

هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی کارست

• دکتر رضا خوشرفقار^۱
استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان



- Karst Hydrogeology & Geomorphology
- Ford, Derek C., Williams, Paul
- Wiley & Sons Ltd., 2007, pp. 562

کارست^۱، نام منطقه‌ای در کوه‌های دیناریک^۲ جنوب اروپاست که در مرز کشورهای اسلوانی^۳ و ایتالیا قرار دارد. این اصطلاح برای توصیف نوع خاصی از چشم‌اندازها به کار می‌رود که دارای غارها و سیستم‌های آب زیرزمینی هستند. این چشم‌اندازها و اشکال در سنگ‌های قابل حل مانند سنگ آهک، مرمر و گچ شکل می‌گیرند (ص ۱). واژه کارست یک اصطلاح ناحیه‌ای است و کارهایی که جوان سیویجیک^۴ به عنوان پدر ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی مناطق کارست در این زمینه انجام داده، نقش مهمی در حمایت، ابقا و گسترش اصطلاح کارست داشته است. (Ford, ۲۰۰۷)

آگاهی از فرایندهای هیدروژئولوژیکی در زمینه پیدایش، حرکت و ویژگی‌های شیمیایی آب مناطق کارست در حال افزایش است. یقیناً یکی از دلایل عمده‌ی این روند سریع رو به رشد، نقش مناطق کارست در تأمین منابع آب بشر است، به طوری که حدوداً ۲۰-۲۵ درصد آب مورد نیاز جمعیت کره‌ی زمین از آب‌های زیرزمینی مناطق کارست تأمین می‌شود (ص ۱). همچنین حدود ۵۰ درصد از ذخایر نفت و گاز جهان در خلل و فرج سنگ آهک و دولومیت کارستی قرار دارد. (Ford, ۲۰۰۷) علاوه بر موارد فوق، افزایش مشکلات ناشی از ساخت‌وسازها در این گونه مناطق، نه تنها توجه کارشناسان، بلکه عموم مردم را به مسائل کارست جلب کرده است. مشکلات مربوط به فرونشینی زمین‌های کارست در شهر کوالالامپور مالزی یکی از مثال‌های معروف در این زمینه است.

در کتاب هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی کارست، لندفرم‌ها و هیدروژئولوژی مناطق کارست با رویکرد سیستمی مورد بررسی قرار گرفته است و مطالعه آن نقش مهمی در درک فرایندهای هیدروژئولوژیکی و شکل‌زایی مناطق کارست دارد. کتاب حاضر، نسخه جدید و کاملاً بازنگری شده کتاب «ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی کارست» از همین نویسندگان است که در سال ۱۹۸۹ چاپ شده بود. اگرچه نسخه پیشین این کتاب به طور گسترده مورد استفاده اهل فن قرار گرفته و به عنوان یکی از جامع‌ترین منابع در زمینه ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی کارست پذیرفته شده است، اما نویسندگان پس از حدود دو دهه، تغییرات اساسی در آن داده‌اند و کتاب را به شکل کنونی عرضه کرده‌اند.

کتاب هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی کارست از دوازده فصل تشکیل شده است و هر فصل نمایانگر تجربیات نویسندگان کتاب و سایر متخصصان هیدروژئولوژی، ژئومورفولوژی و هیدروژئولوژی مناطق کارست است. باتوجه به فصل‌بندی و مسائل مطرح شده می‌توان کتاب را به دو بخش تقسیم کرد:
فصل‌های ۱-۶ به بررسی پراکندگی، مبانی سنگ‌شناسی، هیدروژئولوژی و

گچ و سنگ‌های سیلیسی هم بررسی شده است (ص ۹۱). هم‌چنین بر اساس بررسی نمونه‌های متعدد، اندازه گیری‌های انجام شده در زمینه‌ی نرخ دنودیشن در این فصل تفسیر شده است.

شروع فصل پنجم با سفره‌های آبدار زیرزمینی است. این فصل را می‌توان به دو قسمت تقسیم‌بندی کرد. در قسمت اول که بیشتر جنبه‌ی کمی و محاسباتی دارد، موضوعاتی مانند سطح ایستابی^۶، چاه آرتزین^۷، مناطق اشباع نشده^۸ قانون داری^۹ در مورد جریان آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش دوم، انواع چشمه‌های شکل گرفته در مناطق کارست (ص ۱۲۰)، کاربرد قانون داری و رویکردهای دیگر در جریان آب‌های زیرزمینی مناطق کارست معرفی شده است (ص ۱۳۶).

فصل ششم با عنوان آنالیز سیستم‌های زهکشی کارست، مانند فصل قبل اما به نسبت کمتر به صورت کمی به هیدرولوژی مناطق کارست می‌پردازد. در ابتدا بوجه آب بررسی شده و سپس نمونه‌هایی از کاربرد سنجش از دور مانند رادار^{۲۰}،

تکنیک‌های ژئوفیزیکی در بررسی منبع آب مناطق کارست معرفی شده‌اند.

فصل‌های ۷ و ۸ عمدتاً مربوط به غارهای کارستی و انواع اشکال ایجاد شده در آن‌هاست. فصل هفتم با طبقه‌بندی جالبی از سیستم غارها آغاز می‌شود. در

جدول ص ۲۱۰، غارها بر اساس ویژگی‌های داخلی و همچنین در ارتباط با عوامل بیرونی تقسیم‌بندی شده‌اند. سپس (ص ۲۱۱)، تعدادی از بزرگ‌ترین و عمیق‌ترین غارهای دنیا معرفی شده است. نمونه‌هایی از غارهای ایجاد شده در

سفره‌های آب آزاد و اشباع نشده به صورت کمی معرفی و روند تکامل غارهای هیپوژنیک^{۲۱} به تفصیل بررسی شده است. در ص ۲۶۱ نقشه‌ای از غار کارستی

علی‌صدر همدان ارائه شده است. در فصل هشتم، اطلاعات جامعی درباره‌ی کانی‌ها و نهشته‌های کارست ارائه شده و به‌طور تخصصی به بررسی آن‌ها

پرداخته شده است. بر اساس نهشته‌های درون غارها، آن‌ها را می‌توان به سه گروه غارهای آلوژنیک، آتوژنیک و تبخیری تقسیم کرد (ص ۲۷۳). بعضی از مواد

هیدروژئولوژی، انحلال و آنالیز داده‌ها می‌پردازد و در فصل‌های ۷-۱۲ بیشتر به مواردی مانند غارها و اشکال داخل آن‌ها، نقش اقلیم در شکل‌گیری اشکال کارست، مدیریت مناطق کارست و نقش انسان در محیط‌های کارست توجه شده است. در واقع نیمه‌ی دوم کتاب برای خوانندگان جذاب‌تر و ملموس‌تر است.

در فصل اول پراکندگی جهانی سرزمین‌ها و سیستم کارست به همراه نقشه‌ها، بعضی از اصطلاحات و تعاریف مربوط به کارست مانند هولو کارست^۷ پالئو کارست^۸، کارست کاذب^۹، فلویو کارست^{۱۰} کارست سدی^{۱۱} مورد بررسی قرار گرفته است.

قسمتی از این فصل به تاریخچه بررسی‌های کارست اختصاص یافته است. تحول ایده‌ها درباره‌ی اشکال کارست (ص ۷)، با نام جوان سیویچیک (۱۸۶۵-۱۹۲۷) پیوندی ناگسستگی دارد و لازم است تا کلیه علاقه‌مندان به ویژه دانشجویانی

که درباره‌ی مناطق کارست کار می‌کنند، آثار او را مطالعه کنند. (Ford, 2007)

فصل دوم، مربوط به بررسی سنگ‌های قابل حل است. کانی‌شناسی کلسیت، آراگونیت، دولومیت (۱۵۹)، ویژگی‌های سنگ‌شناسی (انواع سنگ‌های آهک،

گچ، نمک) و عناصر زمین‌ساختی مؤثر در درک فرایند شکل‌زایی و توسعه‌ی کارست مانند چینه‌بندی، درز و شکاف‌ها و گسل‌ها در این فصل بررسی شده است.

در فصل سوم، فرایند انحلال که حاصل روابط متقابل آب و کانی‌هاست، مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از ۷۹ معادله برای تشریح فرایندهای مؤثر در انحلال، این بخش را به ژئوشیمی کانی‌های کلسیتی تبدیل کرده است. خواندن این بخش برای بسیاری از آن‌هایی که اطلاعات کافی در مورد شیمی ندارند، خسته‌کننده خواهد بود.

فصل چهارم با عنوان توزیع و نرخ دنودیشن^{۱۲} مناطق کارست، مفاهیم پایه‌ی مربوط به هیدرولوژی مناطق کارست (سیستم‌های آلوژنیک^{۱۳} و آتوژنیک^{۱۴}) را توضیح می‌دهد. علاوه بر بررسی نرخ انحلال در سنگ‌های کربناته و ارائه‌ی چندین روش کمی (مانند فرمول کوریل^{۱۵})، نرخ انحلال در سنگ‌های نمک،



استالاگمیت، استالاگمیت و ستون‌های تشکیل شده در یک غار کارستی

تحول ایده‌ها درباره‌ی اشکال کارست، با نام جووان سیویجیک پیوندی ناگسستگی دارد و لازم است تا کلیه علاقه‌مندان به‌ویژه دانشجویانی که درباره‌ی مناطق کارست کار می‌کنند، آثار او را مطالعه کنند

پژوهشگران را به خود جلب کرد (ص ۴۷۹). علاوه بر تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری از سنگ آهک و دولومیت به عنوان یک سنگ معدنی، سابقه‌ی طولانی در تمدن بشر دارد (ص ۴۸۹) ساخت قصرها مانند پارتون^{۳۴} در یونان باستان یکی از نمونه‌های معروف آن است. استفاده توریستی از غارها و سایر اشکال کارستی هم ممکن است منجر به تخریب آن‌ها شود. برای مثال به‌خاطر ایجاد سیستم روشنایی و بازدیدکنندگان، خسارات زیادی به غار لازکس^{۳۵} در فرانسه وارد شد. برای حفاظت از رشد بلورها و نقاشی‌های درون غار، در سال ۱۹۶۳، بازدید از غار ممنوع شد (ص ۵۰۲). در حال حاضر حدود ۶۵۰ غار توریستی در دنیا وجود دارد که درآمد سالانه‌ی آن‌ها حدود ۲٫۵ میلیارد دلار امریکا است (ص ۵۰۰). یکی از روش‌های حفاظت از غارهای کارستی ایجاد ژئوپارک‌هاست^{۳۶} (ص ۵۰۴).

با اینکه چند قسمت اول کتاب (به‌جز فصل اول) به صورت کمی مسائل را بیان می‌کند، اما به‌طور کلی خواندن کتاب خیلی مشکل به‌نظر نمی‌رسد. ممکن است، تمام بخش‌های این کتاب در حد دانشجویان مقطع فوق لیسانس و بالاتر (ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی مهندسی و هیدروژئولوژی) نباشد؛ اما موضوعات مطرح‌شده سرآغاز خوبی برای پژوهشگران مناطق کارست فراهم می‌کند. تأکید ویژه‌ی این کتاب بر هیدروژئولوژی مناطق کارست، جنبه‌های کاربردی و مشکلات مربوط به کارهای تحقیقی (مانند مدل‌سازی کامپیوتری) و ساختمانی (مانند فرونشینی زمین‌ها) در این مناطق است.

اشکال متعدد معرفی شده اگرچه به صورت سیاه و سفید، اما واضح و مشخص هستند و به درک بهتر مطالب کمک می‌کنند. این اشکال تمامی جنبه‌های موردبررسی در مناطق کارست را دربرمی‌گیرد. ارائه‌ی تعدادی از عکس‌ها به صورت رنگی می‌توانست در افزایش کیفیت کتاب و جذب بیشتر خوانندگان مؤثر باشد.

جدید بودن، فهرست قابل توجه منابع مورداستفاده و معرفی مطالعات موردی از مناطق متفاوت دنیا، این امکان را فراهم می‌کند تا اطلاعات جامعی از منابع کارست به‌دست آید. اکثر منابع جدید در زمینه‌ی کارست برای تألیف این کتاب مورد استفاده قرار گرفته است. مطالب مطرح‌شده در این کتاب، علاوه بر جاذبه و اهمیت که برای ژئومورفولوژیست‌ها و هیدروژئولوژیست‌ها دارد، برای زمین‌شناسان، رسوب‌شناسان، ژئوشیمیست‌ها، پالئوکلیماتولوژیست‌ها و مهندسی عمران می‌تواند جالب توجه باشد. علاوه بر این، در مواردی بر جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی مناطق کارست هم اشاره شده است.

به چند دلیل مطالعه‌ی این کتاب توصیه می‌شود

نهشته‌شده‌ای که مورد بررسی قرار گرفته‌اند، شامل کربنات‌ها (مانند کلسیت و آراگونیت^{۳۷}) سولفیدها (مانند گالن^{۳۸})، سیلیکات‌ها (مانند کوارتز) و یخ است. در قسمت پایانی این بخش، روش‌های تعیین تاریخ و آنالیز محیط‌های دیرینه مانند روش کربن ۱۴ (ص ۲۹۸)، روش دیرینه مغناطیس^{۳۹} و روش‌های چینه‌شناسی زیستی^{۴۰} (ص ۳۰۴)، معرفی شده است.

فصل نهم، به لندفرم‌های کارست در مناطق مرطوب اختصاص یافته است. در ابتدا اشکال کارستی این نواحی به دو گروه لندفرم‌های کاوشی و تراکمی تقسیم شده است. در گروه اشکال کاوشی، طبقه‌بندی جامعی از انواع کارن‌ها^{۴۱} (لایپه^{۴۲}) (ص ۳۲۱-۳۳۹)، شکل‌گیری دولین‌ها^{۴۳} و مورفومتری آن‌ها (ص ۳۵۴)، دره‌های کور^{۴۴}، پلایه‌ها^{۴۵}، برج‌های کارستی^{۴۶} (ص ۳۷۳) با نمونه‌های متعدد از قسمت‌های متفاوت دنیا مانند فیلیپین، چین، استرالیا بررسی شده است. در بخش اشکال تراکمی، تراورتن‌ها^{۴۷} و اشکال مربوط به آن‌ها معرفی شده‌اند. در این فصل دو نمونه از اشکال مربوط به ایران، در ارتباط با تراورتن‌های تخت سلیمان (ص ۳۷۹) و گنبد‌های نمکی لارستان فارس (ص ۳۸۷) معرفی شده‌اند.

نقش اقلیم، تغییرات اقلیمی و سایر عوامل زیست محیطی در توسعه‌ی مناطق کارست در **فصل دهم** بررسی شده است. در واقع این بخش مربوط به ژئومورفولوژی اقلیمی اشکال کارست است. نمونه‌هایی از اشکال کارست مناطق بسیار خشک (مانند عربستان سعودی و استرالیا)، مناطق بسیار سرد (مانند روسیه، جزایر انگلیس و کانادا) و توسعه کارست در مناطق دائمی‌یخ‌ده مناطقی از کانادا سیبری و قاره‌ی قطب جنوب (ص ۴۲۶) مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به تغییرات سطح آب دریا، پدیده‌ی کارست در مناطق ساحلی و جزایر هم در این فصل بررسی شده است.

فصل‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب در ارتباط با مسائل مدیریت منابع آب و تأثیر انسان بر مناطق کارست است. بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی مناطق کارست، تهیه نقشه‌های هیدروژئولوژیکی، تأثیراتی که فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و زندگی شهری بر کیفیت آب‌های مناطق کارست دارند، در **فصل یازدهم** بررسی شده است. با ذکر نمونه‌هایی از اسپانیا و امریکا مسائل و مشکلات مربوط به سدسازی در سنگ‌های کارست و ژئوپیس معرفی شده است. در **فصل دوازدهم** علاوه بر تغییرات ایجاد شده توسط انسان در محیط‌های کارست، بخش کوچکی هم به روش‌های حفاظت از سایت‌های کارست اختصاص یافته است. تخریب جنگل‌ها، گسترش اراضی کشاورزی و توسعه‌ی شهری از جمله فعالیت‌های بشری است که شرایط را برای انحلال بیشتر و شکل‌گیری عوارضی مانند دولین‌ها فراهم می‌کند. یک نمونه بسیار معروف دولین ایجاد شده در پارک وینتر^{۴۸} ایالات متحده‌ی امریکا در سال ۱۹۸۱ است که توجه بسیاری از

کارست

تأکید ویژه‌ی این کتاب بر هیدروژئولوژی مناطق کارست، جنبه‌های کاربردی و مشکلات مربوط به کارهای تحقیقی (مانند مدل‌سازی کامپیوتری) و ساختمانی (مانند فرونشینی زمین‌ها) در این مناطق است

Academic Division of Unwin Hyman Ltd.

3- Ford, Derek (2007) *Jovan Cvijic' and the founding of karst*

Geomorphology, Environ Geol (2007) 51: 675-684.

1 . e.mail:khoshraftar@znu.ac.ir

2 . Karst

3 . Dinaric

4 . Slovenia

5 . Jovan Cvijic

6 . Karst Geomorphology and Hydrology

7 . Holokarst

8 . Paleokarst

9 . Pseudokarst

10 . Fluvio-karst

11 . Karst barre

12 . Denudation

13 . Allogenic

14 . Autogenic

15 . Korgel

16 . Water table

17 . Artesine well

18 . Vados

19 . Darse

20 . Radar

21 . Evaporative

22 . Aragonite

23 . Galena

24 . Paleo Magnetism

25 . Biostratigraphy

26 . Karren

27 . Lapias

28 . Doline

29 . Blind Valley

30 . Poljes

31 . Karst Tower

32 . Travertine

33 . Winter Park

34 . Patenon

35 . Lascaux

36 . Geopark

بی‌نوشت

۱- کتاب ژئوهیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی مناطق کارست، به عنوان یک منبع مطالعاتی مفید برای متخصصان کارست، دارای اطلاعات جامعی از لندفرم‌های سطحی و زیرزمینی کارست است که با استفاده از ۳۷۰ شکل (شامل نقشه، عکس و نمودار) تدوین شده است. با توجه به این که در تألیف این کتاب حدود ۱۶۵۰ منبع معتبر مورد استفاده قرار گرفته است، از لحاظ آکادمیک، مطالعه‌ی آن برای دانشجویان مقطع لیسانس و فوق لیسانس ژئومورفولوژی، زمین شناسی، ژئوهیدروژئولوژی و هیدروژئولوژی اهمیت فراوان دارد.

۲- سنگ‌های کربناته و کارستی بخش مهمی از ایران (۱۱ درصد رخنمون‌های سطحی) را پوشانده‌اند و سفره‌های آب موجود در این سنگ‌ها به عنوان منابع مهم آب شیرین تلقی می‌شوند (رضایی و نخعی، ۱۳۸۶). لذا درک روند شکل‌گیری عوارض و نحوه‌ی جابجایی آب در این مناطق اهمیت زیادی دارد. بخش قابل توجهی از آب شرب استان‌های غرب و جنوب غرب کشور از آب‌های زیرزمینی مناطق کارست تأمین می‌شود (برای نمونه، سراب بیستون در کرمانشاه و سراب آبدانان در ایلام).

۳- با افزایش جمعیت و ایجاد شهرها، با ساخت راه‌ها و سدها در مناطق کارست، ممکن است با مشکلات زیادی مواجه شویم که آگاهی از نمونه‌های مشابه در سایر نقاط دنیا، می‌تواند در مدیریت بهتر محیط نقش مؤثری داشته باشد. از نمونه‌های معروف در ایران، می‌توان به مشکلات مربوط به نفوذ آب در سازندهای کارستی پس از ساخت سد لار در کوه‌های البرز مرکزی و فرونشینی گسترده‌ی زمین در دشت‌های استان کرمان اشاره کرد.

۴- تعداد زیادی از غارهای کشور مانند غار علی‌صدر همدان، کتله‌خور زنجان، سهولان مهاباد و قوری قلعه پاپوه که در حال حاضر به عنوان غارهای تفریحی و گردشگری هم مورد استفاده قرار می‌گیرند، هنوز به طور کامل بررسی نشده‌اند، لذا مطالعه‌ی این کتاب می‌تواند راهنمای مناسبی در بهره‌برداری و مدیریت بهتر این مناطق باشد. علاوه بر اینکه تعداد غارهای گردشگری کشور در حال افزایش است، تعدادی از آن‌ها مانند غار کارستی خرمنه سر تارم و زرین غار خدابنده‌ی استان زنجان تا حد زیادی ناشناخته مانده‌اند.

منابع

۱- رضایی، محسن و نخعی، محمد (۱۳۸۷). نحوه‌ی تشکیل غار کارستی کتله‌خور در استان زنجان، فصلنامه‌ی زمین‌شناسی ایران، سال دوم شماره‌ی ششم، تابستان ۱۳۸۷، صص ۱۱-۱۹.

2- Ford, Derek C., Williams, Paul (1989), *Karst Geomorphology and Hydrology*,