

کارست‌زایی سنگ‌های کربناته با بهره‌گیری از RS و GIS در منطقه الموت، شمال قزوین

پرویز غضنفری*، استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
مهدی بختیاری، کارشناس ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه آزاد تهران شمال
نادر جلالی، استادیار مؤسسه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۷

چکیده

فرایند کارستی شدن سنگ‌های رسوبی از یک سو باعث بروز آسیب به پروژه‌های راه و ساختمان، همچنین زمین‌های کشاورزی می‌شود، از سویی دیگر پتانسیل مهمی برای منابع آب به حساب می‌آید. منطقه الموت در زون ساختاری البرز میانی (مرکزی) قرار گرفته است و دربرگیرنده سازندهای دوران‌های دیرینه‌زیستی، میانه‌زیستی، و نوزیستی است. مهم‌ترین سازندهای کربناته الموت سازندهای سلطانیه، روته، الیکا، لار و تیزکوه است که در این میان گسترش سازندهای روته، الیکا و تیزکوه بیش از سازندهای سلطانیه و لار است و اهمیت بیشتری نیز دارد. برپایه بررسی‌های میدانی، پدیده‌های کارست بیرونی و درونی در منطقه دیده شد. بررسی‌های سنجش از دور (RS) با بهره‌گیری از GIS و نرم‌افزار ILWIS روی تصاویر ماهواره‌ای و لندست و مدل ارتفاع رقومی انجام گرفت. خطواره‌های سازندهای کربناته منطقه از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی برداشت شد. این پژوهش نشان داد که میزان فشردگی خطواره‌ها در سازند الیکا و روته نسبت به دیگر سازندهای منطقه بیشتر است. همچنین، فشردگی شبکه آبراهه‌ها در سازند تیزکوه بیش از سازندهای الیکا و روته است که نشان از رابطه وارونه با تراوایی سازندها دارد. برپایه تلفیق بررسی‌های توصیفی و داده‌های کمی، به ترتیب و از زیاد به کم سازندهای الیکا، روته، تیزکوه، لار و سلطانیه بیشترین شدت کارستی شدن را دارد.

کلیدواژه‌ها: البرز میانی، الموت، انحلال، کارست، GIS.

مقدمه

نزدیک به یک‌پنجم سطح زمین را سنگ‌های کربناته با ویژگی‌های فیزیکی پیچیده پوشانده که به دلیل هوازگی در اثر شرایط آب‌وهوایی گوناگون، پستی و بلندی‌های متنوع از خود بروز می‌دهد. برای نمونه در یوگسلاوی پیشین (صربستان، کراوایی، بوسنی و هرزگوین) تقریباً حدود ۳۳٪ سطح زمین کارستی است (میلانوویچ، ۱۹۸۱). در شوروی پیشین ۴۰٪ زمین‌ها دربرگیرنده سنگ‌های کربناته و دیگر سنگ‌های انحلال‌پذیر است. در آمریکا ۲۵٪ زمین‌ها از سنگ‌های کربناته است و حدود ۴۰٪ از آب مورد نیاز این کشور از منابع کارستی به‌دست می‌آید (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷). همچنین، حدود ۳۵٪ از مساحت فرانسه از سازندهای کارستی پوشیده شده و سهم این سازندها در تأمین آب آشامیدنی این کشور نیز به همین میزان است (باکالوویچ، ۲۰۰۵). بیش از ۱۱٪ سطح کشور ایران را سازندهای کارستی پوشانده است (افراسیابیان، ۱۳۷۷).

مسیرهایی که در امتداد آن‌ها آب جریان می‌یابد باعث ایجاد زمین‌دیس‌هایی^۱ شده که بیشتر در اثر گسترش تخلخل ثانویه پدید آمده است. تمرکز جریان و ذخیره آب از مهم‌ترین کارکردهای هیدرولیکی در عوارض کارستی

* نویسنده مسئول: Ghazanfari.parviz@gmail.com، تلفن ۰۹۱۲۲۷۰۷۹۶۴

زیرزمینی است. سنگ‌های کربناته از منابع مهم مخازن آب به شمار می‌رود. به علت پیچیدگی نوع حرکت آب‌های زیرزمینی در شبکه‌های کارستی، نمی‌توان روش‌های اکتشاف و توسعه آب، همچنین عملیات مهندسی، ایمنی سازه‌ها و ضرورت حفظ محیط زیست را بر اساس قوانین یکنواخت مطالعه کرد (کریمی‌وردنجانی، ۱۳۸۹). تأثیر آسیب‌های ایجادشده در نواحی کارستی بر زندگی بشر زیاد است و در صورتی که چاره‌اندیشی نشود، آسیب فراوان و گاه جبران‌ناپذیری را هم از دید مالی و هم محیط‌زیستی وارد می‌کند.

کارست از نظر تأمین منابع آب، منابع اقتصادی و گردشگری فرصت‌های بسیاری برای بشر ایجاد کرده است. با استفاده از این فرصت‌هاست که می‌توان با برنامه‌ریزی درست و کارآمد به توسعه اقتصاد محلی و در سطحی گسترده‌تر اقتصاد ملی کمک شایانی کرد. از سویی دیگر، رعایت نکردن اصول توسعه پایدار در بهره‌برداری از منابع کارست، چالش‌های بزرگی برای محیط‌زیست ایجاد کرده است. یکی از مهم‌ترین روش‌های مطالعه سازندهای کارستی و بررسی عناصر وابسته به فرایند کارستی‌شدن از راه بازدیدهای میدانی، تفسیر عکس‌های هوایی، پردازش اطلاعات ماهواره‌ای، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی است.

نواحی کارستی دارای ویژگی‌ها و زمین‌دیس‌هایی هم در رو و هم در زیرزمین است. کارست پدیده‌ایی در پوسته زمین است که نشانه‌های آن به صورت زمین‌دیس‌های گوناگون مانند حفره‌ها و غارها در سطح و زیرزمین وجود دارد. در اصطلاح فنی به پدیده خوردگی و انحلال توده سنگ‌های کربناته (سنگ‌آهک و دولومیت) کارست گفته می‌شود (قبادی، ۱۳۸۸). سیویک (۱۹۲۵)، برگرفته از کریمی‌وردنجانی، (۱۳۸۹) مناطق کارستی را به سه منطقه تقسیم کرد، شامل کارست کامل^۱، کارست ناقص^۲ و کارست‌های حدواسط^۳. کارست کامل هم در روی زمین و هم در زیرزمین به‌خوبی گسترش یافته است ولی در کارست ناقص زمین‌دیس کارستی به صورت کامل توسعه نیافته و بیشتر در سنگ‌آهک‌های نازک‌لایه و ناخالص مانند ماری، دولومیتی و بنتونیتی دیده می‌شود. کارست حدواسط را به دلیل درجه کارستی‌شدن بین کارست کامل و کارست ناقص قرار می‌دهند، ولی بیشتر به کارست‌های کامل شبیه است. این نوع کارست عمدتاً در سنگ‌آهک‌ها یافت می‌شود که با رسوبات ناتراوا و با قابلیت انحلال کم از هم جدا شده است.

وارن و ویلچوفسکی (۱۹۷۳) در بررسی خود نتیجه‌گیری کردند که روش سنجش از دور، گام نخست در واکاوی آب‌شناسی و ویژگی‌های زمین‌شناسی پهنه‌های کربناته است. راویندرا و همکاران (۱۹۹۵) با استفاده از ترکیب داده‌های سنجش از دور و GIS، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوضه آبریز رودخانه سونگ^۴ (شاخه فرعی رودخانه گنگ واقع در دون هند) را تهیه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که استفاده تلفیقی از سنجش از دور و GIS در تهیه نقشه‌هایی بسیار سودمند است که در توسعه و مدیریت منابع طبیعی به‌کار می‌رود. جلالی (۱۳۸۷) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای فرسوخ گرمایی و مدل‌سازی در GIS، سازندهای دارای پدیده کارست و به‌تبع آن مناطق امید به وجود منابع آب کارستی را شناسایی کرد. یمانی و همکاران (۱۳۹۲) عوامل مؤثر در توسعه‌یافتگی و پهنه‌بندی کارست در حوضه چله استان کرمانشاه را با استفاده از منطق فازی و AHP بررسی کردند و نتیجه گرفتند که گسترش کارست بیشتر در ستیغ تاقدیس‌ها و پیرامون شکستگی‌هاست. هدف اصلی این پژوهش به‌دست‌آوردن اطلاعاتی در راستای شدت کارست‌زایی و نقش میزان بارش، دما، ویژگی‌های سنگ‌شناسی، همچنین تکتونیک در شکل‌گیری کارست در منطقه الموت است.

عوامل تأثیرگذار بر پیدایش کارست

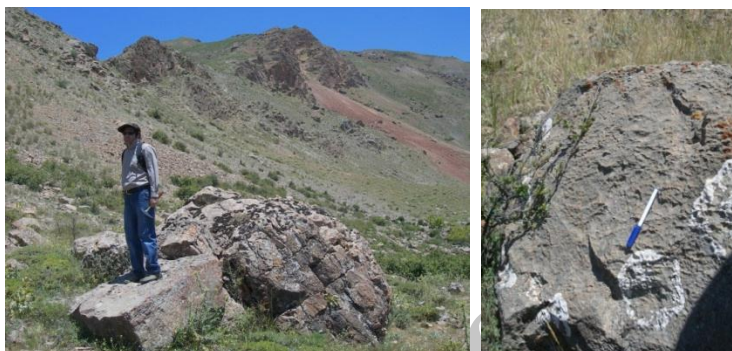
در فرایند کارست‌زایی، پارامترهای مؤثر در توسعه زمین‌دیس و عوارض کارستی شامل شرایط سنگ‌شناختی، تکتونیک و اقلیمی منطقه نقش مهم‌تری نسبت به ویژگی‌های پدولوژیکی (خاک‌شناسی)، پوشش گیاهی و سایر عوامل دارد.

سنگ‌شناختی

ترکیب سنگ‌شناختی عامل مهمی در ایجاد زمین‌دیس کارستی است. از دید سنگ‌شناختی، منطقه الموت دارای

1. holokarst
2. merokarst
3. transitional
4. Song

سازندهای کربناته و مستعد کارست‌زایی است (شکل ۱). انحلال سنگ کربناته واکنش شیمیایی برگشت‌پذیری است که در سازندهای کربناته و دولومیتی با بیش از ۹۰٪ صورت می‌گیرد و در درازای زمان زمین‌شناسی پدیده‌های متنوع کارستی را پدیدمی‌آورد (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷). سنگ‌آهک از کانی کلسیت و سنگ دولومیت از کانی دولومیت ساخته شده است. سرعت انحلال کلسیت بیش از دولومیت است، بنابراین سنگ‌آهک انحلال‌پذیرتر از دولومیت است (تاگر، ۲۰۰۱). البته، سرعت انحلال در سنگ‌های تبخیری بسیار بیشتر از سنگ‌آهک است. میزان انحلال یا برهنه‌سازی شیمیایی^۱ سنگ‌های سولفات (مانند سنگ‌گچ) حدود ده برابر سنگ‌آهک است (فورد و ویلیامز، ۲۰۰۷). این سرعت انحلال در سنگ‌نمک از این هم بیشتر است (بوزاک، ۲۰۰۸).



شکل ۱. سنگ دولومیت سازند سلطانیه، خاور روستای آوان، نگاه به شمال خاور (عکس چپ)؛ و نشانه‌های چاله‌های باران در آن (عکس راست)

فرایندهای تکتونیکی

بر اثر کارکرد فرایندهای تکتونیکی، درز و شکاف‌ها در جهت‌های عمودی، افقی و مایل در توده‌های سنگی ایجاد و گسترش می‌یابد. درزه و شکاف‌هایی که به صورت شبکه گسترش می‌یابد، در شکل‌گیری و پیدایش زمین‌دیس‌های زیرزمینی مانند مجاری به‌هم‌پیوسته و ایجاد زمین‌دیس بیرونی کارست مانند انواع کارن‌ها اهمیت ویژه دارد، زیرا در چنین سامانه‌ای، بلوک‌های سنگی از یکدیگر جدا می‌شود. چگونگی قرار گرفتن درزه‌ها نیز بسیار مهم است، زیرا در درزه‌های عمود بر هم، مجاری کارستی و غار به‌آسانی ساخته می‌شود. در امتداد محل برخورد درزه‌های عمود بر هم فرایند انحلال سریع‌تر می‌شود و باعث گسترش و بازشدگی بیشتر آن‌ها خواهد شد. از سوی دیگر ترک‌های سطحی که نتیجه فرایندهای بیرونی است، روی سنگ‌های کربناتی و پیدایش کارست نقش بسزایی دارد (مقیم، ۱۳۹۱).

آب‌وهوا

برای شناخت عوارض کارستی لازم است عوامل سازنده آن و آثار هر کدام از آن‌ها را به‌طور جدا بررسی کرد. در این راستا می‌توان به بارندگی، فشار گاز CO₂ و دما اشاره کرد. از آنجا که این فاکتورها افزون بر اینکه به یکدیگر وابسته است، به نوع اقلیم و پوشش گیاهی منطقه نیز بستگی دارد، بهتر است اثر آن‌ها بر حسب آب‌وهوای مختلف بررسی شود. در هر اقلیم آب‌وهوایی ویژه محدوده تغییرات خاصی از دما، فشار گاز CO₂ و رطوبت وجود دارد (کریمی وردنجانی، ۱۳۸۹). منطقه الموت منطقه‌ای کوهستانی در البرز میانی است که تحت تأثیر دو جریان عمده باران‌زای مدیترانه‌ای و پرفشار سیبری و قطبی است. بخش شمالی منطقه از رطوبت و باران دریای خزر نیز بهره‌مند می‌شود. به‌طور کلی، دره الموت دارای اقلیمی با بارندگی میانگین سالانه بالای ۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای ۱۰ تا ۱۴ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۲ و ۳).

آب یکی از فاکتورهای اصلی در گسترش کارست است. انحلال و فرسایش بدون حضور آب ناممکن است (کریمی‌وردنجانی، ۱۳۸۹). افزایش میزان نمک‌های محلول در آب باران، پس از رسیدن آن به سطح زمین، به‌ویژه پس از

1. chemical denudation

برخورد با سنگ‌آهک، از دو راه انجام می‌گیرد. نخست، آب باران به‌طور مستقیم با سنگ‌آهک تماس حاصل می‌کند. دوم، خاصیت اسیدی آب باران زمانی که در خاک سرشار از CO_2 نفوذ می‌کند، افزایش می‌یابد، و وقتی با سنگ‌آهک تماس حاصل کرد آن را حل می‌کند. البته، پس از مدت زمان معینی اشباع از $CaCO_3$ می‌شود و زمانی که اشباع شد دیگر انحلالی انجام نمی‌گیرد (مقیم، ۱۳۹۱). به‌طور طبیعی، کارست در مناطقی پیشرفت می‌کند که میزان بارندگی بیشتر باشد و مناطق خشک یا بسیار سرد مانع از گسترش کارست می‌شود (کریمی‌وردجانی، ۱۳۸۹).

ساختارهای کارستی بیشتر در مناطق سرد و مرطوب با بارش بیش از ۳۰۰ میلی‌متر و دارای سنگ بستر کربناته یا تبخیری شکل می‌گیرد. چورلی و همکاران (۱۹۸۴) بر این باورند که در مناطقی که میزان بارندگی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر باشد، زمین‌دیس کارست پدید نمی‌آید.



شکل ۲. نقشه هم‌باران سالانه منطقه الموت (میلی‌متر؛ <http://www.qazvinmet.ir>)



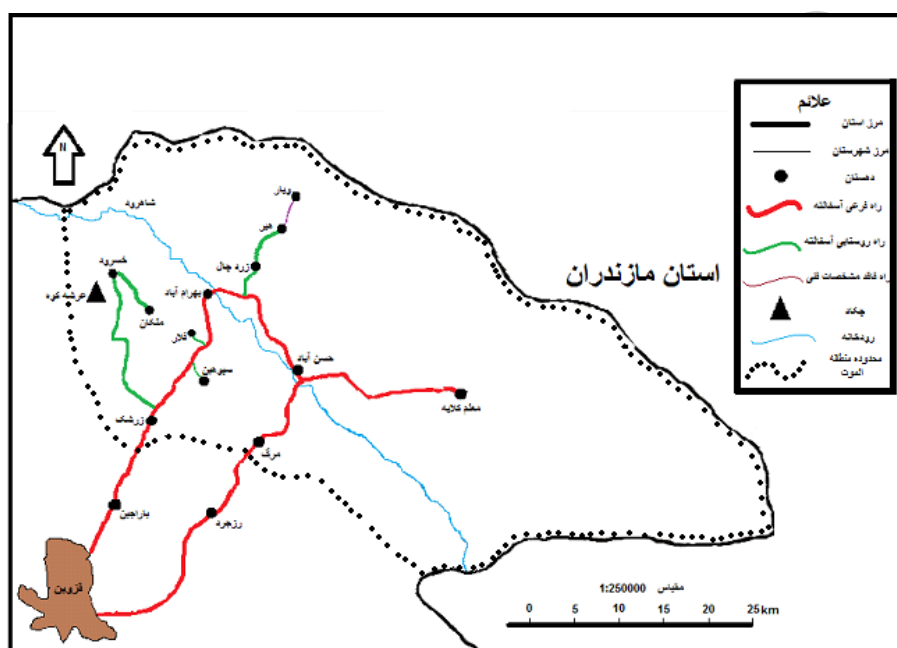
شکل ۳. نقشه هم‌دمای منطقه الموت (سانتی‌گراد؛ <http://www.qazvinmet.ir>)

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نخست با به‌کارگیری نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ قزوین (رادفر، ۱۳۷۷)، شکران (آنلز و همکاران، ۱۹۷۷)، رامسر (بهارفیزی و همکاران، ۱۳۷۲)، جواهرده (بهارفیزی و همکاران، ۱۳۸۲)، و جیرنده (قلمقاش، ۱۳۸۱) پراکنده‌گی و گسترش سنگ‌های کربناته در سازندهای گوناگون زمین‌شناسی بررسی شد. در ادامه بازدیدهای میدانی برای بررسی سازندهای کربناته منطقه الموت زمین‌دیس‌های کارستی و میزان فرایند کارست‌زایی در این سازندها انجام گرفت. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat، مدل ارتفاعی رقومی (DEM) برای نشان‌دادن جایگاه توپوگرافی سازندهای کربناته تهیه شد. سپس، با به‌کارگیری نرم‌افزار GIS (ILWIS) نقشه سازندهای کربناته الموت، همچنین نقشه خطواره‌ها و آبراهه‌ها تهیه شد. برای استخراج شبکه آبراهه‌های منطقه و تعیین فشردگی و رده‌بندی آن‌ها از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه استفاده شد. هر نوع ساخت خطی در روی سطح، یا درون سنگی که در اثر دگرشکلی ایجاد شده باشد خطواره نامیده می‌شود. پژوهش‌های انجام‌گرفته در زمینه کارست نشان داده است که میزان کارستی‌شدن همبستگی مستقیم با فشردگی شکستگی‌ها دارد (برای نمونه، میجرینگ و همکاران، ۲۰۰۸). شکستگی‌ها دربرگیرنده تمامی گسل‌ها و درزه‌های تصویر ماهواره‌ای و نقشه زمین‌شناسی می‌شود. بنابراین، هرچه شکستگی سازند بیشتر باشد، آب باران و رواناب بیشتری به آن نفوذ می‌کند و در نتیجه زمینه انحلال افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه فشردگی شبکه آبراهه‌ها

رابطهٔ وارونه با تراوایی سازندها دارد، نقشهٔ شبکهٔ آبراهه‌ها با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی تولید و فشردگی آبراهه‌ها محاسبه شد تا در ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده به‌کار گرفته شود. فشردگی شبکهٔ آبراهه بر حسب متر در کیلومتر مربع است و از فشردگی آبراهه به‌دست می‌آید که در آن درازای تمام رودخانه‌ها و آبراهه‌های واقع در سطحی مشخص به مساحت آن تقسیم می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۱). برپایهٔ نقشه‌های زمین‌شناسی، ارتباط میان شکستگی‌ها و آبراهه‌ها با کارست‌زایی بررسی و شدت کارستی‌شدن سازندهای کربناته شناسایی شد.

منطقهٔ مورد بررسی بین درازای جغرافیایی $54^{\circ} 03' 50''$ تا $55^{\circ} 52' 50''$ خاوری و پهناي جغرافیایی $11^{\circ} 17'$ تا $36^{\circ} 41' 01''$ شمالی قرار گرفته است. الموت از شمال به استان‌های گیلان و مازندران، از باختر به دیلمان و لوشان، از جنوب به طالقان و کوه‌های شمال قزوین و از خاور به تنکابن و طالقان محدود می‌شود. منطقهٔ مورد مطالعه دارای مساحتی نزدیک $5909/2$ کیلومتر مربع است (شکل ۴).



شکل ۴. راه‌های دسترسی به منطقهٔ الموت

پهنهٔ رسوبی - ساختاری البرز شامل بلندی‌های شمالی صفحهٔ ایران است که به شکل تاقدیسی مرکب، در راستای عمومی خاوری - باختری، از آذربایجان تا خراسان گسترش دارد (آقنابتی، ۱۳۸۳). از نگاه زمین‌ریخت‌شناسی، مرز شمالی البرز منطبق بر تپه‌ماهورهای متشکل از نهشته‌های ترشیری و دشت ساحلی خزر است. از نگاه زمین‌شناختی، مرز شمالی البرز محدود به زمین‌درز تئیس کهن است که از برخورد سنگ‌کرهٔ قاره‌ای البرز با سنگ‌کرهٔ توران، در تریاس پسین پدید آمده است. ولی در بیشتر محل‌ها زمین‌درز با ورق‌های رانده‌شده از شمال به جنوب پوشیده شده است. حد جنوبی البرز چندان روشن نیست. ولی چنین به‌نظر می‌رسد که مرز شاخصی در جنوبی البرز وجود نداشته باشد و گذر از پهنهٔ ایران مرکزی به پهنهٔ البرز تدریجی باشد (همان). از نظر کوه‌نگاری، مرز باختری البرز تا قفقاز کوچک و مرز خاوری آن تا کوه‌های پارامیسوس افغانستان گسترش دارد (علوی، ۱۹۹۱). منطقهٔ مورد مطالعه، برپایهٔ تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی نبوی (۱۳۵۵) و آقنابتی (۱۳۸۳) در البرز میانی (مرکزی) از زون البرز - آذربایجان و از دید افتخارنژاد (۱۳۵۹) در واحد ساختمانی البرز باختری قرار دارد. البرز میانی خمیدگی جنوبی دریای خزر را شامل می‌شود و از سمتان تا قزوین ادامه می‌یابد. ساختمان البرز نتیجهٔ دو نسل مهم راندگی‌های زمین‌ساختی است. نسل نخست راندگی‌ها به سن پیش از ژوراسیک میانی و وابسته به رخداد برخوردی سیمین پیشین است. نسل دوم راندگی‌ها به سن دوران نوزیستی و وابسته به کوه‌زایی آلپی است. راندگی‌های سیمین ویژگی شکل‌پذیر و راندگی‌های آلپی ویژگی شکننده دارد. در اثر این راندگی‌ها، به‌طور عموم سنگ‌های کهن‌تر به روی واحدهای جوان‌تر جابه‌جا شده است (آقنابتی، ۱۳۸۳).

واحدهای چینهای دیرینه‌زیستی، میان‌زیستی و نوزیستی منطقه دربرگیرنده سنگ‌های رسوبی کربناته، آواری و کمی تیخیری، همچنین سنگ‌های آذرین و آذرآوری گسترده‌ای است. منطقه الموت دارای سازندهای کربناته و مستعد کارستزایی است. سازندهای مهم کربناته موجود در الموت به ترتیب از پیر به جوان شامل سلطانیه، روته، الیکا، لار و تیزکوه است (شکل ۱).

یافته‌های پژوهش

عوامل کارستزایی در الموت

همان‌گونه که در برگه‌های ۱/۱۰۰.۰۰۰ زمین‌شناسی جواهرده، جیرنده، شکران و قزوین آمده، کهن‌ترین سازند منطقه با سن کامبرین زیرین متعلق به سازند سلطانیه با لایه‌بندی ستبر و توده‌ای از سنگ دولومیت است. رخنمون‌های گسترده‌ای از سازند روته در بخش‌های شمالی منطقه شامل سنگ‌آهک‌های با لایه‌بندی متوسط تا ستبر و گاهی توده‌ای است که بخش‌هایی متشکل از تناوب سنگ‌آهک و شیل‌آهکی با لایه‌بندی نازک تا متوسط نرم‌فرسای ملایم درون آن دیده می‌شود. در شمال خاور هیر، بخش بالایی این سازند شامل تناوبی از سنگ‌آهک، شیل، سنگ‌آهک ماسه‌ای و ماسه‌سنگ با لایه‌بندی نازک تا متوسط است (شکل ۵).



شکل ۵. سنگ‌آهک دولومیتی سازند روته، جنوب روستای ویار، نگاه به باختر (چپ)؛ حفره‌های انحلالی و غار (چند ده سانتی‌متر) در این سازند (راست)

سازند الیکا شامل بخشی سنگ‌آهکی در زیر و بخشی دولومیتی در بالاست. سازند الیکا در کوه عرشه رخنمون‌هایی محدود دارد که دارای سنگ‌آهک نازک تا متوسط‌لایه و گاه میان‌لایه‌هایی از شیل است. به سوی جنوب ستمبرای این سازند بیشتر و نزدیک به ۱۸۰ متر می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶. سنگ‌آهک سازند الیکا، جنوب دستجرد (ارشد کوه)، نگاه شمال خاور (چپ)؛ انحلال در راستای استیلولیت، همان سازند (راست)

سازند لار در شمال روستاهای مرگ، سپوهین، جنوب بهرام‌آباد رخنمون دارد. در شمال روستاهای مرگ و سپوهین سنگ‌آهک‌های یکنواخت با لایه‌بندی ستبر تا توده‌ای دیده می‌شود که در بخش‌های بالایی بیشتر دولومیتی و متبلور شده است (شکل ۷). ستبرای این واحد در جاهای گوناگون ناهمسان است، به طوری که از حدود ۴۰ متر آغاز و تا نزدیک ۲۰۰ متر افزایش می‌یابد. در این ناحیه از سازند دلیچای اثری دیده نمی‌شود. در جنوب بهرام‌آباد بخش زیرین سازند لار از سنگ‌آهک نازک تا متوسط لایه با لایه‌بندی منظم ساخته شده است که به سوی بالا به سنگ‌آهک با لایه‌بندی ستبر تا توده‌ای تبدیل می‌شود. این سازند سیمایی برجسته و خشن دارد و ستبرای آن از ۹۵ متر تا حدود ۲۵۰ متر در خاور بلوکان تغییر می‌کند. همبری سازند لار با سازند دلیچای در زیر پیوسته است و روی آن نیز سنگ‌آهک تیزکوه به گونه‌ی ناپیوسته اما هم‌شیب جای می‌گیرد (شکل ۷).



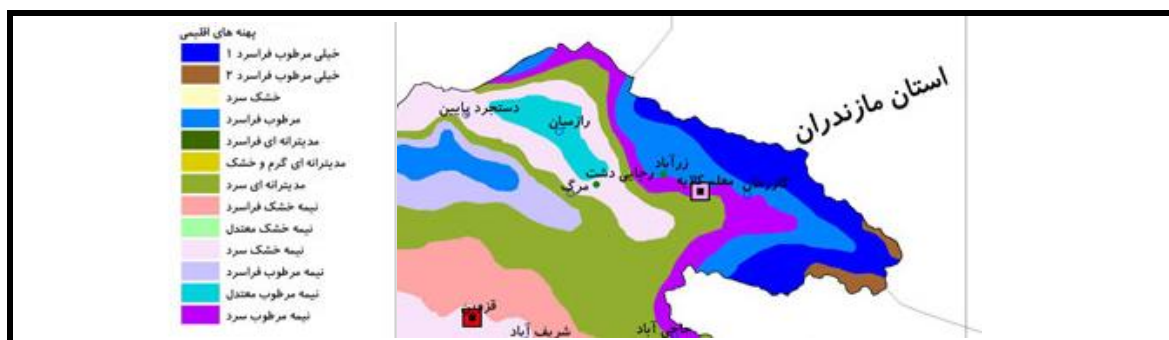
شکل ۷. سنگ‌آهک سازند لار، شمال روستای مرگ، نگاه به باختر (راست)؛ چاله‌های باران در همین سازند (راست)

رخنمون سازند تیزکوه در خاور روستاهای هیر و زردچال، همچنین در روستاهای فلار و بهرام‌آباد دیده می‌شود (شکل ۷). این سازند دارای سنگ‌آهک‌های با لایه‌بندی متوسط تا ستبر و گاهی توده‌ای است که بیشتر سیمایی برجسته و خشن دارد. این سنگ‌آهک روی واحدهای آواری K_1 و در پاره‌ای از نقاط روی ردیف آواری تریاس بالایی - ژوراسیک میانی قرار می‌گیرد. در بخش‌های جنوبی منطقه نیز سازند تیزکوه به گونه‌ی ناپیوسته و هم‌شیب روی سازند لار قرار می‌گیرد. در بخش‌هایی از منطقه سنگ آتشفشانی و توفی کرتاسه بالا روی سازند تیزکوه قرار دارد، در حالی که در دامنه‌های جنوبی کنگلومرای سازند فاجان به گونه‌ی دگرشیب روی آن قرار می‌گیرد (شکل ۸).



شکل ۸. سنگ‌آهک سازند تیزکوه در خاور روستای هیر، نگاه به شمال خاور (چپ)؛ در باختر روستای هیر، غارک و غار (قطر بیش از ۱ متر) در سازند تیزکوه، نگاه به شمال (راست)

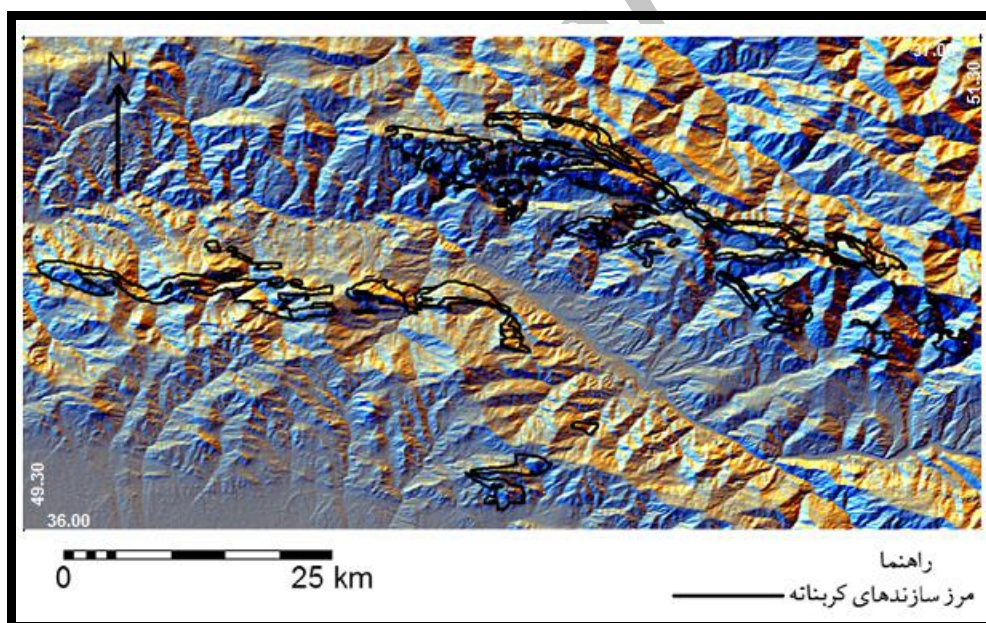
از دیدگاه توزیع بارندگی، در منطقه الموت بیشینه بارش‌ها در ماه‌های اسفند و اردیبهشت و کمترین آن در ماه‌های مرداد و شهریور است. همچنین، به لحاظ توزیع فصلی بارندگی پرباران‌ترین فصل در بیشتر ایستگاه‌ها فصل زمستان و خشک‌ترین فصل تابستان است (گزارش‌های اداره کل هواشناسی استان قزوین). میانگین بارندگی از ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال است که در بخش کوهستانی آن بیشتر به صورت برف و در بخش جلگه‌ای آن به صورت باران است. تپ آب‌وهوایی الموت از نوع نیمه‌مرطوب سرد تا خیلی مرطوب فراسرد است (آمار بازه زمانی ۱۳۶۴-۱۳۸۶؛ شکل ۳، ۲، ۹ و <http://www.qazvinmet.ir>).



شکل ۹. نقشه پهنه اقلیمی منطقه الموت (<http://www.qazvinmet.ir>)

کاربرد سنجش از دور

برای بررسی کارسستزایی در سازندهای کربناته نیاز به بررسی‌های سنجش از دور است. در این پژوهش از تصاویر ماهواره Landsat7 و تنها سنجنده آن ETM+ استفاده شده است. این سنجنده قادر است به‌طور هم‌زمان یک باند تصویری پانکروماتیکی و هفت باند چند طیفی را برداشت کند. تصاویر هر یک از این باندها به صورت ۸ بیتی و قدرت تفکیک آن‌ها از ۱۵ تا ۶۰ متر متفاوت است. DEM مدل رقومی ارتفاع است که برای نشان دادن جایگاه توپوگرافی سازندهای کربناته تهیه شد. این نقشه هم به‌صورت دوبعدی و هم به‌صورت سه‌بعدی (شکل ۱۰) قابل نمایش در محیط GIS است.



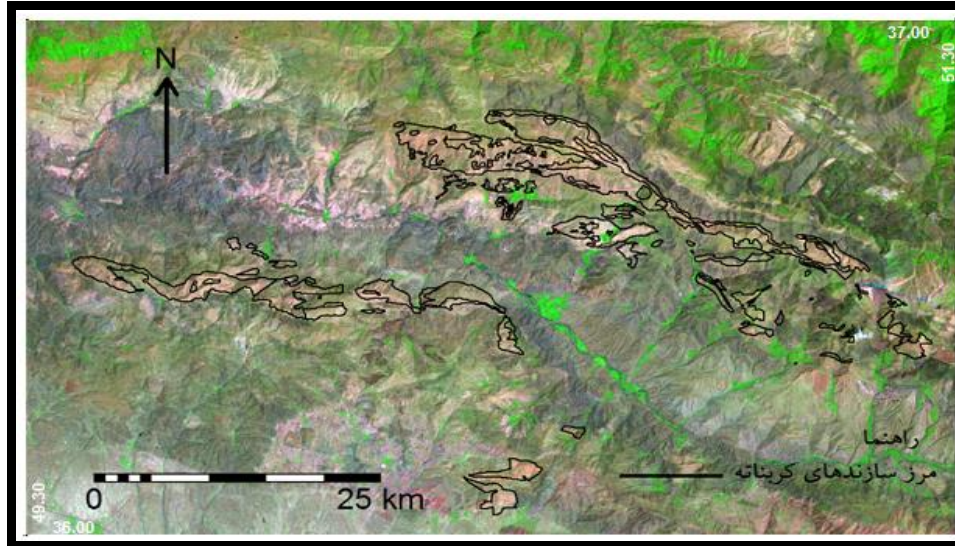
شکل ۱۰. تصویر سه‌بعدی دره الموت برگرفته از تصاویر DEM همراه با پراکندگی سازندهای کربناته

تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز

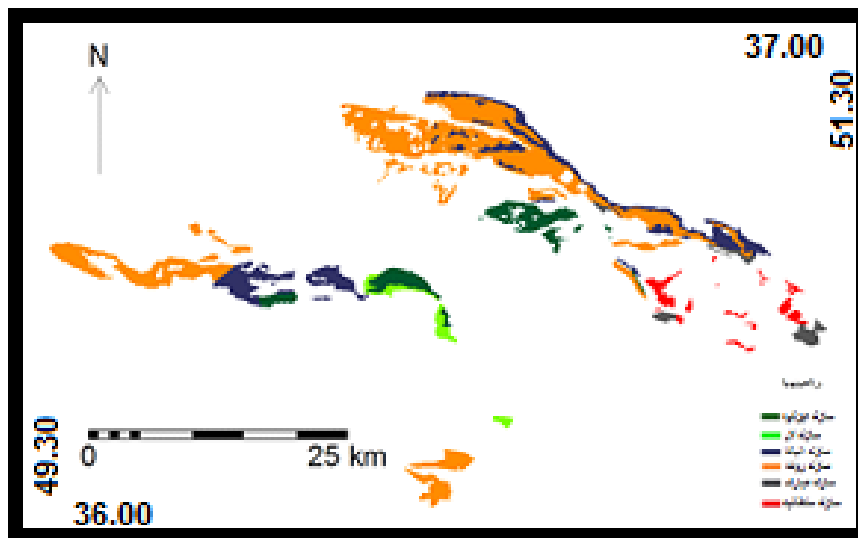
لایه سنگ‌شناسی سازندهای کربناته

برای ایجاد این لایه از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شده است، شامل برگه‌های قزوین، شکران، جواهرده و جیرنده. پس از زمین‌مرجع کردن و اتصال برگه‌ها به همدیگر، محدوده سازندهای کربناته در منطقه مشخص شد. در ترکیب باند ۲ و ۴ و ۷ پوشش گیاهی منطقه با رنگ سبز دیده می‌شود (شکل ۱۱ و

۱۲). از سوی دیگر، بازدیدهای میدانی از منطقه مورد مطالعه برای افزایش دقت کار نیز انجام شده است. یکی از پارامترهای مهم در این پژوهش لایه لیتولوژیکی است، زیرا به وسیله این لایه محدوده سازندهای کربناته منطقه الموت مشخص می‌شود.



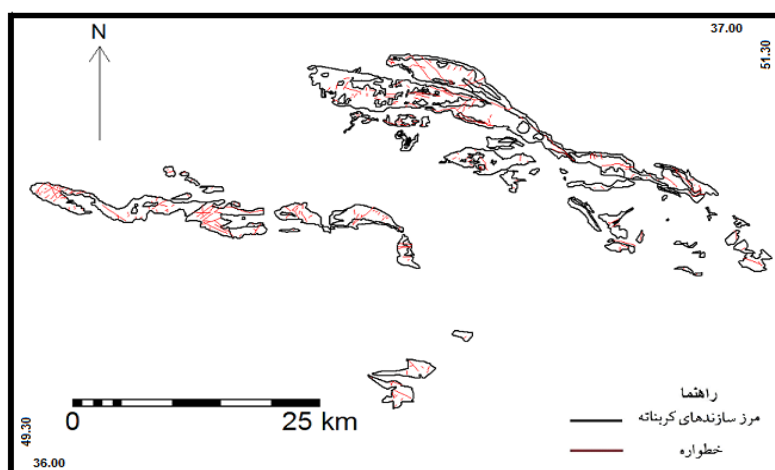
شکل ۱۱. تصویر ماهواره‌اندست مربوط به دره الموت و پراکندگی سازندهای کربناته و پوشش گیاهی منطقه (به رنگ سبز) (تلفیق باندهای ۲ و ۴ و ۷)



شکل ۱۲. پراکندگی سازندهای کربناته (برگرفته از رادفر، ۱۳۷۷؛ آنلز و همکاران، ۱۹۷۷؛ بهارفیروزی و همکاران، ۱۳۷۹، بهارفیروزی و همکاران، ۱۳۸۲؛ قلمقاش، ۱۳۸۱)

استخراج خطواره‌ها

جهت استخراج خطواره‌ها از روش دستی (تفسیر چشمی) استفاده شد. در این روش برای افزایش کیفیت، از تفسیر چشمی خطواره‌های موجود استخراج و رقمی شد و به بردار تبدیل شده است. از برتری‌های این روش این است که به‌آسانی می‌توان خطواره‌هایی را که زمین‌شناسی نیست، همانند جاده، ریل راه‌آهن، از خطواره‌های طبیعی جدا کرد. لایه خطواره‌های سازندهای کربناته منطقه الموت در شکل ۱۳ و نمونه‌ای از نمای نزدیک‌تر در جنوب خسروود در شکل ۱۴ آمده است.



شکل ۱۳. خطواره‌های طبیعی منطقه در سازندهای کربناته الموت (با به‌کارگیری توانی‌های RS و نقشه‌های زمین‌شناسی)

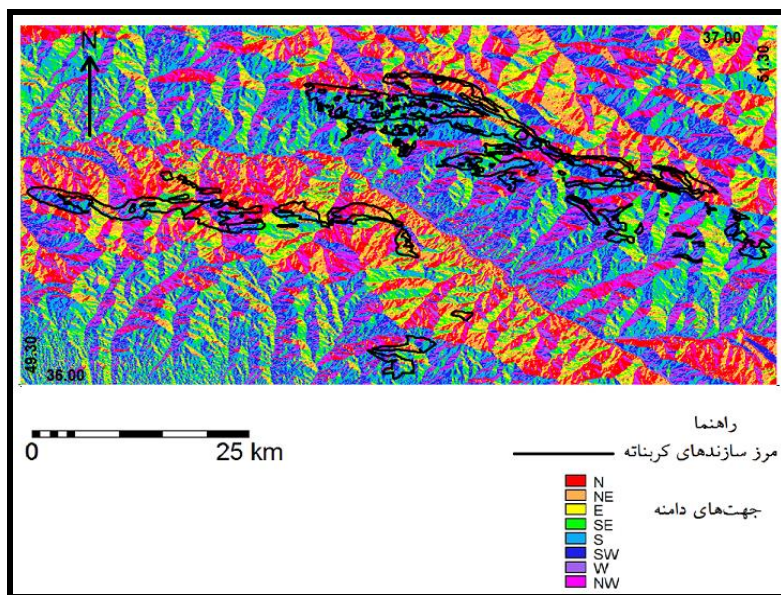


شکل ۱۴. نمونه‌ای از خطواره‌ها (گسل‌ها و آبرزره‌ها) در منطقه خسروود در سازند کربناته الیکا

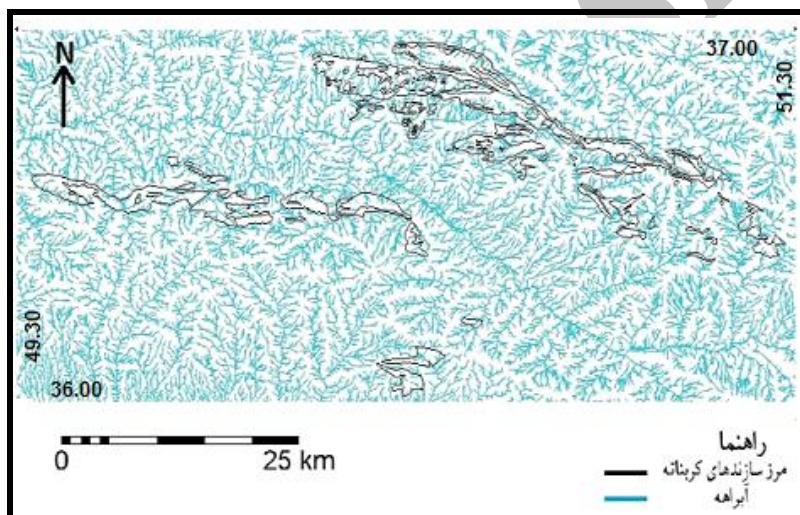
لایه شبکه آبراهه‌ها در سازندهای کربناته

آبراهه‌ها در سطح زمین محل گذر آب از بلندی‌ها به پایین دست به‌شمار می‌رود. میزان نفوذ آب در درون زمین در شکل و فشردگی آن‌ها مؤثر است، به‌ویژه اگر در مناطق کم‌شیب و در محل عبور گسل‌ها یا درزه‌های بزرگ پدیدآمده باشد، چرا که آب هنگام گذر از آن‌ها برای مدتی فرصت نفوذ به درون زمین را پیدا می‌کند (حسینی‌شفیعی، ۱۳۸۲). آب‌های سطحی معمولاً غیراشباع است و توان انحلالی بالایی دارد (کریمی‌وردنجانی، ۱۳۸۹). برای استخراج شبکه آبراهه‌های منطقه و تعیین فشردگی و رده‌بندی آن‌ها از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه استفاده شد. استخراج شبکه آبراهه‌ها در نرم‌افزار ILWIS انجام شد که شامل چهار مرحله به‌هم پیوسته است.

در مرحله نخست، آبراهه‌ها باید به‌صورت شبکه باشد و پیوستگی جریان، شرط لازم ایجاد شبکه آبراهه‌هاست. وجود نقاط گود مصنوعی و طبیعی از ایجاد شبکه آبراهه‌ها در مدل ارتفاعی رقومی پیش‌گیری می‌کند. در مرحله نخست، برای ایجاد شبکه آبراهه نقاط گود رفع شد. جهت جریان آبراهه‌ها باید همسو با دامنه باشد. در مرحله دوم، جهت شیب دامنه‌های موجود در منطقه الموت مشخص شد (شکل ۱۵). در مرحله سوم، محل تجمع جریان آبراهه‌ها شناسایی شد. در مرحله چهارم شبکه آبراهه‌ها استخراج شد (شکل ۱۶).



شکل ۱۵. جهت شیب دامنه‌های منطقه الموت



شکل ۱۶. نقشه آبراهه‌های منطقه الموت

بحث و نتیجه‌گیری

خطواره‌هایی که به نقشه درآمد ممکن است وابسته به منشأهای تکتونیکی مختلف باشد. فرایندهای تکتونیکی شدید باعث پدید آمدن سیستم‌های درز و شکاف زیادی می‌شود که آب از این راه به بخش‌های ژرف توده‌سنگ ستبر انتقال می‌یابد. قطعه‌قطعه شدن توده‌سنگ‌ها در اثر فرایندهای تکتونیکی عامل مهمی در کارستی شدن است که به‌طور افقی و عمودی عمل می‌کند (میلانوویچ، ۱۹۸۱). با همپوشانی لایه لیتولوژی و لایه خطواره‌ها، میزان فشردگی خطواره‌ها در سازندهای کربناته منطقه شناسایی می‌شود (جدول ۱). رابطه فشردگی خطواره‌ها و میزان کارست‌زایی رابطه‌ای مستقیم است؛ یعنی، هر چه درصد فشردگی خطواره‌های تکتونیکی بیشتر باشد، شرایط برای انحلال سنگ‌های کربناته آماده‌تر است که این عمل باعث کارست‌زایی بهتر و بیشتر در سازندهای کربناته می‌شود (شکل ۱۷). بر این پایه، فشردگی خطواره‌های سازندهای کربناته منطقه الموت به ترتیب از زیاد به کم عبارت است از الیکا، روته، لار، تیزکوه و سلطانیه. غارهای منطقه الموت که نشانگر کارست درونی است در سازندهای روته و الیکا قرار دارد. غار سفیداب در شمال روستای سفیداب، همچنین غار ولی در نزدیکی روستای گشنه‌رود در سازند روته و غار انگول در شمال روستای دینک در سازند الیکا پدید آمده است.

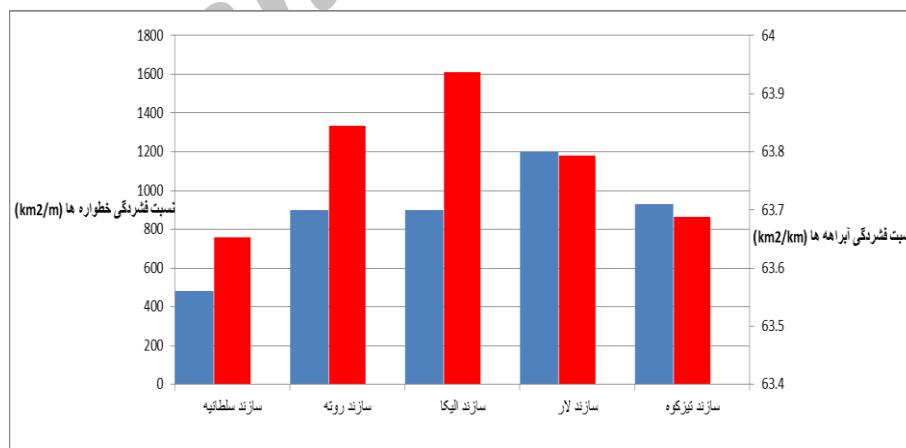
جدول ۱. فشردگی خطواره‌ها در سازندهای کربناته

نام سازند	دوره زمین‌شناسی	درازای شکستگی‌ها در سازندها (m)	مساحت سازند کربناته (km ²)	نسبت فشردگی خطواره‌ها (m/km ²)
الیکا	تریاس	۸۳۰۵۰	۵۱/۶۱	۱۶۰۹/۱۸
روته	پرمین	۱۸۶۵۵۰	۱۳۹/۹۵	۱۳۳۲/۹۸
لار	ژوراسیک	۹۷۰۰	۸/۲۳	۱۱۷۸/۶۱
تیزکوه	کرتاسه	۲۴۹۵۰	۲۸/۹۱	۸۶۳/۰۲
سلطانیه	کامبرین	۸۰۵۰	۱۰/۶	۷۵۹/۴۳

سنگ‌های کربناته (سنگ‌آهک و دولومیت)، به‌ویژه سنگ‌آهک، به‌دلیل انحلال بالایی که دارد، بارش‌های جوی بیشتر به درون آن‌ها رخنه می‌کند. حال اگر این‌گونه سنگ‌ها دارای شکستگی (گسل و درزه) نیز باشد، میزان رخنه آب به درونشان بیشتر می‌شود. بنابراین، فشردگی شبکه آبراهه‌ها در سازندهای کربناته کمتر از دیگر سنگ‌هاست. با همپوشانی لایه سنگ‌شناسی و لایه شبکه آبراهه‌ها می‌توان میزان درصد فشردگی شبکه آبراهه‌ها را در سازندهای کربناته شناسایی کرد (جدول ۲). رابطه میان فشردگی آبراهه‌ها و میزان کارست‌زایی رابطه‌ای وارونه است. روی ناهمواری‌های کارستی کمتر نشانه‌ای از فرسایش رودخانه‌ای دیده می‌شود. بنابراین، هرچه شمار آبراهه و دره رودخانه در ناهمواری‌های کارستی کمتر باشد، تحول کارست بیشتر است (تماب، ۱۳۷۳؛ شکل ۱۷). بر این پایه، فشردگی آبراهه‌های سازندهای کربناته منطقه الموت به ترتیب از زیاد به کم عبارت است از لار، تیزکوه، روته، الیکا و سلطانیه.

جدول ۲. فشردگی آبراهه‌ها در سازندهای کربناته

نام سازند	مساحت (km ²)	درازای آبراهه‌ها (km)	نسبت فشردگی آبراهه‌ها (km/km ²)
لار	۸/۲۳	۵۲۵/۱	۶۳/۸۰
تیزکوه	۲۸/۹۱	۱۸۴۱/۷۵	۶۳/۷۱
روته	۱۳۹/۹۵	۸۹۱۴/۶۵	۶۳/۷۰
الیکا	۵۱/۶۱	۳۲۸۷/۳۵	۶۳/۷۰
سلطانیه	۱۰/۶	۶۷۳/۷۵	۶۳/۵۶



شکل ۱۷. نمودار نسبت فشردگی خطواره‌ها (ستون روشن) و نسبت فشردگی آبراهه‌ها (ستون تیره) در سازندهای کربناته

به‌طور کلی، دره الموت دارای اقلیمی با میانگین بارندگی سالانه بالای ۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای زیر ۱۳ درجه سانتی‌گراد است که این دو عامل باعث تسهیل در روند کارست‌زایی منطقه شده است (شکل ۳ و ۹). تأثیر این دو عامل در زمین‌دیس‌های بیرونی پدیدآمده در شمال منطقه به علت میزان بارندگی بیشتر و دمای سردتر، پیشرفته‌تر از جنوب منطقه است. بررسی‌های سنجش از دور روی سازندهای کربناته منطقه نشانگر بالابودن میزان فشردگی خطواره‌ها

در سازند الیکا و روته نسبت به دیگر سازندهای منطقه است. این عامل باعث نفوذ بیشتر آب به درون سنگ‌ها و جاری‌نشدن آب‌ها در سطح سازندها شده است. از سوی دیگر، میزان فشردگی آبراهه در سازند سلطانیه و سپس الیکا و روته نسبت به سازندهای دیگر کمتر و نشانگر کارست‌زایی بیشترشان است (جدول ۳). از آنجا که مساحت سازندهای لار و سلطانیه به نسبت دیگر سازندها بسیار کمتر است، شاید نتایج به‌دست‌آمده از آن‌ها اعتبار کمتری دارد. بنابراین، مقایسه اصلی میزان کارست‌زایی در منطقه الموت بیشتر در سنگ‌های کربناته سازندهای الیکا، روته و تیزکوه انجام گرفته است. مقایسه میان سازندهای الیکا، روته و تیزکوه نشان می‌دهد که در هر دو روش فشردگی خطواره‌ها و فشردگی کمتر آبراهه، میزان کارست‌زایی سازندهای الیکا بیش از روته و آن هم بیش از تیزکوه است. البته، نتایج بررسی‌های میدانی زمین‌دیس‌ها نیز نشانگر میزان کارست‌زایی بیشتر سازندهای الیکا و روته نسبت به سازند تیزکوه و این سه سازند نسبت به سازندهای لار و سلطانیه است. از سویی دیگر، یافته‌های به‌دست‌آمده نشانگر همخوانی بیشتر داده‌های فشردگی خطواره‌ها نسبت به فشردگی آبراهه‌هاست. هرچه تراوایی سازندهای کربناته بیشتر باشد، انحلال بیشتر و فشردگی آبراهه‌ها کمتر و هر چه تراوایی سازندهای کربناته کمتر باشد، به دلیل جاری‌شدن آب‌ها روی زمین، فشردگی آبراهه‌ها بیشتر خواهد بود. بارندگی بالای این منطقه در مقایسه با میانگین بارندگی کشور، همچنین مشاهده پدیده‌های کارستی (به‌ویژه در سازندهای روته، الیکا و تیزکوه) احتمال وجود روان‌آب درونی^۱ و منابع آبی کارستی در منطقه الموت را نشان می‌دهد.

جدول ۳. ترکیب سنگ‌شناختی، نسبت فشردگی خطواره‌ها و آبراهه‌ها، و درجه کارستی‌شدن سازندهای کربناته منطقه الموت

سازند	دوره زمین‌شناسی	سنگ‌شناسی	نسبت فشردگی آبراهه‌ها (km/km ²)	نسبت فشردگی خطواره‌ها (m/km ²)	درجه نسبی کارستی‌شدن
الیکا	تریاس	سنگ‌آهک، دولومیت	۶۳/۷۰	۱۶۰۹/۱۸	۱
روته	پرمین	سنگ‌آهک، دولومیت	۶۳/۷۰	۱۳۳۲/۹۸	۲
تیزکوه	کرتاسه	سنگ‌آهک	۶۳/۷۱	۸۶۳/۰۲	۳

منابع

- آقاباتی، س.ع. (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۳ ص.
- افتخارنژاد، ج. (۱۳۵۹). تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمان در ارتباط با حوضه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت و گاز، ۸۲: ۲۸-۱۹.
- افراسیابیان، ا. (۱۳۷۷). اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران، مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی، کرمانشاه.
- بهارفیروزی، خ؛ شفیعی، ع.ر؛ اژدری، ع. و کریمی، ح.ر. (۱۳۸۲). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جواهرده، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- بهارفیروزی، خ؛ ندیم، ه و شفیعی، ع.ر. (۱۳۷۲). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رامسر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- تماب (سازمان تحقیقات منابع آب) (۱۳۷۳). فرهنگ چندزبانه واژه‌های کارست. وزارت نیرو.
- جلالی، ن. (۱۳۸۷). شناسایی منابع آب کارستی در منطقه آذرشهر، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادون قرمز گرمایی و مدل‌سازی در محیط GIS، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، تبریز، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- چورلی، ر.جی؛ شوم، ا.ا. و سوند، د.ا. (۱۳۷۹). ژئومورفولوژی، جلد دوم: زمین‌شناسی، ترجمه احمد معتمد، انتشارات سمت.
- حسینی شفیعی، ل. (۱۳۸۲). پهنه‌بندی نفوذپذیری نسبی تاقدیس کارستی پودنو در استان فارس با استفاده از داده‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز.
- رادفر، ج. (۱۳۷۷). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قزوین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- علیزاده، ا. (۱۳۹۱). اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی‌وچهارم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- قبادی، م.ح. (۱۳۸۸). زمین‌شناسی مهندسی کارست، دانشگاه بوعلی‌سینا، چاپ دوم، ۳۰۴ ص.
- قلمقاش، ج. (۱۳۸۱). نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جیرنده، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- کریمی وردنجانی، ح. (۱۳۸۹). هیدروژئولوژی کارست، مفاهیم و روش‌ها، انتشارات ارم شیراز، ۴۱۴ ص.
- مقیم، هد (۱۳۹۱). هیدروژئولوژی کارست، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ سوم، ۲۶۸ ص.
- نبوی، ح. (۱۳۵۵). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ ص.
- یمانی، م.: شمسی‌پور، ع.ا.، جعفری‌آقدم، م. و باقری سیدشکری، س. (۱۳۹۲). بررسی عوامل مؤثر در توسعه یافتگی و پهنه‌بندی کارست حوضه چله با استفاده از منطق فازی و AHP، استان کرمانشاه، علوم زمین، ۲۲(۸۸): ۵۷-۶۶
- Afrasiabian, A. (1998). The importance of research and development of karst water resources in Iran, *Proceedings of the Second International Conference on Water in karstic formations*, Kermanshah, Iran.
- Aghanabati, S.A. (2004). Geology of Iran. Geological Survey of Iran, 583p.
- Alavi, M. (1991). Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran, *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, 103: 983-992.
- Alizadeh, A. (2012). *Principle of applied hydrology*, 34th Pub., Astane Ghode Razavi.
- Annells, R.S.; Arthurton, R.S.; Bazley, R.A.B.; Davies, R.G.; Hamed, M.A.R. and Rahimzadeh, F. (1977). *Geological map of Shakran 1/100000*, Geological Survey of Iran.
- Bahar Firuzi, Kh.; Shafiei, A.R.; Azhdari, A. and Shafiei, A.R. (2003). *Geological map of Javaherdeh, 1:100000*, Geological Survey of Iran.
- Bahar Firuzi, Kh., Nadim, H. and Karimi, H.R. (1993). *Geological map of Ramsar, 1:100000*, Geological Survey of Iran.
- Bakalowicz, M. (2005). Karst groundwater: a challenge for new resources, *Hydrogeology Journal*, 13: 148-160.
- Bozak, P. (2008). *Karst processes and time*, Geologos, 14 (1): 121-127.
- Chorley, R.J., Schumm, S.A. and Sugden, D.E. (1984). *Geomorphology*, Vol. 2: Geology, Translated by Motamed, A., Samt Pub.
- Eftekharneshad, J. (1980). Separation of different parts of the in view point of structure in relation to the sedimentary basins, *Oil and gas association magazine*, 82: 19-28.
- Ford, D.C. and Williams, P.W. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*, John Wiley and Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester.
- Ghahamghash, J. (2002). *Geological map of Jirandeh, 1:100000*, Geological Survey of Iran.
- Ghobadi, M. (2009). *Engineering geology of Karst*, Bu Ali Sina Uni. 2nd Ed.
- Hoseini Shafiei, L. (2003). Zoning relative permeability of podno karstic anticline in the Fars province using remote sensing data and geographic information system (GIS), M.Sc. Thesis, Earth Sciences Faculty, Shiraz Uni.
- Jalali, N. (2009). Identification of karst water resources in the Azar Shahj region, using thermal infrared satellite images and modeling in GIS environment, *Third International Conference on Water Resources Management*, Tabriz, Iran Water Resources Association, Tabriz Uni.
- Karimi Vardanjani, H. (2010). *Karst hydrogeology, concepts and methods*, Eram Shiraz Pub., 414p.
- Meijerink, A.M.J.; Bannert, D.; Batelaan, O.; Lubczynski, M.W. and Pointet, T. (2008). Remote Sensing Application to Groundwater, *IHP-VI, Series on Groundwater*, No. 16, ITC, Enschede, the Netherlands.
- Milanovic, P.T. (1981). *Karst Hydrogeology*, Water Resources Publications, Littleton, Co.
- Moghimi, H. (2012). *Karst hydrogeology*, Payam Noor University Pub., 3rd ed. 268p.
- Nabavi, H. (1976). *Introduction to geology of Iran*, Geological Survey of Iran. 109p.
- Radfar, J. (1998). *Geological map of Qazvin, 1:100000*, Geological Survey of Iran.
- Ravindran, K.V.; Kumar, P.; Jaganathan, C. and Manchanda, M.L. (1995). Synergetic case of ERS-1SAR and IRS-1B LISS-II data for geomorphological mapping: A case study in Western Doon valley, U.P. in Sahai, B.(Ed), *Proceeding of ISRS Silver Jubilee Symposium on Remote sensing for environmental monitoring and management with special emphasis on hilly regions*, NNRMS, Bangalore: 34-38.
- Tamab (Water Resources Research Institute) (1994). *Multilingual dictionary of Karst terms*, Ministry of Energy
- Tucker, M.A. (2001). *Sedimentary petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks*, 3rd edition, Oxford (Blackwell), 262 p.
- Werren, W.M., and Wielchowsky, C.C., 1973, Aerial Remote Sensing of Carbonate Terranes in Shelby County, Alabama. *Ground Water*, 11(6): 14-26.
- www.ngdir.ir
- www.qazvinmet.ir (<http://qazvinmet.ir/?type=static&lang=1&id=96>)
- Yamani, M.; Shamsipour, A.A.; Jafari Aghdam, M. and Bagheri, S. (2013). The effective factor on development and zoning of karst in Cheleh basin using Fuzzy logic and AHP models in Kermanshah province, *Geosciences*, 22(88): 57-66.