‌شود:

$$k = \sum_{\bigcap_{i=1}^n E_i = \phi} m_1(E_1) \cdot m_2(E_2) \dots m_n(E_n) > 0 \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

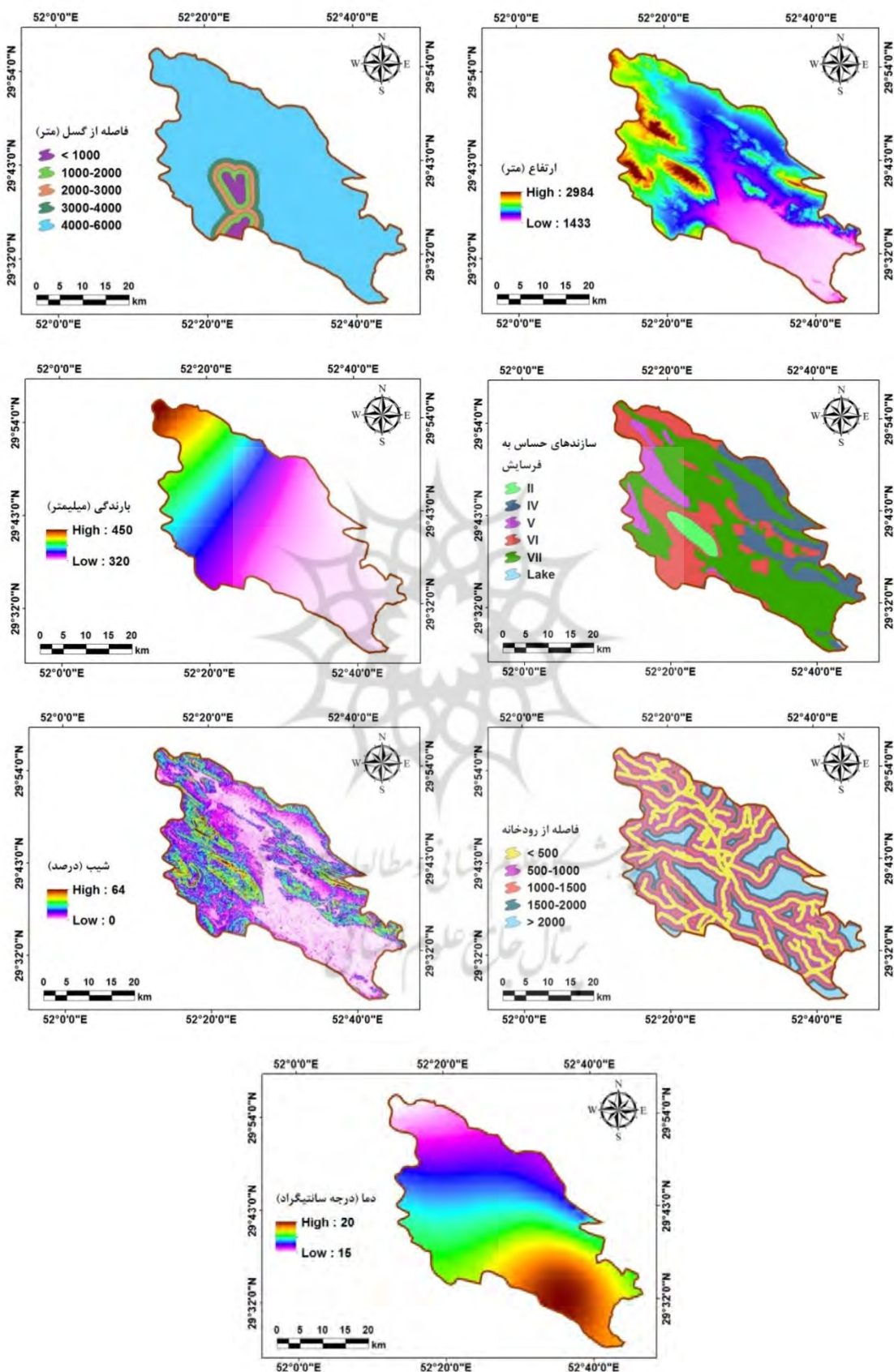
پس ترکیب تابع جرم به صورت زیر می‌شود:

$$m(A) = (m_1 \oplus m_2 \oplus \dots \oplus m_n)(A) = \frac{1}{1-k} \sum_{\bigcap_{i=1}^n E_i = A} m_1(E_1) \cdot m_2(E_2) \dots m_n(E_n) \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

بحث و یافته‌ها

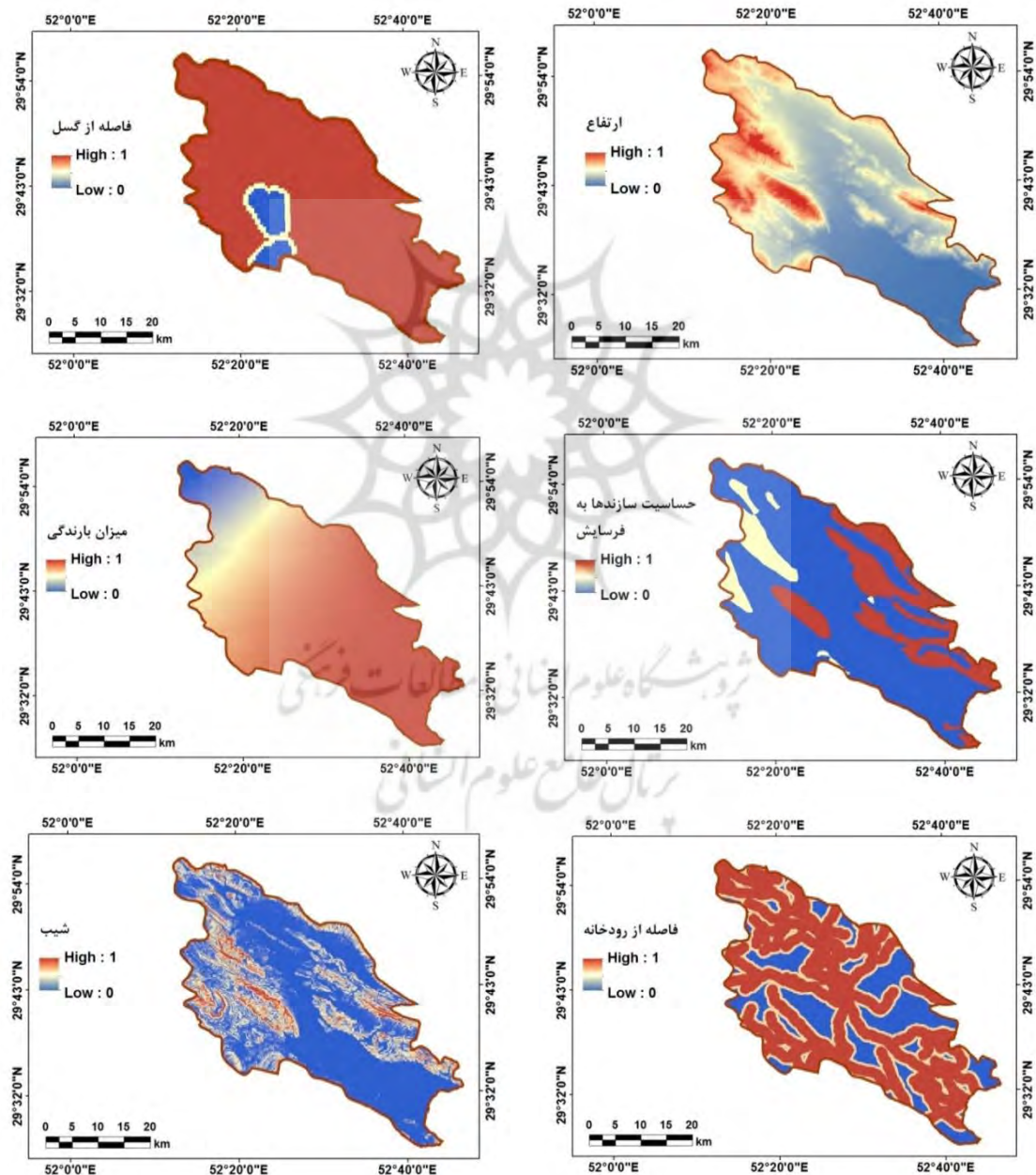
از لایه‌های زمین شناسی (سازندهای حساس به فرسایش)، فاصله از گسل، بارندگی، ارتفاع، دما، فاصله از رودخانه و شیب به عنوان داده‌های ورودی برای تعیین مناطق مستعد کارستی استفاده شد (شکل ۴).

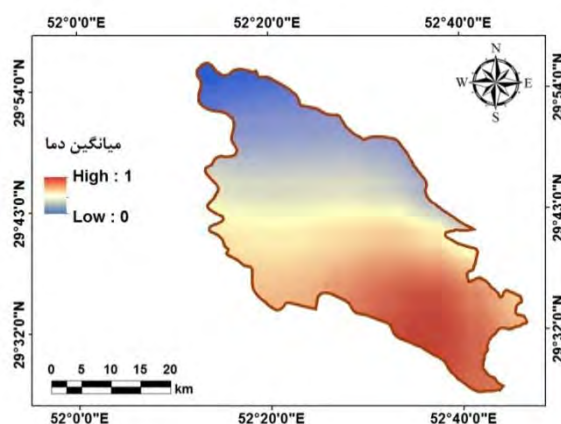
^۱ Normalization factor



شکل ۴. نقشه‌های پهنه بندی پارامترهای مؤثر بر مناطق کارستی

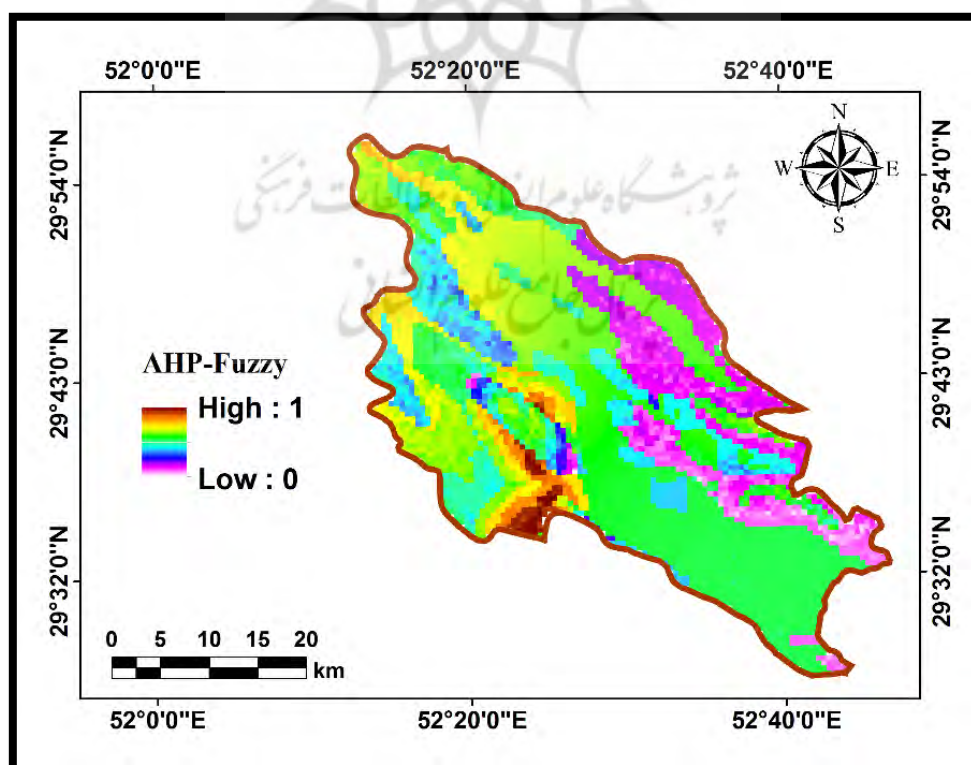
با استفاده از مطالعات مردای و همکاران (۲۰۱۶) طبق جدول ۱، قوانین فازی برای هر یک از پارامترها تعریف شد. به طوریکه با در نظر گرفتن محدوده مجاز هر یک از پارامترها و اختصاص دادن عدد صفر به مقادیر نامناسب و عدد ۱ برای مقادیر مجاز، و بین آن‌ها محدوده‌ای بین صفر تا یک در نظر گرفته شد (شکل ۵).





شکل ۵. نقشه فازی هر یک از پارامترهای مؤثر در تعیین مناطق کارستی

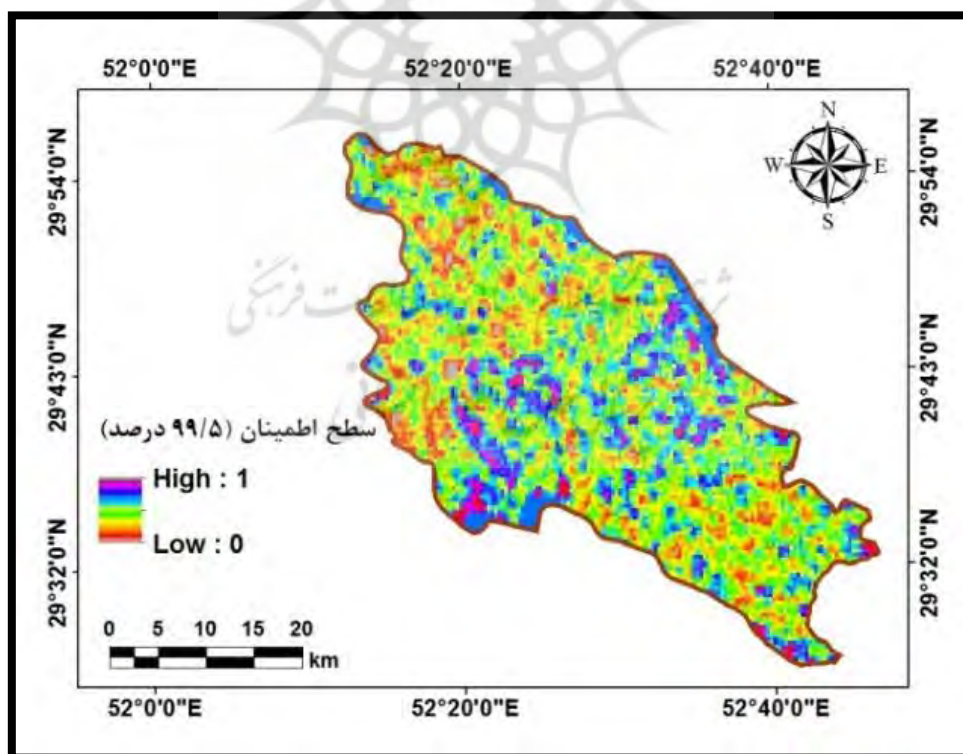
در نهایت با استفاده از روش AHP بر اساس درجه اهمیتی هر یک از پارامترها برای تعیین مناطق کارستی دارند (بر اساس مطالعات مرادی و همکاران، ۲۰۱۶)، وزن هر یک از پارامترها تعیین شد. نتایج حاصل از مقایسه زوجی هر یک از این پارامترها نشان داد که با توجه به نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ و وضعیت زمین شناسی دارای بیشترین وزن (۰/۲۹۷) و شیب کمترین اهمیت (وزن ۰/۰۴۵) در تعیین مناطق کارستی منطقه مورد مطالعه دارند (جدول ۳). در نهایت در محیط GIS با توجه به نقشه‌های فازی و وزن هر یک از لایه‌ها، نقشه نهایی مناطق کارستی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. با توجه به شکل مشخص می‌شود که در غرب منطقه مورد مطالعه امکان وجود کارست بیشتر از مناطق شمالی می‌باشد.



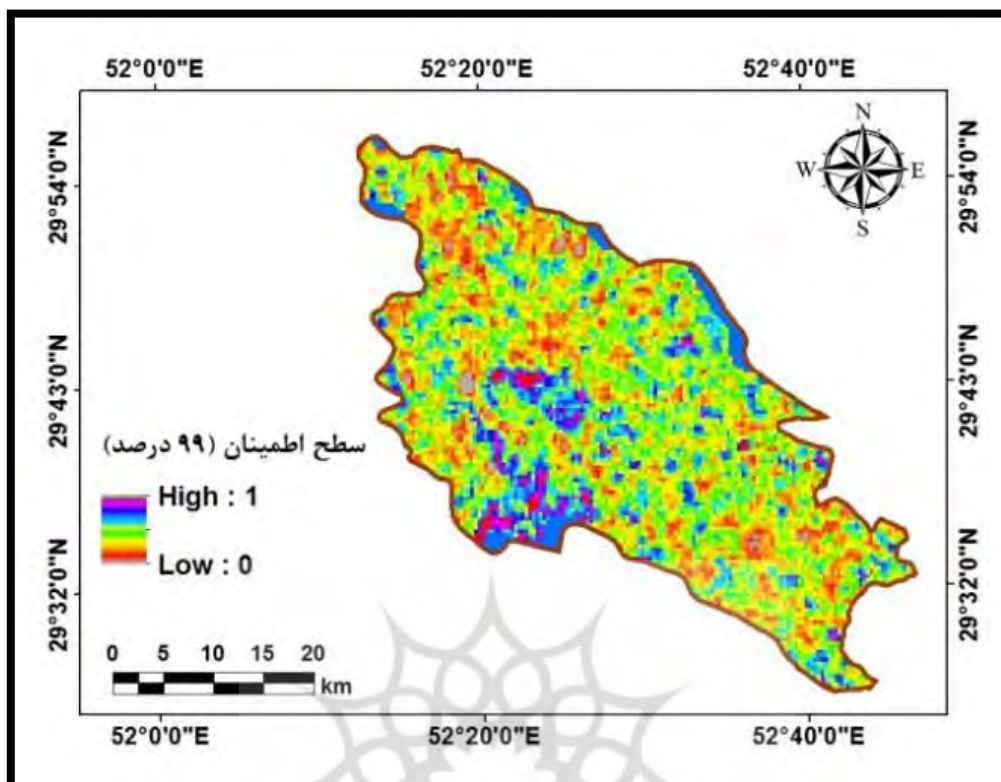
شکل ۶. نقشه نهایی مناطق کارستی با استفاده از روش فازی

روش دمپسترشافر

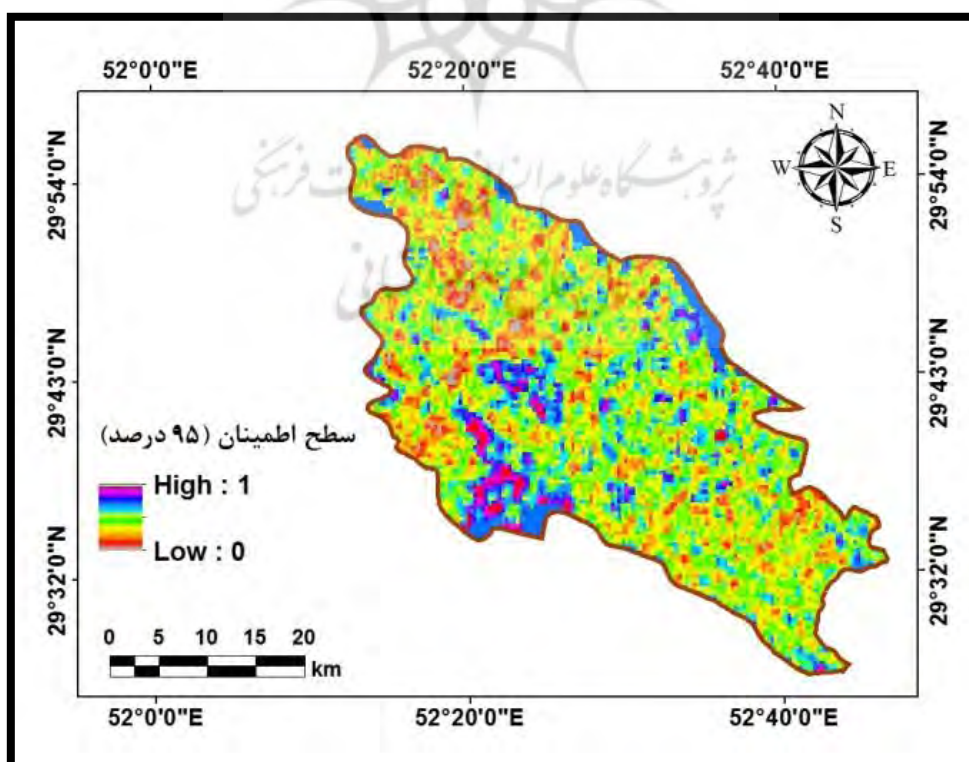
در این پژوهش با توجه به اینکه تاکنون ابزار کاربردی‌ای در مجموعه نرم افزارهای مربوط به GIS و سنجش از دور تهیه نشده، از نرم افزار متلب و جعبه ابزار مربوط به این مدل استفاده شده است. این جعبه ابزار با مجموعه ماتریس خطی کار می‌کند که به همین منظور تغییراتی در آن داده شده است که بتوان داده‌های رستری را در آن مورد استفاده قرار داد. در مرحله نخست تصاویر ورودی برای انجام تحلیل‌ها بایستی دارای ابعاد برابر باشند. به همین علت تصاویر مختلف به اندازه پیکسل یک کیلومتر تغییر بعد داده شده‌اند. این تغییر بعد همچنین موجب می‌شود که سرعت اجرای مدل در نرم افزار متلب بهبود بخشیده شود. سپس باندهای ورودی به صورت ماتریسی که بعد سوم آن هر کدام یک معیار است ذخیره شده است. در مرحله بعد مجدداً به منظور افزایش سرعت اجرای مدل پنجره‌های ۴ پیکسل در ۴ پیکسل بر روی تصویر انتخاب شده و برای هر چهار پیکسل و باندهای مدل دمپستر شافر بر روی آن اجرا شده و خروجی آن در تصویر جدید ذخیره شده است. این حلقه تا زمانی که پنجره مربوطه کل تصویر را طی کند ادامه پیدا می‌کند. پس از این که هر پنجره بر روی چهار پیکسل قرار می‌گیرد مقدار عددی هر پیکسل در هر لایه اطلاعاتی وارد شده به مدل جدا سازی می‌شود. با توجه به این که داده‌ها از قبل فازی سازی شده‌اند دارای یک سطح عدم قطعیت هستند. به همین منظور مدل دمپستر عدم قطعیت کلیه پیکسل‌ها را دریافت کرده و پس از مدل سازی آن برای پیکسل خروجی با توجه به سطح عدم قطعیت موجود یک مقدار نهایی عدم قطعیت در مدل نهایی ارائه می‌دهد. در شکل ۷ نتایج حاصل از مدل دمپستر شافر با سطح اطمینان مختلف نشان داده شده است.



شکل ۷. نتایج مدل دمپستر در سطح اطمینان ۹۹/۵ درصد

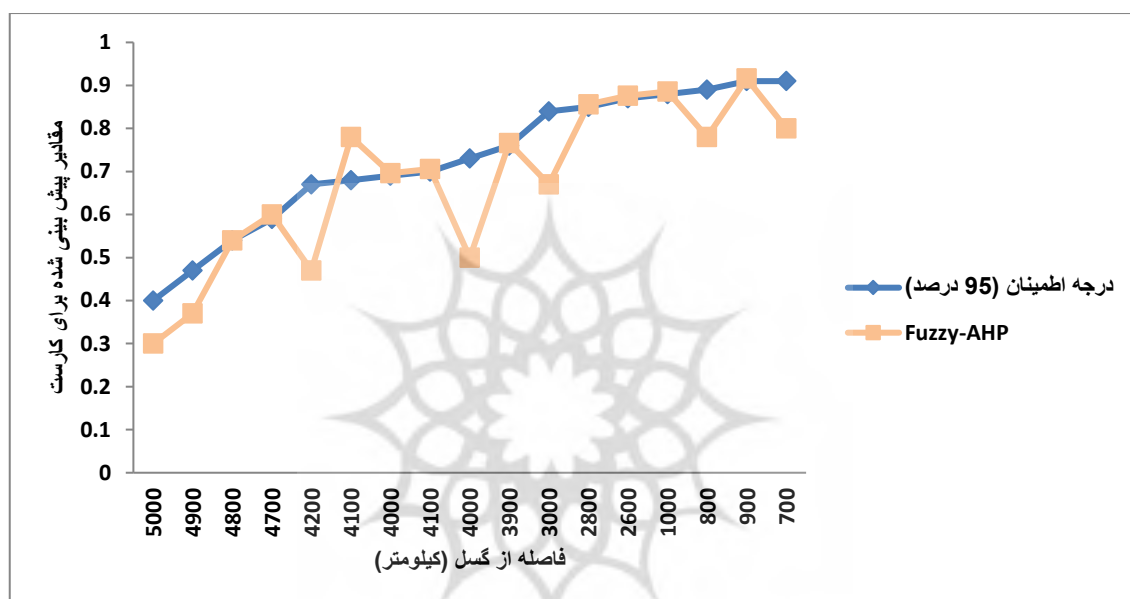


شکل ۸. نتایج مدل دمپستر در سطح اطمینان ۹۹ درصد



شکل ۹. نتایج مدل دمپستر در سطح اطمینان ۹۵ درصد

با توجه به نقشه های شماره ۷ تا ۹ مشخص می شود که با افزایش سطح اطمینان احتمال وجود مناطق کارستی کاهش می یابد و بالعکس. در نهایت برای اطمینان از صحت مدل از ۳۰ نقطه که مقادیر فاصله از گسل در آن ها مشخص بود به عنوان معیاری برای صحت مدل استفاده شد. نتایج حاصل از مقادیر پیش بینی شده با سطح اطمینان ۹۵ درصد توسط مدل و مقادیر فاصله از گسل به عنوان نمونه در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج و در نظر گرفتن فاصله کمتر از گسل که منجر به افزایش احتمال مناطق کارستی می شود، مشخص می شود که این مدل دارای دقت خوبی مدل برای تعیین مناطق کارستی است.



شکل ۸. مقادیر فاصله از گسل و احتمال وجود مناطق کارستی

نتیجه گیری

با توجه به رشد جمعیت و به تبع آن کمبود منابع آب شرب اهمیت مطالعه مناطق کارستی بیشتر می شود. بنابراین شناخت اشکال و هیدروژئولوژی کارست می تواند نقش شایانی در توسعه منابع آب زیرزمینی ایفا کند. بنابراین تعیین مناطق کارستی با داشتن منابع غنی از نظر شرایط زمین شناسی، ژئومورفولوژی و اقلیم حاکم بر آن ها مهم به نظر می رسد. با توجه به اهمیت موضوع در این مطالعه مناطق کارستی بدون حضور در منطقه پیش بینی و تعیین شد. برای این منظور به کمک روش فازی نقشه های فازی لایه های مؤثر در پیش بینی کارست تعیین شد. سپس با استفاده از روش AHP وزن دهی به لایه ها انجام شد (زمین شناسی دارای بیشترین وزن (۰/۲۹۷) و شیب کمترین اهمیت (وزن ۰/۰۴۵)) و نقشه نهایی کارست منطقه مورد مطالعه تهیه شد. نتایج حاصل از روش فازی نشان داد که مناطق غرب کشور دارای مناطق کارستی بیشتر می باشند. نتایج حاصل از مدل دمپسترشافر نشان داد که در این مدل با کاهش سطح اطمینان مدل تقریباً بیشتر سطح منطقه در دسته های قابلیت عالی و خوب طبقه بندی می شوند. مدل دمپسترشافر برای تعیین مناطق کارستی نتایج بهتری از خود نشان داده است و دارای یکپارچگی مناسبی است. یکی از مزیت های مدل دمپسترشافر امکان محاسبه سطح اطمینان متغیر برای داده های خروجی است. در صورتی که روش فازی تنها ارائه دهنده بیشترین عدم قطعیت و کمترین عدم قطعیت است.

منابع

- ثروتی، محمدرضا و عطربین ابراهیمی، ۱۳۹۵، شناسایی اشکال کارستی و تحول آن‌ها از دیدگاه ژئومورفولوژی در منطقه کامیاران با تاکید بر منابع آب، دومین کنگره بین‌المللی علوم زمین و توسعه شهری، تبریز، شرکت کیان طرح دانش، پژوهشکده جهاد دانشگاهی واحد استان آذربایجان شرقی.
- شجاع، عاطفه و زرغام محمدی، ۱۳۸۹، بررسی اثر تغییرات بارندگی بر مشخصات هیدروگراف چشمه‌ی کارستی پیر غار، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، ۹ صفحه.
- شکری، محمد، ۱۳۹۰، بررسی توسعه کارست در حوضه آبرگیر چشمه علی دامغان با تلفیق مطالعات هیدروژئولوژیکی (GIS و RS)، استاد راهنما غلامحسین کرمی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- طاحونی، پوران، ۱۳۷۴، بررسی و شناخت اشکال کارست در منطقه دشت ارژن و کازرون به منظور تخمین حجم آبهای زیرزمینی، استاد راهنما فرج‌الله محمودی، دانشگاه تهران.
- ملکی، امجد، اویسی مؤخر، محسن، باقری، آرزو، ۱۳۹۵. بررسی قابلیت منابع آب زیرزمینی در سازند کارستی کوه خورین کرمانشاه با تکنیک GIS و روش‌های ژئوفیزیکی. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، پیاپی ۶۵ شماره ۱. صفحه ۱۳۴ تا ۱۵۰.
- Kuhta, M., Brkić, Ž, & Stroj, A, 2012, Hydrodynamic characteristics of Mt. Biokovo foothill springs in Croatia. *Geologia Croatica*, 65(1), 41-52.
- Hughes, AG., and Mansour, MM., and Robins, NS, Peach, DW, 2006, Numerical modeling of runoff recharge in a catchment in the West Bank. In: *MODFLOW and More 2006: Managing Ground-Water Systems. Conference Proceedings, v. 1, Golden, CO. p. 385–389.*
- Radulovic, M., and Stevanovic, Z., and Radulovic, M, 2012, A new approach in assessing recharge of highly karstified terrains–Montenegro case studies: *Environ Earth Sci*, v. 65, p.2221–2230. DOI 10.1007/s12665-011-1378-0.
- Moradi, S., Kalantari, N. and Charchi, A, 2016, Karstification Potential Mapping in Northeast of Khuzestan Province, Iran, using Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process (AHP) techniques. *Geopersia*, 6(2), pp.265-282
- Shafer, G, 1976, *A mathematical theory of evidence*. Princeton University Press.
- Sentz K, Ferson S, 2002, *Combination of evidence in Dempster–Shafer theory. Technical report*. Sandia National Laboratories.
- Bai, X. Y., S. J. Wang, Xiong K. N, 2013, Assessing spatial-temporal evolution processes of karst rocky desertification land: indications for restoration strategies. *Land Degradation & Development* 24(1):47–56.
- Chaabane, S. Ben, M. Sayadi, F. Fnaiech, Brassart, E, 2008, Color Image Segmentation Based on Dempster–Shafer Evidence Theory. Pp. 862–66 in *MELECON 2008 - The 14th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*. IEEE.
- Febles-González, J. M., M. B. Vega-Carreño, A. Tolón-Becerra, Lastra-Bravo, X, 2012. “Assessment of Soil Erosion in Karst Regions of Havana, Cuba. *Land Degradation & Development* 23(5):465–74.
- Sánchez-Lozano, Juan M., Carlos Henggeler Antunes, M. Socorro García-Cascales, and Luis Dias C, 2014, GIS-Based Photovoltaic Solar Farms Site Selection Using ELECTRE-TRI: Evaluating the Case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain.” *Renewable Energy* 66:478–94.
- Shafer, G, 1976, *Dempster–Shafer Theory. International Journal of Approximate*

- Reasoning 21(2):1-2.*
- Wang, S. J., Q. M. Liu, Zhang D. F, 2004, *Karst Rocky Desertification in Southwestern China: Geomorphology, Landuse, Impact and Rehabilitation. Land Degradation & Development 15(2):115-21.*
 - Xu, E. Q., H. Q. Zhang, Li, M. X, 2015, *Object-Based Mapping of Karst Rocky Desertification Using a Support Vector Machine. Land Degradation & Development 26(2):158-67.*
 - Saaty T. L., Vargas L. G, 1998, *Diagnosis with Dependent Symptoms: Bayes Theorem and the Analytic Hierarchy Process, Oper. Res., vol. 46, no. 4, pp. 491-502, Aug.*
 - Saaty T. L, 1980, *The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill International Book Co.*

