مقـالـه پـژوهشي

هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۳۱، سال نهم، تابستان ۱۴۰۱، صص ۹۳-۷۱
Hydrogeomorphology, Vol. 9, No. 31, Summer 2022, pp (71-93)
CC BY-NC

ارزيابي و پهنه‌بندي توسعه كارست در منطقه تمتمان نازلو چاي ارومیه با استفاده از روش تحليل سلسله مراتبي

رضا عباسیان ولندر[۱]، شهرام روستایی*[۲]، داود مختاری[۳]

۱- دانشجوی دکتری، ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- استاد، ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳- استاد، ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

چکیده

منطقه تمتمان ما بین طول جغرافیایی ″37°44′00 -″37°38′00 شمالی و عرض جغرافیایی″44° 59′30 - ″44° 40′30 شرقی در شمال غربی ایران، تقریباً در ۱۵ کیلومتری شمال غربی ارومیه قرار داد. هدف از این مطالعه پهنه‌بندی پتانسیل توسعه‌ی کارست در محدوده‌ی غار تمتمان در استان آذربایجان‌غربی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد. در این مطالعه لایه‌های اطلاعاتی لیتولوژی، تکتونیک، توپوگرافی، شیب و جهت شیب، هیدرولوژی، کاربری اراضی و اقلیم به عنوان نقشه‌های عامل در نظر گرفته شده‌اند. لایه‌های فوق به منظور استخراج مدل پتانسیل کارست در محیط GIS فراخوانی شده‌اند. لایه‌های اطلاعاتی مختلف با اعمال قضاوت کارشناسی و اختصاص وزن هر لایه در نرم‌افزار Expert Choice و بازدیدهای صحرایی به صورت نقشه‌های معیار طبقه‌بندی شد. در نهایت با توجه به وزن بدست آمده نقشه‌ی پهنه‌بندی توسعه کارست در منطقه‌ی تمتمان بدست آمد. نتایج بدست آمده در این منطقه نشان داد که از کل مساحت منطقه، ۶/۶۸ درصد در طبقه خیلی کم توسعه‌یافته، ۱۵/۶۴ درصد در طبقه کمتر توسعه‌یافته، ۴۲/۵۰ درصد در طبقه توسعه‌یافته نرمال و ۳۵/۱۸ درصد در طبقه‌ی توسعه‌یافته قرار گرفته است. نتایج نشانگر آن است که در منطقه تمتمان، فاکتور سنگ‌شناسی و تکتونیک منطقه بیشترین وزن و مهم‌ترین فاکتور کنترل‌کننده‌ی پتانسیل توسعه کارست و فاکتور کاربری اراضی کمترین تأثیر در کارست‌زایی را بر عهده دارد.

کلمات کلیدی: توسعه کارست، روش تحلیل سلسله مراتبی، پهنه‌بندی، غار تمتمان، شمالغرب ایران.

* نویسنده‌ی مسئول **E-mail**:roostaei@tabrizu.ac.ir

کارست منبعی منحصربه‌فرد و تجدیدناپذیر با ارزش‌های مهم بیولوژیکی، هیدرولوژیکی، معدنی، علمی، فرهنگی،

تفریحی و اقتصادی می‌باشد (سازمان منابع طبیعی بریتیش کلمبیا[1] ۲۰۰۳: ۱۸). تحول و توسعه‌ی کارست تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که در این میان نقش ترکیبی سنگ 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 (فورد و ویلیامز[2] ۱۹۸۹: ۳۳). وجود درز و شکاف‌های زمین‌ساختی همراه با فعالیت‌های 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 نتیجه‌ی کارستی شدن مورفولوژی خاصی است که مناطق کارستی را از نواحی دیگر کاملاً متمایز می‌سازد (وایلی و همکاران[3] ۲۰۰۹: ۳). شکل‌گیری یک سیمای کارستی متضمن وجود دو عامل است؛ اول اینکه توده‌ی سنگ قابلیت انحلال داشته باشد و دوم این‌که زمینه‌ی تشکیل یک سیستم جریان آب زیرزمینی فراهم گردد (قبادی، ۱۳۸۸: ۵۷). در مطالعاتی که در مناطق کارستی جنوب غربی چین با استفاده از روش انحلال بالقوه‌ی حداکثر انجام شد؛ کربن موجود در مناطق کارستی می‌تواند به تغییرات آب و هوایی آینده، سریع واکنش نشان دهد (ژنگ و همکاران[4] ۲۰۱۶: ۱۷۱). در مطالعه‌ی توسعه و تحول کارست در آهک‌های ریفی ژوراسیک بالایی متعلق به سازند مونت پیاترا انجام شد؛ آهک‌های طاقدیسی که منطبق بر خط‌الراس بوده و دارای شکستگی‌های کششی عرضی عمود بر جهت لایه‌بندی‌ها هستند عامل مهم توسعه‌ی کارست می‌باشند (تیرلا و ویچولی[5] ۲۰۱۳: ۱۲۳). بر اساس مطالعاتی که در مورد توسعه‌ی کارست در استان کردستان و مکانیسم تشکیل ژئومورفولوژی غارها و هیدرولوژی چشمه‌های کارستی صورت گرفت؛ تکتونیزه شدن و گسترش سنگ‌های کربناته‌ی انحلال‌پذیر را عامل توسعه‌ی کارست دانستند (واعظی هیر و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۱). فرآیندهای کارستی بر انحلال سنگ‌ها، ساخت لندفرم‌ها در سطح زمین و غارها و سیستم‌های زهکشی زیرزمینی از طریق انحلال شیمیایی سنگ بستر، تأثیر می‌گذارند (وایت و وایت[6] ۱۹۶۹: ۱۳۸۴). در بررسی‌هایی که در مورد تأثیر پدیده‌های ساختاری و مورفولوژیکی در ظهور، تغذیه و گل‌آلود شدن چشمه‌ی گرداب در شمال شرق اندیمشک استان خوزستان صورت گرفت؛ مهم‌ترین پارامتر در ظهور، انتقال آب به چشمه و گل‌آلود شدن آن گسل‌های منگره، چاره و ورنا ارزیابی شده است (کلانتری و همکاران، ۱۳۹۵: ۸۷). تلفیق فنون سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی را در تحقیقات کارست را می‌توان در کارهای (ال نکا و همکاران[7] ۲۰۰۹؛ هاموری و همکاران[8] ۲۰۱۲؛ حسین فو و همکاران[9] ۲۰۰۸؛ پراساد و همکاران[10] ۲۰۰۷، سوبا رائو و همکاران[11] ۲۰۰۱ و سینر و همکاران[12] ۲۰۰۵) مشاهده کرد. در ایران نیز تحقیقاتی در

1-british columbia ministry of forests,
2-Ford and Williams
3-Waele, Plan, & Audra
4-Zeng et al,
5-Tirla and Vijulie
6-White & White
7-El-Naqa et al,
8-Hammouri et al,
9-Hsin-fu et al,
10-Prasad et al, 0
11-Subba Rao et al,
12-Sener et al, 2

زمینه‌ی توسعه و تحول مناطق کارستی به عمل آمده است؛ (ملکی و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۷۱) در مطالعه‌ای تحت عنوان پهنه‌بندی تحول کارست در استان کرمانشاه از پنج روش به‌خصوص روش آماری تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند و نتایج ارزشمندی را به دست آوردند (اکبر خدری و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۷). در مقاله‌ای به بررسی توسعه‌ی کارست در تاقدیس پیون با استفاده از تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی با تحلیل سلسله مراتبی به این نتیجه رسیدند که چشمه‌های با آبدهی زیاد عمدتاً در محدوده‌ی با پتانسیل بالای کارست شدگی قرار دارند (مجتبی یمانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۷). در مقاله‌ای به بررسی توسعه‌یافتگی کارست و میزان تأثیر عوامل مختلف در نفوذپذیری سازندها با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی در حوضه‌ی چله استان کرمانشاه؛ نتیجه گرفتند که عوامل سنگ‌شناسی و گسل‌ها را مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در توسعه‌ی کارست منطقه‌ی مورد مطالعه هستند. با توجه به توسعه‌ی شهرها به سمت پهنه‌های کارست سطحی و یا پالئوکارست‌ها مسایل جدی از جمله مخاطرات محیطی در این قلمروها به وجود آمده است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۴۱). یک فرآیند مهمی که اغلب در مورد کارست دست کم گرفته شده؛ شکست سنگ همراه با تولید مقدار زیادی رسوب تجزیه شده در غارها است. ناپایداری دامنه‌ای در کارست در واقع نقش دوگانه‌ای دارد که در سطح آن اتفاق می‌افتد، همانند آن‌چه که در بسیاری از دیواره‌های سنگی شیب‌دار عمودی دیده می‌شود. غارها، با عملکرد ترکیبی انحلال و فرایندهای شکستگی تولید شده‌اند. از بین رفتن تکیه‌گاه توسط آب بر روی دیواره‌های غار و سقف؛ همراه با شکستگی در توده‌ی سنگ منجر به جدا شدن مداوم بلوک‌ها، تقسیم شدن بعدی آنها را به خرده‌سنگ‌ها تعیین می‌کند، بنابراین اندازه‌ی غار بزرگ می‌شود. به سمت بالا، فرآیند ممکن است تا رسیدن به سطح زمین ادامه یابد، تا ریزش‌هایی با اندازه و عمق متغیر ایجاد کند. شکست سنگ در غارها خطری برای غارنوردان و دانشمندان کارست و حتی برای گردشگران محیط است بعلاوه، نا پایداری‌هایی که در زیر زمین اتفاق می‌افتد ممکن است اثرات غیرمستقیمی در سطح داشته باشد و باعث ایجاد آسیب احتمالی به محیط ساختمان و ایجاد یک خطر جدی برای مهندسان شود (پریسه[1] ۲۰۰۸: ۲۷۵). به دلایل ویژگی‌های ذاتی، محیط‌های کارستی به شدت در معرض تعدادی از مخاطرات زمینی هستند (پریسه و گون[2] ۲۰۰۷: ۲). که ممکن است چشم‌انداز را هم در سطح و هم در دنیای زیرزمینی درگیر کنند که در کارست‌ها به شدت با هم ارتباط دارند. علاوه بر همه‌ی این مسایل تغییرات ناشی از عملکرد انسان در محیط‌های کارستی ممکن است منجر به توسعه‌ی سریع کارست در زیرزمین شود و یا حتی منجر به کاهش قدرت انحلالی کارست گردد. در مسیر جاده‌ی ارتباطی ارومیه به سرو در کنار پل رودخانه‌ی نازلوچای، راه آسفالته‌ای به سمت روستای تمتمان و میر داوود کشیده شده است که ازتوابع دهستان نازلوچای جنوبی بخش نازلو محسوب می‌شوند. تمتمان نام یک غار در این منطقه است. در این تحقیق با توجه به مطالعات انجام‌شده خارجی و داخلی و با توجه به وجود

1-Parise
2-Parise and Gunn

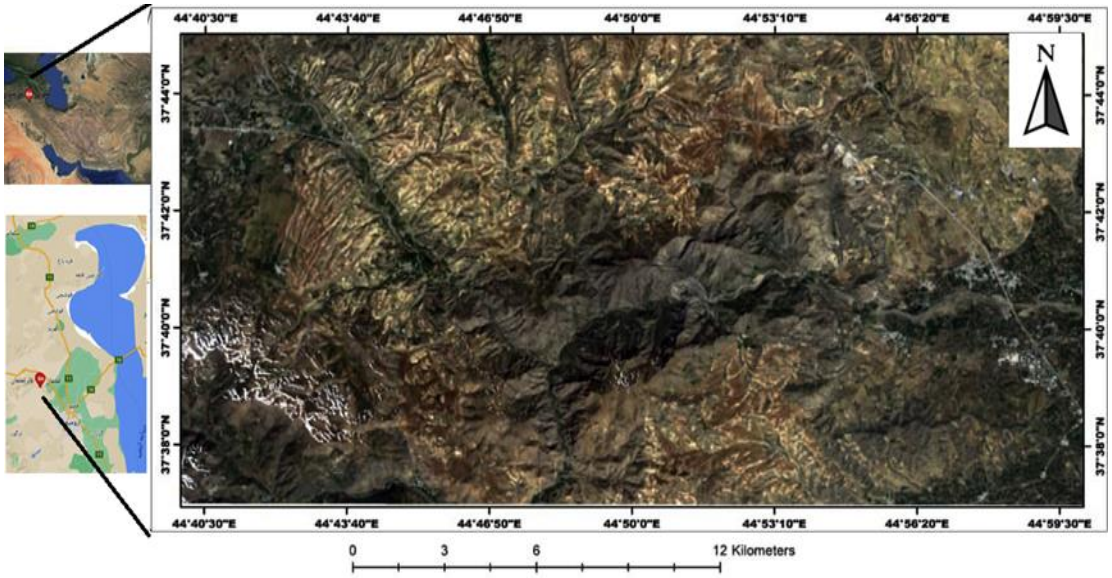
نقش پالئو کلیما و تفاوت زیاد اقلیم دیرین این منطقه با آب و هوای حاکم کنونی در تحول کارست در منطقه به گزینش فاکتورهای مهم و حتی‌الامکان مشترک روش‌های رایج عوامل زیر برای این مطالعه مدنظر قرارگرفته-اند:

زمین‌شناسی (لیتولوژی، فاصله از گسل)، هیدرولوژی (فاصله از آبراهه)، توپوگرافی (جهت شیب، ارتفاع، شیب)، اقلیم و عوامل انسانی و کاربری اراضی (باغ، کشاورزی، زمین بایر، جاده، روستا). هدف از انجام این پژوهش بررسی نقش عوامل مؤثر در توسعه‌ی کنونی کارست در منطقه‌ی تمتمان در شمال غرب ارومیه و تأکید بر روش تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی (آرک جی آی اس[1]) منطقه در استان آذربایجان غربی با بهره‌گیری از تحول و توسعه کارست می‌باشد.

۲- مواد و روش

منطقه‌ی مورد مطالعه در مسیر جاده‌ی ارتباطی ارومیه به سرو در کنار پل رودخانه‌ی نازلوچای، راه آسفالته‌ای به سمت روستای تمتمان و میر داوود کشیده شده است که از توابع دهستان نازلوچای جنوبی بخش نازلو به مختصات؛ ۴۴ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۴۵ درجه‌ی طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه‌ی عرض شمالی محسوب می‌شوند (شکل ۱). تمتمان نام یک غار در این منطقه است. غار تمتمه که با نام غار تمتمان نیز شناخته می‌شود، در کوهی به همین نام، در ۱۵ کیلومتری شمال غرب شهر ارومیه قرار دارد و از مقاصد گردشگری و مکان‌های دیدنی ارومیه به شمار می‌آید. طبق بررسی‌های صورت گرفته، آثار مکشوف از این غار قدیـمی‌ترین مستندات درباره‌ی سکونت انسان در آذربایجان غربی است و قـدمت آن را به دوره‌ی پارینه‌سنگی نسبت می‌دهد. که از دهانه‌ی غار، دریاچه‌ی ارومیه قابل مشاهده است مکان آن در ۴۴ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۶ دقیقه عرض شمالی در ۲۶ کیلومتری شمال شهر ارومیه در ارتفاع حدود ۱۵۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است محیط اطراف آن چشم‌اندازهای بسیار متنوعی دارد در پشت آن کوهستان و در مقابل آن دشت وسیعی قرار دارد (کون[2]، ۱۹۵۱: ۲۴). این غار ورودی مثلثی شکل دارد و درون آن به صورت یک دست است و طول آن به ۳۵ متر می‌رسد (شکل ۲).

1-ARC GIS
2-Coon



شکل (۱): محدوده‌ی موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی تمتمان نازلوچای ارومیه
Figure (1): The geographical location of the Tamtaman Nazlo chai area of Urmia

طیف گسترده‌ای از سنگ‌ها از پرکامبرین تا کواترنر، سنگ‌های منطقه‌ی مورد مطالعه را تشکیل داده است. منطقه توسط نهشته‌های آهکی – آهکی دولومیتی پرمین با ضخره‌های عظیمی که رودخانه را در برگرفته از درون پنجره‌ای که در میان آهک‌ها و فلیش‌های الیگومیوسن باز شده است، نمایان گردیده‌اند. رسوبات پرمین با گسترش نسبتاً زیادی چه از نظر ضخامت ستون چینه‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه حضور پیدا می‌کنند. همین گسترش وسیع در ضخامت و سطح سبب گردیده که منطقه‌ی مورد مطالعه به لحاظ چینه‌شناسی عمدتاً با رسوبات پرمین روبرو باشد این منطقه توسط مناطق مرتفع کوهستانی احاطه شده است. سازوکار ژرفی و راستای قرارگیری راستاهای گسل‌های اصلی در منطقه و وجود فعالیت‌های لرزه‌خیزی در بخش‌های مختلف منطقه، حاکی از فعال بودن منطقه از نظر تکتونیکی و وجود گسل‌های فعال و لرزه‌زا است (سناخوان و همکاران، ۱۳۹۱: ۲؛ حاجی حسینلو[1] ۲۰۱۵: ۵۹).

1-Haji Hosseinlou

شکل (۲): (a , b) نمایی از ورودی مثلثی شکل غار با دو حفره‌ی سمت راست و چپ، جهت عکس ($N50^0E$)؛ (c) نمایی از پنجره کارستی غار تمتمان؛ (d) وجود آثاری از چشمه های قدیمی در بالای ورودی غار، جهت عکس ($N50^0E$).

Figure (2): (a, b) View of the triangular entrance of the cave with two holes on the right and left, photo direction ($N50^0E$); (c) View of the karst window of Tamtaman cave; (d) Existence of traces of springs at the top of the cave entrance, photo direction ($N50^0E$).

این مقاله بر اساس روش میدانی، کتابخانه‌ای و دفتری متکی است. ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی محدوده‌ی تمتمان مورد مطالعه مشخص شد. از نقشه‌های توپوگرافی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ارومیه جهت استفاده در شناسایی عوارض و سازندها استفاده شد. در این پژوهش به استناد منابع و بر اساس درجه اهمیت عوامل مؤثر در توسعه کارست در منطقه‌ی تمتمان فاکتورهای مهم گزینش شدند. با توجه به نقش عوامل مختلف و توسعه کارست در گذشته منطقه و با عنایت به پالئوکلیمای متفاوت گذشته منطقه با وضعیت کنونی و نقش عوامل مختلف در توسعه کارست هفت لایه اطلاعاتی انتخاب شدند. از بین عوامل مختلف دخیل در تحول کارست منطقه‌ی مورد مطالعه پارامترها و عوامل زیر را مورد استفاده قرار داده‌اند: ارتفاع، لیتولوژی، ژئومورفولوژی (تکتونیک)، دما، بارش، تبخیر و شیب لذا با استناد به منابع و با توجه به وسعت بودن منطقه پژوهش و تنوع بیشتر سنگ‌های منطقه و غلبه با سنگ آهک به عنوان سنگ غالب منطقه، از استخراج درجه انحلالیت صرف‌نظر گردید و بر اساس مطالعات میدانی و یکسان بودن سنگ‌ها در منطقه پژوهش، عوامل دیگر با اهمیت‌تر برآورد شدند. چون ارتفاع به عنوان یکی از پارامترهای فیزیکی نقش مؤثری در میزان وقوع بارندگی، تبخیر و تعرق و دما دارد و یکی از فاکتورهایی است که در طول زمان کمتر دستخوش تغییر قرار گرفته به

عنوان عامل مهم و تأثیرگذار بر بارندگی، تبخیر و تعرق و دما در این مطالعه انتخاب شده است. بر اساس منابع مطالعاتی موجود تحول کارست شمال غرب ایران از بین عوامل دخیل در تحول کارست، در این تحقیق لایه‌های اطلاعاتی لیتولوژی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، اقلیم و کاربری اراضی به عنوان نقشه‌های عامل در نظر گرفته شدند.

به منظور استخراج مدل پتانسیل توسعه‌ی کارست منطقه‌ی مورد مطالعه، لایه‌ها به نرم‌افزار (جی آی اس) معرفی شدند و با اعمال قضاوت کارشناسی و اختصاص وزن به هر لایه در نرم‌افزار مربوطه و بازدیدهای صحرایی به صورت نقشه‌های معیار طبقه بندی‌شده و با توجه به وزن به دست آمده نقشه‌ی پهنه‌بندی توسعه کارست منطقه به دست آمده است. برای تهیه‌ی مدل پتانسیل توسعه کارست لایه‌های اطلاعاتی فوق به نرم‌افزار (آرک جی ای اس) معرفی شدند. لایه‌های اطلاعاتی فوق به صورت نقشه‌های معیار طبقه‌بندی شده‌اند و با توجه به درجه اهمیت هرکدام از پارامترها، رتبه‌ای از ۱ تا ۹ بر اساس روش (ساعتی[1] ۱۹۸۰) به آنها داده شد. انتخاب این ارزش‌ها بر اساس مطالعات صورت گرفته، بازدیدهای صحرایی و عنایت به کلیمای گذشته و توسعه کارست دیرین منطقه و اعمال نظر کارشناسی و شناخت منطقه بوده است. پس از ارزش‌دهی به رده‌های مختلف، وزن مناسبی که مشخص‌کننده‌ی تأثیر هر عامل در (ای اچ پی[2]) به هر یک از لایه‌ها بر اساس روش کارشناسی و روش درجه توسعه کارست می‌باشد، به آنها داده شد. لازم به ذکر است که جمع وزن‌ها عدد ۱ در نظر گرفته شده است. جدول ۱ وزن لایه‌های اطلاعاتی را نشان می‌دهد. عواملی مختلفی در توسعه کارست تمتمان تأثیر دارند که به مهم‌ترین آنها در جدول ۱ اشاره شده است. در این مورد از نرم‌افزار (اکسپرت چویس)[3] که بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده است، جهت وزن‌دهی پارامترها استفاده شده است. بعد از آن نقشه‌ی رستری تهیه و طبقه‌بندی شده است.

جدول (۱): وزن لایه‌های اطلاعاتی به روش (تحلیل سلسله مراتبی) و اعمال نظر کارشناسی بر اساس وجود برجسته‌ترین شاهد کارستی دیرین (منطقه تمتمان)

Table (1): Weight of information layers by method (Analytic Hierarchy Process) and application of expert opinion based on the existence of the most prominent evidence of ancient karst (Tamtaman region)

نام لایه	وزن نهایی
زمین‌شناسی (لیتولوژی، فاصله از گسل)	۰/۵۶۸
هیدرولوژی (فاصله از آبراهه)	۰/۲۲۷
اقلیم	۰/۱۰۲
توپوگرافی (جهت شیب، ارتفاع و شیب)	۰/۰۶۹
عوامل انسانی یا کاربری اراضی (باغ، کشاورزی، زمین بایر، جاده، روستا)	۰/۰۳۴
جمع	۱

1-Saaty
2-AHP
3-Expert Choice

۳- یافته‌ها و بحث

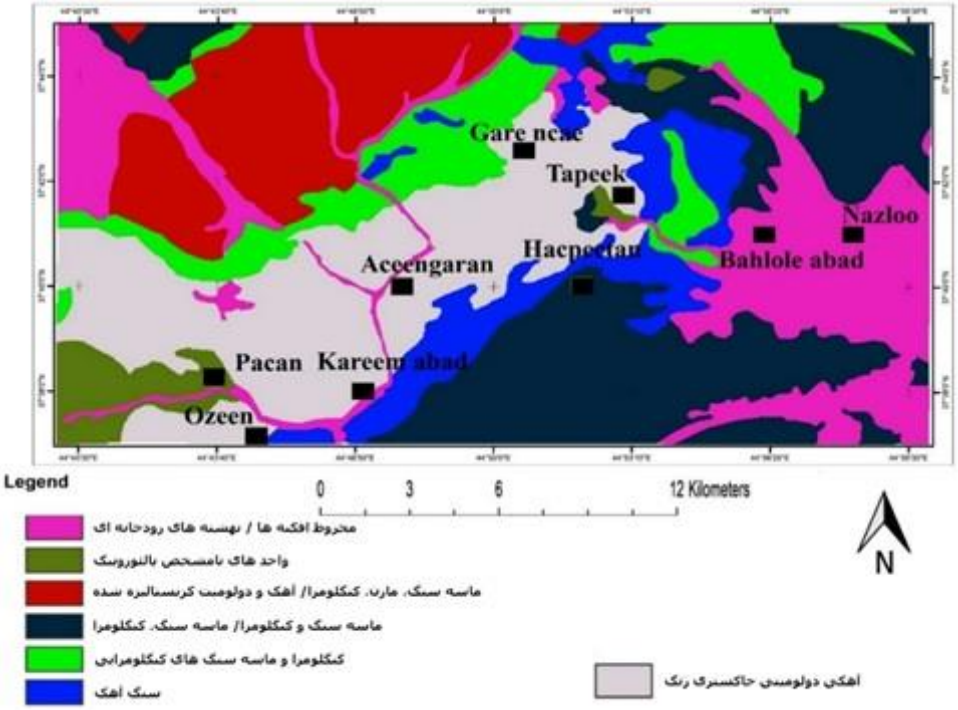
پارامترهای محیطی مؤثر بر توسعه کارست در منطقه‌ی مورد مطالعه انتخاب شد و نرخ سازگاری که در روش تحلیل سلسله مراتبی شاخصی است که سازگاری مقایسه‌ها را نشان می‌دهد در این پژوهش ۰/۰۵ به دست آمد. نرخ گویای درجه صحت و دقت ارزش‌گذاری‌ها در مقایسات زوجی است. چنان‌چه نرخ مذکور برابر و کمتر ۰/۱ شود، می‌توان ارزش‌گذاری‌ها و مقایسات را خوب و صحیح دانست، در غیر این صورت ارزش‌گذاری و مقایسات زوجی باید دوباره انجام یا اصلاح شود. بر این اساس به بحث و بررسی پارامترهای محیطی مورد تحقیق مؤثر بر توسعه کارست منطقه‌ی تمتمان که شامل موارد زیر است پرداخته می‌شود:

۳-۱-شاخص لیتولوژی

در ارتباط با نقش سنگ‌شناسی (لیتولوژی) در توسعه‌ی کارست و ریزش بلوکی سنگ، لیتولوژی و خصوصیات وابسته به آن نظیر بافت و درجه‌ی خلوص بر میزان کارست‌زایی تأثیر می‌گذارد. سازندهای نفوذپذیر مانند سازندهای آهکی بیشترین پتانسیل را در توسعه‌ی مناطق کارستیک دارند از میان سازندهای موجود در منطقه بر اساس مشاهدات میدانی، مورفولوژی کارست و به موجب آن ریزش‌های بلوکی سنگ در سازند دولومیتی- آهکی خاکستری رنگ است. بنابراین به دلیل مخاطره‌آمیز بودن و همچنین کارستی بودن بیشترین امتیاز را به خود اختصاص می‌دهند در شکل ۳ نقشه‌ی سنگ‌شناسی وزن‌دهی شده نشان داده شده است مناطقی که دارای تأثیر بیشتری در مخاطرات ریزش سنگ و کارستیفیکاسیون داشتند امتیاز ۹ و برای کمترین تأثیر ۱ ارزیابی شده است.

مطالعات زمین‌شناسی در مناطق کارستی، با توجه به نقش زیاد نوع سنگ‌شناسی در توسعه کارست اهمیت زیادی دارد. وجود سنگ‌های انحلال‌پذیر، که دارای ضخامت مناسبی باشند، یکی از پیش‌شرط‌های توسعه مناطق کارستی می‌باشد. وجود یک لایه با نفوذناپذیری کم نیز در زیر لایه‌ی نفوذپذیر باعث می‌شود که انحلال به یک سنگ‌شناسی خاص معطوف شده و سازند کارستی توسعه یابند. در کوه تمتمان واقع در ۱۵کیلومتری شمال غرب ارومیه، آهک دولومیتی خاکستری رنگ با ضخامت بیش از ۳۵۰ متر برونزد دارند. در زیر آهک‌های منطقه‌ی مورد مطالعه، مارن دیده می‌شود که با توجه به تراوایی کم آن به‌خوبی در مقابل نفوذ آب به لایه‌های پایین‌تر مقاومت می‌کند. در منطقه حاضر واحدهای زمین‌شناسی به هفت طبقه دسته‌بندی شده‌اند. طبق طبقه‌بندی سنگ آهک ضخیم لایه‌ی خاکستری حاوی سنگواره روزنه‌داران بویژه فسیل اوربیتولینا، برای پتانسیل کارست‌زایی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است، بعد از آن به ترتیب سنگ آهک، آهک ماسه‌ای کنگلومرا و ماسه‌سنگ کنگلومرایی؛ ماسه سنگ قرمز تا روشن کوارتزیتی و نهایتاً مخروط افکنه‌ها وزن را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین مساحت برونزد سنگ‌های منطقه تمتمان متعلق به دسته ماسه سنگ و کنگلومرا

می‌باشد (شهرابی، ۱۳۶۴) (جدول ۲).



شکل (۳): نقشه‌ی لیتولوژی منطقه‌ی تمتمان ارومیه
Figure (3): Lithological map of the Tamtaman area of Urmia

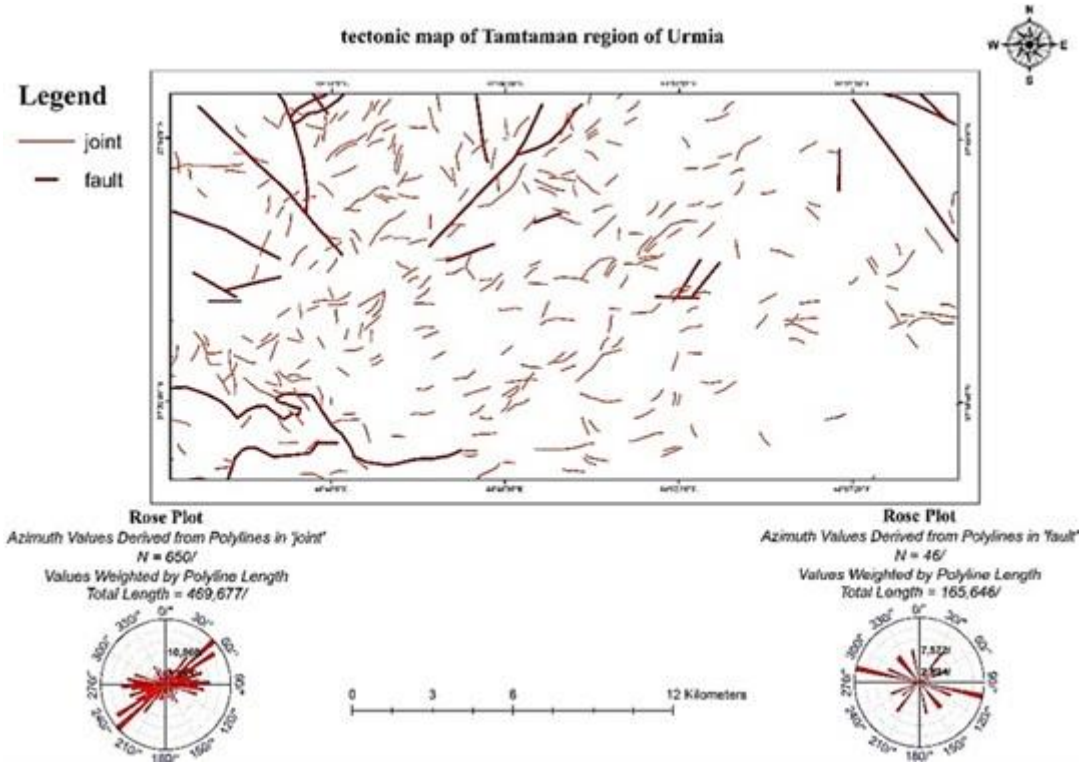
جدول (۲): مساحت، درصد سنگ‌ها و سازندهای منطقه‌ی تمتمان
Table (2): The area, percentage of rocks and formations in the Tamtaman region

ردیف	لیتولوژی	مساحت (km^2)	درصد
۱	مخروط افکنه/ نهشته‌های رودخانه‌ای	۸۵/۵۳۷۸۵۲	۱۹/۸
۲	واحدهای نامشخص پالئوزوییک	۱۴/۱۵۵۱۳۱	۳/۲
۳	ماسه‌سنگ، مارن، کنگلومرا/ آهک و دولومیت کریستالیزه شده	۵۷/۳۴۷۱۷۸	۱۳/۲
۴	ماسه‌سنگ و کنگلومرا/ ماسه سنگ، کنگلومرا	۹۹/۷۸۹۱۸۸	۲۲/۹
۵	کنگلومرا و ماسه‌سنگ‌های کنگلومرایی	۴۳/۹۶۷۳۲۳	۱۰/۱
۶	سنگ آهک	۳۸/۶۴۵۲۱۸	۸/۹
۷	دولومیتی آهکی خاکستری رنگ	۹۴/۸۲۹۸۸۴	۲۱/۹
جمع		۴۳۴/۲۷۱۷۷۸	۱۰۰

۲-۳-شاخص تکتونیک

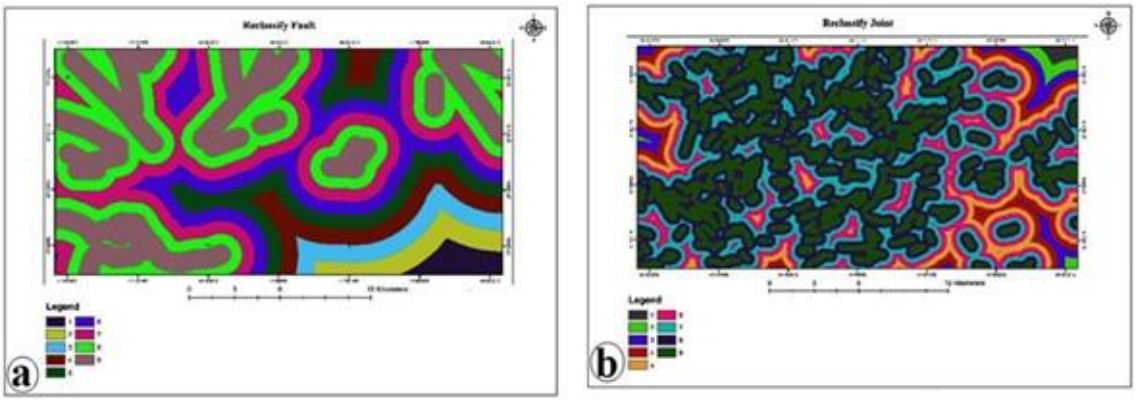
افزایش تراکم درزه‌ها و گسل‌ها در منطقه، نقش مؤثری در شکل‌گیری چشم‌انداز کارست و ایجاد مخاطرات دارد و وجود درزه‌ها، علت اصلی نفوذپذیری سنگ‌های کربناته است که امکان ورود آب و جریان یافتن آن را به درون توده‌ی سنگ فراهم می‌کند. طی فرآیندهای تکتونیکی با ایجاد درزه‌ها در توده‌های سنگی، کارستی شدن در جهات عمودی، افقی و یا مایل توسعه پیدا می‌کند. کارن‌ها و شکل‌گیری اشکال زیرزمینی مانند مجاری به هم پیوسته و تشکیل آبخوان‌های کارستی به سیستم درزه‌های موجود بستگی دارد (قبادی، ۱۳۸۸). شکستگی‌ها و پدیده‌های تکتونیکی که اصطلاحاً خطواره نامیده می‌شوند به علت ایجاد فضاهایی در تشکیلات و واحدهای زمین‌شناختی جهت عبور آب و حرکت آن به نقاط پایین‌تر داخل زمین نقاط ضعفی تلقی می‌شوند که اهمیت آن‌ها در تشکیلات سخت و آهکی بیشتر است (محمودی، ۱۳۸۵). بر اساس نرم‌افزار (پولار پلاتز[1]) (سناخوان و همکاران، ۱۳۹۱، حاجی حسینلو و عباسیان ولندر، ۱۳۹۸). بیشتر درزه‌های موجود در منطقه از راستای غالب گسل‌خوردگی شمال غرب – جنوب شرق تبعیت نکرده است. بنابراین این نوع شکستگی‌ها از نوع شکستگی‌های کششی هستند. بنابراین به عنوان پارامتری در توسعه‌ی اشکال کارست (گریک کارن‌ها و پیت‌ها) در نظر گرفته شده است. بدین منظور لازم است که نقشه‌ی گسل‌های موجود در منطقه با استفاده از تصویر لندست ۸ و نرم‌افزار (پسی ژئومتیکا[2]) تهیه شود (شکل‌های ۴و ۵) و پس از انتقال به نرم‌افزار (آرک جی آی اس) و تصحیح بصری، طبقه‌بندی شده است بیشترین ارزش (۹) به فواصل نزدیک (مخاطره‌آمیز) و مترین ارزش به فواصل دور (۱) داده شده است.

1-polar plots
2-PCI GEOMATICA



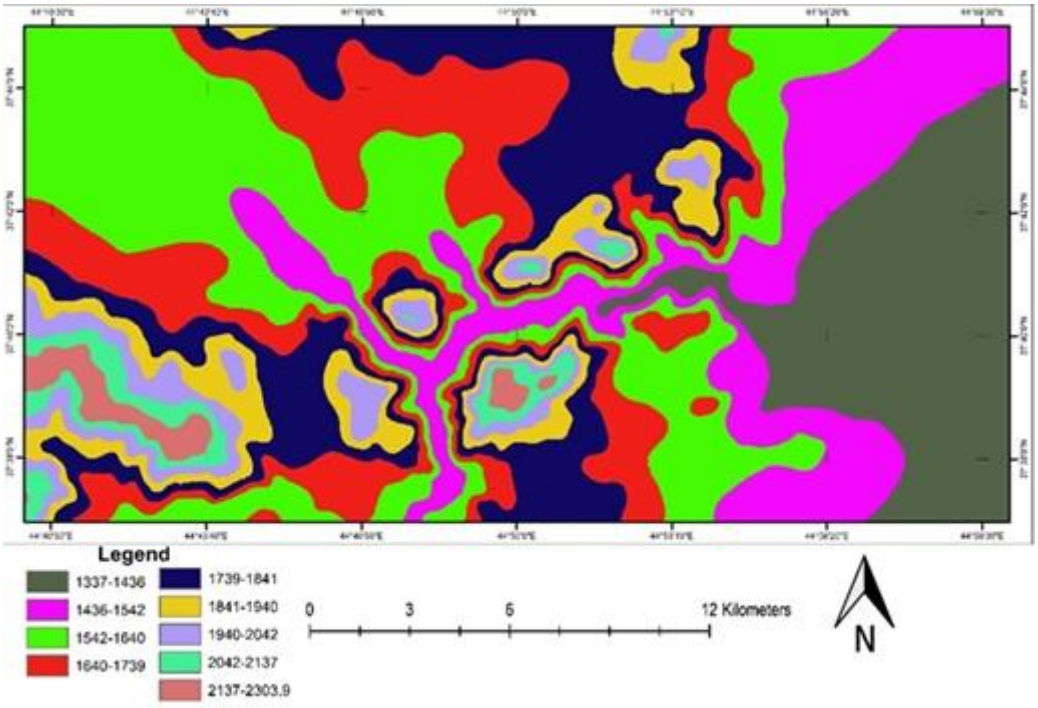
شکل (۴): نقشه‌ی گسل‌ها و درزه‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه (سناخوان و همکاران، ۱۳۹۱ با تغییرات جزیی)

Figure (4): Map of faults and joints in the study area (Senakhvan et al., 2012 with more changes)



شکل (۵): (a) نقشه‌ی پهنه‌بندی حریم گسل‌ها در منطقه تمتمان؛ (b) نقشه‌ی پهنه‌بندی حریم درزه‌ها در منطقه‌ی تمتمان

Figure (5): (a) Map of Fault Rupture Zoning in the Tamtaman Area; (b) Map of Joint Rupture Zoning in the Tamtaman Area



شکل (۶): مدل ارتفاع رقومی منطقه تمتمان

Figure (6): Digital elevation model of the Tamtaman area

جدول (۳): دامنه‌ی طبقات ارتفاعی منطقه تمتمان برحسب متر از سطح دریا

Table (3): The range of elevation classes of the Tamtaman area is measured in meters above sea level.

ردیف	طبقات ارتفاعی	مساحت (km^2)	درصد
۱	۱۴۳۶-۱۳۳۷	۶۶/۷۲۶۸۶۶	۱۵/۲
۲	۱۵۴۲-۱۴۳۶	۶۳/۲۵۵۰۵۵	۱۴/۴
۳	۱۶۴۰-۱۵۴۲	۱۰۵/۹۵۶۷۲۷	۲۴/۱
۴	۱۷۳۹-۱۶۴۰	۷۵/۱۰۸۸۷۱	۱۷/۱
۵	۱۸۴۱-۱۷۳۹	۶۶/۹۷۸۸۶۷	۱۵/۲
۶	۱۹۴۰-۱۸۴۱	۲۶/۱۴۸۷۷۸	۵/۹
۷	۲۰۴۲-۱۹۴۰	۱۸/۰۸۷۳۹۹	۴/۱
۸	۲۱۳۷-۲۰۴۲	۱۰/۲۷۴۷۹۶	۲/۳
۹	۲۳۰۳-۲۱۳۷	۷/۰۶۸۹۳۷	۱/۷

۳-۳-شاخص توپوگرافی

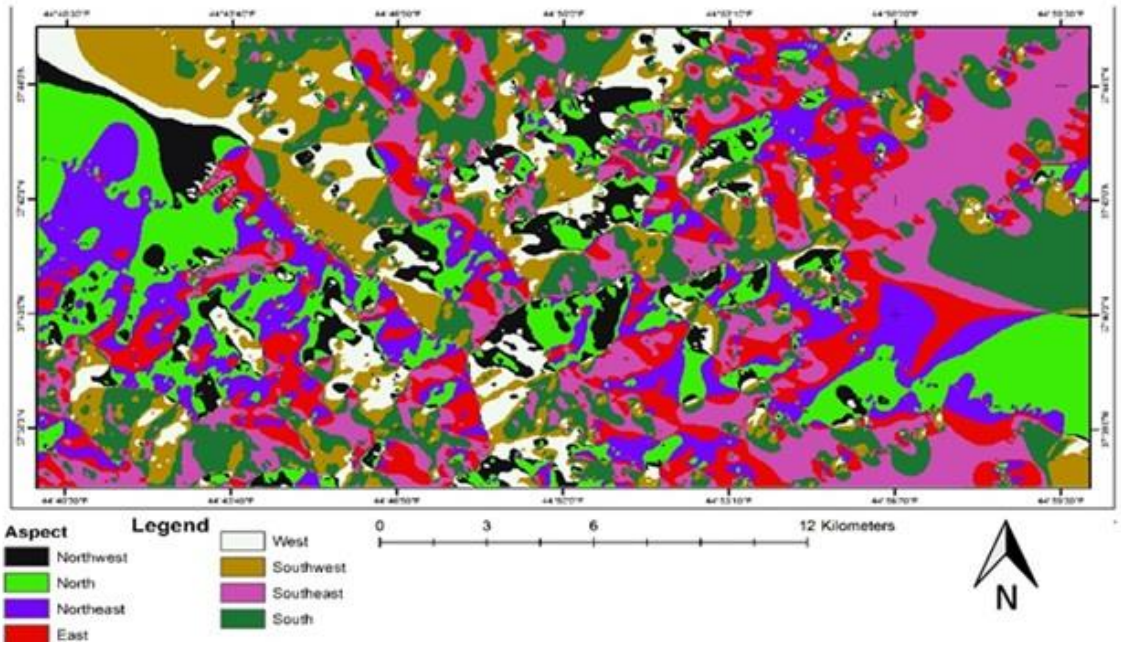
یکی از پارامترهای فیزیکی مهم که نقش مؤثری در میزان توسعه‌ی کارست و مخاطره‌ی ریزش سنگ در

منطقه‌ی مورد مطالعه دارد به طور کلی توپوگرافی است. این پارامتر نقش مؤثری نیز در تغذیه و تخلیه و برون‌زد چشمه‌های کارستی دارد. با بیشتر شدن ارتفاع در یک منطقه پتانسیل توسعه‌ی کارست به علت افزایش گرادیان هیدرولیکی افزایش می‌یابد. بیشترین توسعه‌یافتگی کارست در مناطق ارتفاعی بالا با شرط خلوص سنگ آهک مشاهده می‌شود. از اینرو نقش بیشتری در توسعه‌یافتگی فرآیند کارست دارد (زروش و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۴۵). برای تهیه مدل رقومی ارتفاع (دم[1]) از داده‌های ارتفاعی نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری استفاده شده است (شکل ۶). بیشترین مساحت طبقات ارتفاعی منطقه تمتمان با مقدار ۲۴/۱۰ درصد در طبقه ارتفاعی ۱۶۴۰-۱۵۴۲ متر و بیشترین مساحت طبقات ارتفاعی منطقه با مقدار ۱/۶۰ درصد در طبقه ارتفاعی ۲۳۰۳-۲۱۳۷ متر قرار دارد (جدول ۳). بنابراین به ارتفاع بسیار امتیاز (۹) داده شده است.

۴-۳-شاخص شیب و جهت شیب

شیب توپوگرافی سطح زمین، یکی دیگر از مسایل مرتبط با توپوگرافی است که گرادیان هیدرولیکی و جهت حرکت آب‌های زیر زمینی را تعیین می‌کند. میزان شیب هم در میزان روان آب حاصل از بارش و هم در میزان نفوذ آب به درون زمین و عمل انحلال بوسیله‌ی بارش نقش مؤثری را بازی می‌کند (زروش و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۵۰). شیب‌های زیاد در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس مشاهدات میدانی؛ بیشترین پتانسیل را در توسعه اشکال کارست که منجر به ریزش بلوکی سنگ شده‌اند، دارند بنابراین به شیب‌های بیشتر ارزش بیشتری (۹) در توسعه‌ی کارست و ایجاد مخاطرات داده شده است. علاوه بر اینها، تأثیر جهت شیب بر روی ایجاد مخاطرات و توسعه کارست در منطقه‌ی مورد مطالعه حایز اهمیت است. بهترین جهت‌ها به منظور توسعه کارست و ایجاد مخاطرات در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس پلات نقاط بر روی نقشه و مشاهدات میدانی به ترتیب اهمیت، جهت‌های جنوبی، جنوب شرقی، جنوب غربی، غربی، شرقی، شمال غربی و شمال است (جدول ۴). بنابراین به بهترین جهت جنوبی امتیاز (۹) به منظور توسعه‌ی کارست و مخاطرات داده شده است و مابقی کمترین ارزش‌ها را به خود اختصاص داده اند. نقشه‌ی جهت شیب بر اساس نقشه‌ی (دم) در محیط (جی آی اس) تولید شده و بعد از طبقه‌بندی رسم شده است (شکل ۷).

1-DEM



شکل (۷): نقشه‌ی طبقه‌بندی شده‌ی جهت شیب
Figure (7): Aspect classification map

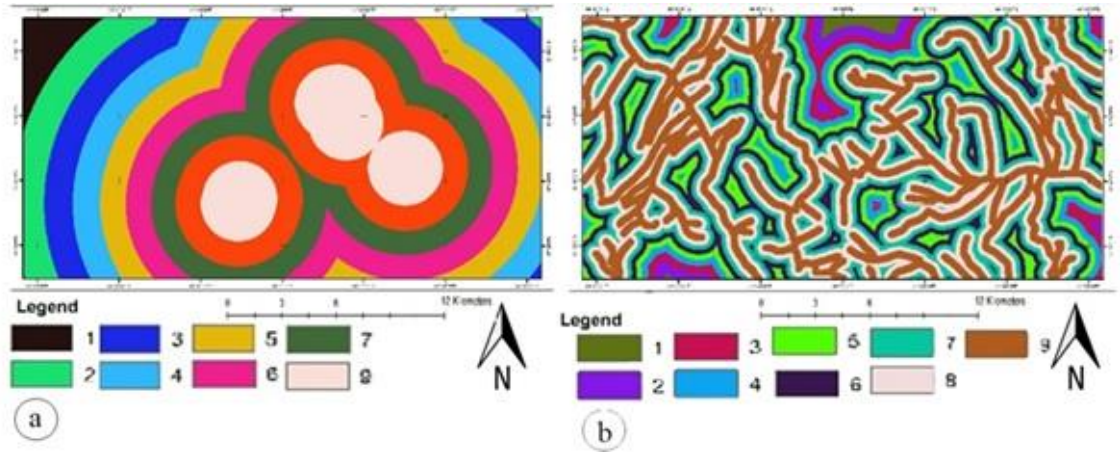
جدول (۴): درصد مساحت طبقات جهت شیب منطقه‌ی تمتمان
Table (4): Percentage of floor area for the aspect of Tamtaman region

ارزش	جهات	مساحت (km^2)	درصد
۲	Northwest	۳۰/۸۳۳۰۹۸	۷/۰۱
۳	North	۶۱/۱۸۱۶۲۹	۱۳/۹۱
۴	Northeast	۵۷/۲۴۹۴۴۲	۱۳/۰۲
۵	East	۵۶/۵۴۰۹۳۵	۱۲/۸۷
۶	West	۳۲/۲۴۰۸۳۸	۷/۳۳
۷	Southwest	۵۵/۰۴۴۳۳۰	۱۲/۵۳
۸	Southeast	۷۳/۹۸۸۶۹۵	۱۶/۸۴
۹	South	۷۲/۵۲۷۳۳۰	۱۶/۴۹

۵-۳-شاخص هیدرولوژی

ارتباط بین نسبت آب نفوذی و روان آب به وسیله‌ی قابلیت نفوذ کنترل می‌شود و قابلیت نفوذ خود به نوع سنگ و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های زیرسطحی بستگی دارد. از عوامل مهم در پتانسیل کارست‌زایی،

هیدرولوژی، تراکم آبراهه‌ها و فاصله از آن‌ها است (سپند و همکاران، ۱۳۸۶). نوع شبکه‌ی زهکشی هر منطقه توسط سنگ‌شناسی واحدهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و پدیده‌های تکتونیکی و زمین‌شناختی منطقه کنترل می‌شود با توجه به اینکه هر چه میزان تراکم آبراهه بالا باشد و میزان فاصله از آن کم باشد میزان توسعه و تخریب اشکال کارست بیشتر خواهد بود. بدین منظور برای افزایش دقت در کار نقشه‌ی آبراهه‌ها با کمک نقشه‌ی (دم) با استفاده از فناوری (جی آی اس) تهیه گردید. بنابراین بیشترین امتیاز (۹) به فواصل کمتر داده شده است. در این منطقه چشمه‌ها گسترده و در جای‌جای این ناحیه حتی در ارتفاعات دیده می‌شوند که جهت‌گیری بسیار واضحی با درزه‌ها در منطقه دارند. چشمه‌های این ناحیه در راستای تنش فشارشی و درزه‌های برشی ایجاد شده‌اند. بنابراین در تشکیل این چشمه تکتونیک بیشترین نقش را داشته است بنابراین گسلش و درزه‌های منطقه عامل هدایت آب در این نقطه است. و در مورد وجود چشمه‌ها نیز در منطقه‌ی مورد مطالعه به عنوان شاخص توسعه کارست به فواصل کمتر امتیاز بیشتر داده شده است (شکل ۸).



شکل (۸): (a) نقشه وزن‌دهی شده‌ی فاصله از چشمه‌ها در منطقه تمتمان؛ (b) نقشه‌ی وزن‌دهی شده‌ی فاصله از آبراهه‌ها در منطقه تمتمان

Figure (8): (a) Weighted Distance Map from Springs in the Tammaman Area; (b) Weighted Distance Map from Drainage in the Tammaman Area

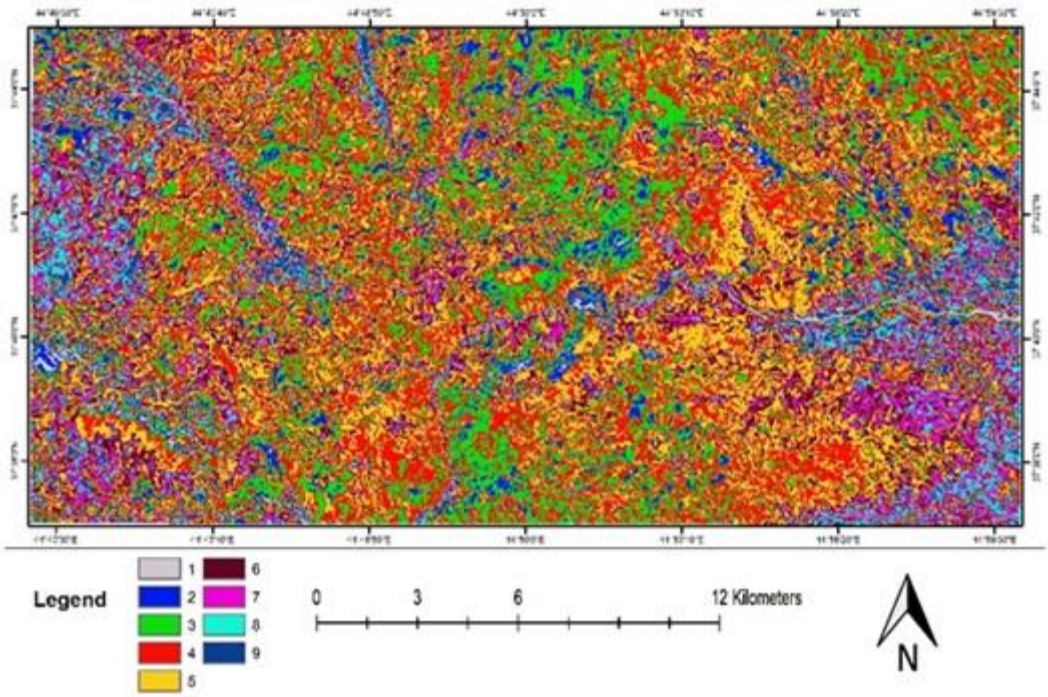
۶-۳- شاخص کاربری اراضی

به منظور تهیه‌ی این لایه از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (ان دی وی آی[1]) استفاده شد رابطه‌ی ۱ مقادیر شاخص پوشش گیاهی را بر اساس جذب اشعه توسط کلروفیل در منطقه‌ی طیفی قرمز و بازتاب آن در طیف مادون قرمز نشان می‌دهد به همین دلیل از دو باند ۵ و ۴ تصویر لندست ۸ استفاده گردید. برای کمترین

1-NDVI

پوشش، بیشترین ارزش و برای بیشترین پوشش، کمترین ارزش به جهت اشکال کارست توسعه‌یافته و ایجاد مخاطرات با توجه به مشاهدات میدانی داده شده است (شکل ۹).

$$NDVI = \big((NIR - RED)(NIR + RED)\big) \quad (۱)$$



شکل (۹): نقشه‌ی وزن‌دهی شده پوشش گیاهی (ان دی وی آی) در منطقه‌ی تمتمان؛ کمترین پوشش گیاهی؛ بیشترین ارزش را دارد

Figure (9): Weighted vegetation map (NDVI) in the Tamtaman area; the lowest vegetation has the most value

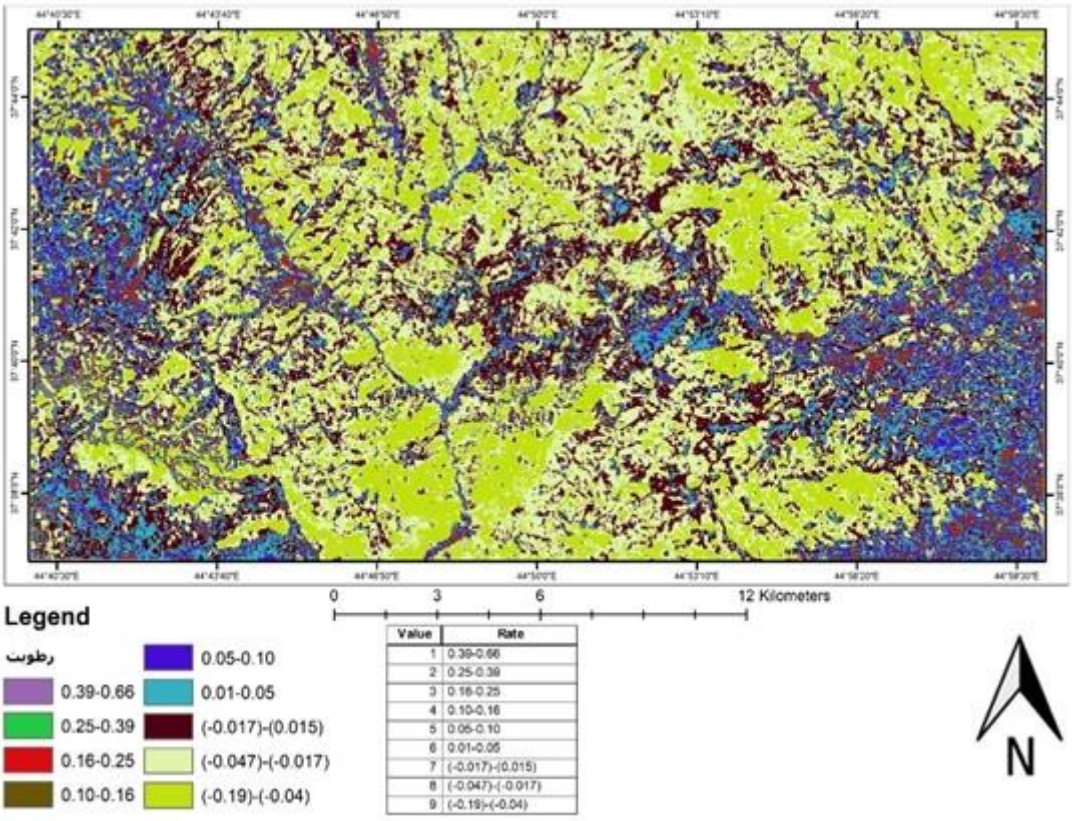
۷-۳- شاخص اقلیم

بارندگی، منبع اولیه‌ی تأمین‌کننده‌ی آب زیرزمینی در هر منطقه است. ارتباط بارندگی با ایجاد آب زیرزمینی به وسیله‌ی فاکتورهایی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و لیتولوژی کنترل می‌شود. این فاکتورها بر مقدار آبی که به درون زمین نفوذ می‌کند مؤثر هستند. میزان رطوبت خاک که با تکنیک‌های جدید بر روی عکس‌های ماهواره‌ای قابل تشخیص می‌باشد می‌تواند نشانه‌ای برای وجود منابع آب زیرزمینی در منطقه باشد. برای تهیه‌ی لایه‌ی (ان دی ام آی[1]) با استفاده از تصویر لندست ۸ و با استفاده از باندهای ۵ و ۷ و انجام رابطه‌ی ۲ در محیط

1-NDMI

(رستر کالکیولیتر[1]) و طبقه‌بندی آن، نقشه‌ی وزن دهی شده‌ی آن تهیه شده است. در این نقشه امتیاز (۹) برای کاهش رطوبت به منظور ایجاد مخاطرات لحاظ شده است (شکل ۱۰).

$$NDMI = \left((NIR - SWIR)/(NIR + SWIR)\right) \quad (۲)$$

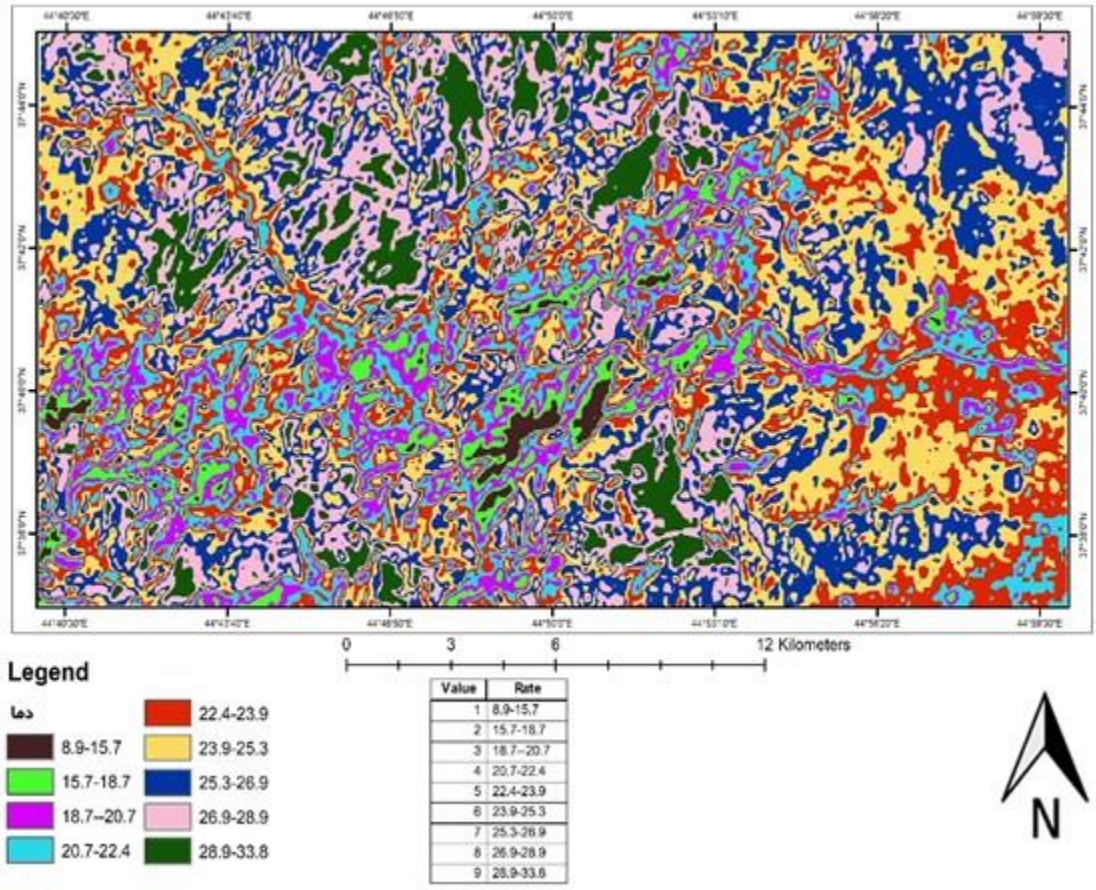


شکل (۱۰): نقشه‌ی وزن‌دهی شده‌ی اقلیم (ان دی ام آی)
Figure (10): Weighted climate map (NDMI)

دما نیز از پارامترهای تأثیر گذار در ایجاد و توسعه اشکال کارست است. بر اساس پژوهش‌های انجام شده زمانی که دمای هوا کم است تغییرات بارش تأثیر اندکی بر میزان انحلال کارست دارد اما زمانی که دمای هوا به ۱۶ تا ۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رسد با افزایش بارش میزان انحلال کارست افزایش می‌یابد. با توجه به پایش دمای سطح زمین در تعداد محدودی از ایستگاه‌های هواشناسی به صورت نقطه‌ای و نیاز به توزیع مکانی دمای سطح در پهنه‌ی وسیع و بطور همزمان، دمای سطح زمین (ال اس تی[2]) با استفاده از باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ و روابط

1-Raster calculater
2-LST

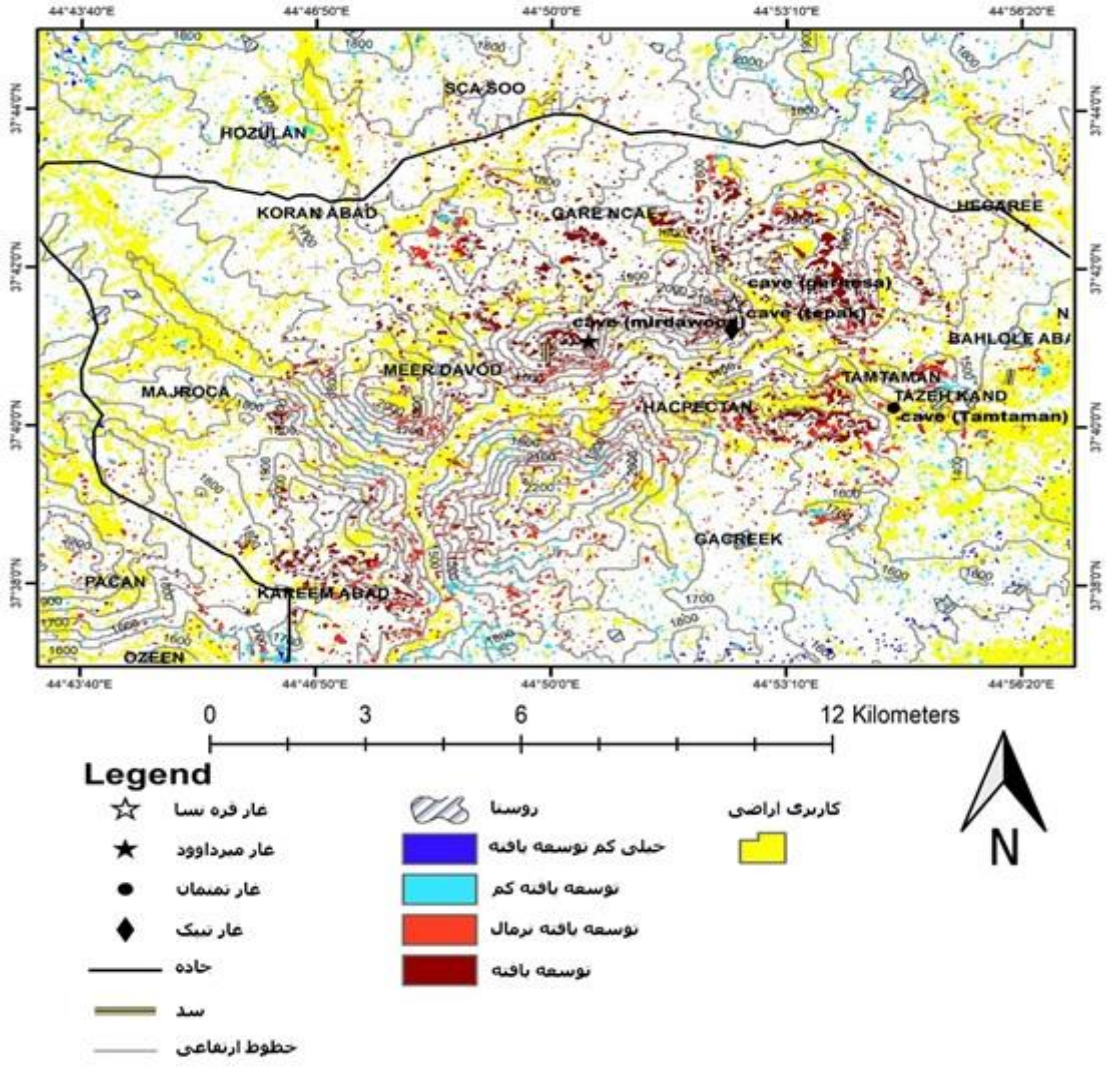
موجود در نرم‌افزار (جی‌آی‌اس) محاسبه گردید که امتیاز حداکثر (۹) به دمای بیشتر داده شده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- نقشه‌ی وزن‌دهی شده‌ی اقلیم (ال اس تی)
Figure (11): Weighted climate map (LST)

نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی منطقه کارستی تمتمان با استفاده از لایه‌های رستری زمین‌شناسی، گسل، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، اقلیم و هیدرولوژی با ترکیب وزن‌های به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی هر لایه و همپوشانی آن‌ها در محیط (جی‌آی‌اس) بدست آمد. بر اساس اصول مبانی کارست و مشاهدات صحرایی، نقشه‌ی نهایی حاصل از پهنه‌بندی به چهار طبقه: ۱- خیلی کم توسعه‌یافته، ۲- کمتر توسعه‌یافته، ۳- توسعه یافته نرمال و ۴- توسعه یافته طبقه‌بندی شد. شکل ۱۲ نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی توسعه کارست منطقه تمتمان و جدول ۵ مساحت و درصد طبقات توسعه کارست در این منطقه را به روش تحلیل سلسه مراتبی نشان می‌دهد. از کل مساحت منطقه، ۶/۶۸ درصد در طبقه خیلی کم توسعه‌یافته، ۱۵/۶۴ درصد در

طبقه کمتر توسعه‌یافته، ۴۲/۵۰ درصد در طبقه توسعه‌یافته نرمال و ۳۵/۱۸ درصد در طبقه توسعه‌یافته قرار گرفته است. فاکتور سنگ‌شناسی و تکتونیک منطقه بیشترین وزن و مهم‌ترین فاکتور کنترل‌کننده‌ی پتانسیل توسعه کارست و فاکتور کاربری اراضی کمترین تأثیر در کارست‌زایی منطقه تمتمان را دارد.



شکل (۱۲): نقشه‌ی پهنه‌بندی توسعه‌ی کارست منطقه‌ی تمتمان

Figure (12): Karst development zoning map of the Tamtaman area

جدول (۵): مساحت و درصد طبقات توسعه کارست به روش تحلیل سلسله مراتبی

Table (5): Based on the hierarchical analysis process, the area and percentage of karst development classes were calculated.

ردیف	درصد	مساحت (km^2)	طبقه
۱	۶/۶۸	۲/۹۶۹۵۰۲	خیلی کم توسعه یافته
۲	۱۵/۶۴	۷/۷۶۱۴۷۷	توسعه یافته‌ی کم
۳	۴۲/۵۰	۱۰/۸۷۳۱۴۸	توسعه یافته‌ی نرمال
۴	۳۵/۱۸	۹/۴۷۶۴۵۶	توسعه یافته

۴- نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه شناسایی و پهنه‌بندی پتانسیل توسعه کارست در محدوده‌ی غار تمتمان در نازلو ارومیه در استان آذربایجان غربی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. بر اساس اصول مبانی کارست و مشاهدات صحرایی و یافته‌های دیگر، هشت فاکتور به‌عنوان عوامل مؤثر بر توسعه کارست در منطقه‌ی تمتمان در نظر گرفته شد که نتایج حاصل بصورت نقشه‌ای با چهار کلاس توسعه کارست از قبیل: ۱- خیلی کم توسعه‌یافته، ۲- کمتر توسعه‌یافته، ۳- توسعه‌یافته نرمال و ۴- توسعه‌یافته استخراج گردید. از کل مساحت منطقه، ۶/۶۸ درصد در طبقه خیلی کم توسعه‌یافته، ۱۵/۶۴ درصد در طبقه کمتر توسعه‌یافته، ۴۲/۵۰ درصد در طبقه توسعه یافته نرمال و ۳۵/۱۸ درصد در طبقه‌ی توسعه‌یافته قرار گرفته است. بر اساس نتایج بدست آمده، منطقه‌ی تمتمان از نظر کارست‌زایی در طبقه‌ی توسعه‌ی نرمال تا توسعه‌یافته واقع شده است و این مسئله بر صحت سنجش توسعه‌یافتگی کارست در این قسمت دلالت دارد. در واقع کلید شاخص توسعه‌ی کارستیک در محدوده‌ی مورد مطالعه در ایجاد تنش‌های وارده از عملکرد گسل‌ها در سنگ‌های آهکی و دولومیتی منطقه‌ی مورد مطالعه است که عملکرد گسل‌ها در لایه‌های آهکی کارستیک شده، منجر به ایجاد ناپایداری‌های بزرگ در منطقه است. پس از عوامل هفتگانه توسعه کارست در منطقه‌ی تمتمان، عامل سنگ‌شناسی و تکتونیک منطقه بیشترین وزن و مهم‌ترین فاکتور کنترل کننده‌ی پتانسیل توسعه کارست و فاکتور کاربری اراضی کمترین تأثیر در کارست‌زایی را بر عهده دارد.

۵- منابع

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

Coon, C. S., (1951). Cave Explorations in Iran 1949, Museum Monographs, The University Museum, University of Pennsylvania, Philadelphia.

El-Naqa, A., Hammouri, N., Ibrahim, K., & El-Taj, M. (2009). Integrated approach for groundwater exploration in wadi Araba using remote sensing and GIS. *Jordan Journal of Civil Engineering,* 3(3): 229-243.

Ford, D.C., & Williams, P.W. (1989). Karst geomorphology and hydrology. 601 pp Springer Netherlands.

Ghobadi, M. (2010). Geology of Karst Engineering. Second Edition, Bou Ali Sina University Press, Hamadan, Iran. (In Persian)

Haji Hosseinlou, H. (2015). Kinematics of Transpressional Deformation in Urmia Fault Zone, (Northwest Iran). *Iranian Journal of Earth Scinces*, Vol 7, 59-67.

Haji Hosseinlou, H., & Abbasian Valandar, R. (2018). Evaluation and zoning of risk of rock falls in the Band area of Urmia (Urmia-Silvana Road path) using Anbalagan method. *Journal of Geography and Enviromentsal Hazards*, 8 (1): 83-102. (In Persian).

Hammouri, N., El-Naqa, A., & Barakat, M. (2012). An integrated approach to groundwater exploration using remote sensing and geographic information system. *Journal of Water Resource and Protection,* 4 (9): 717-724.

Hsin-Fu, Y., Cheng-Haw, L., Kuo-Chin, H., & Po-Hsun, c. (2008). GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. *Environ Geology Journal, Springer verlage*, 10(1): 1504-1509.

Kalantari, N., Mahdipour, M., & Hamrayan Azad, V. (2017). The effect of structural and morphological phenomena on the emergence, nutrition, and turbidity of the Gerdab spring in the northeast of Andimeshk, Khuzestan province. *Journal of Hydrogeomorphology*, No. 9, p. 87–112. (In Persian).

Khedri, A., Rezaei, M., & Ashjari, J. (2014). Assessing Karst Development Potential in Pion Poyon Anticline using GIS, RS and Analytical Hierarchy Process (AHP). *Iran-Water Resources Research,* 9(3), 37-46. (In Persian).

Mahmoudi, F. (2007). Structural Geomorphology. Eighth Edition, Payame Noor Publications. (In Persian).

Maleki, A., Shahwani, D., & Alaiee Talegani, M. (2011). Karst evolution zoning in Kermanshah province, *Journal of Human Science*, No 1, pp 295-271. (In Persian).

Parise, M. (2008). Rock failures in karst. Landslides and Engineered Slopes – Chen et al. (eds). Conference Paper, London, ISBN 978-0-415-41196-7

Parise, M., & Gunn, J.(eds). (2007). Natural and Anthropogenic Hazards in Karst Areas: Recognition, Analysis, and Mitigation. Geol. Soc. London, sp. publ. 279, 202 pp.

Prasad, R. K., Mondal, N. C., Pallavi, B., & Nandakumar, MV. (2007). Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS, *Environ Geology Journal*, Springer-Verlag, 55(3): 467-475.

Rasouli, A., Emami, K., Babakhani, Z., & golshanizad, S. (2020). Karst development zoning to identify karst water resources using Fuzzy logic model and AHP (Takab Basin). *Geography and Human Relationships*, 2(4), 240-253. (In Persian).

Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, Mcgraw _ Hill, Inc., Reprinted By RWS Publications, Pittsburgh.

Shahrabi, M. (1986). Description of the geological map of Urmia square 1: 250,000. Ministry of Mines and Metals, *Geological Survey of Iran*. (In Persian).

Senakhan, A., Pourkermani, M., Haji Hosseinlou, H., & Hassanpour Sadeghi, M. (2013). Tectonic and seismic assessment of the Nazlo region of Urmia, northwestern Iran. 31st Earth Sciences Conference, Tehran, *Geological Survey of Iran*. (In Persian).

Sener, A., Davraz, A., & Ozcelik, M. (2005). An Integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: a case study in burdur, Turkey, *Hydrogeology Journal*, 13(6): 826-834.

Sepand, S., Chitasazan, M., Rangzan, K., & Mirzaei, Y. (2008). Combining Remote Sensing and GIS in the Potential Discovery of Groundwater Resources in the Lali Area. Tehran Geomatics Conference. (In Persian)

Subba Rao, N., Chakradhar, G., & Srinivas, V. (2001). Identification of groundwater potential zones using remote sensing techniques in and around Guntur Town, *Andhra Pradesh India Journal of India society of Remote Sensing*, 29(2): 69-78.

Tirla, L., Vijulie, I. (2013). Structural–tectonic controls and geomorphology of the karst corridors in alpine limestone ridges: Southern Carpathians, Romania. *Geomorphology Journal*, Vol.197, pp. 123–136.

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

Waezi Hir, A., Jabraili Andrian, N., & Bakhtiari, S. (2020). Study of karst development in Kurdistan province: Mechanism of formation of the geomorphology of caves and hydrogeology of karst springs. *Journal of Hydrogeomorphology*, No. 20, Year 5, p. 41-56. (In Persian)

White, E., & White, W. (1969). Processes of cavern breakdown. Bull. Natl. Speleol. Soc. 31 (4): 83–96.

Yamani, M., Shamsipour, A., Jafari Aghdam, M., & Bagheri Seyed shokr, S. (2013). The Effective Factors on Development and Zoning of Karst in Cheleh Basin Using Fuzzy logic and AHP Models in Kermanshah Province. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 22(88), 57-68. doi:10.22071/gsj.2013.53641.(In Persian).

Zeng, S., Jiang, Y., & Liu, Z. (2016). Assessment of climate impacts on the karstrelated carbon sink in SW China using MPD and GIS. *Global and Planetary Change*, Vol. 144, pp.171-181.

Zerosh, N., Vaezi, A., & Karimi, H. (2015). Evaluation of karst development potential in the Kabir mountain anticline of Ilam province using fuzzy combination and Analytic Hierarchy Process (AHP) and remote sensing and GIS. Year 3, Number 3, pp. 144–157. (In Persian)