بنیان ژئومورفولوژی کارست از دیدگاه جووان سویج

درک فورد، استاد بازنشسته جغرافیا و زمین‌شناسی دانشگاه مک‌مستر، کانادا
ترجمه: دکتر رضا خوش‌رفتار، عضو هیئت علمی گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان

چکیده

جووان سویج در صربستان غربی متولد شد و به‌طور گسترده به مطالعهٔ «کراس هادیناریک» پرداخت. در کتاب او با عنوان **داس کارست فنومن**، انحلال سنگ آهک فرایندی کلیدی و مهم در ایجاد انواع دولین‌ها، که ازلندفرم‌های متمایز کارستی هستند، معرفی شده‌اند. بنابراین، کراس‌های دیناریک، به خاطر لندفرم‌های انحلالی و سفره‌های آبدار با تلفظ آلمانی «کارست» شناخته شد. در حال حاضر، واژهٔ آلمانی کارست برای پدیده‌های انحلالی جدید و دیرینه به‌کار برده می‌شود. سویج، رفتار سفره‌های آب زیرزمینی را با توسعهٔ شبکه‌های انحلالی و درنهایت با چرخهٔ تحول و تغییرات سطح زمین مرتبط ساخت. او به عنوان پدر ژئومورفولوژی کارست خوانده شده است.

کلیدواژه‌ها: ژئومورفولوژی کارست، جووان سویج

مقدمه

زمانی که سازمان‌دهندگان کنفرانس بین‌المللی منابع آب و مشکلات زیست‌محیطی در مناطق کارست، مرا به‌عنوان یکی از سخنرانان مراسم افتتاحیه دعوت کردند، افتخار بزرگی نصیب من شد. این کنفرانس به‌طور ویژه از دانشمند برجسته، **جووان سویج** که اولین مقالهٔ بزرگ خود را ۱۱۰ سال پیش دربارهٔ کارست منتشر کرد، تجلیل می‌کند. سویج، چندین سال استاد جغرافیا در دانشگاه «بیوگراد» بود.

من به‌عنوان استاد بازنشستهٔ جغرافیا و زمین‌شناسی از دانشگاه «مک‌سی‌مستر»کانادا، در انگلیس متولد شدم. اگرچه در انگلیس فارغ‌التحصیل شده‌ام، ولی اکثر تحقیقات خود را در آمریکای شمالی انجام داده‌ام. من در این مقاله، نقش محققانهٔ سویج را از دیدگاه کسی که در دنیای انگلیسی‌زبان کار می‌کند، ارزیابی می‌کنم. این کار لذت‌بخشی است، چون او در موضوعی که هنوز پس از پنجاه سال کار جذابیت خود را حفظ کرده است، پیش‌گام برجسته‌ای بود.

جووان سویج و آثارش

جووان سویج در سال ۱۸۶۵ در دهکدهٔ «لوزنیکا»ی صربستان غربی که با عوارض کارست احاطه شده بود، متولد شد. در دانشگاه بیوگراد مشغول به تحصیل شد و سپس مطالعات تکمیلی را در وین انجام داد و در همان‌جا درجهٔ دکترای جغرافیا گرفت. استاد راهنمای او **آلبرشت پنک**، ژئومورفولوژیست برجستهٔ اروپا در آن دوره بود. پنک به‌دلیل نقشی که در بررسی‌های ژئومورفولوژی و کرونولوژی یخچال‌های آلپی و موارد دیگر داشت، معروف است. او با مناطق «دیناریک»شمالی آشنا بود و سویج را تشویق کرد تا بیشتر روی پدیدهٔ کارست این منطقه متمرکز شود، زیرا آثار تغییر شکل‌های تکتونیکی در سراسر منطقهٔ کارست دیناریک بسیار مهم‌اند. سویج آدم خوش‌شانسی بود که با یکی از بهترین زمین‌شناسان تکتونیکی عصر خود، یعنی **ادوارد ساوس** به مطالعهٔ این منطقه پرداخت. او در طول سال‌ها مطالعات خود به مشاهده و بررسی بسیاری از نواحی کارست دیناریک، سرزمین‌های کارست کوهستانی اتریش و کارست‌های حوضهٔ رودخانهٔ پانکوا در موراویا مشغول بود.

سویج در سال ۱۸۹۳، زمانی که فقط ۲۸ سال داشت، یکی از آثار معروف خود با عنوان **داس کارست فنومن** را زیرنظر **پنک** منتشر کرد. سپس به **بیوگراد** بازگشت تا محقق و استاد دانشگاه شود. نسخهٔ اصلاح‌شدهٔ این کتاب در سال ۱۸۹۵ به زبان صرب‌ـ کروات، منتشر شد. او جغرافی‌دان شاخص دانشگاهی دورهٔ خود به‌حساب می‌آمد و در زمینه‌های متفاوت ازجمله «انسان‌شناسی»و «قوم‌نگاری» کار می‌کرد. او همچنین گزارش‌های جغرافیایی کارست دیناریک را مطالعه، بررسی و گاهی منتشر می‌کرد. در سال ۱۸۹۹، در یک گردش علمی که پنک برای شاگردانش و ژئومورفولوژیست برجستهٔ آمریکایی، **ویلیام موریس دیویس** به بوسنی و هرزه‌گوین ترتیب داده بود، شرکت کرد و بسیار مجذوب این منطقه شد. دیویس واضع مفهوم لندفرم‌های سیکلیک بود. افکار او بر ژئومورفولوژیست‌های جریانی و بسیاری دیگر از ژئومورفولوژیست‌های انگلیسی‌زبان در سراسر نیمهٔ اول قرن بیستم مسلط بود.

سویج هم تحریک شد تا رفتار سیکلی را در تکامل لندفرم‌های کارست مورد بررسی قرار دهد. جنگ جهانی اول را با تدریس در فرانسه سپری

کرد و در آنجا توانست از کارست‌های سوئیس، فرانسه و آلپ‌های سوئیس دیدن کند. او در سال ۱۹۱۸، دیدگاه‌ها و نظراتش را دربارهٔ هیدرولوژی کارست منتشر و تلاش کرد تا آن‌ها را در یک چارچوب سیکلی تحلیل کند. با بازگشت به بیوگراد، مقالهٔ مهمی دربارهٔ «کارن‌ها» منتشر کرد و تا زمان مرگش در اوایل ۶۲ سالگی، در سال ۱۹۲۷، به بازنگری جامع مقالات خود پرداخت.

بنابراین، سویج به‌خاطر کارهای بزرگی که در سال‌های ۱۸۹۳ و ۱۹۱۳ در دنیای انگلیسی‌زبانان به‌چاپ رساند، معروف شد و مورد تجلیل قرار گرفت (**ساندرز** کارهای او را به‌صورت خلاصه در سال ۱۹۲۱ به زبان انگلیسی چاپ کرد). مقالهٔ ناتمام او پس از مرگش در سال ۱۹۶۰ منتشر شد.

در کتاب **داس کارست فنومن** (که قسمت اصلی پایان‌نامهٔ دکترای اوست)، ۵۲ صفحه از ۱۱۲ صفحه به توصیف و طبقه‌بندی «دولین‌ها» ، ۲۳ صفحه به بررسی «پلیه‌ها» و ۱۰ صفحه برای «دره‌های کارست»، «کارست ساحل آدریاتیک» و «نوع‌شناسی» اشکال کارست اختصاص دارد. در نتیجه، این اثر یک کتاب متوازن به‌حساب نمی‌آید. این کتاب، مجموعهٔ مطالبی است که به‌ترتیب با کارن‌ها (کوچک‌ترین لندفرم‌ها) شروع می‌شوند و با بررسی دولین‌هایی با ابعاد متوسط، دره‌های بزرگ‌مقیاس، پلیه‌ها و لندفرم‌های ناحیه‌ای ادامه می‌یابند. بعدها این موضوعات در بیشتر کتاب‌های درسی عیناً به چاپ رسیدند. کارهای او مرجع بسیاری از مؤلفان خارجی شد. سبک کار او همیشه لذت‌بخش بود، زیرا او برای تشریح عقاید خود به توصیف دقیق چشم‌اندازها و اشکال می‌پرداخت. **مارجری اسویتینی** نوشت: «هر دانشجوی مورفولوژی کارست باید در ابتدای بررسی‌های کارست، اثر سویج را مطالعه کند.»

در مقالهٔ سال ۱۹۱۸، سویج در مقایسه با سایر زمین‌شناسان و ژئومورفولوژیست‌های زمان خود نشان داد که درک بهتری از طبیعت و تغییرپذیری غارهای ایجاد شده با آب‌های جوی دارد. او دریافت در بسیاری موارد، وقتی که فرایند «کارستی شدن» شروع می‌شود، هیچ سطح ایستایی آبی در عمق سنگ وجود ندارد و (حداقل در مناطق کوهستانی) سطح آب در غارها تکامل می‌یابد و نوسان قابل توجهی دارد و یک منطقهٔ هیدرولوژیکی مشخص را ایجاد می‌کند که در حال حاضر به «اپی‌فراتیک» معروف است. او سپس، این مشاهدات را در یک مدل چرخه‌ای کارست که در ادامه بررسی شده است، با هم ترکیب کرد.

برای اولین بار، وقتی که در سال ۱۹۶۴ در «کنگرهٔ بین‌المللی جغرافیایی لندن» حضور پیدا کردم، با اثر نهایی او به نام «لاژئوگرافیک داس ترینز کالکنریز» که پس از مرگش در سال ۱۹۶۰ منتشر شد، آشنا شدم. یک سال قبل از این آشنایی، پایان‌نامهٔ دورهٔ دکترا را کامل کرده بودم. تا قبل از آن، هیچ کتاب و مقالهٔ مهمی به زبان انگلیسی در مورد کارست وجود نداشت.

کتاب سویج به‌علت ساختار نظام‌مند و اندیشه‌های معرفی‌شده در آن در زمینهٔ هیدرولوژی کارست، کمک بزرگی به‌حساب می‌آمد. این کتاب یک شاهکار دویست صفحه‌ای بود. با توجه به اینکه کتاب کامل نشده بود، ویرایشگر و دوست او، ژئومورفولوژیست برجستهٔ فرانسوی، **امانوئل دمارتن** با استفاده از یادداشت‌های به‌جامانده از سویج، در اتمام فصل‌های غارها و دره‌های کارست کوشید. همچنین، این کتاب تا حدی ناقص بود. سویج سعی داشت تقسیم چشم‌اندازهای کارست به «هولوکارست» و «مروکارست» را که برای اولین‌بار در سال ۱۸۹۳ ارائه کرده بود، شرح دهد. در این دورهٔ زمانی، تجربیات او فقط بر مبنای مطالعات مناطق دیناریک و موراویا بود. او دریافت که لازم است گروه سوم یعنی نواحی بینابینی، بین شرایط مروکارست و هولوکارست را به این تقسیم‌بندی اضافه کند.

گزارش‌های کوتاهی که یکی پس از دیگری از نواحی جدید (قفقاز بزرگ، قفقاز کوچک، فورـ آلپ فرانسه، پلوپونیز و کوبا) ارائه می‌شد، نشان داد که تعداد نمونه‌های بینابینی ممکن است به‌طور قابل توجهی از تعداد مناطق هولوکارست و مروکارست بیشتر باشد. این امر نشان می‌داد، دسته‌بندی مجددی لازم است. امروزه مفهوم «فلوویوکارست» جایگزین مروکارست شده است و برای جریان‌های آب از اصطلاح «آلوژنیک» و «آتوژنیک» استفاده می‌شود. ارتباط طولانی بین محققان منطقهٔ دیناریک و فرانسه هنوز ادامه دارد. اخیراً **جین‌نیکود** از محققان برجستهٔ فرانسوی در این زمینه، ارزیابی جامعی را منتشر کرده است که در آن اشکال کارست زیادی را براساس سبک سویج می‌توان مشاهده کرد.

جووان سویج، جغرافی‌دان و زمین‌شناس برجستهٔ دوران خود به‌حساب می‌آمد. نوشته‌ها و آثار او زیبا و واضح‌اند، ولی فقط به‌صورت پراکنده به کمک تصاویر یا نمودارها تشریح شده‌اند. اگرچه او انحلال و تجزیهٔ سنگ‌ها را به کمک جریان آب بررسی می‌کند، اما هیچ فرمول شیمیایی یا معادلهٔ فیزیکی در کارهای او دیده نمی‌شود. در نمودارهای ترسیم‌شده، تلاشی صورت نگرفته تا عدد و رقمی برای متغیرهای وابسته در برابر متغیرهای مستقل و سایر موارد ارائه شود. با وجود این، نقش و اثر او در علم کارست، بنیادی است. در ادامه، مهم‌ترین موارد کار او بررسی شده‌اند.

جووان سویج و کارست

تصور می‌شود که کلمهٔ کارست شکل آلمانی واژهٔ «اسلاوی» kars یا kras به معنای «زمین‌های سنگی» است که برای مناطق کارست دیناریک (به‌ویژه کارست قسمتِ شمالی یا کارست کلاسیک) به‌کار می‌رود. این نواحی دارای دولین‌ها و پهنه‌های کارنی هستند که عمدتاً درنتیجهٔ تخریب جنگل و چرای بیش از حد، فاقد درخت یا خاک‌اند.

جیمز، **کرانجک** و بسیاری دیگر دربارهٔ اشتقاق زبانی کلمهٔ کارست به تفصیل مطالبی نوشته‌اند. قبل از سویج، بسیاری از مسافران و بعضی از زمین‌شناسان از نام کارست یا کراس برای توصیف این چشم‌اندازها و لندفرم‌های بارز استفاده کرده بودند. با وجود این، در بسیاری از زبان‌ها، واژهٔ کارست برای توصیف فرایندهای انحلال سنگ، لندفرم‌ها و سیستم‌های آب زیرزمینی استفاده می‌شود. چون براساس کتاب داس‌کارست فنومن سویج، (بدون شک) این پدیده‌ها از سایر اشکال استاندارد و مشخص در ژئومورفولوژی جریانی متمایز می‌شوند، از لحاظ تاریخی انتشار آثار سویج در سال ۱۸۹۳ اساس این موضوع را پایه‌ریزی کرد و به‌همین دلیل جووان سویج پدر ژئومورفولوژی و هیدرولوژی کارست به‌حساب می‌آید.

البته او بدون رقیب نبود. از معاصران نزدیک به او، **ادوارد مارتل** ، متخصص غارشناس فرانسوی (پدر غارشناسی) تلاش می‌کرد اصطلاح «لی‌کاوسه» را برای فرایندها و اشکال انحلالی معرفی کند. اما به‌دلیل تقدم تاریخی، وزن و اهمیت بیشتر کارهای سویج در حمایت از واژهٔ کارست این اصطلاح پیروز شد. با این‌حال واژهٔ کارست، برای بسیاری از محققان

گمراه‌کننده است. آیا موضوع ژئومورفولوژی «فلوویال» یا «گلیشیال» (حتی «پریگلاشیال») باید در کارست مشخص شود؟ اگر امروزه اصطلاحی ساخته شود، باید از وابستگی ناحیه‌ای این‌گونه کلمات اجتناب کرد و متخصصان این رشته به اتفاق آرا می‌توانند اصطلاحاتی مانند «ژئومورفولوژی انحلالی» یا اصطلاحات دیگر را پیشنهاد کنند. شکل ۱ به مقایسهٔ جغرافیایی منطقهٔ دیناریک با سایر مناطق کارستی (رخنمون جهانی سنگ‌های کربناته) در شرایط کنونی می‌پردازد.

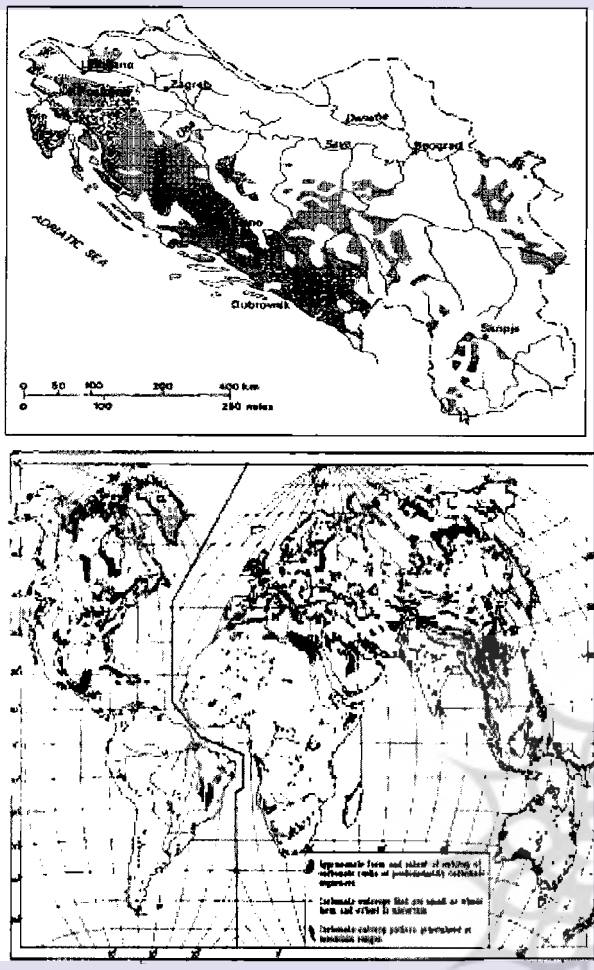
در مقایسه با آنچه سویج تصور می‌کرد، پذیرش جهانی واژهٔ «کارست» به گسترش مفهومی بیشتر این اصطلاح در علوم زمین‌شناسی و مهندسی عمران انجامید. شکل ۲ تصویری است که این مؤلف به مدت ۲۵ سال برای تدریس و آموزش از آن استفاده می‌کرد. موضوع کارست فقط به لندفرم‌های سطحی و چرخهٔ کم‌عمق آب‌های جوی در غارهایی که سویج مطالعه کرد، محدود نمی‌شود. «آب‌های جوان»، آب دریا، آب‌ها و گازهای درونی زمین در شکل‌گیری اشکال کارست نقش دارند. رسوب‌شناسان بیشتر بر بررسی «رسوب ویژه» متمرکز می‌شوند. این بخش از اهمیت بسیار برخوردار است و توجه خاصی به افق‌های هوازدهٔ کارست و زمین‌های سخت‌شده در مناطق کارست دارد. در عوض، زمین‌شناسان اقتصادی نگاه عمیقی به مواد سیال و تعیین محل سنگ‌های معدنی دارند. مطالعهٔ «پالئوکارست‌های» مدفون و غیرفعال، موضوع بسیار مهمی است که هر زمین‌شناس نفت باید از آن مطلع باشد، زیرا حدود پنجاه درصد از ذخایر نفت و گاز جهان در سنگ آهک و دولومیت‌ها قرار دارند و بیشتر آن‌ها در خلل و فرج کارستی قرار گرفته‌اند.

جوان سویج، دولین و لاپیه‌ها

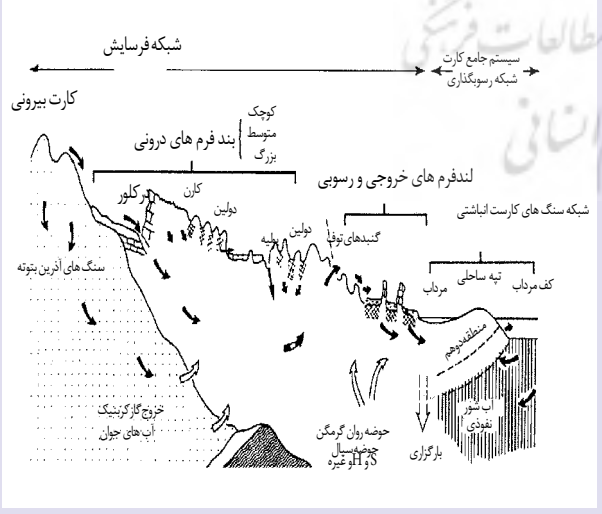
سویج همیشه به ماهیت و منشأ کارن‌ها (لاپیه‌ها) توجه داشت. این عارضه در کارست‌های برهنه و فاقد پوشش گیاهی، به وفور یافت می‌شود. او کارن‌ها را به «بدلندهایی» که در مناطق پرشیب و فرسایش‌پذیر شکل گرفته‌اند، تشبیه کرد. او از اولین کسانی بود که پی‌برد، ممکن است ویژگی‌های سنگ‌شناسی در شکل‌گیری اشکال خاص مؤثر باشند. سویج به درستی تصور می‌کرد، ریزترین نوع شیارها (که در حال حاضر به اسم «ریل‌کارن» شناخته می‌شوند)، به‌سرعت روی سنگ آهک به وجود می‌آیند، اما در مورد اینکه ممکن است آن‌ها کامل و به اشکال بزرگ‌تری تبدیل شوند، در اشتباه بود. او به «نهرهای انحلالی» که طول آن‌ها چند دسی‌متر یا متر بود و به سمت پای دامنه کشیده می‌شدند (رین‌کارن) یا نهرهای بزرگ‌تر امتداد یافته در درز و شکاف سنگ (کلوف کارن یا گریکز) توجه زیادی داشت.

سویج همچنین واژهٔ «بوگاز» را برای نهرهای عریض‌تر و طویل‌تر معرفی کرد. امروزه واژهٔ «کلوفت» و بوگاز به‌عنوان مؤلفه‌های یک زنجیره در نظر گرفته می‌شوند که به شکل کارست‌های «کریدوری» و «مارپیچی» گسترده‌تر هستند. سویج در تلاش بود تا توالی ارتفاعی اشکال بین «ساحل آدریاتیک» و «فلات‌های مرتفع آلپ» را کشف کند، اما موفق نشد.

بخش مهم کتاب **داس کارست فنومن** سویج دربارهٔ دولین‌هاست. او این اسم را در رقابت با اصطلاح «سینک‌هول» مطرح کرد (البته بعداً ترجیح دادند، در زبان انگلیسی از اصطلاح سینک هول استفاده کنند). او بیان کرد، دولین لندفرم سطحی کارست است و اگر در یک چشم‌انداز دیده شود، چند نوع کارست (کارست کاذب) باید در آن وجود داشته باشد. او براساس مطالعات گسترده‌اش در مناطق کارست دیناریک، سه شکل اساسی دولین‌ها را تشخیص داد که عبارت‌اند از:



شکل ۱. حدود جغرافیایی کاربرد مفهوم کارست: پراکندگی سنگ آهک و دولومیت در منطقهٔ کارست دیناریک (تصویر بالا)، در مقایسه با پراکندگی جهانی آن (تصویر پایین). نقشه‌ها از سویتینگ (۱۹۷۲) و فورد و ویلیام (۱۹۸۹).



شکل ۲. سیستم جامع کارست. جووان سویج، لندفرم‌های بخش ورودی، چرخهٔ آب جوی در درون زمین و فرسایش ساحل آدریاتیک را بررسی کرد. امروزه در کارهای علمی و مهندسی، کلمهٔ کارست کاربرد گسترده‌ای دارد.

۱. دولین‌های جام‌شکلی که قطرشان ۱۰ تا ۱۲۰ متر است. شیب آن‌ها ملایم (تا حدود ۱۲ درجه) و نسبت قطر به عمق آن‌ها ۱ به ۱۰ است.

۲. «دولین‌های قیفی‌شکل» با شیب تندتر و نسبت قطر به عمق آن‌ها ۱ به ۲ تا ۳ است.

۳. «دولین‌های چاه‌مانند» که قطرشان فقط ۲ تا ۵ متر و عمق آن‌ها ۱۵ تا ۲۰ متر است. آن‌ها نوعی «شافت» هستند.

سویج در بررسی‌هایی در مونته‌نگرو و هرزه‌گوین به این نتیجه رسید که تعداد حفره‌های جامی‌شکل بیشتر از حفره‌های قیفی و حدود ۱ به ۴، در کارنیولا حدود ۱ به ۶ و در ایستریا حدود ۱ به ۱۰ است. دولین‌های چاه‌مانند در تمام مناطق دنیا وجود ندارند. این ارقام و نسبت‌ها در دولین‌ها، معیارهای مورفومتریک مهمی در مطالعات کارست به‌حساب می‌آیند که در این زمینه **کرامر** و **ویلیامز** پیش‌گام‌اند. مقایسهٔ درک سویج از مقطع عرضی یک دولین نمونه با آنچه ویلیامز نود سال بعد از آن انتشار داده است، جالب به‌نظر می‌رسد.

ساسترسیک به محل مقطع عرضی سویج بازگشت (شکل ۳). این محل در کنار ریل راه‌آهنی نزدیک لوگاتس در اسلوونی قرار دارد. او دریافت، مقطع ترسیم‌شدهٔ سویج فاقد مرکز واقعی است، زیرا «پایپ‌های انحلالی»، با خاک، «رابل» و ذرات بزرگ‌تر پر شده‌اند و با تجمع ذرات ریز جنب یخچالی در کف دولین، از شکل قیفی به شکل جام‌مانند تغییر یافته‌اند. این مؤلفه می‌تواند وجود این نوع مقطع را تأیید کند.

همچنین سویج از دولین‌های آبرفتی (چاله‌های بستهٔ شکل‌گرفته در رسوبات سفت و سخت‌نشدهٔ ناشی از فرایند پایپینگ مواد ریزدانه در کلوفت کارن زیرسطحی یا مشابه کارست شکل‌گرفته به‌دلیل «منافذ برف» معروف به دولین‌های سوفیسیون)، «دولین‌های برفی» در آلپ، دولین‌های ریزشی واقعی (اینستورز دولینین) و «دولین‌های مرکب» یا «اوولاها» تعاریف و توصیفات ویژه‌ای ارائه کرده است. زیرتقسیمات او دربارهٔ «جاماها» (فرورفتگی‌هایی که به فضاهای زیرزمینی باز می‌شوند) به خوبی روشن نیست. او «آون‌ها»را حفره‌های کم‌عمق و کوچکی معرفی می‌کند که به مجاری کوچک و کم‌عمق راه دارند و آن‌ها را با فرورفتگی‌های «trebic-type» که با مجاری انحلالی فرونشستی که به درون غارها ختم می‌شود، متفاوت می‌داند. از لحاظ ژنتیکی، تفاوتی بین این دو از لحاظ منشأ وجود ندارد و تفاوت آن‌ها با طبقه‌بندی اولیه از دولین‌های متفاوت است. او همچنین «روزنه‌ها (پنجره‌ها)ی کارست» را که اغلب راهروهای باز غار را به جریان‌های کف غار وصل می‌کنند، توصیف کرده است.

یک بخش بسیار مهم از این کتاب، فصل «داس کارست فنومن»، اثبات مستدل اشتباهی است که می‌گوید همه یا بسیاری از دولین‌های قیفی یا جامی‌شکل، بقایای تخریب‌شدهٔ دولین‌های واقعی هستند. این دولین‌ها ممکن است بیش از آنکه حاصل انحلال و فرونشینی به سمت پایین باشند، از ریزش مکانیکی سقف یک غار شکل گیرند.

منشأ فروریزی دولین‌ها بحث اصلی بسیاری از محققان اولیه بوده است. اهمیت برتری انحلال در تحلیل سویج را می‌توان با موارد موجود در علم نجوم در سال‌های بعد مرتبط دانست؛ زمانی که **جی کی گیلبرت** نشان داد، «دهانه‌های ماه» باید در اثر برخورد «شهاب‌سنگ» به‌وجود آمده باشند، نه در اثر انفجارهای آتش‌فشانی با منشأ درونی، در اینجا سویج اهمیت کمی انحلال را در چشم‌اندازهای کارست پایه‌ریزی کرد.

او مجدداً توجه خود را به پراکندگی دولین‌ها در یک ناحیهٔ معین معطوف کرد. سویج از عبارات مؤثر ولی کیفی، مانند «وانن لندشافت» (چشم‌اندازهای حفره‌دار) یا عوارض رنگی «بلاتر استپیج» (ناهمواری آبله‌گون) استفاده کرد، ولی گام بعدی را برنداشت و حوضه‌های آبریز ویژه‌ای را که تمام سطح اغلب آن‌ها پوشیده از کارست است و امروزه با اصطلاح «پلی‌گونال» معروف‌اند، توضیح نداد. با وجود این، او گزارش کرد که تقریباً شصت درصد کل مساحت مونته‌نگرو در حاشیهٔ دولین‌ها قرار گرفته است؛ آماری که همه را متعجب کرد. او همچنین تقابل اقلیمی را بین کارست دیناریک که در تابستان خشک و مواریا که در تمام سال مرطوب است، دلیلی برای تشریح مورفولوژی بارز دولین‌های منطقهٔ دیناریک می‌دانست. ولی حالا مشخص شده است، در مواریا تفاوت‌های ساختاری و سنگ‌شناسی همراه با پوشش ماسه‌ای «ترشیری» از جمله عوامل کنترل‌کنندهٔ اصلی هستند. اگرچه او عقیده دارد، اقلیم مدیترانه‌ای ممکن است چند نوع متمایز کارست را ایجاد و حمایت کند، اما هرگز در خیل ژئومورفولوژیست‌های کارست که دو یا سه دهه بعد از مرگش در اروپا ظاهر شدند و بر تأثیر اقلیم تأکید زیادی داشتند، قرار نگرفت. او آثار مشخص متغیرهای زمین‌شناسی را نیز به‌خوبی درک کرده بود.

از توضیحات سویج، خوانندگان ممکن است این برداشت را داشته باشند که دولین‌ها به عنوان عوارض قابل تشخیص کارست، عواقب و پیامدهای غیرمنتظره‌ای ندارند. در دعاوی مربوط به محیط‌زیست در ایالات متحده آمریکا، امروزه اگر یک جایگاه بنزین که روی نیم هکتار زمینی که در زیر آن سنگ آهک قرار گرفته است، به‌علت نشست مخزن، متهم به آلودگی چشمه‌های مجاور کارست باشد، دفاعی که می‌شود این است که هیچ دولینی در این محل وجود ندارد. بنابراین ایستگاه ساخته شده روی کارست قرار نگرفته است و نمی‌تواند عامل آلودگی باشد (دولین‌ها همیشه به‌راحتی قابل تشخیص نیستند).

جووان سویج، پلیه‌ها، چرخهٔ فرسایشی و آب‌های زیرزمینی کارست

سویج در نوشته‌های سال ۱۸۹۳ و ۱۹۰۱ خود، توصیفات کاملی از ژئومورفولوژی و هیدرولوژی فصلی اکثر پلیه‌های کوه‌های دیناریک بزرگ ارائه می‌کند. او با راهنمایی **آلبرشت پنک** دریافت که شکل و روند تاریخی توسعهٔ بسیاری از پلیه‌ها از نهشته‌های آبرفتی و کوهرفتی مربوط به فازهای سرد «عصر یخبندان آلپی»، تأثیر پذیرفته است. با وجود این، بررسی‌های او نشان داد، عوامل کنترل‌کنندهٔ اصلی زمین‌ساخت، واریزه‌ها و سقوط سنگ‌های بزرگ بود که گسل‌ها آن‌ها را از هم جدا کرده‌اند. امروزه، این موضوع برای پلیه‌های دیناریک پذیرفته شده است.

به‌نظر من، مهم‌ترین پیامد مطالعات او دربارهٔ پلیه، فهم ماهیت تا حد زیادی متغیر اکثر سفره‌های آب زیرزمینی کارست بود که تحقیق دربارهٔ هیدرولوژی آن‌ها این نتایج را برای او به همراه داشت. او فهمید که این امر باید به علت وجود شبکه‌های منظمی از مجاری انحلالی باشد. اگرچه بعضی از پلیه‌های موجود در بخش‌های مرتفع می‌توانند به دلیل وجود پرونورهای مشخص در کف، رودهایی را در خود فرو برند و برای تخلیهٔ آن‌ها لوله‌های بزرگی باید از بین سنگ‌ها عبور کنند، اما هرگز دچار سیلاب نمی‌شوند. در جای دیگر دریاچه‌های فصلی ممکن است در سطوح متفاوت

در پلیه‌های مجاور و حوضه‌های کوچک‌تر انباشته شوند که نشان می‌دهد، نوسان سریع سطح آب می‌تواند در هر سطح ایستابی وجود داشته باشد و منفذهایی که به شکل چشمه یا سینک عمل می‌کنند نیز متداول‌اند (این امر به شرایط هیدرولوژیکی بستگی دارد). هر دریاچهٔ دائمی معمولاً روی آبرفت یا بلوک‌های تخریبی غیرقابل نفوذ قرار می‌گیرد. سویج در مقالهٔ سال ۱۹۱۸ مشاهده کرد که خط تقسیم آب زیرزمینی کارست با خط تقسیم توپوگرافی سطحی منطبق نیست.

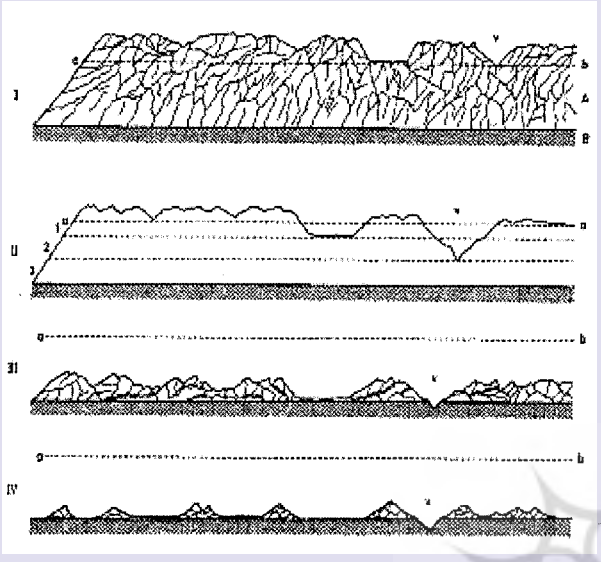
تعداد کمی از رودهای جاری در غار وجود دارند که سیفون‌ها بیلان آبشان را تغییر نداده‌اند. او چشمه‌های آب‌شیرین ساحل آدریاتیک را که در عمق بیش از ۱۳۰ متر زیر سطح دریا قرار دارند، گزارش و استدلال می‌کند، شواهد محکمی نشان می‌دهد که در هر منطقهٔ معین، قسمت عمدهٔ جریان کارست در تعدادی از مجاری اصلی به هم وصل می‌شوند. اگرچه در سال ۱۹۱۸ هنوز نقش نوسانات سطح آب دریاها در کواترنر در آب چشمه‌های ساحلی مورد تأیید قرار نگرفته بود، اما این امر در حال حاضر تأیید شده است.

این مطالعات که اولین‌بار سویج آن‌ها را انجام داد، با مدل اولیهٔ آب کارست که «کاتزر» ارائه کرد، تأیید شد. نمودارهای او، آب‌های زیرزمینی را به عنوان مجموعهٔ چندسطحی از مجاری آب ترسیم می‌کند که قادر است تمام آب‌های زیرزمینی را تخلیه کند. گراند، در آن زمان پیشنهاد دیگری داد. مدل او نزدیک به مدل موجود برای یک سفرهٔ آب زیرزمینی «گرانولار استاندارد» بود که نشان می‌دهد، آب راکد پایین‌تر از دبی‌فصلی سیلاب به تدریج تخلیه می‌شود.

سویج با تصور اینکه سنگ آهک در اعماق زیاد اقیانوس‌های مجاور شکل گرفته است، براساس مدل کاتزر به گسترش ایده‌های خود پرداخت. بنابراین، سطح اساس منطقه‌ای فرسایش باید با شیب هیدرولیکی خشکی نسبت به سطح دریا تعیین شود. این شرایط برای منطقهٔ دیناریک صادق است. با وجود این، او این روش را زیاد به‌کار نگرفت، در عوض، مدل تکاملی هیدرولوژیکی کارست را طراحی کرد که در شکل ۴ نشان داده شده است. او در این مدل در جست‌وجوی ترکیب ایده‌های هیدرولوژیکی با تصور خود از چرخهٔ فرسایش کارست بود. سنگ‌های کارست A روی سنگ بستر غیرقابل نفوذ B قرار می‌گیرند که بالای سطح اساس عمومی منطقه است (برای مثال، اگر نزدیک به ساحل باشد، بالای سطح آب دریا). خط a–b حد پایینی چرخهٔ مؤثر آب‌های زیرزمینی در شروع انحلال کارست را نشان می‌دهد (آب به‌صورت چشمه در یک درهٔ v شکل تخلیه می‌شود، سپس به صورت یک «رود آلوژنیک» درمی‌آید یا وارد چاله‌هایی با کف مسطح می‌شود. این چاله‌ها می‌توانند فرورفتگی‌های تکتونیکی و بالقوهٔ یک پلیه باشند). در مرحلهٔ I و II، با گذشت زمان مواد آبرفتی کف دره باعث بزرگ‌تر و عمیق‌تر شدن شبکهٔ مجرای آب می‌شوند و منطقهٔ آبی دائمی(۱)، منطقهٔ سیلابی فصلی(۲) و یک منطقهٔ فراتیک پایه (۳) شکل می‌گیرد. در مراحل III و IV، سنگ‌های کارست روی دشت‌ها به بخش‌های مجزا تبدیل می‌شوند که روی کف غیرقابل نفوذ قرار دارند.

شکل ۵، تلاش و دقت سویج را برای نمایش تصور خود از توالی مورفولوژی سطحی که می‌تواند با توسعهٔ هیدرولوژیکی همراه شود، نشان می‌دهد. در اینجا ساختار زمین‌شناسی اولیه پیچیده‌تر از ساختار شکل ۴ است (واقعی‌تر از منطقهٔ دیناریک است) و علت آن چین‌خوردگی و وجود یک «گرابن» است که شرایط را برای «پروتو- پلیه» فراهم می‌کند. مفهوم چرخهٔ لندفرم که می‌تواند تکرار شود، با سنگ‌های آهک نشان داده شده است که به نوبهٔ خود می‌توانند زمانی که زیر لایه‌ای غیرقابل نفوذ درهم می‌ریزند و برهنه می‌شوند، به تشکیل کارست بینجامند.

یک شکل مهم این تصویر، ایدهٔ سویج دربارهٔ شروع و گسترش

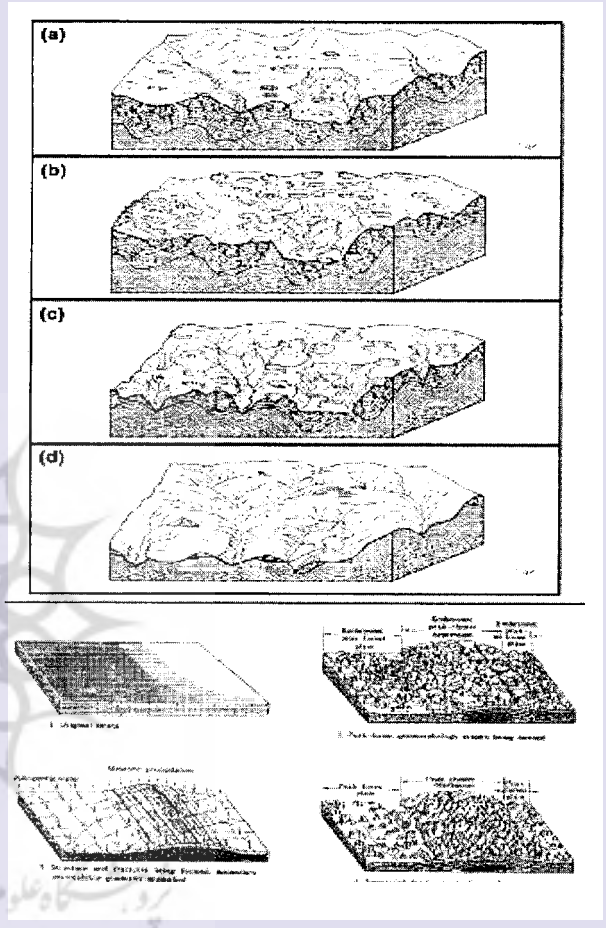


شکل ۴. تکامل تدریجی چرخهٔ آب زیرزمینی و توسعهٔ ناهمواری کارست مدل سویج (۱۹۱۸) پس از اصلاحاتی به‌دست رولیک (۱۹۷۲).

دولین‌هاست. آن‌ها ابتدا روی میانآب‌ها ظاهر می‌شوند و به دره‌های داخلی که کانال‌های جریان سطحی را در سنگ آهک حفظ می‌کنند، تخلیه می‌شوند؛ زیرا منافذ انحلالی زیرین هنوز نمی‌توانند تمام آب را جذب کنند. بنابراین تعداد دولین‌ها به طور پیوسته افزایش می‌یابد. بعضی از آن‌ها در کف دره‌های مرتفع به‌وجود می‌آیند و آن‌ها را به یکی از انواع دره‌های خشک که در داس کارست فنومن تعریف شده‌اند، تبدیل می‌کنند. بعضی‌ها از پهلو گسترش می‌یابند و تبدیل به «ووالا» می‌شوند. این توالی با تعدادی تپهٔ کارست به‌جامانده در خط تقسیم آب یک چشم‌انداز جریانی که در سنگ‌های غیرقابل نفوذ زیر آن بریده شده‌اند، به پایان می‌رسد.

مدل سویج در شکل ۵ مشکلات متعددی دارد. در این مدل به روشنی معلوم نیست که چگونه الگوی اولیهٔ دره از زیر لایه‌های پوشش قبلی شکاف پیدا می‌کند، یا چرا دره‌های آلوژنیک بدون ایجاد دولین آب خود را از دست می‌دهند، یا چرا درهٔ کوچک سنگ آهک از بین می‌رود. مشخص نیست که چگونه سطح مبنای پلیه کنترل و تنظیم می‌شود. شاید سویج واقعاً به این مدل اعتقاد نداشت. این مدل در توالی شکل و روند تحولی که در مدل سال ۱۹۱۴ گراند ارائه شد، دارای تکامل فکری نیست؛ زیرا تصور سویج در مدل پیچیدگی‌های واقعی دیناریک از نظر ساختار و سنگ‌شناسی و اندیشه‌های او مانع هرگونه پیشرفت ساده‌ای می‌شد. مدل‌سازی چرخه‌ای در مطالعات کارست به مدت چندین سال راه را برای ژئومورفولوژی کنترل اقلیم هموار ساخته است. اخیراً مفاهیم چرخه‌ای مجدداً بازگشته‌اند. برای مقایسه، شکل ۵، مدل زائو دربارهٔ تحول احتمالی در زمین‌های بزرگ کارست در اطراف «گویلین» (گوانگ‌زی چین) را نشان می‌دهد.

ضخامت سنگ آهک این منطقه بیش از چهارهزار متر است، درحالی که عوارض کارست دویست تا پانصد متر ارتفاع دارند. زائو بدون وجود لایه‌های بیس نفوذناپذیر، دره‌های خشک، «کارست‌های پلی‌گونال»، «پلیه‌های حاشیه‌ای»، سطوح فرسایش‌یافتهٔ زمین‌های پست وسیع بدون تأکید بر اشکال تکتونیکی ویژه، مانند گرابن، مدل‌سازی می‌کند. اخیراً



شکل ۵. مدل چرخهٔ فرسایش در منطقهٔ کارست براساس مدل جووان سویچ (۱۹۱۸، تصویر بالا). مدل توسعهٔ لندفرم‌های کارست در منطقهٔ گویلان گوانگ زی‌چین براساس مدل زائو (۱۹۸۸، تصویر پایین).

اهنرت و **ویلیام** محیط‌ها را ساده کرده و مدل‌های رایانه‌ای پیشنهاد داده‌اند که با سطوح بدون تغییر شکل کارست کار خود را شروع کرده‌اند و جریان‌های هم‌گرا و واگرای زیادی در این مدل دیده می‌شوند. پس از طی مراحل زمانی این مدل‌ها، اشکال مشابه با مدل دولین‌های مفهومی گراند و کوک‌پیت را معرفی می‌کنند.

از دیدگاه این مؤلف، فهم و شناخت سویچ از هیدرولوژی کارست در سنگ آهک‌های شکسته‌شده، اصولاً صحیح بود. او احتمال می‌داد قبل از اینکه حوضهٔ آبریز به‌قدر کافی به کمک فرایندهای تجزیه و انحلال برای فرو بردن تمام جریان آب و بارندگی گسترده شود، فرسایش اولیهٔ رودخانه‌ای روی سنگ آهک، وجود داشته است. این امر یک سازمان منطقه‌ای را در آبریز شناسایی می‌کند و آن مناطق ممکن است به‌طور متوالی به شیوهٔ مرحله‌ای پایین روند. اخیراً مفاهیم مشابه ولی دقیق **توس آدرا** منتشر شده است که بر مبنای مطالعهٔ دقیق او از نمونه‌های بسیاری از سیستم‌های جدید غار است که در مدت پنجاه سال گذشته در آلپ کشف شده‌اند.

دیدگاه‌های سویچ بر مبنای تجربی قوی و تجربهٔ زیاد او دربارهٔ رفتار و عملکرد هیدرولوژیکی بر کارست دیناریک استوار است. این مبنای تجربی، به مدت چندین سال مهندسان و دانشمندان هیدرولوژی دیناریک را پیش‌گام طراحی و مدیریت آب‌های زیرزمینی قرار داده است. برای خوانندگان اروپایی ممکن است فراگرفتن این موضوع جالب باشد که کارشناسان موجود در آمریکای شمالی و هر جای دیگر، هنوز نتوانسته‌اند این واقعیت را بفهمند که همیشه توسعهٔ مجرای محلولی در زیر یک چشم‌انداز کارست وجود دارد. برای مثال، آن‌ها ممکن است یک نمونه از حفره‌های کاسه‌شکل موجود در کارست کنتاکی را در نظر داشته باشند که بیش از صد متر ضخامت دارد و معتقدند که جریان آب متمرکز در قسمت پایین آن براساس نرخ جریان برآوردشده به واسطهٔ معیارهای هیدرولیکی آزمایشگاهی از نمونه سنگ‌های آهکی، به‌داخل منفذهای سنگ آهک جریان می‌یابند.

آیا کارست اصطلاحی مناسب است؟

جووان سویچ با شروع بررسی‌های کارست دیناریک در حدود یک‌صد سال پیش، کمک‌های عمده‌ای به ژئومورفولوژی و هیدرولوژی کرد. مورخان این علوم تأیید می‌کنند که کتاب او، یعنی **داس کارست فنومن**، چشم‌اندازهای با منشأ انحلالی را از سایر چشم‌اندازهای جریانی در مناطق مجاور متمایز می‌سازد. بنابراین، این چشم‌اندازها و فرایندها با توجه به اینکه زادگاهشان در غرب بود، کارست نامیده شدند. نکتهٔ طعنه‌آمیز این است که امروزه کارست دیناریک منطقهٔ نسبتاً فقیری برای بررسی تکامل لندفرم‌های انحلالی غارها و سفره‌های آب است. دلیل این موضوع ساختار ژئولوژیکی بسیار پیچیدهٔ آن برای مدل‌سازی تکاملی است. فشردگی تکتونیک صفحه‌ای با تغییر شکل و بالا آمدن سطح زمین باعث ایجاد توالی اشکال پلکانی بسته در ساحل آدریاتیک شده است. بسیاری از حوضه‌ها دارای پلیه‌هایی هستند که به خاطر گستردگی‌شان بر هیدرولوژی و مورفولوژی کارست تسلط دارند. دانشمندان کارست اکنون می‌دانند که در هیچ جای دیگر جهان این‌گونه الگوی بزرگ، پیچیده و به‌هم‌پیوستهٔ تکتونیکی وجود ندارد. آن‌ها فوق‌العاده، غیرعادی و نمونه هستند. اکنون، حداقل در اطراف پوستوجین تصور می‌شود که سیستم‌های قدیمی غار با جابه‌جایی‌های گسلی امتداد لغز از هم جدا شده‌اند. به این پیچیدگی‌ها باید تأثیر منطقه‌ای بحران مسینیا (هنگامی که دریای مدیترانه طی پلیوسن بیش از نیم میلیون سال خشک شده بود) را هم اضافه کرد. بحران مسینیا نوسانات کوچک سطح آب دریا در کواترنر و ورود مواد تخریبی آبرفتی، یخچالی و جنب یخچالی از نواحی فیلیشی مجاور به منطقهٔ کارست است. اگر **آلبرشت پنک** در یک مسافرت علمی، جووان سویچ را برای مطالعهٔ فلات‌های پست و دشت‌های کارستی ایندیانا، کنتاکی و تنسی می‌فرستاد، تاریخ کارست ممکن بود تا حد زیادی متفاوت باشد.

منبع

Jovan Cvijic, and the founding of karst Geomorphology, Derek Ford Environ Geol (۲۰۰۷) ۵۱: ۶۷۵-۶۸۴.