Investigating and Identifying Areas with Potential Karsticization using the Fuzzy Method and Analytical Hierarchy Process Model

Marzieh Mokarram [1], Saeed Negahban [*2]

[1] Associate Professor of Geomorphology, Faculty of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran

[2] Assistant Professor of Geomorphology, Department of Geography, Shiraz University, Iran

Abstract

Karst areas have always been considered for the great importance of water resources and diversity of geomorphological forms. In arid areas, considering that karst is a good place to store fresh ground-water, identifying them is of paramount importance. This research attempts to detect karstic areas in western parts of Fars province using fuzzy and AHP software with the help of GIS software, and introduces a new method for this purpose. Geological data, distance from fault, rainfall, elevation, temperature, distance from the river, slope were used to determine the susceptible areas of karst. In order to homogenize each of the data in order to prepare the final map of karst areas, the fuzzy method was used. In the next step, the fuzzy membership functions were prepared using susceptible karst areas and finally, a hierarchical analysis model (AHP) was used to prepare the final map of the studied area. The final results from the karst map of the study area showed that in the northwest and part of the southeast of the study area, the probability of having Karst is 100% according to the final maps. While the central areas have fewer karst, and parts of the eastern and western margins of the region lack karst. To verify the model accuracy, sample points of the area were prepared. According to the sample points, it was found that the model has a high accuracy for determining the karstic regions and therefore the fuzzy method can be used as a precise method for investigating the karstic potential of different regions.

Key words: Water Resources, Fuzzy Membership Functions, GIS, Fars Province.

* snegahban@shirazi.ac.ir

جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سال ۳۰، پیـاپی ۷٤، شـماره ۲، تابسـتان ۱۳۹۸

بررسی و شناسایی مناطق دارای پتانسیل کارستی‌شدن با استفاده از روش فازی و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی

مرضیه مکرم، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
سعید نگهبان*، استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

وصـول: ۱۳۹۸/۰٤/۱۵ پـذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۰٦، صص ۱۳٤-۱۲۱

چکیده

مناطق کارستی به دلیل اهمیت بسیار زیاد در منابع آب و تنوع اشکال ژئومورفولوژیکی همواره در کانون توجه بوده‌اند. در مناطق خشک با توجه به اینکه کارست‌ها مناطق مناسبی برای ذخیرهٔ سفره‌های آب شیرین محسوب می‌شوند، شناسایی آنها اهمیت دوچندانی می‌یابد. این پژوهش سعی دارد با استفاده از روش‌های فازی و AHP و با کمک نرم‌افزار GIS مناطق دارای پتانسیل کارستی‌شدن را در بخش‌هایی از غرب استان فارس تشخیص دهد و ضمن معرفی آنها، روشی جدید را برای این کار معرفی کند. به‌منظور تعیین مناطق مستعد کارست از داده‌های زمین‌شناسی، فاصله از گسل، بارندگی، ارتفاع، دما، فاصله از رودخانه و شیب استفاده شد و به‌منظور همگن‌ساختن هریک از داده‌ها برای تهیهٔ نقشه‌های مناطق کارستی، روش فازی به کار رفت. در مرحلهٔ بعد توابع عضویت فازی با بهره‌گیری از مناطق مستعد کارست تهیه و درنهایت به‌منظور آماده‌سازی نقشه‌های کارست منطقهٔ پژوهش از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد. نتایج حاصل از نقشهٔ کارست منطقهٔ پژوهش نشان داد در شمال غربی و قسمتی از جنوب شرق منطقه احتمال کارست با توجه به نقشه‌ها صددرصد است؛ در حالی که مناطق مرکزی کارست کمتری دارند و قسمت‌هایی از حاشیهٔ منطقه در شرق و غرب بدون کارست هستند. به‌منظور بررسی و تعیین صحت مدل از بعضی نقاط نمونه استفاده و با توجه به نقاط نمونه مشخص شد مدل دقت زیادی برای تعیین مناطق کارستی دارد؛ بنابراین از روش فازی می‌توان به‌مثابهٔ روشی دقیق برای بررسی پتانسیل کارستی مناطق مختلف استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: منابع آب، توابع عضویت فازی، GIS، استان فارس.

*نویسنده مسؤول: snegahban@shirazi.ac.ir

مقدمه

مناطق کارستی به مناطق مشخصی اطلاق می‌شوند که با انحلال سنگ بستر و توسعهٔ شبکهٔ زهکشی زیرزمینی گسترش و اساساً با سنگ آهک ارتباط می‌یابند (Waltham et al., 2005: 1). درواقع کارست، اصطلاح به‌کاررفته برای توصیف سبکی خاص از چشم‌اندازها شامل غارها و سیستم‌های آب زیرزمینی است که به‌ویژه در سنگ‌های انحلالی مانند سنگ آهک، مرمر، نمک و گچ به وجود می‌آید (Ford & Wiliamz, 2013: 1). ایجاد و توسعهٔ ژئومورفولوژی کارست باعث شکل‌گیری سیستم کارستی و تشکیل آبخوان‌های کارستی می‌شود.

شناخت ویژگی‌های پهنه‌های کارستی و بررسی آنها از دیدگاه کاربردی اهمیت ویژه‌ای دارد. سرزمین‌های کارستی ۲۰ درصد سطح قاره‌های عاری از یخ را فراگرفته‌اند و آب آشامیدنی ۲۵ درصد از جمعیت جهان را به‌طور جزئی یا کامل تأمین می‌کنند. منابع اقتصادی کارست، اهمیت سرزمین‌های کارستی در کشاورزی و تأمین منابع صنایعی همچون سیمان و منابع قرضه، تنوع زیستی و داشتن عوامل اقلیمی دیرینه ازجمله مسائلی هستند که هر کدام به‌تنهایی یا با هم، کارست را برای مطالعات تخصصی با اهمیت می‌سازند. در این میان، تحولات ژئومورفولوژی و ساختارهای کارستی به مهندسان منابع آب، هیدروژئولوژیست‌ها و برنامه‌ریزان برای ایجاد سازه‌های مطمئن و تأمین آب سالم و بهداشتی یاری می‌رساند. فهم تحول کارست از منظر دیرین اقلیمی و نیز تحولات تکتونیکی کواترنر حائز اهمیت است. در پیدایش اشکال کارست منطقهٔ پژوهش، ساختمان زمین‌شناسی، شرایط سنگ‌شناسی، تکتونیکی و اقلیم حاکم بر منطقه نقش داشته‌اند (ثروتی و ابراهیمی، ۱۳۹۵: ۱۵۲).

آبخوان‌های کارستی، مخازن زیرزمینی ناهمگنی هستند که آب در شبکه‌های مرتبط به هم شکاف‌ها، مغاره‌ها و مجاری درون آنها جمع‌آوری می‌شود. سطح ایستابی در این آبخوان‌ها، سطحی پیوسته نیست و شیب منطقه‌ای و محلی دارد. به‌طور کلی تمامی آبخوان‌ها به طرف سطح اساس فرسایشی تمایل و شیب دارد و به این ترتیب آب از جمع‌کننده‌های متأثر از سطح اساس زهکشی می‌شود. زهکشی آبخوان‌ها به‌طور محلی از راه نزدیک‌ترین مجرای زیرزمینی با بیشترین ظرفیت صورت می‌گیرد. این جریان با کمیت خود، سطح اساس فرسایش را بازتاب می‌دهد. آبخوان‌های کارستی در ازای پدیده‌های دینامیکی عمل‌کننده نسبت به زمان و مکان توسعه و موقعیت هندسی آنها به‌سرعت تغییر می‌یابد. بارزترین نتیجهٔ کارستی‌شدن، مورفولوژی خاصی است که مناطق کارستی را از نواحی دیگر غیرکارستی کاملاً متمایز می‌سازد. شکل‌های کارست و تکامل تدریجی آنها، نتیجهٔ مستقیم عمل انحلال آب در محیط‌های کربناتهٔ انحلال‌پذیر است (Milanovic, 1981: 242). جریان آب و ساختارهای تکتونیکی از مهم‌ترین عوامل کارستی‌شدن سنگ‌های انحلال‌پذیرند (قبادی، ۱۳۸٦: ٤٥). واژهٔ کارست رابطهٔ مستقیمی با سنگ‌های کربناته به‌ویژه بیشتر با سنگ‌های آهکی و دولومیتی دارد. هرچند فرایند کارستی‌شدن در سازندهای گچی، ژیپس و نمک نیز روی می‌دهد (Milanovic, 1981: 184).

پیشینهٔ پژوهش

مدل‌سازی مناطق تغذیه در آبخوان‌های کارستی، موضوعی جدید است که شبان و همکاران[1] (۲۰۰٤)، هوگز و همکاران[2] (۲۰۰٦) و رادولوویچ[3] (۲۰۱۲) با پیشرفت GIS و RS به آن توجه کردند. پیش از این مطالعات، پژوهش‌های انجام‌شده درزمینهٔ تغذیهٔ آبخوان‌های کارستی در حیطهٔ مباحث هیدرودینامیکی و تعیین نوع تغذیه و جریان بوده است و بر ویژگی‌های منطقهٔ انتقالی آبخوان تأکید داشته‌اند. پژوهش‌های مانجین[4] (۱۹۸٤)، ساوتر[5] (۱۹۹۲)، توچ و ساوتر[6] (۱۹۹۸)، جوکیک و دنیک[7] (۲۰۰۸)، بور و همکاران[8] (۲۰۰۵)، جیر و همکاران[9] (۲۰۰۸)، جانزا[10] (۲۰۱۰) و مارتینز و آندرو[11] (۲۰۱۰)، ازجملهٔ این پژوهش‌هاست.

مقصودی و همکاران (۱۳۸۸) تحولات کارستی چشمه‌های اصلی منطقهٔ پرآو بیستون را در مقایسه با چشمه‌های دیگر واقع در زون زاگرس چین‌خورده براساس عوامل هیدروژئولوژیکی بررسی کردند. هیدروگراف چشمه‌ها در تودهٔ پرآو بیستون متأثر از توسعهٔ کارستی به‌وجودآمده، نوسان‌ها و پیچیدگی‌های بیشتری را نشان می‌دهد و تغذیه به‌صورت کانالیزه رخ می‌دهد. از سوی دیگر میزان ضریب خشکیدگی چشمه‌ها، ضریب آلفا و حجم ذخیرهٔ دینامیکی چشمه‌های اطراف پرآو بیستون در مقایسه با دیگر چشمه‌ها بر توسعهٔ کارست در منطقه دلالت دارد و تغذیهٔ مجرایی و کانالیزهٔ چشمه‌ها را نشان می‌دهد.

شجاع و محمدی (۱۳۸۹) اثر میزان و مقدار بارندگی را بر چشمهٔ کارستی پیرغار روی شکل هیدروگراف و مشخصات هیدروژئولوژیکی آن بررسی کردند. نتایج نشان داد مقدار بارش بر شکل هیدروگراف، دبی پایه، دبی پیشینه و ضرایب فرود تأثیر می‌گذارد؛ به‌طوری که با تغییر مقدار بارش ممکن است بخش‌های جدیدی از سیستم کارست در سفره فعال شود.

شکری (۱۳۹۰) توسعهٔ کارست را در حوضهٔ آبگیر چشمه‌علی دامغان با تلفیق مطالعات هیدروژئولوژی RS و GIS مطالعه کرد. نتایج نشان می‌دهد بیشترین درصد مساحت تشکیل‌دهندهٔ حوضهٔ آبگیر چشمه همراه با توسعهٔ متوسط کارست بوده و تجزیه و تحلیل هیدروگراف و منحنی فرود چشمه و برآورد حجم جریان پایه و سریع نشان‌دهندهٔ حاکم‌بودن جریان افشان کاذب موجود در منطقه است. تغییرات هیدروگراف و پاسخ چشمه به بارندگی‌ها حاکی از وجود دست‌کم یک یا چند مجرای بزرگ و بررسی هیدروگراف و کموگراف نیز، مؤید توسعهٔ متوسط تا زیاد مجاری زهکشی درونی آبخوان است.

طاحونی (۱۳۷٤) اشکال کارست را در منطقهٔ دشت ارژن و کازرون به‌منظور تخمین حجم آب‌های زیرزمینی و همچنین جنبه‌های مختلف جغرافیایی طبیعی، زمین‌شناسی و ژئوهیدرولوژی را بررسی کرد. در این پژوهش کارست منطقه نیز با درنظرگرفتن عوامل ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی طبقه‌بندی شد.

[1] Shaban et al
[2] Hughes et al
[3] Radulovic
[4] Mangin
[5] Sauter
[6] Teutsch & Sauter
[7] Jukic & Denic
[8] Bauer et al
[9] Geyer et al
[10] Janza
[11] Martinez-Santos & Andreu

کوتا و همکاران[1] (۲۰۱۲) ویژگی‌های هیدروشیمیایی و هیدرودینامیکی را در آبخوان بررسی کردند. یافته‌های پژوهش نشان داد پاسخ هیدروشیمیایی و هیدرودینامیکی در آبخوان‌های کارستی به شرایط جریان در این آبخوان‌ها بستگی دارد.

همچنین مرادی و همکاران[2] (۲۰۱٦) نقشهٔ مناطق مستعد کارست را با استفاده از روش فازی و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی تهیه کردند. نتایج نشان داد روش فازی با دقت بسیار زیاد مناطق کارستی را شناسایی می‌کند.

با توجه به اهمیتی که مطالعهٔ کارست‌ها و شناسایی آنها در حوضه‌های آبخیز دارد، در مطالعهٔ حاضر مناطق دارای پتانسیل کارستی‌شدن غرب استان فارس با استفاده از روش فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) بررسی شدند.

روش‌شناسی پژوهش

روش فازی

روش فازی، روشی نسبتاً جدید برای تهیهٔ لایه‌های مختلف اطلاعاتی است. این روش را نخستین‌بار زاده[3] (۱۹٦۵) به‌مثابهٔ روشی جدید برای طبقه‌بندی ارائه کرد. زاده با تعریف تابع عضویت، هریک از اشیا یا پدیده‌های موجود در زمین را در بازه‌ای از ۰ تا ۱ تعریف کرد. تابع عضویت مقدار فازی‌بودن یک مجموعهٔ فازی را مشخص می‌کند و درواقع به تابعی گویند که میزان درجهٔ عضویت المان‌های مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد (Sanchez, 2007: 68).

تابع عضویت در مدل فازی به‌صورت معادلهٔ ۱ تعریف می‌شود (Mc Bratney & Odeh, 1997: 94):

$$A \quad x, \ _A(x)\} \ for \ each \ x \quad X.....\} \qquad (۱)$$

$_A$ ، تابع عضویتی است که درجهٔ عضویت x را در مجموعهٔ A تعریف می‌کند. مقداری که این توابع اتخاذ می‌کنند، بین ۰ تا ۱ است.

در این مطالعه با توجه به وجود انواع توابع عضویت، از تابع عضویت ذوزنقه‌ای یک‌طرفه براساس فرمول زیر استفاده شد؛ به‌طوری که برای مؤلفه‌های زمین‌شناسی، ارتفاع، بارندگی و دما، معادلهٔ ۲ و برای مؤلفه‌های فاصله از گسل، فاصله از رودخانه و شیب، معادلهٔ ۳ به کار رفت. در این معادله a و b، حدود بحرانی هریک از مؤلفه‌هاست که در جدول (۱) تعریف شده‌اند:

$$_A(x) \quad f(x) \quad \begin{cases} 0 & x \ a \\ x \ a/b \ a & a \prec x \prec b \\ 1 & x \geq b \end{cases} \qquad (۲)$$

$$_A(x) \quad f(x) = \begin{cases} 1 & x \ a \\ b \ x/b-a & a \prec x \prec b \\ 0 & x \ b \end{cases} \qquad (۳)$$

جدول ۱. اهمیت هریک از مؤلفه‌ها به‌منظور تعیین مناطق کارستی (Yagoub, 2015: 12)

مؤلفه	نامناسب	مناسب
زمین‌شناسی	حساسیت کم	حساسیت زیاد
فاصله از رودخانه	کمتر از ۵۰۰ متر	بیش از ۱۵۰۰ متر
فاصله از گسل	کمتر از ۱۰۰۰ متر	بیش از ۲۰۰۰ متر
شیب	کمتر از ۵درصد	بیش از ۳۵درصد
بارندگی	کمتر از ۷۰۰ میلی‌متر	بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر
ارتفاع	کمتر از ۱۰۰۰ متر	بیش از ۲۵۰۰ متر
دما	بیش از ۲۰ درجه	کمتر از ۱۰ درجه

[1] Kuhta et al
[2] Moradi et al
[3] Zadeh

روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[1] (AHP)

مؤلفهٔ وزن، مؤلفهٔ مهمی برای ارتباط‌دادن عوامل به‌کاررفته در تهیهٔ نقشهٔ مناطق کارستی است. به دلیل اینکه هریک از ویژگی‌ها تأثیر متفاوتی بر کارست دارند، به کمک روش AHP وزن‌دهی صورت گرفت. AHP، روشی است که وزن‌دهی به مؤلفه‌ها را آسان می‌کند. AHP بر مقایسهٔ جفتی هریک از مؤلفه‌ها تکیه دارد. هریک از عوامل براساس درجهٔ اهمیتی که برای تعیین کارستی‌بودن منطقه دارند، در محدوده‌ای از ۱ تا ۹ قرار می‌گیرند (جدول ۲)؛ (Saaty & Vargas, 2001: 17).

جدول ۲. مقیاس بنیادی برای مقایسهٔ زوجی

(Saaty & Vargas, 2001: 17)

توضیحات	ارزش توصیفی	ارزش عددی
اهمیت برابر	۱	۱
-	ضعیف	۲
یک عامل نسبت به دیگری کمی ارجح است	تقریباً متوسط	۳
-	متوسط	٤
یک عامل نسبت به دیگری ارجح است	اهمیت بیشتر نسبت به دیگری	٥
-	قوی	٦
یک عنصر نسبت به دیگری اهمیت بیشتری دارد	بسیار قوی	۷
-	بسیار بسیار قوی	۸
یک عنصر نسبت به دیگری اهمیت بسیار بیشتری دارد	کاملاً ارجح	۹
وقتی مؤلفهٔ i با j مقایسه می‌شود و یکی از ارزش‌های بالا را دارد، مؤلفهٔ j ارزشی متقابل با ارزش i دارد		عمل متقابل (دوطرفه)

به بیان دیگر به کمک ماتریس مقایسهٔ زوجی برمبنای معادلات ٤ و ٥، ارزش و اهمیت هر معیار نسبت به دیگر معیارها مشخص می‌شود.

$$a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj} \qquad (٤)$$

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \qquad (٥)$$

i، j و k، مقادیر مربوط به ماتریس بررسی‌شده است.

با توجه به فرمول ٤ و ٥ با مقایسهٔ دوبه‌دوی هریک از مؤلفه‌های مؤثر بر تعیین مناطق مستعد کارست، اعدادی بین ۱ تا ۹ برای آنها در نظر گرفته می‌شود که با تشکیل ماتریس مقایسهٔ زوجی درنهایت برای هریک از مؤلفه‌ها ارزشی بین ۰ تا ۱ انتخاب می‌شود.

درنهایت به‌منظور آماده‌سازی نقشهٔ مناطق کارستی، معادلهٔ زیر به کار می‌رود. برمبنای این معادله، وزن‌های تعریف‌شده برای هریک از مؤلفه‌ها در نقشه‌های فازی تهیه‌شده ضرب می‌شود تا نقشه‌های مناطق کارستی منطقهٔ پژوهش تهیه شود.

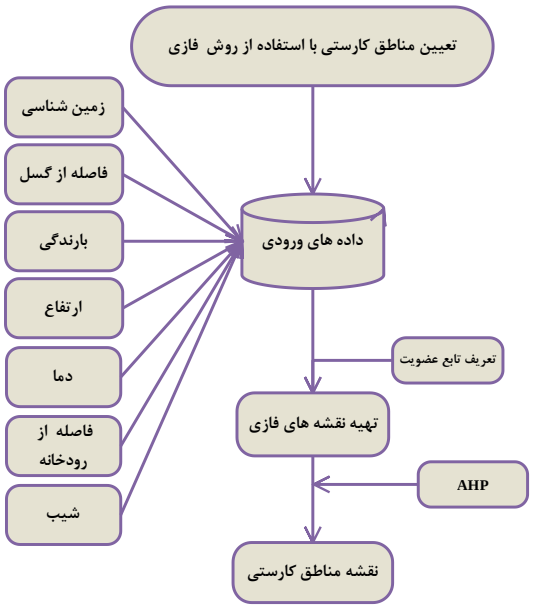
$$A \quad \sum_{j=1}^{k} W_j \quad A_x \qquad x \; X \qquad (٦)$$

$$\sum_{j=1}^{k} W_j \quad 1 \qquad W_j \quad 0 \qquad (۷)$$

با توجه به فرمول بالا مشخص می‌شود وزن مربوط به هریک از مؤلفه‌ها در محدودهٔ ۰ تا ۱ و مجموع وزن‌هایی برابر با ۱ است.

روش فازی و AHP در این مطالعه به‌طور خلاصه در شکل (۱) نشان داده می‌شود.

[1] Analytical Hierarchy process



شکل ۱. مراحل روش فازی و AHP به‌منظور تعیین مناطق کارستی

با توجه به شکل (۵)، در این مدل نخست داده‌های ورودی مؤثر بر تعیین مناطق کارستی مشخص و سپس با استفاده از روش فازی هریک از این نقشه‌ها در یک بازهٔ ۰ تا ۱ با استفاده از توابع فازی تهیه شد. در ادامه به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ مناطق کارستی با توجه به درجهٔ اهمیت هریک از مؤلفه‌ها، وزن بین ۰ تا ۱ انتخاب و درنهایت با هم‌پوشانی عوامل و درنظرگرفتن وزن مربوط نقشه‌هایی تهیه شد.

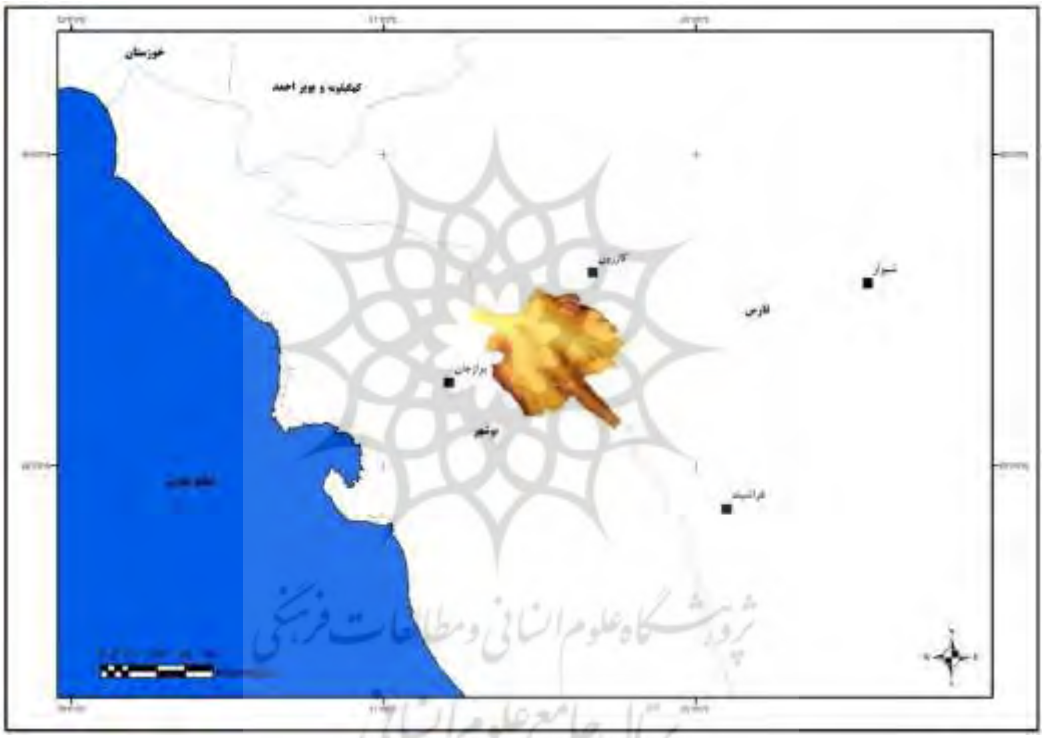
منطقهٔ پژوهش

منطقهٔ پژوهش در غرب استان فارس، جنوب شهرستان کازرون در مرز بین استان فارس و بوشهر در طول جغرافیایی ۵۱:۱۲ تا ۵۱:۴۴ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹:۱۰ تا ۲۹:۳۶ شمالی واقع شده است (شکل ۲). ازنظر آب‌وهوایی، این منطقه براساس طبقه‌بندی کوپن[1] آب‌وهوایی نیمه‌خشک و خشک دارد که در تابستان زیر استیلای پرفشار جنب حاره، آب‌وهوایی بسیار گرم و در زمستان در اثر ورود بادهای غربی بارندگی دارد. گرم‌ترین ماه منطقه، تیرماه و سردترین آن، دی‌ماه است. ازنظر بارندگی بیشترین بارش منطقه در فصل زمستان روی می‌دهد و تابستان بدون بارش است و اقلیمی خشک دارد. به‌طور کلی منطقهٔ پژوهش آب‌وهوایی مدیترانه‌ای دارد؛ بدین صورت که تابستان‌های آن خشک و زمستان‌های آن تقریباً مرطوب است.

این منطقه از نظر ژئومورفولوژیکی در واحد ژئومورفولوژیکی زاگرس فارس قرار دارد که در بین یک ناودیس وسیع و طویل واقع شده است. جهت و روند این ناودیس به‌صورت شمال غرب - جنوب شرق است. ارتفاع متوسط منطقه حدود ۸۰۰ متر و پراکندگی ناهمواری‌ها در سطح منطقه بدین صورت است که مرتفع‌ترین ارتفاعات در بخش شمال شرقی و غربی منطقه قرار دارد و هرچه به سمت مرکز می‌رویم، از ارتفاع ناهمواری‌ها کاسته می‌شود. منطقهٔ پژوهش که شامل یک دشت ناودیسی بین کوهی است، ازنظر اشکال ژئومورفولوژیکی تنوع خاصی دارد؛ بدین صورت که در آن هم اشکال کارستی و هم آبراهه‌ای به چشم می‌خورد. ازجمله اشکال ژئومورفولوژیکی منطقهٔ پژوهش ناودیس معلق، طاقدیس فرسایش‌یافته، مخروط‌افکنه‌های آبرفتی، دره‌های رودخانه‌ای، دشت سر، اشکال متنوع کارستی ازجمله دولین، لاپیه و دره‌های آهکی است. به‌طور کلی منطقهٔ پژوهش ازنظر ژئومورفولوژیکی شامل یک

[1] koppen

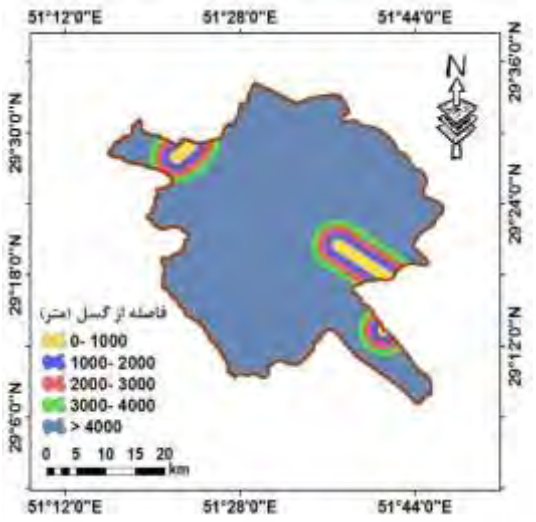
ناودیس کشیده است که با یک شیب ملایم در بین ارتفاعاتی در شمال و جنوب محصور شده است. این دشت ازنظر زمین‌شناسی چندین سازند غالب را در درون خود جای داده است؛ بدین صورت که ارتفاعات منطقه از آهک ضخیم آسماری تشکیل شده‌اند که از شمال تا شرق و حتی جنوب منطقه گسترش دارد. دامنهٔ کوهپایه‌ها و کف دشت از سازند میشان تشکیل شده که شامل مارهای خاکستری و دگرسان‌شده به همراه شیل است. یکی دیگر از سازندهای غالب منطقه، سازند آغاجاری است که در طاقدیس‌های کم‌ارتفاع منطقه رخنمون یافته است و روی آن سازند کنگلومرای بختیاری قرار دارد. گسترده‌ترین سازند منطقه، آبرفت‌های کواترنری هستند که به‌صورت لایه‌ای نازک، سطح دشت اصلی منطقه را پوشانده‌اند.

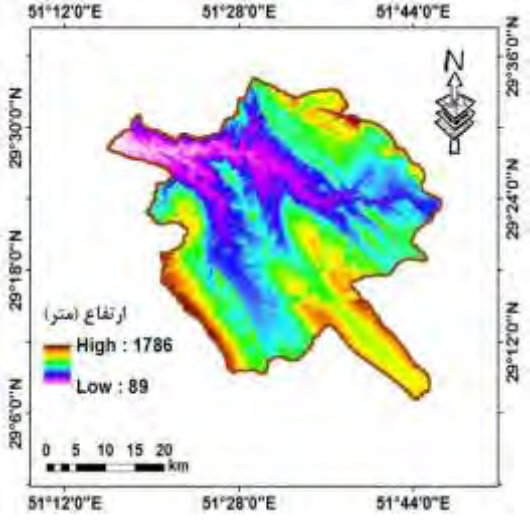


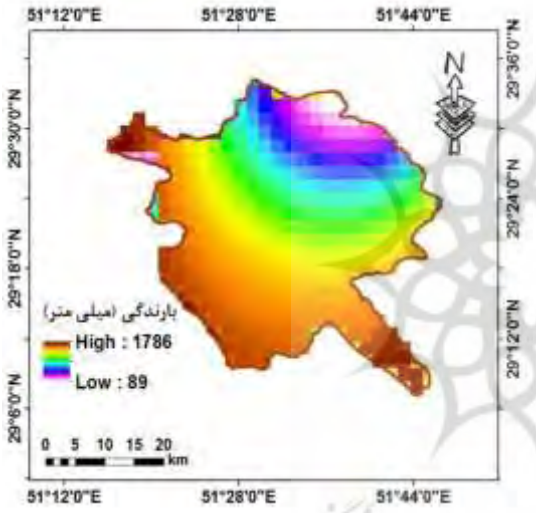
شکل ۲. موقعیت منطقهٔ پژوهش

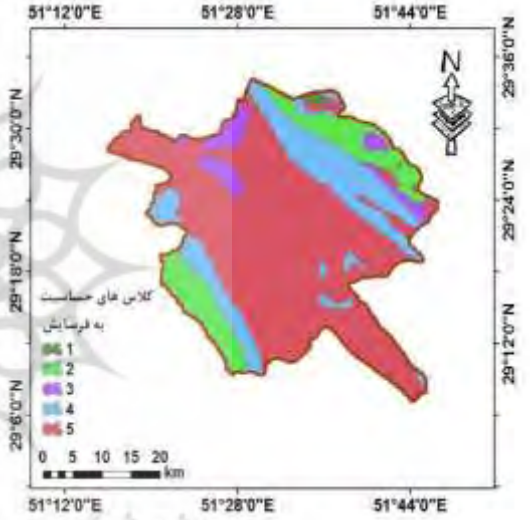
یافته‌های پژوهش

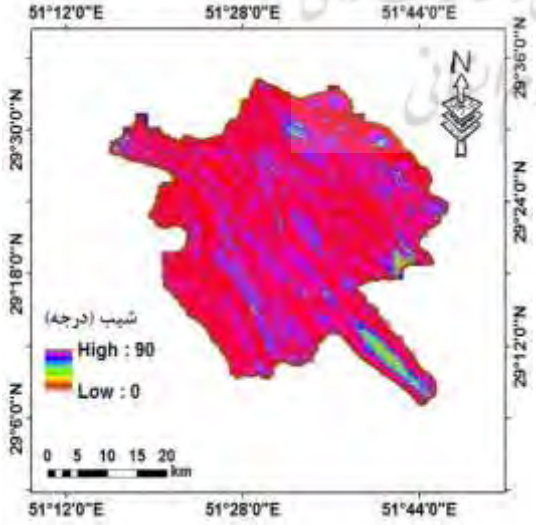
به‌منظور تعیین مناطق مستعد کارستی از نقشه‌های زمین‌شناسی، فاصله از گسل، بارندگی، ارتفاع، دما، فاصله از رودخانه و شیب زمین به‌مثابهٔ داده‌های ورودی استفاده شد. با توجه به نقشهٔ فاصله از گسل مشخص می‌شود بیشتر مناطق پژوهش در فاصلهٔ بیشتر از ۴۰۰۰ متر از گسل واقع شده‌اند. همچنین بیشترین ارتفاعات منطقه در شرق، غرب و جنوب منطقهٔ پژوهش قرار دارد. بارندگی در مناطق غربی همچنین بیش از بقیهٔ مناطق است. مناطق مستعد فرسایش ازنظر زمین‌شناسی بیشتر در شرق و غرب نسبت به مرکز قرار دارند. ازنظر شیب بیشتر منطقه شیب بسیار کمی دارد. نقشهٔ بارندگی منطقه نیز نشان می‌دهد مناطق واقع در شمال شرق دمای بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند (شکل ۳).

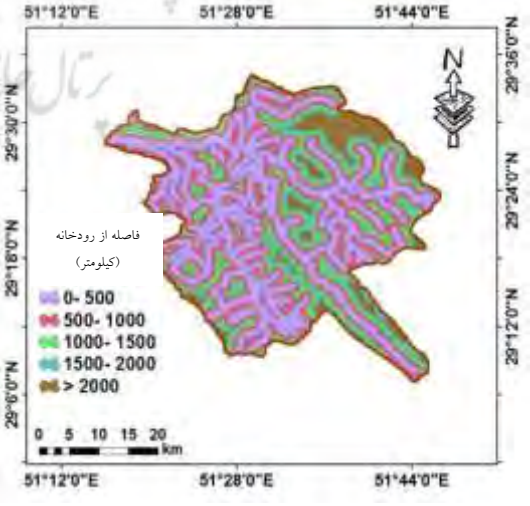

51°12'0"E
51°28'0"E
51°44'0"E
29°36'0"N
29°30'0"N
29°24'0"N
29°18'0"N
29°12'0"N
29°6'0"N
N
فاصله از گسل (متر)
0- 1000
1000- 2000
2000- 3000
3000- 4000
> 4000
0 5 10 15 20
km

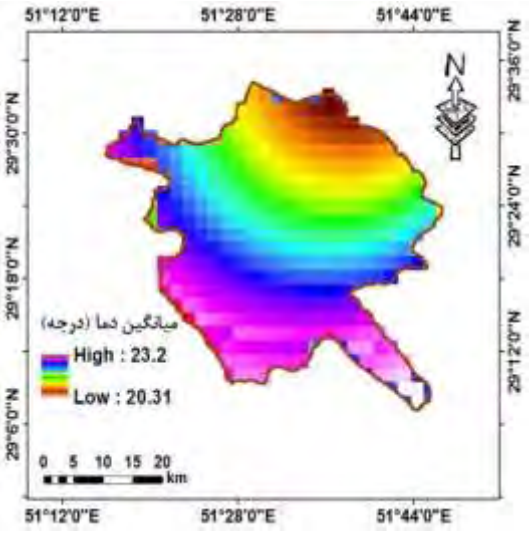

51°12'0"E
51°28'0"E
51°44'0"E
29°36'0"N
29°30'0"N
29°24'0"N
29°18'0"N
29°12'0"N
29°6'0"N
N
ارتفاع (متر)
High : 1786
Low : 89
0 5 10 15 20
km


51°12'0"E
51°28'0"E
51°44'0"E
29°36'0"N
29°30'0"N
29°24'0"N
29°18'0"N
29°12'0"N
29°6'0"N
N
بارندگی (میلی متر)
High : 1786
Low : 89
0 5 10 15 20
km


51°12'0"E
51°28'0"E
51°44'0"E
29°36'0"N
29°30'0"N
29°24'0"N
29°18'0"N
29°12'0"N
29°6'0"N
N
کلاس های حساسیت
به فرسایش
1
2
3
4
5
0 5 10 15 20
km

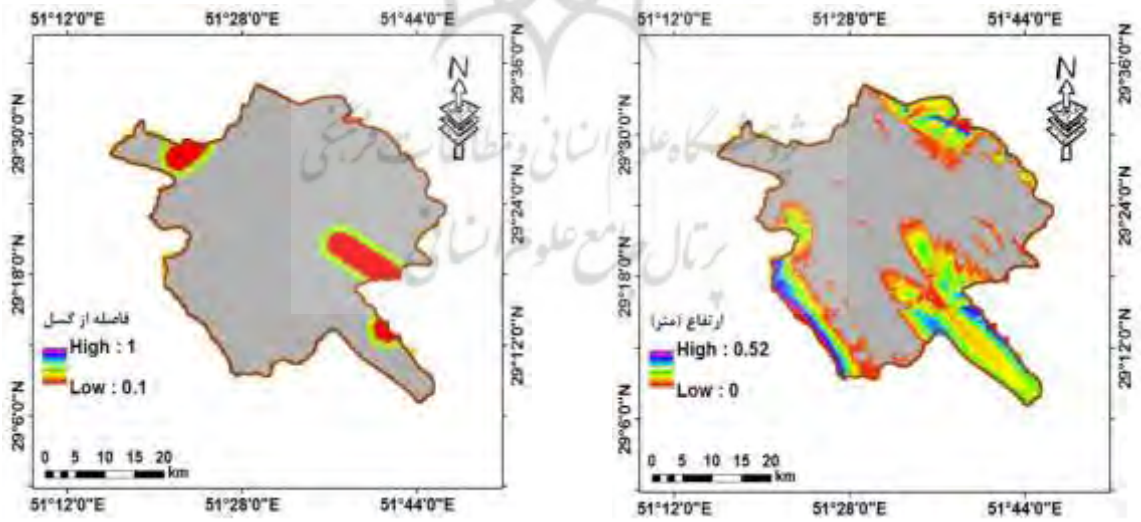

51°12'0"E
51°28'0"E
51°44'0"E
29°36'0"N
29°30'0"N
29°24'0"N
29°18'0"N
29°12'0"N
29°6'0"N
N
شیب (درجه)
High : 90
Low : 0
0 5 10 15 20
km

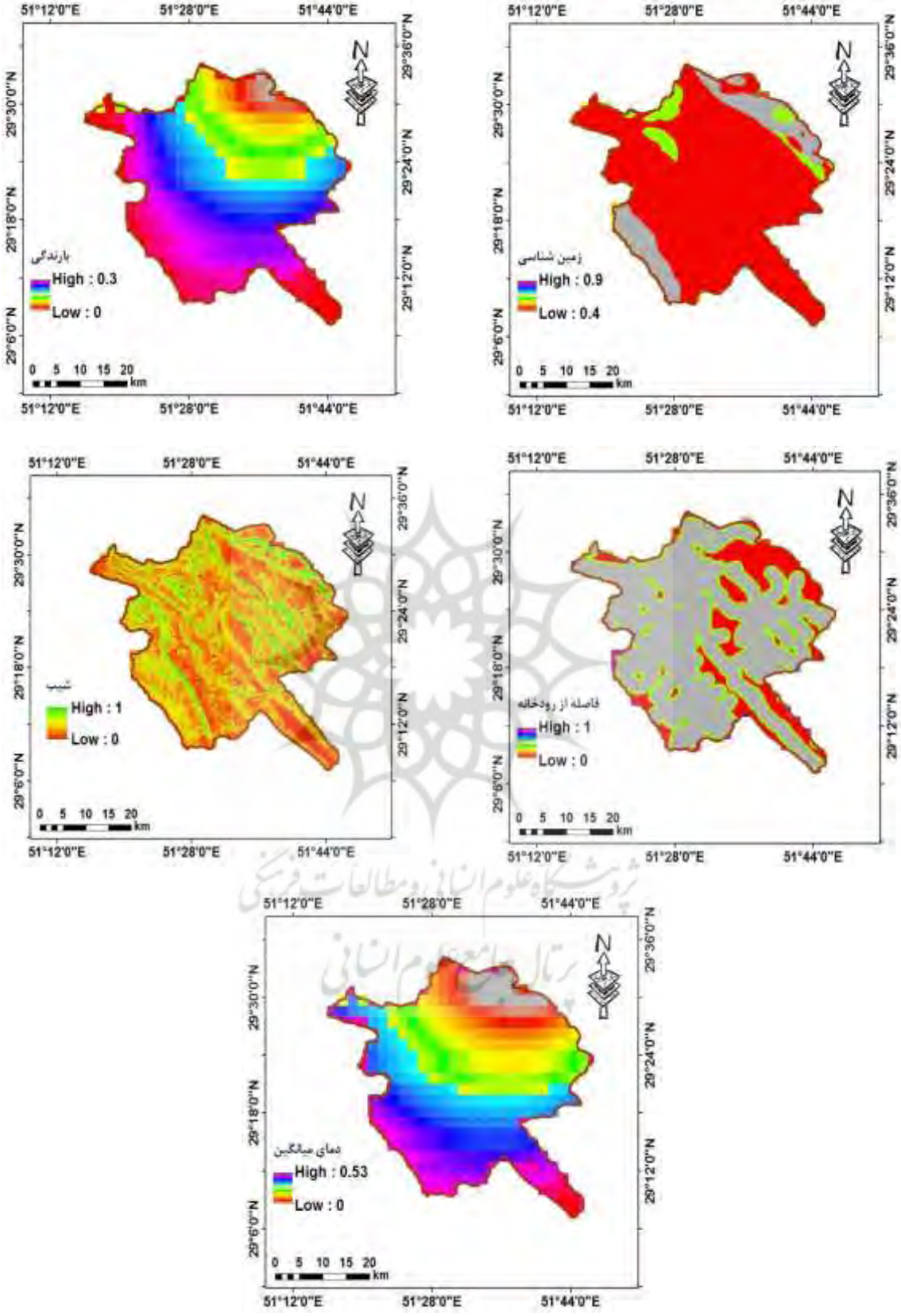

51°12'0"E
51°28'0"E
51°44'0"E
29°36'0"N
29°30'0"N
29°24'0"N
29°18'0"N
29°12'0"N
29°6'0"N
N
فاصله از رودخانه
(کیلومتر)
0- 500
500- 1000
1000- 1500
1500- 2000
> 2000
0 5 10 15 20
km



شکل ۳. نقشه‌های پهنه‌بندی مؤلفه‌های مؤثر بر مناطق کارستی

با استفاده از مطالعات مرادی و همکاران (۲۰۱۶) برمبنای جدول (۱)، قوانین فازی برای هریک از مؤلفه‌ها تعریف شد. به‌طوری که با درنظرگرفتن محدودهٔ مجاز هریک از مؤلفه‌ها و اختصاص‌دادن عدد صفر به مقادیر نامناسب و عدد ۱ به مقادیر مجاز و بین آنها، محدوده‌ای بین صفر تا یک در نظر گرفته شد (شکل ٤).





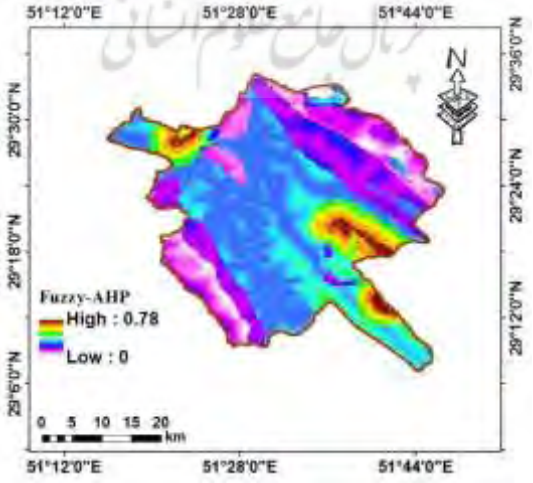
شکل ٤. نقشهٔ فازی هریک از مؤلفه‌های مؤثر بر تعیین مناطق کارستی

درنهایت با استفاده از روش AHP و ماتریس مقایسهٔ زوجی، براساس درجهٔ اهمیتی که هریک از مؤلفه‌ها برای تعیین مناطق کارستی دارند، وزن هریک از آنها تعیین شد. به‌منظور بررسی درجهٔ اهمیت این عناصر از مطالعات مرادی و همکاران (۲۰۱٦) کمک گرفته شد. نتایج حاصل از مقایسهٔ زوجی هریک از این مؤلفه‌ها نشان داد با توجه به میزان ناسازگاری ۰/۰۱ وضعیت زمین‌شناسی، بیشترین اهمیت (وزن ۰/۲۹۷) و شیب، کمترین اهمیت (وزن ۰/۰٤٥) را در تعیین مناطق کارستی منطقهٔ مدنظر دارند (جدول ۳).

جدول ۳. ماتریس مقایسهٔ زوجی مؤلفه‌های مؤثر بر تعیین مناطق مستعد کارست

وزن‌ها	شیب	فاصله از رودخانه	دما	ارتفاع	بارندگی	فاصله از گسل	زمین‌شناسی	
۰/۲۹۷	۷	٦	٥	٤	۳	۲	۱	زمین‌شناسی
۰/۲۳۱	٦	٥	٤	۳	۲	۱		فاصله از گسل
۰/۱٦۷	٥	٤	۳	۲	۱			بارندگی
۰/۱۱٦	٤	۳	۲	۱				ارتفاع
۰/۰۸۲	۳	۲	۱					دما
۰/۰٥۹	۲	۱						فاصله از رودخانه
۰/۰٤٥	۱							شیب

با توجه به شکل (٥) مشخص می‌شود در بخش‌هایی از جنوب شرق و شمال غرب منطقهٔ پژوهش (رنگ‌های تیره) احتمال وجود مناطق کارستی بیش از مناطق مرکزی است. به‌منظور تعیین صحت مدل، نمونه‌هایی از مناطقی مطالعه شدند که احتمال وجود کارست در آنها بیشتر است. بازدیدهای میدانی از منطقه نشان داد در طول و عرض جغرافیایی ٥۱ درجه و ۳٥ دقیقه و ۲۹ درجه و ۲۰ دقیقه کارست وجود دارد؛ بنابراین مدل در پیش‌بینی مناطق کارستی دقت زیادی دارد و از آن برای پیش‌بینی دیگر مناطق کارستی در مناطق دیگر استفاده می‌شود.



شکل ٥. نقشه‌های مناطق کارستی با استفاده از روش فازی

با توجه به اینکه روش فازی و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای تعیین مناطق کارستی دقت زیادی دارند، این مدل برای تعیین مناطق کارستی در سایر مناطق استفاده می‌شود. درواقع با استفاده از مدل‌های با دقت زیاد، مناطق کارستی به‌طور دقیق مشخص می‌شوند. استفاده از محیط GIS به شناسایی مناطق کارستی به‌طور مکانی کمک می‌کند (Waikar & Nilawar, 2014: 12168).

ملکی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش فازی و مدل تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط GIS، مناطق مناسب کارستی کوه خورین کرمانشاه را تعیین کردند. نتایج این مطالعه نشان داد دامنه‌های جنوبی کوه خورین آب مناسبی ازنظر کیفیت و کمیت دارد. درواقع به علت همگن‌کردن داده‌ها با استفاده از روش فازی (Rather & Andrabi, 2012: 224) و وزن‌دهی به لایه‌ها با توجه به اهمیتی که دارند با بهره‌گیری از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (عادلی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۵) در محیط GIS، مناطق کارستی با دقت زیاد تعیین می‌شود.

نتیجه‌گیری

یکی از دلایل اهمیت‌یافتن مناطق کارستی، منابع آبی مهم آن است. به‌طور کلی آبخوان‌های کارستی سه منطقهٔ تغذیه، انتقال و تخلیه دارند. مناطق تغذیه به‌مثابهٔ تأمین‌کننده‌های ورودی آبخوان، نقشی اساسی در چرخهٔ هیدرولوژیکی آبخوان‌های کارستی دارند. با توجه به یکسان‌نبودن ژئومورفولوژی کارست سطحی و لندفرم‌ها، نوع و چگونگی تغذیه در آبخوان‌های کارستی متفاوت است؛ بنابراین تعیین مناطق کارستی با داشتن منابع غنی ازنظر شرایط زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و اقلیم حاکم بر آنها مهم به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت موضوع در این مطالعه مناطق کارستی بدون حضور در منطقه پیش‌بینی و تعیین شد. برای این منظور به کمک روش فازی، نقشه‌های فازی لایه‌های مؤثر بر پیش‌بینی کارست تعیین شد. سپس با استفاده از روش AHP، وزن‌دهی به لایه‌ها انجام و نقشه‌های کارست منطقهٔ مدنظر تهیه شد. نتایج نشان داد روش فازی دقت زیادی در تعیین مناطق کارستی دارد که این امر با نتیجهٔ مطالعات مرادی و همکاران (۲۰۱٦) یکسان است. همچنین نتایج حاکی است نقشهٔ زمین‌شناسی (جنس سازند) بیشترین اهمیت را در پیش‌بینی مناطق کارستی و شیب کمترین تأثیر را در شناسایی مناطق کارستی دارد. به کمک مناطق کارستی امکان پیش‌بینی ذخایر آب به‌ویژه آب شیرین منطقه نیز وجود دارد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیار مهم است.

منابع

ثروتی، محمدرضا، ابراهیمی، عطرین، (۱۳۹۵). **شناسایی اشکال کارستی و تحول آنها از دیدگاه ژئومورفولوژی در منطقهٔ کامیاران با تأکید بر منابع آب**، دومین کنگرهٔ بین‌المللی علوم زمین و توسعهٔ شهری، تبریز، شرکت کیان‌طرح دانش، پژوهشکدهٔ جهاد دانشگاهی واحد استان آذربایجان شرقی.

شجاع، عاطفه، محمدی، ضرغام، (۱۳۸۹). **بررسی اثر تغییرات بارندگی بر مشخصات هیدروگراف چشمهٔ کارستی پیر غار**، بیست‌ونهمین گردهمایی علوم زمین، ۹ ص.

شکری، محمد، (۱۳۹۰). **بررسی توسعهٔ کارست در حوضهٔ آبگیر چشمه‌علی دامغان با تلفیق مطالعات هیدروژئولوژیکی (RS و GIS)**، استاد راهنما: کرمی، غلامحسین، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکدهٔ علوم پایه.

طاحونی، پوران، (۱۳۷٤). **بررسی و شناخت اشکال کارست در منطقهٔ دشت ارژن و کازرون به‌منظور تخمین حجم آب‌های زیرزمینی**، استاد راهنما: محمودی، فرج‌الله، دانشگاه تهران، دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی.

عادلی، محسن، ضیاییان، پرویز، شکیبا، علیرضا، (۱۳۹۱). **شناسایی منابع آب زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعهٔ موردی: شهرستان گرگان)**، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی، ۳۱-۲۰.

قبادی، محمدحسین، (۱۳۸٦). **زمین‌شناسی مهندسی**، چاپ اول، همدان، انتشارات دانشگاه بوعلی سینای همدان.

مقصودی، مهران، حاجی‌کریمی، آرش، صفری، فرشاد، چهارراهی، ذبیح‌الله، (۱۳۸۸). **بررسی توسعهٔ کارست در تودهٔ پرآو - بیستون با استفاده از ضریب فرود، زمان مرگ چشمه‌ها و تحلیل نتایج ایزوتوپی و شیمیایی**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی سابق)، سال ٤١، شمارهٔ ٦٩، ٥١-٦٥.

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**، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۸، پیاپی ٦٥، شمارهٔ ۱، ۱۵۰-۱۳٤.

میلانوویچ، پیتر، (۱۳۸۹). **هیدروژئولوژی کارست**، ترجمهٔ عبدالوحید آغاسی و احمد افراسیابیان، چاپ اول، تهران، انتشارات طرح تهیهٔ استانداردهای مهندسی آب کشور.

Bauer, S., Liedl, R., Sauter, M., (2005). **Modeling the influence of epikarst evolution on karst aquifer genesis: A time-variant recharge boundary condition for joint karst-epikarst development**, Water Resources Research, Vol 9, No 41.

Ford, D., Williams, P.D., (2013). **Karst hydrogeology and geomorphology**, John Wiley & Sons.

Geyer, T., Birk, S., Liedl, R., Sauter, M., (2008). **Quantification of temporal distribution of recharge in karst systems from spring hydrographs**, Journal of hydrology, Vol 3-4, No 348, Pp 452-463.

Hughes, A.G., Mansour, M.M., Robins, N.S., Peach, D.W.,. (2006). **Numerical Modelling of Run-off Recharge in a Catchment in the West Bank**, Poeter, Hill and Zheng (Eds), MODFLOW and More.

Janža, M., (2010). **Hydrological modeling in the karst area, Rižana spring catchment, Slovenia**, Environmental earth sciences, Vol 5, No 61, Pp 909-920.

Jukić, D., Denić-Jukić, V., (2008). **Estimating parameters of groundwater recharge model in frequency domain: Karst springs Jadro and Žrnovnica**, Hydrological Processes: An International Journal, Vol 23, No 22, Pp 4532-4542.

Kuhta, M., Brkić, Ž, & Stroj, A., (2012). **Hydrodynamic characteristics of Mt. Biokovo foothill springs in Croatia**, Geologia Croatica, Vol 1, No 65, Pp 41-52.

the farmers' perception, International Institute for GeoInformation Science and Earth Observation, Enschede, the Netherlands, 133 p.

Sauter, M., (1992). **Quantification and forecasting of regional groundwater flow and transport in a karst aquifer (Gallusquelle, Malm, SW. Germany)**, Vol 13, 150 p.

Shaban, A., BouKheir, R., Froidefond, J., Khawlie, M., Girard, M-C., (2004). **Characterization of morphometric factors of drainage system interrelated to rock infiltration: the case of the Occidental Lebanon: Caract´erisation des facteurs morphom´etriques des r´eseaux hydrographiques correspondant aux capacit´es d'RPs des roches au Liban Occidental**, Zeitschrift Fur Geomorphologie, Vol 48, 1 p.

Teutsch, G., Sauter, M., (1998). **Distributed parameter modelling approaches in karst hydrological investigations**, Bulletin d'Hydrogeologie, Vol 16, Pp 99-110.

Waikar, M.L., Nilawar, A.P., (2014). **Identification of Groundwater Potential Zone using Remote Sensing and GIS Technique**, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol 3, Pp 12163-12174.

Waltham, T., Waltham, A.C., Bell, F.G., Culshaw, M.G., (2005). **Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction**, Springer Science & Business Media.

Yagoub, M.M., (2015). **Spatio-temporal and hazard mapping of Earthquake in UAE (1984–2012): Remote sensing and GIS application**, Geoenvironmental Disasters 2, Vol 13, https://doi.org/10.1186/s40677-015-0020-y.

Zadeh, L.A., (1965). **Fuzzy Sets**, Inf, Control 8, Pp 338–353, https://doi.org/10.1016/ S0019-9958 (65) 90241-X.

Mangin, A., (1984). **Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatoire et spectrale**, Journal of hydrology, Vol 1-4, No 67, Pp 25-43.

Martínez-Santos, P., Andreu, J.M., (2010). **Lumped and distributed approaches to model natural recharge in semiarid karst aquifers**, Journal of hydrology, Vol 3-4, No.388,.Pp.389-398.

McBratney, A.B., Odeh, I.O.A., (1997). **Application of Fuzzy sets in soil science: Fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions**, Geoderma, Vol 77, Pp 85–113.

Milanovic, P., (1981). **Karst Hydrogeology**, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA, 434 p.

Moradi, S., Kalantari, N., Charchi, A., (2016). **Karstification Potential Mapping in Northeast of Khuzestan Province, Iran, using Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process (AHP) techniques**, Geopersia, Vol 2, No 6, Pp 265-282.

Radulovic, Milan, Zoran Stevanovic, Micko Radulovic, (2012). **A new approach in assessing recharge of highly karstified terrains–Montenegro case studies**, Environ Earth Sci, Vol 65, Pp 2221–2230.

Rather, J.A., Andrabi, Z.R , (2012). **Fuzzy Logic Based GIS Modeling for Identification of Ground Water Potential Zones in the Jhagrabaria Watershed of Allahabad District, Uttar Pradesh, India**, Journal of Advances in Remote Sensing and GIS, Vol 1, Pp 217-233.

Saaty, T.L., Vargas, L.G., (2001). **How to make a decision. In Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process**, (Pp 1-25), Springer, Boston, MA.

Sanchez Moreno, JF., (2007). **Applicability of knowledgebased and Fuzzy theory-oriented approach to land suitability for upland rice and rubber, as compared to**