نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۵،زمستان ۹۸

بررسی عوامل موثر در توسعه یافتگی و پهنه‌بندی کارست کوهستان خورین با استفاده از منطق فازی

دریافت مقاله: ۹۵/۸/۲۱ **پذیرش نهایی:** ۹۷/۲/۱۴

صفحات: ۳۶-۲۳

امیر صفاری: دانشیار دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران[۱].
Email: saffari@khu.ac.ir
طیبه کیانی: استادیار دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
Email: tayebeh.kiani@gmail.com
ساسان زنگنه‌تبار: دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.
Email: zangenegeo154@gmail.com

چکیده

پهنه‌های کارستی نقش مهمی در تغذیه آبخوان‌های کارستی دارند، بنابراین شناخت عوامل مؤثر در تحول کارست و پهنه‌بندی آن در زمینه مطالعات مربوط به منابع آب کارست دارای جایگاه ویژه‌ای هستند. نتایج حاصل از این مطالعات می‌تواند جهت مدیریت کمی و کیفی و حفاظت از این منابع در مقابل آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی مورد استفاده قرار گیرد. کوهستان خورین با مساحت ۳۹۶/۵ کیلومتر مربع در زون زاگرس مرتفع و در مرز دو استان کردستان و کرمانشاه قرار می‌گیرد. توده مورد نظر به دلیل رخنمون سنگ‌های کربناته و وجود دیگر متغیرهای تاثیرگذار، مستعد پدیده کارست زایی بوده و در آن چشمه‌های زیادی به عنوان خروجی آبخوان کارستی وجود دارد. در این پژوهش لایه‌های سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، بارش، دما، شیب، ارتفاع، جهت شیب و پوشش گیاهی با توجه به تابع مورد نیاز هر کدام، فازی سازی شده و با استفاده از عملگر گامای ۰/۹ تلفیق شدند در پایان نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی منطقه تهیه شد. این نقشه در چهار طبقه فاقد کارست، کارست با توسعه کم، کارست با توسعه متوسط و کارست با توسعه زیاد با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی طبقه‌بندی شد. با توجه به نیاز به لایه‌ی فروچاله‌ها برای بررسی صحت پهنه‌بندی توسعه کارست منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش "Fill sink" اقدام به شناسایی فروچاله‌های کارستی و تهیه نقشه توزیع فضایی آن‌ها گردید. نتایج تحقیق حاکی از این است که حدود ۹۸٪ فروچاله‌ها در طبقات کارست سه‌گانه قرار گرفته‌اند.

کلیدواژگان: کارست، کوهستان خورین، پهنه‌بندی، منطق فازی، روش Fill sink.

---

۱. **نویسنده مسئول:** تهران، خیابان مفتح جنوبی، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]

مقدمه

واژه‌ی کارست به مناطقی (عمدتاً مناطق آهکی) اطلاق می‌شود که در آنها آب زیرزمینی باعث توسعه‌ی بازشدگی‌ها گردیده و در نتیجه یک سیستم زهکشی زیرسطحی ایجاد نموده است (LaMoreaux, 1991& Ford, 2007). تقریباً یک پنجم از سطح کره زمین توسط سازندهای مختلف کربناته پوشیده شده است (LaMoreaux, 1991). از طرف دیگر بیش از ۲۵ درصد جمعیت جهان یا مستقیماً بر روی مناطق کارستی زندگی می‌کنند و یا آب مورد نیاز خود را از منابع کارستی تأمین می‌نمایند (Ford & Williams, 2007). در ایران حدود ۱۱ درصد از سطح کل کشور و حدود ۹۰ درصد از ارتفاعات زاگرس از سازندهای کارستی تشکیل شده است (افراسیابیان، ۱۳۷۷). امروزه در دنیا کارست را یک منبع ارزشمند به شمار می‌آورند و اعتقاد عمومی بر این است که هر نوع دخل و تصرف به منظور بهره‌برداری از منابع آن باید با مطالعه و برنامه ریزی دقیق همراه باشد. در واقع کارست منبعی منحصر به فرد و تجدیدناپذیر با ارزشهای مهم بیولوژیکی، هیدرولوژیکی، معدنی، علمی، فرهنگی، تفریحی و اقتصادی می باشد (وزارت جنگلداری بریتیش کلمبیا، ۲۰۰۳). عوامل موثر و لازم برای ایجاد و توسعه کارست به سه دسته فیزیکی، شیمیایی و وضعیت هیدروژئولوژیکی تقسیم می‌شوند (White, 1988). تحول و توسعه کارست تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار دارد که در این میان نقش ترکیب سنگی و ویژگی‌های آن و عوامل ساختاری همچون گسل‌ها و درزه‌ها اهمیت زیادی دارد. لندفرم‌های کارستی در مسیرهایی شکل می‌گیرند که توسط عوامل ساختاری کنترل می‌شوند (Ford & Williams, 1989). وجود درز و شکاف‌های زمین‌ساختی همراه با فعالیت های انحلالی شرایط را برای نفوذ آب به صورت متلاطم در راستای ژرفا و قرارگیری بیشتر سنگ‌ها (در واحد سطح) در معرض عامل انحلالی فراهم می‌کند. بارزترین نتیجه کارستی شدن مورفولوژی خاصی است که مناطق کارستی را از نواحی دیگر کاملاً متمایز می‌سازد. با تحول کارست، اشکال و ناهمواری‌هایی نظیر کارن(لاپیه)، دولین، چاله‌ها(جاماها)، غارها، پانورها (حفره‌های بلعنده)، مغاره‌ها، چشمه‌های متناوب، رودخانه‌های گمشده، دشت‌های کارستی و پدیده‌های متعدد مشابه دیگر پدید می‌آید. توپوگرافی ویژه کارست، در ارتباط با زهکشی زیرزمینی می‌باشد و ارتباط نزدیکی با ژئومورفولوژی و هیدرولوژی دارد (ویل[2] وهمکاران، ۲۰۰۹).

پهنه‌های کارستی نقش مهمی در تغذیه آبخوان‌های کارستی دارند، بنابراین شناخت عوامل مؤثر در تحول کارست و پهنه‌بندی تحول آن در زمینه مطالعات مربوط به منابع آب کارست دارای جایگاه ویژه‌ای هستند. نتایج حاصل از این مطالعات می‌تواند جهت مدیریت کمی، کیفی و حفاظت از این منابع در مقابل آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی مورد استفاده قرار گیرد. بخش اعظم زاگرس از سازندهای کربناته تشکیل شده که با توجه به متغیرهای موثر در توسعه کارست، انواع کارست از لحاظ توسعه از جزئی ترین آنها به صورت اشکال ریز سطحی (میکرو کارن‌ها) تا توسعه‌یافته‌ترین آنها (پلیه، دولین و غار) در زاگرس یافت می‌شود (باقری و همکاران، ۱۳۹۳).

با توجه به اهمیت مناطق کارستی در تغذیه منابع آب زیرزمینی، پژوهش‌های به نسبت جامعی در رابطه با کارست در ایران و به ویژه زاگرس صورت گرفته است که در این میان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

[2]Waele

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]

پژوهش انجام شده توسط ملکی و محمودی(۱۳۸۰) در مورد تحول کارست در کوه پرآو- بیستون و نقش آن در تغذیه آبخوان‌های کارستی نشان داد که ویژگی‌های زمین‌ساختی، زمین‌شناسی و اقلیم گذشته سبب توسعه و تحول کارست در این منطقه شده است و عوارض کارستی نقش زیادی در تغذیه منابع آب زیرزمینی دارند. مجتبی یمانی و همکاران(۱۳۹۰) در مقاله‌ای به بررسی توسعه یافتگی کارست و میزان تاثیر عوامل مختلف در نفوذپذیری سازندها با استفاده از منطق فازی[3] و "AHP" در حوضه چله استان کرمانشاه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پارامتر سنگ‌شناسی و گسل‌ها، مهمترین عوامل تاثیرگذار در توسعه کارست منطقه مورد مطالعه هستند. اکبرخدری و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله ای به بررسی توسعه کارست در تاقدیس پیون در جنوب غرب ایران با استفاده از تلفیق اطلاعات جغرافیایی با تحلیل سلسله مراتبی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که مناطق با پتانسیل بالای کارست شدگی در شمال مرکزی آبخوان (سازند ایلام-سروک) قرار گرفته و چشمه‌های با آبدهی زیاد عمدتا در محدوده با پتانسیل بالای کارست شدگی قرار گرفته اند. ناهید زروش و همکاران(۱۳۹۳) با استفاده از تلفیق منطق فازی و روش "AHP" به ارزیابی پتانسیل توسعه کارست در تاقدیس کبیرکوه استان ایلام پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مهمترین پارامتر تاثیرگذار در توسعه کارست منطقه، پارامتر سنگ‌شناسی می‌باشد.

در پیرامون بلندی‌های منطقه مورد مطالعه ۵ چشمه کارستی مهم و پرآب به نام‌های سبزعلی، میراحمد، جابری، ماراب و بی‌ابر وجود دارد که نشان از ارتباط نزدیک منابع آب زیرزمینی با توسعه کارست در حوضه دارد، از این رو، این مسئله با بسیاری از فعالیت‌های انسانی همچون تأمین آب آشامیدنی روستاهای پیرامون، آب کشاورزی دشت‌های مجاور، ایجاد طرح‌های صنعتی و گردشگری به خصوص در تالاب هشیلان و ایجاد دریاچه مصنوعی و سد در منطقه ارتباط پیدا می‌کند. بنابراین شناخت میزان توسعه‌یافتگی و پهنه‌بندی سطح حوضه از این نظر با توجه به تأثیر آن در بیلان آبی منطقه ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش از نوع توسعه‌ای- کاربردی است که هدف آن، بررسی میزان تأثیر هر یک از عوامل مورد بررسی در توسعه یافتگی کارست، پهنه‌بندی حوضه از نظر توسعه‌یافتگی با استفاده از مدل‌های ریاضی و همچنین دست‌یابی به میزان کارآیی مدل‌ها در مطالعات مربوط به موضوع کارست است.

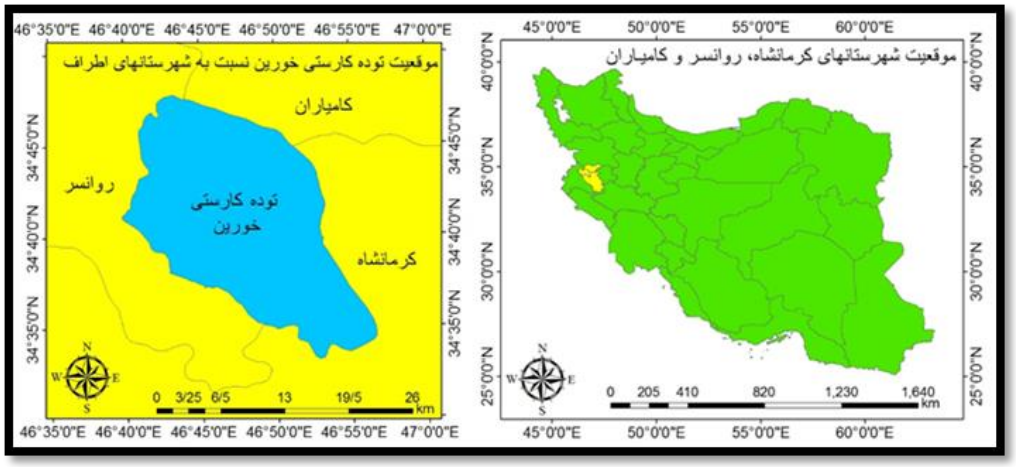
منطقه مورد مطالعه

توده کوهستانی خورین در ۳۶ کیلومتری شمال‌غرب شهر کرمانشاه واقع شده و دسترسی به آن از طریق جاده کرمانشاه-کامیاران امکان‌پذیر می‌باشد و از نظر تقسیمات سیاسی بین شهرستان‌های کرمانشاه، روانسر و کامیاران قرار دارد محدوده مورد مطالعه درجنوب از تالاب هشیلان در نزدیکی روستای هشیلان شروع شده و در شمال به جاده روانسر-کامیاران ختم می‌شود؛ هم‌چنین از رودخانه رازآور در شرق شروع و تا نزدیکی شهر روانسر در غرب ادامه دارد. توده کوهستانی خورین دارای روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی می‌باشد و موقعیت جغرافیایی آن از ۳۴ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و از ۴۶ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی می‌باشد. محیط منطقه مورد مطالعه ۹۸/۵۳ کیلومتر است و مساحت آن

[3]Fuzzy

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]

۳۹۶/۴۸۲ کیلومتر مربع می‌باشد. کوه خورین با ارتفاع ۲۵۲۵ متر از سطح دریا بلندترین نقطه منطقه مورد مطالعه می‌باشد. کوه چال‌آباد با ارتفاع ۲۴۳۴ متر، کوه ویلانی با ارتفاع ۲۴۰۰ متر، کوه هل‌هل با ارتفاع ۲۳۷۴ متر و کوه هشلان با ارتفاع ۲۲۸۲ متر از مهم‌ترین ارتفاعات منطقه بوده و کوه‌های ماه‌زرد، خوآخل، دزان و خره‌راه به ترتیب دارای ارتفاع کمتری هستند. هم‌چنین کوه‌های گره‌چیا، سرده‌قلا و زاغه‌بان سایر ارتفاعات منطقه هستند. حداکثر طول منطقه مورد مطالعه ۳۳ کیلومتر و عرض آن ۱۸ کیلومتر می‌باشد. هم‌چنین حداکثر ارتفاع آن ۲۵۲۵ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۳۱۳ متر منطبق بر دشت‌های حاشیه می باشد.شکل(۱).



شکل(۱). نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

این کار یک پژوهش توسعه‌ای-کاربردی است که بر روش‌های میدانی، ابزاری و کتابخانه‌ای متکی است. داده‌های اصلی پژوهش، نقشه‌های توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، لایه کاربری اراضی ۱:۲۵۰۰۰۰، لایه ارتفاع رقومی(DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر و آمار بارش و دما می‌باشد. نخست با استفاده از نقشه توپوگرافی، محدوده منطقه مورد مطالعه مشخص شد. در این پژوهش از ۸ متغیر زمین‌شناسی، فاصله از گسل، بارش، دما، شیب، ارتفاع، جهت شیب و کاربری اراضی به عنوان متغیرهای تاثیرگذار برای مدل‌سازی توسعه کارست سطحی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. با استفاده از مدل ارتفاع رقومی(DEM) علاوه بر لایه ارتفاع، لایه‌های شیب و جهت شیب منطقه تهیه شد. برای تهیه لایه ترکیب سنگی منطقه از نقشه زمین‌شناسی کامیاران استفاده شد و همچنین لایه گسل‌ها نیز از آن استخراج شد. لایه‌های بارش و دما با استفاده از آمار بارندگی و دمای دو استان کرمانشاه و کردستان تهیه شدند. لایه کاربری اراضی نیز قبلا از سازمان جنگلها و مراتع تهیه شده بود. در طی عملیات میدانی لندفرم‌های کارستی منطقه شناسایی و از آن‌ها عکس‌برداری شد. از روش "Fill sink" نیز برای تهیه لایه فروچاله‌های کارستی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در مرحله بعد، متغیرهای موثر در توسعه کارست با استفاده از منطق فازی، زیر فازی سازی شده و همه لایه‌های مطالعاتی به صورت استاندارد قابل مقایسه در آمدند رابطه(۱).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]

رابطه(۱)

$$f(x)=\begin{cases}1 & x>a\\ (x_{max}-x)/\Delta x & b>x>a\\ 0 & b>x\end{cases}$$

الگوریتم‌های منطق فازی که برای اولین بار توسط پروفسور لطفی‌زاده (۱۹۶۵-۱۹۷۵) معرفی شد، از جمله مدل‌های شبکه‌های عصبی است که برای اقدام در شرایط عدم اطمینان ارائه شد. این نظریه می‌تواند بسیاری از مفاهیم، متغیرها، شاخص‌ها و سامانه‌های نامشخص و مبهم را صورت‌بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط نامطمئن فراهم کند (Mahonen & frantti, 2000). در یک مجموعه فازی، به هر عضـو درجه عضویتی بین۰ تا ۱ اختصاص می‌یابد. صفر بیان‌کننده عدم عضویت کامل به مجموعه فازی و یک عضویت کامل را توجیه می‌کند و اعداد بین صفر تا یک، مجموعه پیوسته‌ای را از عضویت به مجموعه فازی نشان می‌دهند (Nadun et al., 2010).

در این پژوهش با توجه به نیاز به لایه‌ی فروچاله‌ها، برای بررسی صحت پهنه‌بندی توسعه کارست منطقه مورد مطالعه، با استفاده از روش "Fill sink" اقدام به شناسایی فروچاله‌های کارستی و تهیه نقشه توزیع فضایی آن‌ها می‌گردد. برای این منظور از لایه ارتفاع رقومی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متر استفاده شد. ابتدا این لایه به محیط نرم‌افزار "ArcGIS" فراخوانی می‌شود و با استفاده از روش "Fill sink" که دستور آن در ابزار " Arc" hydro تعبیه شده است اقدام به تهیه لایه فروچاله‌های منطقه مورد مطالعه می‌شود.

لایه‌های متغیرهای مورد بررسی پس از فراخوانی به محیط نرم‌افزار "Arc GIS" مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و لایه‌های مورد نیاز آماده شدند. لایه خطی گسل‌ها با دستور "Euclidean distance" به لایه رستری فاصله از گسل تبدیل شد. لایه‌های بارش و دما نیز که به شکل خطوط همباران و هم‌دما بودند به همراه پارامترهای کمی فاصله از گسل، ارتفاع و شیب به لایه رستری تبدیل شدند. در ادامه پارامترهای کیفی جهت شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی کمی‌سازی شدند. تابع عضویت هریک از لایه‌ها براساس نوع رابطه‌ای که هر پارامتر با پدیده کارست‌زایی دارد تعیین گردید و نمودار رفتار هریک از آنها در رابطه با توسعه کارست تهیه گردید اشکال(۲ و ۳). همه لایه‌های نامبرده با استفاده از توابع موجود در نسخه ۱۰/۳ نرم‌افزار 'ArcGIS" فازی‌سازی شدند. در پایان با استفاده از عملگر گامای فازی اقدام به همپوشانی لایه‌های مورد نظر شده و نقشه پایانی پهنه‌بندی توسعه کارست منطقه مورد مطالعه تهیه شد. نقشه پایانی با استفاده از لایه فروچاله‌های کارستی صحت‌سنجی گردید و پهنه‌های توسعه یافته از نظر کارست و مساحت هریک از آن‌ها تعیین گردید.

نتایج

برای ارزیابی میزان توسعه کارست منطقه مورد مطالعه از متغیرهای بارش، دما، فاصله از گسل، ارتفاع، شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی و پوشش گیاهی استفاده شد. هر یک از این متغیرها به نوعی در ایجاد و توسعه اشکال کارستی موثرند که متناسب با آن، اقدام به تهیه نقشه‌های مربوط به هر کدام از متغیرها گردید. نقشه‌های متغیرهای موثر در توسعه کارست منطقه مورد مطالعه به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته و فازی‌سازی شدند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]

دما: قابلیت انحلال سنگ‌های کربناتی نسبت به تغییرات دما حساس است زیرا در آب‌های سرد میزان انحلال گاز کربنیک افزایش یافته و در نتیجه اسیدیته آب کاهش می‌یابد. کاهش اسیدیته با ازدیاد میزان حلالیت کربنات‌ها همراه می‌باشد. بنا به قانون هنری، حلالیت گازها در آب با فشار، نسبت مستقیم و با حرارت نسبت عکس دارد. چون حلالیت کربنات‌ها به مقدارگاز Co2 حل شده در آب وابسته است در نتیجه هرچه حرارت کم باشد حلالیت کربنات نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد (مقیمی، ۱۳۹۱). از طرفی در مناطق گرم و مرطوب تولید دی‌اکسیدکربن بیشتر است. بنابراین چون منطقه مورد مطالعه دارای آب‌وهوای سرد کوهستانی و غالبا دارای رخنمون سنگی عریان می‌باشد. از این رو از یک رابطه خطی کاهنده جهت تعیین عضویت این لایه در توده کارستی خورین استفاده شده است.

بارش: وجود آب فاکتور اصلی اقلیمی در توسعه‌ی کارست است، این عامل اصلی‌ترین متغیر در کنترل انحلال و فرسایش بوده که به صورت طبیعی، کارست در مناطقی پیشرفت می‌کند که میزان بارندگی بالاتر باشد و مناطق خشک یا بسیار سرد مانع از توسعه‌ی کارست می‌گردند. هر دوی این شرایط آب و هوایی باعث کم‌بودن آب به صورت مایع گردیده و بنابراین باعث محدود شدن انحلال می‌گردند. لذا در مدتهای بسیار طولانی، سنگ بدون انحلال باقی می‌ماند. وجود آب به حد کافی، سایر عوامل آب و هوایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در صورت عدم وجود آب به میزان کافی (به صورت مایع)، اثر سایر عوامل مشهودتر خواهد بود. بنابراین پارامتر بارش رابطه مستقیم با توسعه کارست دارد. زیرا با افزایش بارش شرایط توسعه کارست مساعد شده و در نهایت کارست‌زایی افزایش می‌یابد. از این‌رو از یک رابطه خطی افزاینده جهت تعیین عضویت این لایه استفاده شده است.

ارتفاع: در مناطق مرتفع‌تر، آب‌وهوا سردتر است و در نتیجه هوازدگی فیزیکی مؤثرتر می‌باشد. همچنین آب دریافتی از طریق بارش‌ها نیز بیشتر است. به دلیل سرد بودن، رشد گیاهان انبوه و دارای ریشه‌های عمیق محدود می‌گردد و در نتیجه تبخیر و تعرق ناشی از گیاهان کم می‌شود، اگر چه وزش بادهای شدید در ارتفاعات موجب افزایش تبخیر از سطح زمین می‌گردد. بنابراین پارامتر ارتفاع رابطه مستقیمی با توسعه کارست دارد. از این‌رو از یک رابطه خطی افزاینده جهت تعیین عضویت این لایه در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

شیب: در مناطق دارای شیب زیاد امکان باقی ماندن خاک با ضخامت زیاد و همچنین رویش گیاه فراهم نمی‌باشد. بنابراین آب باران به سرعت جاری می‌شود و فرصت نفوذ نخواهد داشت. بخشی از آب نفوذ کرده نیز در امتداد لایه‌بندی حرکت می‌کند و توسعه‌ی عمودی کارست محدود می‌گردد (شمسائی، ۱۳۷۲). همچنین پارامتر شیب رابطه معکوس با ایجاد و توسعه فروچاله‌ها دارد. در شیب‌های کمتر از ۱۰ درجه بیشترین میزان توسعه فروچاله‌ها رخ می‌دهد و از شیب ۵۰ درجه به بالا به ندرت فروچاله‌ای دیده می‌شود. در کل هرچه شیب بیشتر باشد میزان توسعه کارست کاهش می‌یابد. بنابراین تابع عضویت شیب در کارست‌زایی از یک رابطه خطی کاهنده پیروی می‌کند.

فاصله از گسل: براثر عملکرد فرآیندهای تکتونیکی، درز و شکاف‌ها در جهت‌های عمودی، افقی و مایل در توده‌های سنگی ایجاد و گسترش می‌یابند. درزه و شکاف‌هایی که به صورت یک شبکه گسترش می‌یابند در

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]

شکل‌گیری و تشکیل اشکال زیرزمینی مانند مجاری به هم پیوسته و تشکیل آبخوان‌های کارستی نقش بسیار مهمی بازی می‌کنند. پارامتر فاصله از گسل رابطه معکوس با توسعه کارست دارد. زیرا در مناطق نزدیک گسل به علت تکتونیزه بودن و وجود درزه و شکاف، میزان نفوذپذیری سنگ‌ها بیشتر بوده و در نتیجه میزان کارست‌زایی افزایش می‌یابد. از این‌رو از یک رابطه خطی کاهنده جهت تعیین عضویت این لایه در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

سنگ‌شناسی: بلندی‌های کوهستان خورین را توالی ضخیم کربناتی آهک بیستون تشکیل می‌دهد. کهن‌ترین بخش آهک‌های بیستون، شامل آهک‌های ستبرلایه در زیر و آهک‌های توده‌ای ریفی در بالا به ضخامت حدود ۳۰۰ متر است که دیرینه ترياس بالا دارد (براود[4]، ۱۹۸۹). بخش‌های ژوراسیک زیرین و میانی از آهک لایه لایه تشکیل شده است که به سوی بالا توده‌ای می‌شود. رخساره این بخش االیتی و بیوآواری است و ضخامت آن ۲۰۰ تا۳۰۰ متر است. واحدهای ژوراسیک بالایی بیستون، آهک‌های ضخیم لایه‌ای هستند که ارتفاعات اصلی منطقه را تشکیل می‌دهند و دارای بلندی حدود ۲۵۰۰ متر است. در کل واحد آهک بیستون با مساحت ۲۳۵/۳ کیلومترمربع حدود ۶۳/۴ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. این واحد منطبق بر ارتفاعات اصلی کوهستان خورین است و مهم‌ترین سازند در مطالعه کارست منطقه مورد مطالعه می‌باشد. واحد آهک‌های کرم رنگ متوسط تا ضخیم‌لایه سنگواره‌دار و واحد آهک‌های بیوکلاستیک سیلیسی حاوی آمونیب با میان‌لایه‌های رس و مارن از دیگر واحدهای کربناته منطقه مورد مطالعه هستند. لایه سنگ‌شناسی به دلیل ماهیت کیفی آن پس از کمی سازی با استفاده از تابع خطی افزاینده فازی‌سازی شد.

جهت شیب: در جهات شیب شمالی به دلیل این که کمتر در معرض نور آفتاب هستند و بیشتر اوقات روز دارای سایه می‌باشند تبخیر کمتر است و همچنین برف‌های باریده شده روی آن‌ها دیرتر ذوب شده و فرصت کافی برای نفوذ را در اختیار دارند. بنابراین جهات شیب شمالی آب بیشتری برای انحلال و توسعه کارست در اختیار دارند. لایه جهت شیب منطقه به دلیل ماهیت کیفی آن پس از کمی‌سازی با استفاده از تابع خطی افزاینده فازی‌سازی شد.

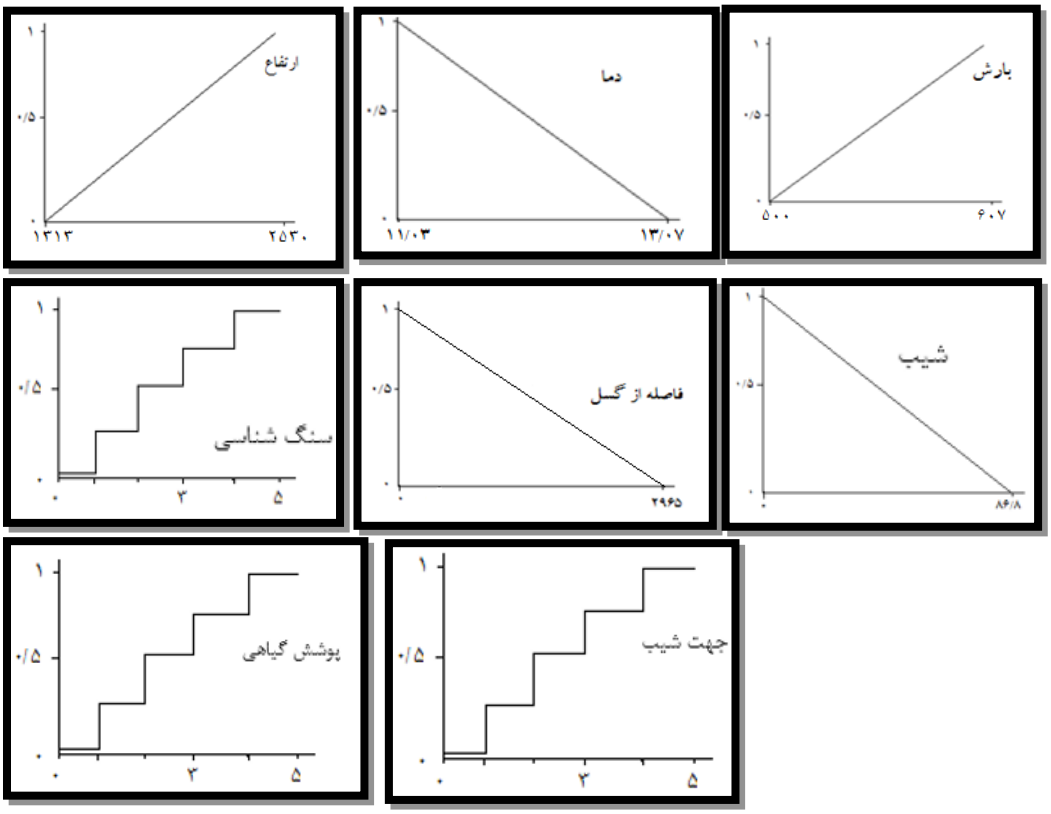
پوشش گیاهی: گیاهان بر میزان تغذیه مناطق کارستی موثرند. پوشش گیاهی در هر منطقه سرعت جریان‌های سطحی را کاهش داده و سبب نفوذ بیشتر آب به داخل خاک می‌گردد. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده از اختصاصی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی بین پوشش گیاهی و اندازه درز و شکاف‌ها رابطه مستقیمی بوده و پوشش گیاهی سبب افزایش درز و شکاف‌ها در سازند سخت شده و مقدار نفوذ را به حد چشمگیری افزایش می‌دهد.

در منطقه مورد مطالعه، دشت‌های حاشیه کوهستان خورین به زیر کشت دیم و آبی رفته و محصولات دیمی مانند گندم و جو در آن‌ها کشت می‌شود. دامنه ارتفاعات به دلیل شیب زیاد و برونزدگی سنگ‌ها، خاک خیلی کمی دارند به همین دلیل دارای مراتع فقیر تا متوسط هستند اما در راس اکثر ارتفاعات هر جا که شیب مناسب بوده خاک تشکیل گردیده است همچنین این مناطق دارای بیشترین میزان بارندگی در کل منطقه بوده به همین دلیل دارای مراتع متراکم هستند. لایه پوشش گیاهی به دلیل ماهیت کیفی آن پس ازکمی‌سازی

[4]Braud

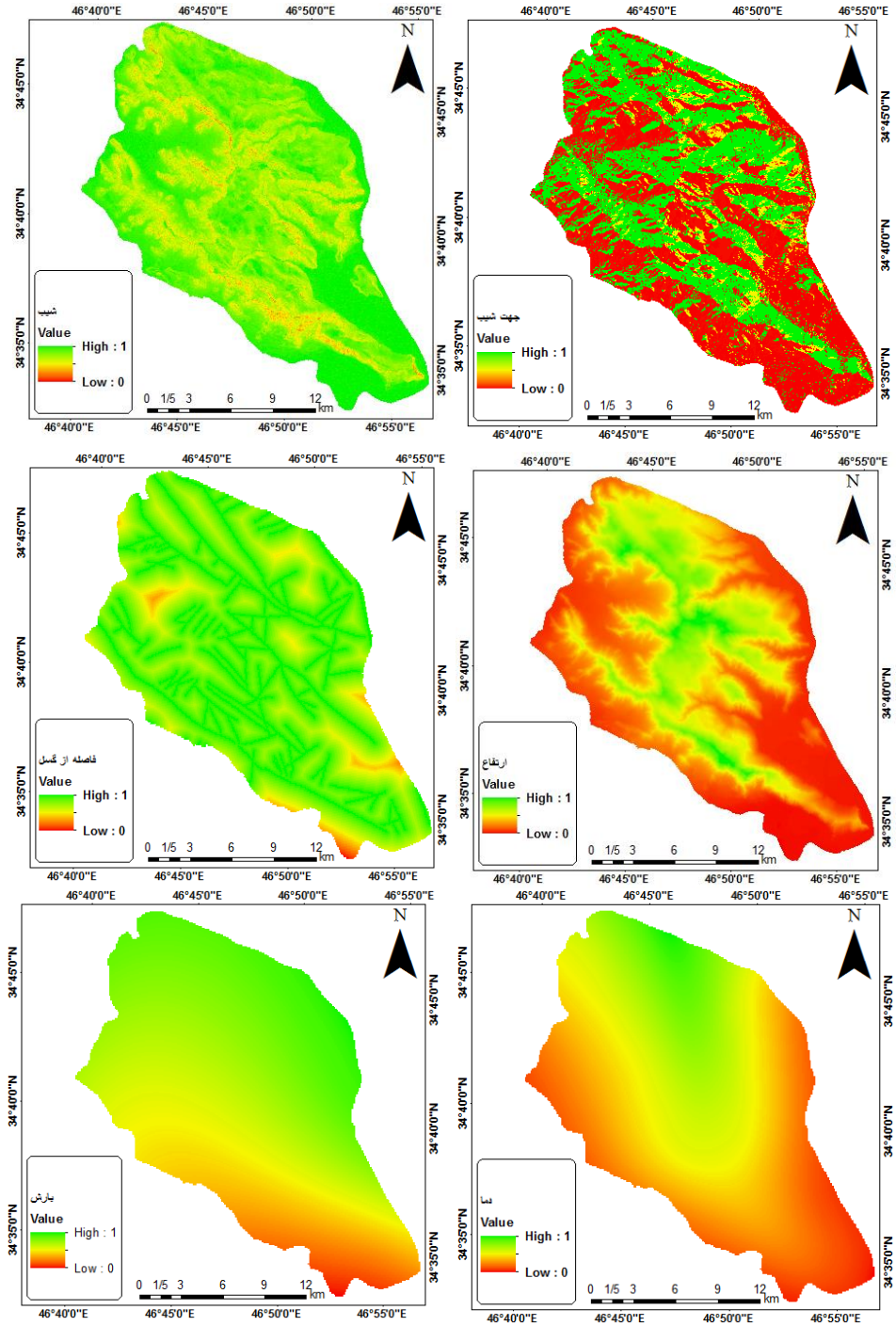
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]

با استفاده از تابع خطی افزاینده فازی‌سازی گردید.

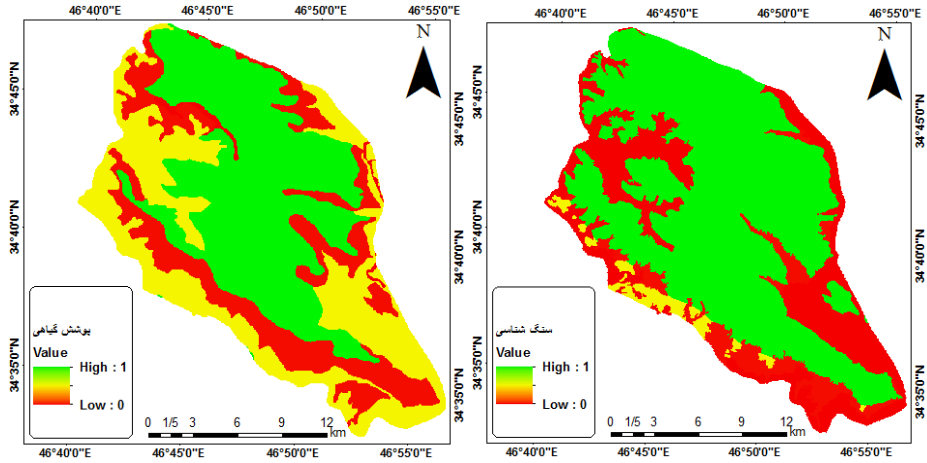


شکل(۲) نمودارهای تابع فازی هر یک از عوامل موثر در توسعه کارست منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]



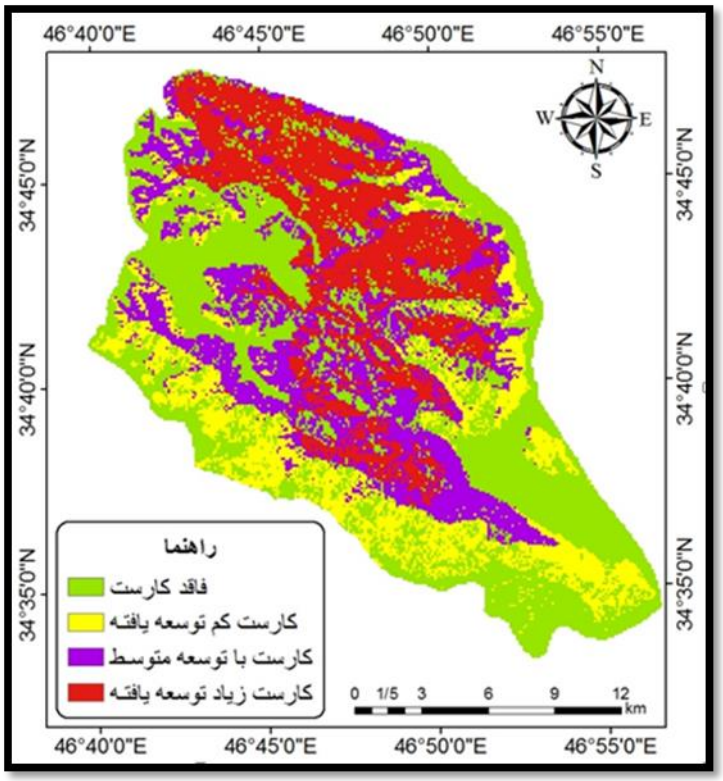
شکل(۳). نقشه‌های فازی سازی شده عوامل موثر در توسعه کارست

پارامترهای درنظر گرفته شده در مدل با استفاده از عملگر گاما ۰/۹، ۰/۸ و ۰/۷ روی هم‌گذاری شده و در نهایت گامای ۰/۹ به دلیل مطابقت بیشتر با عوامل موثر در توسعه کارست منطقه مورد مطالعه به عنوان بهترین ضریب تلفیق انتخاب شد و با استفاده از آن نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست تهیه گردید. شکل(۴)، نقشه پهنه‌بندی توسعه‌یافتگی کارست سطحی توده کارستی خورین را نشان می‌دهد. این نقشه با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی به چهار طبقه فاقد کارست (۰-۰/۲۱۳)، کارست با توسعه کم (۰/۲۱۳-۰/۶۴۲)، کارست با توسعه متوسط (۰/۶۴۲-۰/۸۱۵) و کارست توسعه یافته (۰/۸۱۵-۰/۹۳۵) طبقه‌بندی شده است. جدول(۱)، درصد و مساحت هر یک از پهنه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول(۱). مساحت پهنه‌های کارستی حاصل از مدل منطق فازی توده کارستی خورین

ردیف	طبقات میزان توسعه‌یافتگی کارست	مساحت (کیلومترمربع)	درصد
۱	فاقد کارست	۱۴۷/۳۱	۳۹/۸۸
۲	کارست کم توسعه یافته	۶۱/۶	۱۶/۶۸
۳	کارست با توسعه متوسط	۸۰/۱۹	۲۱/۷۱
۴	کارست با توسعه زیاد	۸۰/۲۶	۲۱/۷۳

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]



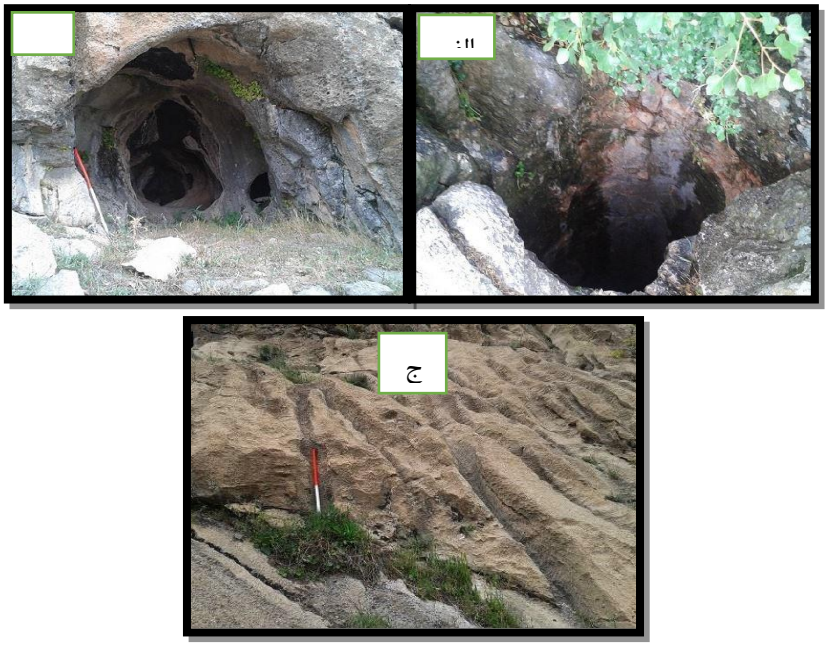
شکل(۴). نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی توده کارستی خورین

ژئومورفولوژی کارست

نتیجه عمل کارستی شدن، ایجاد یک مورفولوژی یا زمین‌ریخت‌شناسی ویژه است که مناطق کارستی را از نواحی غیرکارستی جدا می‌کند. پدیده‌های کارستیک سطحی و زیرسطحی کلیدی برای درک طبیعت و ژنز سیستم‌های کارستی می‌باشند (آنسال و سلیک، ۲۰۰۸: ۲۶۸). در واقع بین ژئومورفولوژی کارست و تکامل آن، ارتباط نزدیکی وجود دارد به طوری که فراوانی و گسترش پدیده‌های مورفولوژی کارست، از گسترش کارست در ناحیه حکایت دارد (قبادی، ۱۳۸۶: ۱۱۲). چشم‌اندازهای کارستی در منطقه مورد مطالعه، حاصل دخالت مشترک فرآیندهای مورفودینامیک درونی و بیرونی در طی زمان است. از جمله مهمترین عوامل درونی موثر در شکل‌زایی پدیده‌های کارستی، تکتونیک شکننده و حضور سنگ‌های کربناته می‌باشد. در واقع وجود تکتونیک فعال در منطقه که موجب گسترش شکستگی شده و همچنین گسترش سنگ‌های انحلال‌پذیر آهکی و دولومیتی در منطقه باعث گسترش پدیده‌های کارستی مانند کارن، فروچاله، غار، دره‌های خشک و چاه‌های کارستی شده است. موثرترین عوامل بیرونی در شکل‌زایی کارست، اقلیم، ارتفاع، شیب و زمان است. در منطقه مورد مطالعه غارهایی که در سطح نمایان شده‌اند گسترش طولی چندانی ندارند. فروچاله‌ها عمدتا در قسمت‌های مرتفع توده کارستی خورین مشاهده می‌شوند اما کارن‌ها به عنوان چشم‌انداز غالب کارست در کل ارتفاعات منطقه در اندازه‌های مختلف وجود دارند. چشمه‌های کارستی از دیگر سیماهای رایج در مناطق

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]

کارستیک هستند که در منطقه مورد مطالعه یافت می‌شوند. چشمه‌های بی‌ابر، ماراب، سبزعلی (هشیلان)، میراحمد و جابری از چشمه‌های پرآب حاشیه توده کارستی خورین می‌باشند که از بین، چشمه سبزعلی (هشیلان) به عنوان تغذیه کننده تالاب هشیلان از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. شکل(۵) نمونه‌ای از اشکال کارستی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل(۵). نمونه‌هایی از اشکال کارستی کوهستان خورین: الف) فروچاله، ب)غار ، ج)لاپیه(کارن).

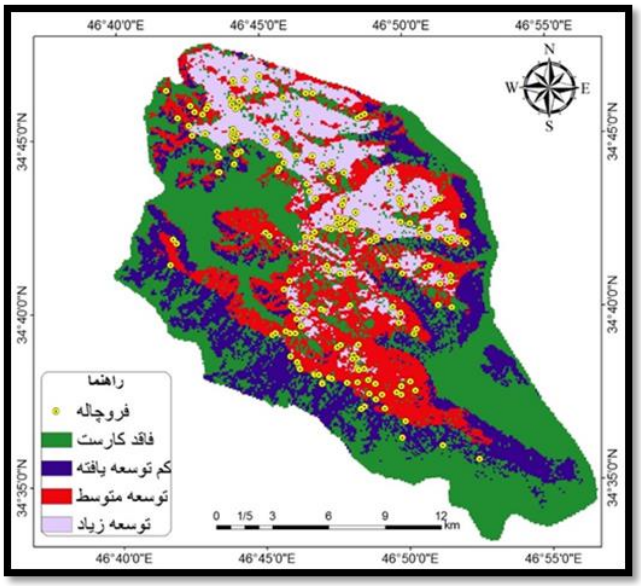
نتیجه‌گیری

تلفیق و تحلیل نقشه‌های موضوعی و تصاویر ماهواره‌ای مختلف ابزاری مفید در شناسایی مناطق کارستی و پهنه‌بندی آنها از نظر میزان توسعه‌یافتگی است. با توجه به ارتباط منابع آب کارست با مناطق توسعه‌یافته کارستی، شناخت ژئومورفولوژی و میزان توسعه یافتگی کارست هر منطقه می‌تواند به ما در مدیریت بهینه منابع آب آن کمک کند. در طی بازدیدهای میدانی، ژئومورفولوژی کارست منطقه مورد بررسی قرار گرفت و از بعضی از اشکال تصویر تهیه شد. با اعمال مدل فازی و گامای ۰/۹، در نهایت نقشه پهنه‌بندی توسعه کارست منطقه مورد مطالعه به دست آمد، بررسی این نقشه وضعیت منطقه را از نظر توسعه کارست به شکل زیر نشان می‌دهد. وضعیت قرارگیری این طبقات به طور دقیق با ارتفاعات منطقه و وضعیت سنگ‌شناسی مطابقت داده شده و در ادامه توضیح داده شده است.

طبقه فاقد کارست: بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه را این طبقه به خود اختصاص می‌دهد و منطبق بر دشت‌های حاشیه و به صورت پراکنده در دامنه‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد. لازم به ذکر است این طبقه، منطبق بر رسوبات آبرفتی عهد حاضر می‌باشد و نقشی در طبقه‌بندی توسعه کارست و شکل‌گیری اشکال کارستی منطقه مورد مطالعه ندارد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]

طبقه با توسعه کارست کم: این طبقه منطبق بر کوه گره‌چیا، دامنه‌های جنوبی کوه‌های خورین و ماه‌زرد، دامنه‌های شرقی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بوده و کمترین مساحت را به خود اختصاص داده است. این طبقه بیشتر منطبق بر آهک‌های کرم‌رنگ متوسط لایه و آهک‌های سیلیسی با میان‌لایه‌های مارنی می‌باشد.
طبقه کارست با توسعه متوسط: این طبقه منطبق بر دامنه‌های شمالی کوه ماه‌زرد و کوه خورین، دامنه‌های غربی و شمال‌غربی و قسمت‌هایی از راس ارتفاعات منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این طبقه منطبق بر آهک بیستون و قسمت‌هایی از آهک سیلیسی با میان لایه‌های مارنی می‌باشد.
طبقه کارست با توسعه زیاد: این طبقه منطبق بر راس ارتفاعات و مرتفع‌ترین بخش‌های منطقه مورد مطالعه بوده و از نظر سنگ‌شناسی منطبق بر آهک ضخیم لایه بیستون می‌باشد. بیشتر مساحت ارتفاعات اصلی منطقه مانند کوه‌های ویلانی، زاغه‌بان، هشلان، پاچه‌مینل‌مین و چال‌آباد را به خود اختصاص داده است همچنین بخش‌های مرتفع کوه‌های خورین، خره‌راه و دزدان در این طبقه قرار می‌گیرند.
همپوشانی لایه فروچاله‌های استخراج شده با روش "Fill sink" در منطقه مورد مطالعه با نقشه پهنه‌بندی نهایی شکل(۶) نشان می‌دهد که بیشتر فروچاله‌ها به ترتیب در طبقه کارست با توسعه زیاد، طبقه کارست با توسعه متوسط و طبقه کارست با توسعه کم قرار می‌گیرند. تعداد کمی نیز در طبقه فاقد کارست قرار گرفته‌اند. بیشترین میزان تراکم فروچاله‌ها در طبقه کارست با توسعه زیاد می‌باشد. در نهایت می‌توان گفت که حدود ۷۰ ٪ فروچاله‌ها در طبقات کارست با توسعه زیاد و متوسط و همچنین بیش از ۹۸٪ فروچاله‌ها در طبقات کارست سه‌گانه واقع شده‌اند. که این امر کارایی مطلوب مدل فازی را در پهنه‌بندی توسعه کارست سطحی نشان می‌دهد.



شکل(۶). نقشه همپوشانی فروچاله‌ها و پهنه‌های کارستی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]

منابع

باقری سیدشکری، سجاد؛ (۱۳۹۳). **تاثیر ژئومورفولوژی کارست در ویژگی‌های کمی و کیفی آبخوان‌های کارستی حوضه های قره سو و الوند در استان کرمانشاه**، رساله دکتری به راهنمایی مجتبی یمانی، منصور جعفر بیگلو؛ و مشاوره حاجی کریمی، ابراهیم مقیمی دانشگاه تهران.

خدری، اکبر؛ رضایی، محسن؛ اشجاری، جواد؛ (۱۳۹۲). **بررسی پتانسیل توسعه کارست درتاقدیس پیون با استفاده از تلفیق اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور همراه با تحلیل سلسله مراتب زوجی**، تحقیقات منابع آب ایران، ۹ (۳) ۳۷-۴۶.

زروش، ناهید، واعظی، عبدالرضا، کریمی، حاجی. (۱۳۹۳)، **ارزیابی پتانسیل توسعه کارست در تاقدیس کبیرکوه استان ایلام با استفاده از تلفیق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) و سنجش از دور و GIS**، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳ (۳) ۱۴۴-۱۵۷.

شمسایی، ابوالفضل؛ (۱۳۸۱)، **هیدرولیک جریان در محیطهای متخلخل**، جلد دوم (مهندسی آبهای زیرزمینی)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

قبادی، محمدحسین؛ (۱۳۸۶)، **زمین‌شناسی مهندسی کارست**، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، چاپ اول.

محمودی، فرج اله؛ ملکی، امجد؛ (۱۳۸۰)، **تحول کارست و نقش آن در منابع آب زیرزمینی در ناهمواری های بیستون –پرآو(کرمانشاه)**، پژوهش های جغرافیایی، ۴۰ (۱۴۷۸) ۹۳-۱۰۶.

مقیمی، همایون؛ (۱۳۹۱)، **هیدرولوژی کارست**، انتشارات دانشگاه پیام نور.

یمانی، مجتبی؛ شمسی پور، علی اکبر؛ جعفری اقدم، مریم؛ باقری سیدشکری، سجاد؛ (۱۳۹۰). **بررسی عوامل موثر در توسعه‌یافتگی و پهنه‌بندی کارست حوضه چله با استفاده از منطق فازی و AHP** ، علوم زمین، ۲۲ (۸۸) ۵۷-۶۸.

Braud, J. (1989), **LA suture du Zagros au niveau de Kermanshah (Kurdistan Iranian): MemGeodiffusion**, 5, 489 P., 1, Carte H, T., Paris.

British Columbia, Ministry of Forests (2003), **Karst management Handbook for British Columbia**. www.publications.gov.bc.ca.

Ford, D. C. & Williams, p. w., (1989), **Karst geomorphology and hydrology**. 601 pp Springer Netherlands.

Ford, D. Williams, P., (2007), **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. John & Sons, Ltd.

Mahonen, P. Frantti, T., (2000), **Fuzzy Classifier for Star-Galaxy Separation',** the astrophysical Journal, 541 (1), 261-263.

Nadun, S. N. E. M., Maarof, I., Ghazali, R., Samad, A. M., Adnan, R. (2010) **Sustainable groundwater potential zone using remote sensing and GIS**, Signal Processing and its Applications (CSPA), 6 th International Colloquium on, 1(6), 21-23.

Unsal, N, Celik, M (2008), **Hydrochemistry along the flow path of a confined aquifer, Duzce plain, north western Turkey**, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67 (2), 267-275.

Waele, j., Plan, L., Audra, P., (2009), **recent developments in surface and subsurface karst geomorphology: An introduction.** Geomorphology, 106 (1-2), 1-8.

White, W. B., (1988), **Geomorphology and Hydrology of karst**. oxford university press.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.1.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.23]