

دکتر داریوش مهرشاهی

عضو هیئت علمی گروه جغرافیای دانشگاه یزد

فرایند سولیفلوکسیون یا خاک سره

اشاره

در شماره ۱۵ مجله رشد جغرافیا (پاییز ۱۳۶۷) در بخش پرسش و پاسخ، مطلبی از اینجانب شامل توضیحاتی فشرده درباره تفاوت‌های فرایند دامنه‌ای خاک سره (سولیفلوکسیون^۱) و جریان گل، گردآوری شد و به چاپ رسید. با گذشت بیش از بیست و سه سال از آن نوشته و به مناسبت صدمین شماره این نشریه جغرافیایی قصد داشتم مقاله‌ای به قصد تشریح بیشتر فرایند خاک سره فراهم کنم که به دلایل مختلف میسر نشد. اما اخیراً در فرصت به دست آمده از زمان پیش از آزمون دانشجویان و فاصله بین دو ترم تحصیلی مطالبی که در طول یک سال گردآوری شده بود دست‌مایه تهیه این مقاله شد. مبنای این مقاله، مرور مقالات قدیمی تا جدید و مشاهدات شخصی من در خصوص موضوع فوق بوده است.

چکیده

فرایند سولیفلوکسیون (خاک سره) عبارت است از حرکت آرام و رو به پایین مواد هوازده روی سطحی شیب‌دار و بر زیربنایی ثابت که می‌تواند یخ‌زده باشد. این حرکت تحت اثر نیروی جاذبه، وزن مواد، وجود آب و جدایش بخش بالایی خاک از قسمت زیرین صورت می‌گیرد و سرعت آن از عمل خزش بیشتر ولی از لغزش بسیار کمتر است. مهم‌ترین مناطقی که این فرایند در آن به مقدار گسترده‌تری دیده می‌شود، قلمروهای جنب یخچالی^۲ است، ولی در قلمروهای اقلیمی دیگر (با گسترش کمتر) در صورت وجود رطوبت برای تولید گل و ایجاد تنش جدایشی در ذرات و وجود یک زیربنای سخت و آب و هوای سرد برای

فراهم آوردن سایر شرایط مناسب (تغذیه مواد، جدا کردن مواد و انبساط و انقباض خاک) نیز امکان‌پذیر است. برای شناخت جزئیات بیشتری از این فرایند و جنبه‌های مختلف و به‌ویژه کاربردی شناخت این فرایند، مروری بر مقالات پیشین انجام شد که جمع‌بندی حاصل از آن در اینجا ارائه شده است. شناخت دقیق‌تر اجزای تشکیل‌دهنده سولیفلوکسیون و مکانیزم عمل آن، می‌تواند به بازسازی دقیق‌تر تاریخچه طبیعی هر محل، به‌ویژه در سرزمین ما که این فرایند کمتر مورد پژوهش قرار گرفته است، کمک کند.

کلیدواژه‌ها: سولیفلوکسیون، خاک سره، زمین یخ‌زده، روانه گل، گل سره، ژلی فلوکسیون، سن‌یابی

مقدمه

تا آنجا که به یاد دارم برای سالیان سال مشخصات کلی فرایند سولیفلوکسیون به این صورت تدریس می‌شد:

الف. حرکت آرام مواد هوازده دامنه‌ای روی زیربنای یخ‌زده؛

ب. شرکت مقدار زیاد آب و خمیره گل در حرکت مواد؛

ج. حرکت درهم و برهم و بدون نظم و با سرعت بسیار کم؛

د. برتری حجم مواد ریزدانه نسبت به درشت دانه.

فراوانی و برتری میزان مواد ریزدانه در حد سیلت و رس اهمیت زیادی داشت به طوری که مهم‌ترین درصد کل مجموعه جابه‌جا شده قلمداد می‌شد (دریو، ۱۳۶۶؛ کک، ۱۳۶۸). اگرچه این مشخصات کلی تا حد زیادی ممکن بود درست به نظر رسد،

پیشینه موضوع و یافته‌ها

شاید نخستین مقاله در مورد خاک سره^۳ یا سولیفلوکسیون کار ج. جی. اندرسون^۴ با عنوان «سولیفلوکسیون، بخشی از فرسایش زیرجلدی» در نشریه زمین‌شناسی در ماه مارس ۱۹۰۶ باشد (اندرسون، ۱۹۰۶). در واقع برای اولین بار اندرسون، که در آن زمان استاد دانشگاه اوپسالای سوئد بود، در جزیره خرس^۵ در بخش جنوبی تر اقیانوس قطبی یا منجمد شمالی (بیش از ۷۴ درجه عرض شمالی) از چنین فرایندی (سولیفلوکسیون) یاد کرده است. برای اینکه تصویر دقیق‌تری از موضوع داشته باشیم، سعی می‌کنم آنچه را اندرسون شاهد بوده و نوشته است، دقیقاً نقل کنم:

«در دامنه تپه‌ها و جداره دره‌ها، همه‌جا نشانه واضحی از حرکت مواد از قسمت‌های مرتفع به سمت نواحی پست مشاهده می‌شد. بسیاری از تپه‌های کوچک، آثار مشخصی از تغییر حالت سطحی را نشان می‌داد که در آن‌ها چیدمان عجیبی از مواد فرسایشی و گاهی به شکل جریان خاک (و سنگ) که به شکل رودهای واقعی شبیه به یخرفت‌های مینیاتوری درآمده بودند، دیده می‌شد. اغلب در چاله‌های بین تپه‌ها، دیواره‌های کوچک (کوتاه) هلالی یا شبه‌هلالی‌شکلی یافت می‌شدند که در آن‌ها قطعات سنگ فراوان همراه با گل که به دلیل خشک‌شدگی سخت شده‌اند. به نظر می‌رسد همه این پدیده‌ها فقط می‌توانند نشان‌دهنده چهره جابه‌جایی مواد هوازده دامنه‌ای باشند.» (اندرسون، ۱۹۰۶: ۹۵-۹۴).

اندرسون پس از توضیحاتی درباره ماهیت حرکت و نوع مواد به این نتیجه‌گیری می‌رسد که:

"This Process, the slow flowing from higher to lower ground of masses of waste saturated with water (this may come from snow-melting or rain), I (Anderson) propose to name solifluction (derived from solum, "soil, and fluere, "to flow")."

«این فرایند، یعنی حرکت آرام (در حد سانتی‌متر) مواد هوازده دامنه‌ای اشباع شده از آب (حاصل از ذوب برف یا یخ یا ریزش باران) از نواحی بلندتر به سمت بخش‌های پست‌تر، را من (اندرسون) سولیفلوکسیون (برگرفته از واژه‌های سولوم به معنای «خاک» و فلوتر به معنای «جریان») نامیده‌ام (اندرسون، ۱۹۰۶: ۹۵).

ویلیام دیوید ترنبری^۶ بیش از شصت سال بعد در دومین چاپ^۷ کتاب مشهور و پایه «مبانی ژئومورفولوژی» شرایط اصلی تأمین‌کننده و سازنده سولیفلوکسیون را این‌گونه تعریف کرد: الف. منبع خوبی از آب ناشی از ذوب برف و یخ یا باران؛ ب.

ولی همه موارد کم‌وبیش فاقد دقت کافی بودند. برای مثال در مورد الف (حرکت آرام) میزان حرکت دقیقاً مشخص نبود، اگرچه رقم‌هایی در حد چند سانتی‌متر در سال داده می‌شد. در مورد دوم میزان آب و حالت خمیری نیز به خوبی مشخص نبود. مورد آخری (درصد بسیار بالای مواد ریزدانه) نیز در عمل و روی زمین تفاوت و نوسان خیلی زیاد نشان می‌داد. این فرایند و پدیده‌های ناشی از آن در ترجمه مبانی ژئومورفولوژی روزه کک (ترجمه محمودی، ۱۳۶۸) به‌طور مفصل‌تر و دقیق‌تر تشریح شده است، اگرچه از نظر ترجمه و ویرایش دچار ابهاماتی است که فهم مطلب را تا حدی دشوار می‌سازد (کک، ۱۳۶۸: ۱۷۹-۱۷۵). در ترجمه مذکور، از جهت گرفتن محور طویل قطعه سنگ‌های موجود در جهت خط بزرگ‌ترین شیب و نیز از امکان وقوع این فرایند در نواحی خشک و حتی مناطق جنگلی

برای اولین بار اندرسون، که در آن زمان استاد دانشگاه اوپسالای سوئد بود، در جزیره خرس در بخش جنوبی تر اقیانوس قطبی یا منجمد شمالی (بیش از ۷۴ درجه عرض شمالی) از چنین فرایندی (سولیفلوکسیون) یاد کرده است

حاره‌ای صحبت شده است (کک، ۱۳۶۸: ۱۷۷). علاوه بر این، در برخی از مقاله‌هایی که بعدها خواندم، عمده مواد تشکیل‌دهنده سولیفلوکسیون، قطعات تخته‌سنگی و تکه‌سنگ تا مواد ریزدانه (سیلت، رس، ماسه) به همراه مقادیر متفاوتی از خرده‌سنگ بود (ویلیامز، ۱۹۵۹؛ موسترهد، ۱۹۷۱؛ نلسون، ۱۹۸۵؛ فورزه، ۱۹۹۹؛ گریسون و همکاران، ۲۰۰۱ و ...).

با توجه به پیچیدگی نوع پدیده و شکل عملکرد و تنوع مواد تشکیل‌دهنده آن، سؤالاتی برای هر محقق یا دانشجوی جوان پیش می‌آید که درخور توجه‌اند. این پرسش‌ها شامل چگونگی عمل، شرایط مناسب، و مواد و اجزای تشکیل‌دهنده این فرایند و شکل‌های ویژه به‌دست‌آمده هستند. هدف این تحقیق کوتاه، مروری است بر مهم‌ترین ویژگی‌های پدیده سولیفلوکسیون با توجه به برخی از مدارک (مقاله‌ها) قدیمی تا جدید، برای آن‌که به اطلاعات دقیق‌تری در مورد این پدیده برسیم و این اطلاعات بتواند تا حدی به این سؤالات پاسخ دهد.

سن گذاری تعداد زیادی از پهنه‌های سولیفلوکسیونی، و البته سایر پدیده‌های موجود از گذشته، می‌تواند به تعیین تاریخچه رویدادها، مثلاً زمان گسترش شرایط یخچالی و جنب یخچالی یا پسروی آن‌ها به ما کمک کند

بررسی شد که زمین‌ها فاقد پرمافراست بودند و تنها برخی نقاط بالادست‌تر دره از برف دائمی پوشیده می‌شدند و میانگین دما در حد ۰/۹ درجه زیر صفر بود.

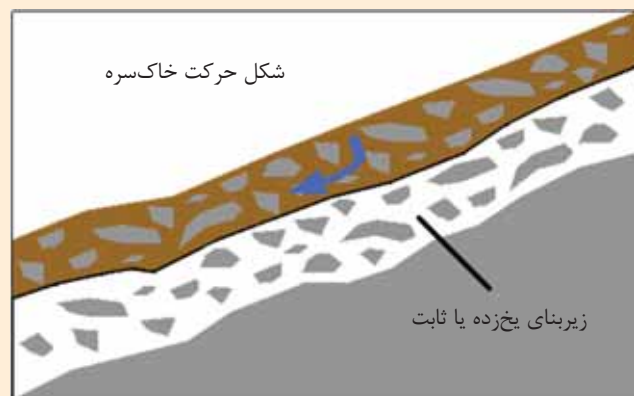
در این مطالعات دیده شد که سولیفلوکسیون در جداره دره (روی شیب) و کناره رودخانه در مکانی پایین‌تر از محل تراکم برف‌ها و در طول چهارصد متر اتفاق افتاده بود. در شیب کناره رود یا به عبارتی روی جداره دره مشرف به رودخانه مذکور، یک حالت افت شیب یا قطع شیب^۱ دیده می‌شد. این قطع شیب ممکن بود پادگانه‌ای باشد حاصل عمل فرسایش رودخانه‌ای - یخچالی، ولی از سوی دیگر به دلیل وقوع حرکت مشخص خاک سطحی در اینجا، احتمال منشأ سولیفلوکسیونی هم برای آن وجود داشته است. مواد تشکیل‌دهنده خاک در اینجا «تیل» یا رسوباتی یخرفتی، شامل قطعه سنگ و تخته سنگ همراه با عدسی‌های ماسه‌ای و رسی در خمیره‌ای سیلتی - رسی بوده است. در این محل، سنگ مادر حداقل در عمق بیش از دو متر قرار داشت (ویلیامز، ۱۹۵۹: ۴۸۱)

نتایج حاصل از مطالعات ویلیامز (۱۹۵۹) نشان داد که سولیفلوکسیون را نمی‌توان تنها به دلیل لیز خوردن خاک اشباع از آب روی سطح زیرین (یا عمقی) یخزده انگاشت، بلکه عواملی همچون میزان تغییر «فشار منفذی آب»^۱ به دلیل عمل یخزدگی و ذوب و فشار ناشی از تورم خاک به دنبال یخزدگی را که موجب جابه‌جایی ذرات و مواد و تغییر حالت منافذ خاک می‌شود، نیز باید در نظر گرفت. مقدار زیادی از کاهش مقاومت (هم‌چسبی) خاک‌های متورم شده به دلیل یخبندان در هنگام ذوب، به کم شدن خاصیت هم‌چسبی ذرات بعد از جدایش آن‌ها در هنگام فشار یخبندان روی می‌دهد. نیروی برشی یا جدایشی به‌طور مستقیم تناسبی با وزن آب اضافی حاصل از ذوب بستگی ندارد، زیرا این موضوع (افزایش آب) با کاهش میزان تراکم خاک خشک جبران می‌شود (ویلیامز، ۱۹۵۹: ۴۸۹). این مطالعات نشان‌دهنده اهمیت نقش یخبندان و ذوب و تغییر فشار منفذی آب در بخش‌های هنوز یخزده خاک، مابین عدسی‌های یخی متعدد و فراوان، در عملکرد سولیفلوکسیون بوده است. بقایای مواد سولیفلوکسیونی حتی در سرزمین‌هایی که

دامنه ترجیحاً فاقد گیاه یا کم‌گیاه با شیب ملایم تا متوسط؛ ج. وجود زمین یخ زده در زیر مواد هوازده سطحی؛ د. تشکیل سریع مواد هوازده جدید از طریق هوازدگی سنگ‌های زیرینا (ترنبری، ۱۹۶۸: ۸۵).

در این کتاب در مقایسه حرکات سولیفلوکسیون با روانه گل به موارد زیر اشاره شده است:

الف. سولیفلوکسیون بسیار کندتر و مداوم‌تر است؛ ب. روی سطح دامنه اتفاق می‌افتد، نه در یک خط‌القدر؛ ج. بیشتر تحت شرایط جنب یخچالی یا آب و هوای سرد آلبی (کوهستانی سرد) روی می‌دهد. در اثنای تابستان در این نواحی، ذوب یخ و برف مواد هوازده سطحی تا عمق چندین فوت، گل اشباع از آبی را ایجاد می‌کند که روی مواد یا زمین یخ بسته زیرین سر می‌خورد و به سمت پایین حرکت می‌کند (ترنبری، ۱۹۶۸: ۸۵).



شکل ۱. نحوه حرکت خاک سره یا سولیفلوکسیون

مطالعات تخصصی کمی قبل و بعد از زمان نخستین چاپ کتاب ترنبری در ۱۹۵۴ در نروژ در جریان بود که در سال‌های بعد به چاپ مقالاتی از جمله «بررسی فرایندهای سولیفلوکسیون» انجامید (ویلیامز^۱، ۱۹۵۹). در این مورد، بررسی‌های اولیه روی پدیده‌های حاصل از سولیفلوکسیون در ناحیه مرکزی کشور نروژ، توسط زمین‌شناس و جغرافی‌دان کانادایی پی. جی. ویلیامز، از سال ۱۹۵۳ تا ۱۹۵۵ به طول انجامید. مشخصه اصلی این مطالعات اندازه‌گیری‌های دستگاهی دقیق از جزئیات فرایند سولیفلوکسیون در محل‌هایی بود که در بخش مهمی از سال دارای لکه‌های برف بودند. مطالعات تکمیلی تا سال‌های ۱۹۵۶ و ۱۹۵۷ نیز ادامه یافت (ویلیامز، ۱۹۵۹: ۴۸۱). در این مطالعات، این پدیده در موقعیتی رخ داد و

امروزه فاقد شرایط لازم برای وقوع این فرایند هستند نیز ممکن است دیده شود. برای مثال، مطالعه منشأ نهشته‌های سطحی در مجاورت پرتگاه‌های مشرف بر سواحل دون جنوبی^{۱۱} که در متون قدیمی جغرافیایی انگلستان با عنوان رسوبات پیشانی یا جلویی^{۱۲} مطرح شده بودند، با وجود پیچیدگی منشأ بر عملکرد یخ‌بندان ذوب و سولیفلوکسیون دلالت دارد. این امر نشان می‌دهد با وجود آنکه نزدیک‌ترین مرز پیشروی شرایط یخچالی با این محل، هشتاد کیلومتر به سمت شمال غربی، یعنی خلیج بارنستپل^{۱۳} بوده، احتمالاً این منطقه در عصر یخچال سنال^{۱۴} تحت تأثیر شرایط مجاور یخچالی قرار داشته که امکان اثر سولیفلوکسیون را فراهم می‌آورده است (ماترشید، ۱۹۷۱: ۴۳۳). ستبرای (ضخامت) این مواد از حداکثر بیش از ۲۷ تا ۳۳ متر تا حداقل حدود ۲ متر تغییر می‌کند (ماترشید، ۱۹۷۱: ۴۳۵). در دشت بیابانی مجاور ناحیه تفت و پایین تر و چند کیلومتر دورتر از دامنه پیشکوه‌های شیرکوه (پایین تر از ارتفاع ۱۶۰۰ متر) آثاری پراکنده از پدیده خاک‌سره قابل مشاهده است که حتی بلندای آن‌ها در شیب تپه‌های پراکنده گاه به حدود ۱۵۰۰ متر (از سطح دریا) می‌رسد (مهرشاهی، ۱۳۶۸). در وضعیت اقلیمی امروزی نیم‌کره شمالی در محیط‌های سرد عرض‌های بالایی، به دلیل فقدان پوشش گیاهی با وجود بارش نسبتاً کم، تمام نمونه‌های سولیفلوکسیون بر سطوح با شیب بسیار کم هم گسترش یافته‌اند؛ برای مثال در جزیره اسپیتز برگن (کک، ۱۳۶۸: ۱۷۹).

هم‌چنان که «حال کلیدی است برای درک شرایط گذشته» می‌توان وجود موارد مشابه در عرض‌های معتدل پایین، از قبیل مناطق مرکزی سرزمین ایران در عرض‌های کمتر از ۳۲ درجه شمالی را به شرایط دیرینه اقلیمی کواترنر با آب و هوایی به مراتب سردتر نسبت داد.

به‌عنوان نمونه‌ای از مورد بالا، می‌توان به تپه‌های کنگلومرایی - ماسه‌سنگی (موسوم به سازند کنگلومرای کرمان) مجاور روستای زین‌آباد (پنج کیلومتری جنوب تفت) که در ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متری قرار دارند، اشاره کرد. در اینجا پهنه‌های سولیفلوکسیون پراکنده در پای تپه‌ها دیده می‌شوند که حاصل شرایط اقلیمی با میانگین سرمای بسیار بیشتر از امروز به نظر می‌رسند. مواد اصلی این نهشته‌ها از قطعه‌سنگ‌های درشت و ریز (از حد چند دسی‌متر تا چند میلی‌متر) که در خمیره‌ای از مواد رسی - سیلتی - ماسه‌ای قرار گرفته‌اند، با ستبرای میانگین از حدود دو تا سه متر تا کمتر از یک متر تغییر می‌کند (مشاهدات شخصی، آبان و آذر ۱۳۸۹). در سال‌های اخیر بخش مهمی از این دامنه‌ها و نهشته‌های روی آن‌ها به دلیل مدرن‌سازی منطقه یا بهره‌برداری‌های خصوصی، بدون هیچ برنامه منطقی و

مغول‌وار تخریب و تغییر کاربری داده شده است. از نظر ماهیت، سولیفلوکسیون با فرایند ژلی سولیفلوکسیون^{۱۵} متفاوت است. سولیفلوکسیون به جابه‌جا شدن یک توده گلی به همراه مواد محفوظ مانده در آن (مثلاً قطعه‌سنگ و خرده‌سنگ) بر یک زیربنای با ثبات و شیب‌دار گفته می‌شود (کک، ۱۳۶۸: ۱۷۵، با کمی تغییر). در مقابل، انجام فرایند ژلی سولیفلوکسیون به وجود زمین‌های پرمافراست نیاز دارد و حرکت گل روی یک زیربنای یخ‌زده شیب‌دار انجام می‌شود. بنابراین فرایند سولیفلوکسیون در جغرافیای طبیعی جدید ضرورتاً به پرمافراست وابسته نیست و روی هر نوع زیربنایی می‌تواند عمل کند، ولی تسلط شرایط اقلیمی سرد در بخشی از سال ضروری است (تامس و گاودی، ۲۰۰۳: ۴۴۹). بنا بر نظر کک (۱۳۶۸: ۱۷۹) کوهستان‌های مرطوب به دلیل تفاوت جنس سنگ‌ها و توپوگرافی و تنوع شرایط زیست‌اقلیمی، غنی‌ترین مجموعه شکل‌های سولیفلوکسیون را تشکیل می‌دهند که از آن جمله می‌توان به کوه‌های هیمالیا، آند ونزوئلا و ردیف‌های مرتفع (آفریقا) اشاره کرد (کک، ۱۳۶۸: ۱۷۹).

در مورد تنوع یخ‌بندان‌های مؤثر در انواع سولیفلوکسیون هم تقسیم‌بندی‌هایی شده است که یکی از جدیدترین آن‌ها را می‌توان در رساله آنژواتنه (۲۰۰۶) مشاهده کرد. در این تحقیق وضعیت و طول دوره یخ‌بندان به چهار نوع حرکت می‌انجامد. این چهار نوع حرکت چنان که در شکل دو نشان داده شده‌اند، عبارت‌اند از:

- A: یخ‌بندان کوتاه‌مدت در طول شبانه‌روز با یخ‌زدگی سطحی و سوزن‌های یخی (شبه‌خزش)؛
- B: یخ‌بندان کوتاه‌مدت در طول شبانه‌روز با عدسی‌های یخی و عمق کم یخ‌زدگی؛
- C: یخ‌بندان فصلی یک‌طرفه (فقط از سمت بالا)؛
- D: یخ‌بندان دوطرفه فصلی هم از بالا و هم از عمق (واتنه، ۲۰۰۶).

در هریک از این حالت‌ها، نوع و میزان حرکت مجموعه گلی تفاوت می‌کند که در شکل ۲ نمایش داده شده است. سرعت حرکت این فرایند را به‌طور کلی بین نیم تا پنج سانتی‌متر در سال اندازه‌گیری کرده‌اند (توماس و گاودی، ۲۰۰۳: ۴۴۹). در یک مطالعه ده‌ساله میزان سرعت سولیفلوکسیون در کوه‌های راکی کانادا به‌طور میانگین کمتر از نیم سانتی‌متر در سال محاسبه شد (اسمیت، ۱۹۹۲: ۲۰۳). برای این تحقیق، تعداد ۴۸ زبانه سولیفلوکسیون در دامنه‌های راکی کانادا از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۸۹ به‌وسیله کارگزاری توب‌های پلاستیکی و اندازه‌گیری میزان حرکت سالیانه آن‌ها مطالعه شد (اسمیت، ۱۹۹۲: ۲۰۶).



شکل ۳. نمایی از سولیفلوکسیون‌های پلکانی و متوالی

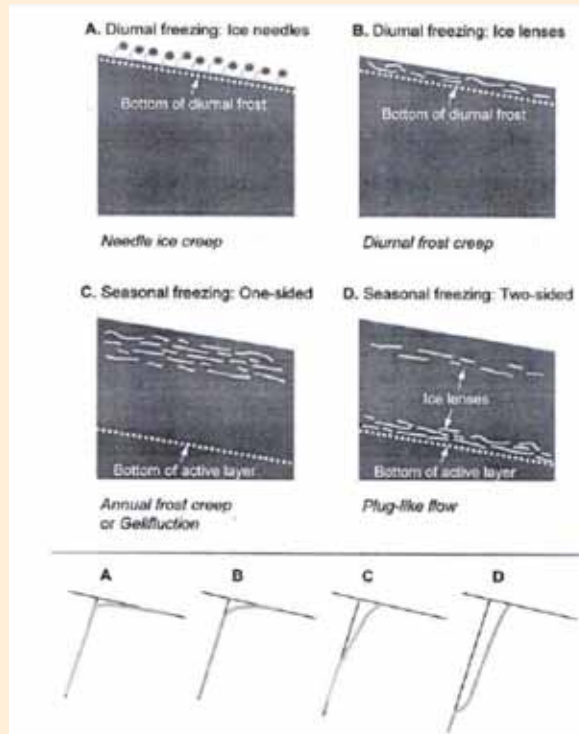
شکل و هندسه حرکت مواد درون سولیفلوکسیون، به‌ویژه قطعات درشت‌تر و قابل مشاهده مثل قطعه‌سنگ‌ها، هم جالب توجه است. از آنجا که بقایای مواد حاصل از حرکات متنوع دامنه‌ای از ریزش گرفته تا لغزش و خزش و خاک‌سره در موقعیت‌های نزدیک به هم یا در کنار هم امکان حضور دارند؛ تشخیص جزئیات آن‌ها به‌ویژه طرز حرکت مواد درون آن‌ها برای تشخیص بعدی آن‌ها از یکدیگر دارای اهمیت است. تجزیه و تحلیل آماری جهت‌گیری قطعات موجود در بخش‌های مختلف زبانه‌های سولیفلوکسیون مقدار زیادی تفاوت را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نمونه یک مخلوط مواد رانده شده در فرایند سولیفلوکسیون (از چپ به راست)؛ مسافرت علمی دره تفت، آبان ۱۳۸۹.

اگرچه تمرکز آماری قطعات حالت خیلی یکنواختی را نشان نمی‌دهد، ولی قطعه‌سنگ‌ها در همه نمونه‌ها به شدت موازی با شیب دامنه جهت‌دار شده بودند و زاویه شیب آن‌ها نیز متوجه بالاست دامنه بود. تجزیه و تحلیل ساختار هندسی سه‌بعدی قطعات داخل مجموعه جابه‌جا شده وسیله مناسبی برای ساختن

شناخت شکل حرکت کلی سولیفلوکسیون و فرم‌های پدیدآمده از آن از ابتدای حرکت (محل جدایش) تا انتهای حرکت (محل تراکم یا توقف) جالب توجه است و برای شناسایی آثار یک سولیفلوکسیون فسیل یا غیرفعال به ما کمک می‌کند. فرم‌هایی که به‌وسیله این فرایند ایجاد می‌شوند شامل پهنه‌های هم‌شکل از مواد رانده شده محلی، پهنه‌های زبانه شکل و تناوبی از خطوط درشت و ریز رسوبی به‌طور تقریباً موازی هستند (توماس و گاودی، ۲۰۰۳: ۴۴۹).

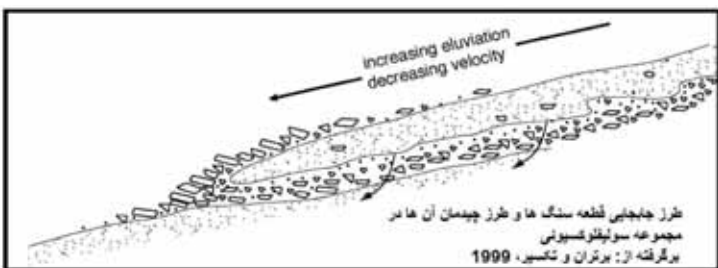


شکل ۲. نمایش چهار نوع حرکت سولیفلوکسیون برگرفته از ماتوسکا (۲۰۰۱) به نقل از انزا وائنه (۲۰۰۶)

کک (۱۳۶۸) اشکال مختلف سولیفلوکسیون را به این شکل گزارش داده است:

- الف. سولیفلوکسیون لایه‌ای (لایه گلی به سببرای تا دو متر) ناشی از پایین آمدن آرام یک لایه گلی؛
- ب. سولیفلوکسیون عمقی (یا زیرجلدی) وقتی که پوشش گیاهی مانع حرکت سطحی شود، ولی در عمق حرکت آرام پاره شدن بخشی از لایه سطحی و خروج گل را در پی داشته باشد؛
- ج. سولیفلوکسیون پله‌ای یا تخت‌انک‌شکل با عرض و ارتفاع ده تا بیست سانتی‌متر؛
- د. سولیفلوکسیون زبانه‌ای کوچک با حفره‌های انفصال در بالادست که با شیب تند نیم‌دایره‌ای محدود می‌شود (کک، ۱۳۶۸: ۱۷۶)

مدل حرکتی سولیفلوکسیون‌های فسیل است، اگرچه هم‌زمان سایر اطلاعات جانبی نیز باید برای نتیجه‌گیری درست‌تر مورد توجه قرار گیرد (نلسون، ۱۹۸۵).



شکل ۵. طرز چیدمان سنگ‌ها در داخل و حاشیه توده متحرک؛ برگرفته از برتران و تکسیر (۱۹۹۹).

وجود آثار سولیفلوکسیون با ضخامت کم (بین یک تا دو متر) در دامنه تپه‌های زین‌آباد، خلیل‌آباد و تفت در ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متر، گواهی بر شرایط به مراتب سردتر و هم‌زمانی با عصر یخچالی در ایران مرکزی است

فرایندهای جنب یخچالی در رشته‌کوه‌های ایران مرکزی در نظر بگیرند. هاگه دورن (۱۹۷۸) نه‌تنها تعدادی از سیرک‌های یخچالی را با همکاری دو پژوهشگر دیگر آلمانی کشف کرد، بلکه پیشروی برخی از مورن‌های اصلی دره‌ای و آثار و بقایای رسوبات سولیفلوکسیونی را در دامنه‌های پایینی شیرکوه مشخص ساخت. با کمک این شواهد، مرز پایینی قلمرو سولیفلوکسیون توسط هاگه دورن در ایران مرکزی در حال حاضر در ارتفاع ۳۰۰۰ متری و در دوره‌های سرد توسط کوهله و شوایتزر در ارتفاع ۱۹۰۰ متری قرار داده شده است (به نقل از محمودی، ۱۳۶۷: ۱۲). وجود آثار سولیفلوکسیون با ضخامت کم (بین یک تا دو متر) در دامنه تپه‌های زین‌آباد، خلیل‌آباد و تفت در ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متر، گواهی بر شرایط به مراتب سردتر و هم‌زمانی با عصر یخچالی در ایران مرکزی است. جا برای مطالعات منظم و بیشتر روی این موضوع در حد رساله‌های کارشناسی ارشد و دکترا وجود دارد.

سولیفلوکسیون و معدن

یکی از جنبه‌های جالب سولیفلوکسیون تأثیر آن در فراهم آوردن مواد معدنی از جمله طلا در شرایط محیطی (اقلیمی - مورفولوژیک - هیدرولوژیک) مناسب است. تا بیش از یک دهه قبل، بیشتر معادن معروف طلای مغولستان به پلاسره‌های با منشأ آبرفتی (سیلابی - رودخانه‌ای) نسبت داده می‌شد، ولی رگه‌های شاخص طلا در معدن سرگلن^{۱۸} مغولستان، در نهشته‌هایی که از بافت و ریخت آبرفتی - قطعات گردشده، قطعه‌سنگ‌های فلسی یا یک جهت چیده شده^{۱۹}، لایه‌بندی متقاطع، جورشدگی و فرم کانالی یا مسیلی - نشانه‌ای دیده نمی‌شود، بر احتمال جابه‌جایی این مواد با سولیفلوکسیون موضعی دلالت دارد. برای مثال در آب و هوای سرد و همراه با یخ‌بندان شدید و ذوب در این منطقه ویژه از لحاظ شیب و موقعیت، پلاسره‌های طلادار، علاوه بر مواد حاصل از فرایندهای سیلابی - رودخانه‌ای، در بقایای برجای

اهمیت‌های مطالعه فرایند سولیفلوکسیون و

پدیده‌های ناشی از آن

۱. نشانه شرایط اقلیمی و محیطی گذشته

تشخیص بقایای گسترده مواد رانده شده سولیفلوکسیونی در مقیاس محلی، مثلاً از بالای دامنه به پای دامنه یا به داخل دره، می‌تواند نشانگر وضع اقلیم گذشته باشد. یافتن این نوع شواهد به‌ویژه در عرض‌های جغرافیایی میانی و پایین که بر سر بود یا نبود دوره‌های سرد یا دوره‌های بارانی و یخ‌بندان اختلاف نظر وجود دارد، از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شوند. برای مثال تا حدود اوایل دهه ۷۰ میلادی در مناطق ایران مرکزی صحبتی از فرایندهای یخچالی و جنب یخچالی، چندان از سوی جغرافی‌دانان ایرانی مطرح نمی‌شد.^{۱۶} شاید این نوع مباحث در چارچوب جغرافیای ایران نه‌تنها به دلیل عدم توجه به ژئومورفولوژی، بلکه شاید به دلیل حال و هوای تقلیدی یا کمبود آشکار ژئومورفولوژیست‌های وطنی کارآمد، مورد توجه قرار نمی‌گرفته است.

توجه به آثار سیرک‌های یخچالی و نیز آثار سولیفلوکسیون در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ میلادی شروع شد^{۱۷} (بوبک، ۱۹۶۳؛ هاگه دورن، ۱۹۷۸). بعدها پژوهشگران ایرانی نیز به تدریج به این موضوع علاقه‌مند شدند و توجه بیشتر به آثار تغییرات محیطی گذشته جلب شد. در این زمینه، و تنها برای مثال، روان‌شاد پدramی در دهه ۶۰ خورشیدی (۸۰ میلادی) به مطالعه یخچال‌شناسی و رسوبات کواترنر نواحی غربی و شمال غربی ایران پرداخت (پدramی ۱۹۸۲) و محمودی (۱۳۶۷) مقاله‌ای در تحول ناهمواری‌های ایران ارائه داد. کشف آثار یخچالی و نیز بقایای سولیفلوکسیونی در دره‌های شیرکوه یزد (و سایر نواحی ایران مرکزی (مانند کرمان) برای مثال، موجب شد تا جایگاه خاصی را برای پیشروی یخچال‌های کوهستانی و نیز

بقایای مواد سولیفلوکسیونی حتی در سرزمین‌هایی که امروزه فاقد شرایط لازم برای وقوع این فرایندها هستند نیز ممکن است دیده شود. برای مثال، مطالعه منشأ نهشته‌های سطحی در مجاورت پرتگاه‌های مشرف بر سواحل دون جنوبی که در متون قدیمی جغرافیایی انگلستان با عنوان رسوبات پیشانی یا جلویی مطرح شده بودند، با وجود پیچیدگی منشأ بر عملکرد یخبندان ذوب و سولیفلوکسیون دلالت دارد

مانده از مواد سولیفلوکسیونی نیز دیده شده است (گریسون و همکاران، ۲۰۰۱: ۶۵)

سولیفلوکسیون و مواد ساختمانی – کشاورزی

بخشی از مواد سولیفلوکسیونی را رسوبات ماسه‌ای و رسی تشکیل می‌دهد که در صورت جدا شدن (سرنده شدن) این رسوبات از مواد درشت‌دانه‌تر، می‌تواند در تهیه مصالح ساختمانی و نیز مواد کشاورزی به مردم کمک کند. در یکی از دره‌های منطقه مهریز به نام دره کنج‌کوه در برخی نقاط از دامنه‌های سولیفلوکسیونی، مقدار زیادی از مواد پس از حمل با وسایل موتوری (کامیون، تراکتور) و سرنده کردن در مصالح ساختمانی یا کشاورزی استفاده می‌شود.

سولیفلوکسیون و سن‌یابی رویدادهای گذشته

از آنجا که در رسوبات خاک‌سره‌ای همیشه مقداری ماسه وجود دارد و ممکن است این نوع ماسه از کوارتز و فلدسپات باشد (در صورت وجود سنگ‌های آذرین در محدوده)، بنابراین به‌ویژه در مناطق خشک یا کم‌آب که امکان دسترسی به مقدار بالای مواد دارای عناصر ارگانیک (دارای کربن آلی بالا) کم است، از این مواد می‌توان برای سن‌گذاری لومینسانس استفاده کرد (هریس و همکاران، ۲۰۰۸). روش سن‌یابی لومینسانس یا بازتابش نوری (از طریق تحریک انرژی رادیواکتیو نهان در ذرات کوارتز و فلدسپات) که از اواسط دهه ۷۰ میلادی مطرح شده بود و بیشتر در موضوعات باستان‌شناسی به کار می‌رفت به تدریج برای سن‌یابی رسوبات طبیعی نیز مورد استفاده قرار گرفت (مجدال، ۱۹۸۷؛ استوکس و گیلورد، ۱۹۹۳). به کمک این روش و در صورت دقت کافی در نمونه‌برداری و آزمایش

(برای کاهش ضریب خطا) تا حد یک میلیون سال را می‌توان سن‌گذاری کرد که برای مطالعات کواترنر بسیار مطلوب است. به این ترتیب سن‌گذاری تعداد زیادی از پهنه‌های سولیفلوکسیونی، و البته سایر پدیده‌های موجود از گذشته، می‌تواند به تعیین تاریخچه رویدادها، مثلاً زمان گسترش شرایط یخچالی و جنب یخچالی یا پسروی آن‌ها به ما کمک کند.

پی‌نوشت‌ها

1. Solifluction (or solifluxion in earlier texts)
2. Periglacial regions
۳. قبلاً بیشتر خاک‌سره گفته می‌شد، ولی با توجه به اشباع بودن مواد از آب و حرکت مواد هوازده در خمیره گلی به آن «گل‌سره» هم گفته شده است.
4. J. G. Anderson
5. Bear island
6. William David Thornbury
۷. نخستین چاپ کتاب در ۱۹۵۴ انجام شده بود.
8. Williams
9. break if slope
10. Pore-water pressure
11. South Devon
12. head deposits
13. Barnstaple Bay
14. Saale glaciation
15. gelifluction
۱۶. یا اگر هم صحبتی می‌شد به چاپ در نمی‌آمد و اگر چیز دیگری بوده، نگارنده از آن‌ها بی‌خبر است.
۱۷. برای اطلاع از کارهای تحقیقاتی زمین‌شناسان و ژئومورفولوژیست‌های اتریشی و آلمانی بهتر است به منابع اصلی رجوع شود.
18. Sergelen goldfield
19. Imbricated clasts

منابع

۱. دریو، ماکس (۱۳۶۶)، مبانی ژئومورفولوژی، ترجمه مقصود خیام، نشر نیما تبریز، ۳۹۲ ص.
۲. کک، روژه (۱۳۳۸)، ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک بیرونی، ترجمه فرج‌الله محمودی، دانشگاه تهران، ۳۰۸ ص.
۳. محمودی، فرج‌الله (۱۳۶۷)، «تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر»، پژوهش‌های جغرافیایی، مؤسسه جغرافیای دانشگاه تهران، شماره ۲۳، سال بیستم، ص ۴۱-۵.
۴. مهرشاهی، داریوش (۱۳۶۷)، «پرسش و پاسخ (حرکت‌های سولیفلوکسیون و روانه‌های گل و تفاوت آن‌ها)، رشد آموزش جغرافیا، شماره ۱۵، پاییز ۱۳۶۷، سال چهارم، ص ۷۴-۷۳.
۵. مهرشاهی، داریوش (۱۳۳۸)، «نگاهی به ژئومورفولوژی استان یزد»، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، معاونت فرهنگی آستان قدس مشهد، شماره ۱۵، زمستان ۱۳۳۸، ص ۱۶۴-۱۵۰.