آموزش اصول دندروژئومورفولوژی

حلقه‌های درختی چه چیزی در مورد فرایندهای سطحی زمین می‌گویند؟

مارکوس استافل و میشل بولشویلر، مؤسسه علوم زمین دانشگاه برن سوئیس
ترجمه: دکتر شهرام بهرامی، عضو هیئت علمی دانشگاه حکیم سبزواری
کاظم پارسیانی، دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه حکیم سبزواری
Parsianikazem۹۱@ gmail. com

چکیده

محتوای این مقاله دربارهٔ جزئیات مربوط به چگونگی تغییر شکل پیوسته سطح زمین و پیش‌نیازهای لازم برای ارزیابی فرایندهای ژئومورفیک و تغییرات مربوط به آن در مقیاس فضایی و زمانی است. از آنجا که داده‌های مربوط به وقایع ژئومورفیک مربوط به گذشته است و داده‌های اقلیمی در آن نقش اساسی دارد کیفیت تغییر داده‌های اقلیمی بر فراوانی و حجم فرایندهای سطحی زمین مؤثر می‌باشد. بنابراین تحلیل حلقهٔ درختی در شرایط متفاوت ابزار قابل اطمینانی برای فراگیری اطلاعات مربوط به رویدادهای گذشته است. در این مقاله مثال‌هایی در مورد ارزیابی چگونگی دورهٔ بازگشت رویدادها، دقت دورهٔ زمانی (سالیانه و گاهی ماهیانه)، امکان دست‌یابی به توسعهٔ جانبی رویدادها و بازسازی آن بر اساس تحلیل حلقه و نقشه مکانی درختان، در ترکیب با داده‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و لرزه‌شناسی ارائه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: دندروژئومورفولوژی، حلقه‌های درختی، فرایندهای ژئومورفولوژی، تغییر چشم‌انداز

۱. مقدمه

ژئومورفولوژی علم مطالعهٔ چشم‌اندازها و فرایندهای تغییر شکل سطحی زمین است. یکی از اهداف اولیهٔ تمامی تحقیقات ژئومورفیک درکِ چگونگی روند تغییرات سطحی زمین در گذشته به‌منظور پیش‌بینی صحیح تغییرات احتمالی آن است. تحول چشم‌اندازها همچون دینامیک فرایندهای سطحی در مقیاس فضا و زمان متفاوت است. فعالیت آنی فرایندهای سطحی زمین همچون تغییرات اقلیمی یا تکتونیکی شاید از بی‌نظمی‌های بیرونی ناشی شود. در چنین حالتی فعالیت ژئومورفیکی در مراحل اولیه آن اهمیت می‌یابد. در سیستم‌های باز عواملی وجود دارد که موجب شکل‌گیری فرایند سطحی زمین و نهایتاً فعالیت مداوم آن‌ها می‌شود. فرایندهای سطحی زمین دارای اجزای فضایی نیز می‌باشد که وقتی در نواحی مسکونی صورت می‌گیرد احتمالاً موجب تغییر رفتار ساکنین یا

محیط آن‌ها نیز می‌شود. بنابراین برای غلبه بر مخاطرات محیطی و کاهش خطرات آن نیازمند جمع‌آوری اطلاعاتی در مورد تعداد، اندازه یا الگوی فضایی رویدادها هستیم. از آنجا که تعداد مشاهدات مستقیم رویدادهای گذشته کم و داده‌های حاصل از آن چند پاره (ناقص) است، مطالعه تحول چشم‌اندازها و تحلیل فراوانی و بزرگی فرایندهای ژئومورفیک نتایج قابل تأملی نیز در بر خواهد داشت.

تحلیل حلقهٔ درختی (دندروکرونولوژی) یکی از دقیق‌ترین و واقعی‌ترین روش‌ها برای سن‌سنجی فرایندهای گوناگون ژئومورفیک است. دندروکرونولوژی در دهه‌های اخیر در حال تبدیل شدن از یک ابزار مکمل برای سن‌سنجی درخت، به علمی وسیع و روشی قاطع در بازسازی تحولات تاریخی رویدادهای زمین‌شناسی در دوره هولوسن می‌باشد.

بنابراین مهم‌ترین اهداف این مقاله عبارت است از: ۱.چگونگی تأثیرپذیری درختان از فرایندهای سطحی زمین؛

۲. نقش حلقه‌های رشد درختی در تحلیل فرایندهای ژئومورفولوژیکی؛

۳. بررسی رویدادها و تحولات ژئومورفولوژیکی در مقیاس فضایی و زمانی

۲. اثر رویدادهای ژئومورفولوژیکی بر رشد حلقهٔ درختی

۲-۱- رشد عادی حلقهٔ درختی

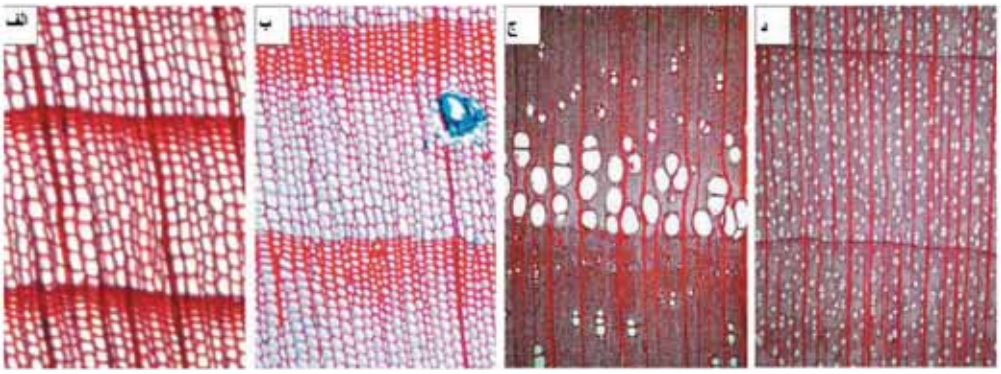
دندروکرونولوژی بر این حقیقت استوار است که رشد درخت در نواحی معتدل، حلقه‌های مشخص سالانه را شکل می‌دهد. در مخروطیان شکل‌گیری حلقهٔ درختی به ۲ دوره مشخص تقسیم می‌شود که عبارت‌اند از: در مرحله اول فصل رشد، محل مبادله سلول تناسلی، آوند ناقص چوب اولیه با دیوارهٔ سلولی بزرگ و باریک را شکل می‌دهد که ابتدا وظیفه آن حمل مواد مغذی و آب است. پس از آن دیواره سلولی آوندهای ناقص کوچک‌تر و چگال‌تر می‌شود. این دیواره‌ها به‌تدریج و در عین ضخیم شدن و نقش بیشتر آن در افزایش پایداری درخت تیره‌تر می‌شود. در درختان پهن برگ پیچیدگی بافت‌های سلولی بیشتر از مخروطیان است. شکل ۱ کیفیت برش میکروسکوپی سلول‌های آوندی حلقه درختی مخروطیان و پهن برگ‌ها را نشان می‌دهد.

اندازهٔ هر حلقهٔ درختی متأثر از عوامل گوناگونی است که عبارت‌اند از: عوامل درونی مثل پارامترهای ژنتیکی (سن درخت، خصوصیات منحصربه‌فرد درختان) و عوامل بیرونی مثل نور، دما، آب، عناصر موجود در خاک، بادهای قوی و ویژگی‌های مکانی. بنابراین رشد درخت در یک مکان موجب ثبت رویدادهای محیطی و نوسانات مشابه (مثل دما و بارش) در مجموعهٔ حلقهٔ درختی خواهد شد.

به جز اطلاعات عمومی مکانی که در همه درختان ثبت می‌شود، برخی درختان اثرات ناشی از تنش‌های مکانیکی مؤثر در فرایندهای سطحی زمین را نیز از طریق انحنای ساقه، دفن ساقه‌های پایینی، شکستگی و عریان‌شدن رأس شاخه، ثبت می‌کنند. تحلیل فرایندهای ژئومورفیکی از طریق بررسی رشد بی‌قاعدهٔ حلقهٔ درختی اصطلاحاً دندروژئومورفولوژی نامیده می‌شود. رویداد دندروژئومورفولوژیکی به‌طور معمول بر ۳ اصل فرایند- رویداد- پاسخ استوار است (شکل۲). اصل فرایند بر هر نوع عامل ژئومورفولوژیکی مثل جریان آواری، هر نوع بهمن سنگی یا برفی تأکید دارد. در حالت رویداد، همان فرایند ژئومورفولوژیکی، یک درخت را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و اصل پاسخ نیز از طریق اختلال در رشد درخت مشخص می‌شود.

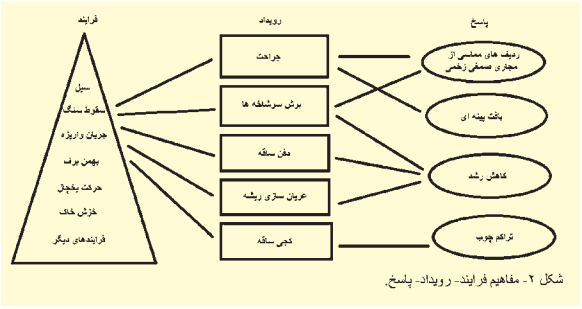
۲-۲- اثر جراحت (زخم) و شکل‌گیری مجرای صمغی درختان

در همهٔ درختان اثر فرایندهای ژئومورفیک به‌صورت زخم و خراش در روی پوست آن‌ها ظاهر می‌شود(شکل۳ الف). چنانچه واقعهٔ صورت گرفته به اندازهٔ کافی نافذ باشد مبادلهٔ سلولی با اخلال مواجه شده و شکل‌گیری روند رشد و توسعه در محل زخم متوقف خواهد شد و برای غلبه بر زخم و کاهش خطر فساد و جلوگیری از حملهٔ

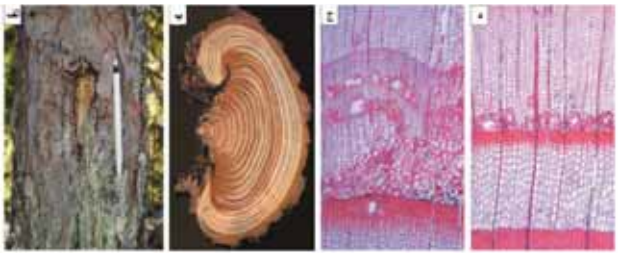


شکل۱: برش‌های میکروسکوپی تهیه شده حلقه‌های درختی سوزنی برگ‌ها و درختان پهن برگ شامل درختان الف. Picea abies نواحی کارستی و ب. کاج cembral است، که نوارهایی از آوندهای ناقص متشکله از حلقه افزایشی منحصربه‌فرد را تشکیل می‌دهند. در درختان پهن برگ، آوندهای ناقص و عروق توسط دیواره‌های مبادله از هم جدا شده‌اند. تشخیص حلقه متخلخل (ج) و نهاندانگان افشان متخلخل(د) با توجه به چگونگی توزیع عروق در حلقهٔ گیاهی صورت گرفته است.

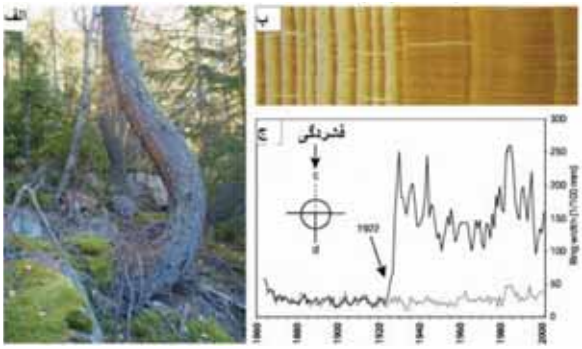
حشرات، در محل زخم بلافاصله لایه‌های بافتی نامنظم ترمیمی از لبهٔ قسمت زخمی شکل می‌گیرد، در این حالت سلامت مجدد قسمت زخمی به نرخ رشد سالانه، سن درخت و اندازهٔ جراحت بستگی دارد.



شکل ۲- مفاهیم فرایند- رویداد- پاسخ.

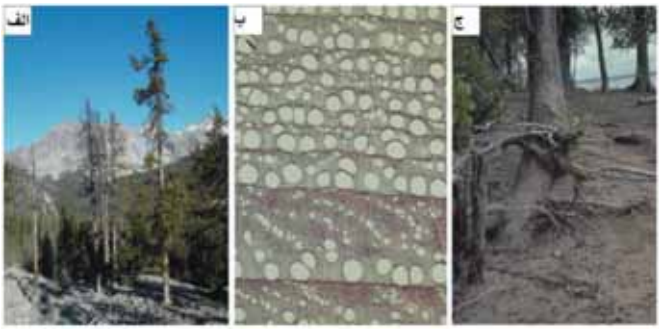

شـکل۳. وضعیت جراحات کاج اروپایی(Larix deciduamill): الف. ساقه زخمی شده. ب. مقطع برشی با رشد غیر نرمال لبه جانبی آسیب‌دیده. ج. بافت پینه‌ای در لایه‌های سلولی دارای رشد غیرنرمال در محل آسیب‌دیده د. حاشیه بافت پینه‌ای، ردیف مماسی از مجاری صمغی آسیب‌دیده.

بـه دنبال ایجـاد زخم، مجراهـای صمغی در انـواع گونه‌های مخروطی شـکل همچـون کاج اروپایـی (larix decidua)، صنوبر نـروژی(piceabias) یا صنوبر نقره‌ای(abies alloa) به‌صورت ردیفی در بافت چوبی ثانویه که در حال رشد می‌باشد ایجاد می‌شود (شکل۳ د). سپس این مجراها در جهت‌های افقی و عمودی از محل جراحت توسعه می‌یابد.



شـکل ۴. الف. سـاقهٔ کج ب. مقطـع Larix deciduamill درخت کج. ج. منحنی افزایشی یک درخت کج ناشی از جریان واریزه در سال ۱۹۲۲.

اگر جراحت وارده بر درخت در فصل رشد گیاه ایجاد شده باشد تولید صمغ پس از چند روز که از شروع زخم می‌گذرد، انجام می‌شود و مجراهـای عمودی و افقی در کمتـر از ۳ هفته بعد از واقعه ظاهر خواهد شـد. در این صورت، فصل وقوع حوادث براسـاس مجراهای صمغی زخم‌خورده قابل بازسازی خواهد بود.



شکل ۵. الف. رسوب و پیامد از بین رفتن درخت پس از رسوب. ب. برش میکروسکوپی نشان‌دهندهٔ کاهش ناگهانی عرض حلقه Castanea sativa Mill بعد از یک رویداد است. ج. سطوح ریشه‌های نابه‌جا.

۳-۲- انحراف ساقه‌ها

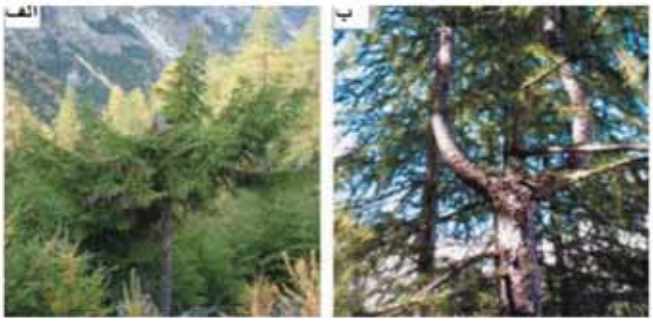
فشار ناشی از فعالیت و ته‌نشینی مواد به‌وسیلهٔ فرایندهای حرکتی توده‌ای سریع (مثل برف، بهمن و جریانات آواری) و آرام (مثل خزش) منجر به انحراف ساقهٔ درخت می‌شود، بنابراین وجود این انحراف در ساقه نشانه وجود فرایندهای ژئومورفولوژیکی است (شکل ۴ الف) و برای سن‌سنجی رویدادهای گذشته به کار می‌رود.

یک درخت کج سـعی می‌کند موقعیت عمودی خود را کسب نماید، بنابراین در سـمت مقعر تنه درخت فشـردگی چوب بیشتر می‌شود و در مقایسه با پهلوی مشرف به سرازیری (سمت محدب)، حلقه‌ها بزرگ‌تر و کمی تیره‌تر به نظر می‌رسند (شکل ۴ ب) که این تفاوت ناشی از ضخیم‌تر و مدور شدن دیوارهٔ سلولی اولیه و ثانویه آوند ناقص آن اسـت. بنابراین در مجموعهٔ حلقهٔ درختی بی‌نظمی‌هایی دیده می‌شود که براسـاس آن سن‌سنجی دقیق رویداد امکان‌پذیر اسـت (شکل۴ ج). به‌طور خلاصه واکنش درختان پهن برگ به کج شدن ساقه با تنش چوب و غیر عادی شدن حلقه در پهلوی سراشیب تنه درخت همراه خواهد شد.

۴-۲- دفن ساقه

جریانات آواری، سـیلاب، لاهار یا زمین لغزش‌ها گاهی موجب دفن سـاقه‌های قسمت‌های تحتانی درخت می‌شود (شکل ۵ الف) و در نتیجه رشد این درختان، به‌واسطهٔ اختلال در میزان آب و مواد مغذی دریافتی، کاهش می‌یابد (شـکل۵ ب). البته اسـتثنائاً رشد ساقه‌های مدفون گاهی افزایش نیز می‌یابد و آن در صورتی است که در فرایند حرکات توده‌ای آب و مواد مغذی غنی وجود داشته و عمق رسوبات کم باشد.

به محض اینکه عمق دفن ساقه از حد معینی تجاوز نماید، کمبود آب و فراورده‌های مغذی موجب از بین رفتن گیاه خواهد شد (شکل۵ ب). براساس نتایج حاصل از مطالعات موردی در ایتالیا حداکثر عمقی که ریشه می‌تواند زنده بماند بین ۱/۶ تا ۱/۹ متر است که از جریانات آواری نرم کلسیتی و دولومیتی تشکیل شده است. گاهی درختان مدفون ریشه‌های فرعی دیگری تولید می‌نمایند (شکل۵ ج). از آنجا که ریشه‌های جانبی بعد از اینکه ۵ سال از دفن آن‌ها گذشته باشد شکل می‌گیرند، لحظهٔ جوانه‌زدن آن‌ها در سن‌سنجی فرایندهای رسوب‌گذاری به‌طور تقریبی به‌کار می‌رود. در حالتی که درخت مکرر دفن شده باشد، و چند سال بعد ریشه‌های جانبی در آن شکل بگیرد امکان تخمین عمق رویداد ویژه نیز در محل آن درخت وجود دارد.



شکل ۶. الف. abies picea ناحیه کارستی که رأس آن با سقوط سنگ قطع شده است. ب. رشد چلچراغی در Larix deciduaMill، که به‌دنبال قطع سرشاخه درخت ایجاد شده است.

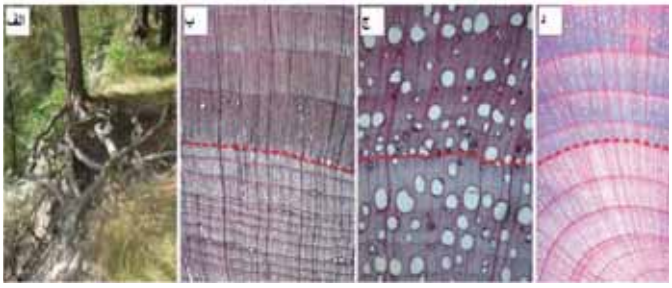
۵-۲- برش سرشاخه‌ها

تخته سنگ‌های بزرگ، آب‌های جاری با بار رسوبی جامد (مثل رسوبات، سنگ‌ها و درختان)، جریانات آواری، لاهارها و وزش باد و بهمن برف گاهی موجب سر بریدن درخت (شکل۶ الف) و یا قطع شاخه‌های آن می‌شود که اثر آن در درختان بزرگ‌تر بیشتر است، زیرا ساقه‌های ضعیف‌تر خود را از دست می‌دهند و رشد آن‌ها در آن نقطه در سال‌های بعد متوقف شده و شاخه‌های جدید از کنار محل برش رشد می‌کند که به این پدیده مورفولوژی درختی رشد چلچراغی (candelabora) گویند (شکل ۶ ب). به علاوه شوک ناشی از این جراحت باعث شکل‌گیری غیر منظم مجاری صمغی در محل زخم می‌شود.

۶-۲- ریشهٔ عریان

فرایندهای فرسایشی و عریان‌سازی ریشه‌ها با توجه به ماهیت رویداد فرسایشی (پیوسته، ناگهانی) واکنش‌های متفاوتی را در ساقه و ریشه‌های عریان ایجاد می‌کند.

از آنجا که برخی از ریشه‌های عریان بعد از رویداد فرسایشی (جریان‌آواری، لاهار، سیل و زمین لغزش) به مدت طولانی زنده نمی‌مانند و می‌میرند، درخت با کمبود آب و فراورده‌های مغذی مواجه خواهد شد بنابراین اندازه حلقه‌ها در ساقه باریک خواهد شد (شکل۷ ج).



شکل ۷. الف. ریشه‌های عریان. ب. تغییرات آناتومیکی در ریشه کاج اسکاتلندی (کاج sylvestris L) پس از عریان شدن ناگهانی. ج. تغییرات آناتومیکی در ریشه Fraxinus excelsiorL ناشی از عریان شدن مداوم. د. علاوه بر تغییرات سلولی، تنش وارده به چوب موجب تنش در ریشه Acer pseudoplatausl می‌شود.

در حالتی که پدیده عریان شدن ریشه جزئی (شکل۷ الف) و انتهای ریشه کماکان در زمین باشد ریشه به رشد خود ادامه داده و وظایف خود را انجام خواهد داد ولی در قسمت عریان آن، تغییرات کالبدی صورت خواهد گرفت. مشخص کردن این تغییر در مجموعهٔ حلقه درختی، تعیین‌کنندهٔ لحظه عریان‌سازی است (شکل۷، ب و ج). لازم به یادآوری است که عریان‌سازی متوالی ریشه‌ها معمولاً به فرایندهای آرام مربوط است که نرخ عریان‌سازی مربوطه نیز پایین می‌باشد.

۳. تحلیل حلقهٔ درختی: نمونهٔ موردی

همان‌طور که بیان شد، درختان در واکنش به رویدادهای ناشی از فرایندهای ژئومورفیک، پاسخ‌هایی را به‌صورت بی‌نظمی در حلقه‌های رشد از خود بروز می‌دهند. بنابراین تحلیل این واکنش‌ها منجر به تعیین لحظه وقوع رویداد و ارزیابی دوره بازگشت آن به‌طور دقیق خواهد شد. موقعیت بی‌نظمی موجود در حلقهٔ درختی نسبت به سایر حلقه‌ها لحظه وقوع رویداد را به صورت سالیانه و گاهی ماهیانه برآورد می‌نماید. براساس نقشه اشکال ژئومورفیک و درختان، گسترش فضایی رویدادها، سرعت و شدت فرسایش را تعیین و علل وقوع رویداد فرسایشی (هواشناسی، هیدرولوژیکی، و یا لرزه‌شناسی) را نیز بازسازی می‌کند. در ادامهٔ مطلب، جهت بازسازی و درک بهتر فرایندهای ژئومورفیک نمونه‌هایی ارائه خواهد شد.

۱-۳- فراوانی رویدادهای گذشته

رویدادهای ژئومورفیک فرسایشی مربوط به گذشتهٔ نزدیک به‌طور مفصل در اغلب نواحی جهان بررسی شده است. اما داده‌های مربوط به گذشتهٔ دورتر ناقص، ناچیز و حتی از بین رفته‌اند. به‌هر حال فهم تحول چشم‌انداز گذشته براساس پویایی فرایندهای سطحی در زمان

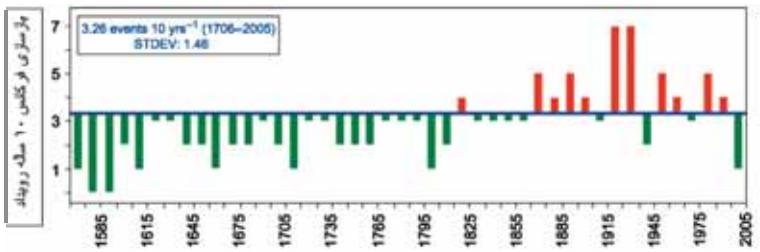
حال و پیش‌بینی آن در اقلیم گلخانه‌ای آینده کمی مشـکل است. بنابراین به‌کارگیری تحقیقات مربوط به حلقه درختی می‌تواند نقص موجود در این زمینه را برطرف نماید و به آن غنا بخشد.

شـکل ۸. فرکانس بازسازی جریان واریزه ناشی از سیل Bruchji. الف. داده‌های آرشیوی هفت رویداد قرن بیستم، با شش رویداد متمرکز در ۲۰ سال اخیر (Jossen 2000). ب. رکوردهای ثبت شـده حلقه درختان آشـفته، در مقابل داده‌های ۴۰ رویداد بین سال‌های ۱۸۶۷ و ۲۰۰۵ میلادی.

داده‌هـای مربوط به حلقه درختی برای بازسـازی فراوانی وقوع جریـان واریزه، در آلپ سـوئیس، در دوره‌هـای ۱۹۰۵ تا ۱۹۰۷ و سـال ۱۹۸۷ (۴رویداد) ثبت شـده اسـت و این رویدادها ظاهراً در طی سـال‌های ۱۹۰۷ تا ۱۹۸۷ جریانات واریزه را ثبت نکرده است. تحقیقات دیگـری که بـر روی ۴۰۱ درخـت L. deciduaand P.abies انجام شد منجر به ثبت ۴۰ رویداد بین سال‌های ۱۸۶۷ تا ۲۰۰۵ گردید (شکل۸).

اطلاعات رویدادهای گذشته موقعی اهمیت می‌یابد که فرایندهای ژئومورفیک با فعالیت‌های انسـانی ترکیب شـوند، چرا که مثلاً اگر راه‌های ارتباطی (پدیده انسانی) جریان واریزه (پدیده طبیعی) را قطع نمایـد موضوع مخاطرات به میان می‌آید که نیازمند فهم عمیق آن اسـت. در این زمینـه Wilkerson و Schmid (۲۰۰۳) جریان واریزهٔ یخچال پارک ملی ایالت مونتانای آمریکا را مطالعه کردند که در آن راه‌ها و مسیرهای کوه‌پیمایی، کانال‌های جریان واریزه را قطع کرده و موجب مصیبت در آن محل شده بود. نقش حلقه درختی در درک پویایی این فرایند قابل توجه است.

شـکل۹. بازسازی فرکانس ۱۰ سـال جریان واریزه بین سـال‌های ۱۵۶۶ و ۲۰۰۵ سیل Ritigraben (سوئیس). داده‌ها به عنوان تغییرات میانگین فرکانس ۱۰ ساله جریان‌های واریزه ۳۰۰ سال اخیر (۱۷۰۶-۲۰۰۵) که مربوط به سن درخت است.



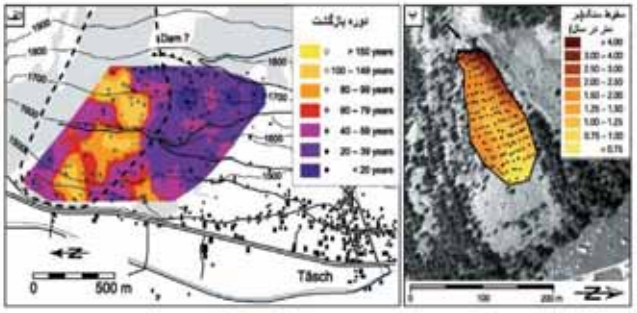
طول حیات برخی مخروطیان که قرن‌ها ادامه داشـته منجر به بازسـازی رویدادهای گذشـته تا زمان‌های طولانی می‌شود. در این زمینه stoffel و دیگران (۲۰۰۸) وقوع یک سـیل را به کمک ثبت ۱۲۳ نمونه در آلپ‌های سـوئیس تا قرن ۱۶ م توسـعه بخشـیدند (شکل۹). در طی دورهٔ عصر کوچک یخچالی تعداد رویدادهای ثبت شده در یک دهه کمتر از حد معمول باقی ماند، ولی در دهه‌های بعد از اواخر این عصر و دورهٔ زمانی بین سال‌های ۱۹۱۶ تا ۱۹۳۳ به علت شرایط مساعد تابستان گرم و مرطوب، فعالیت جریان واریزه مجدداً افزایش یافت. چنین مثال‌هایی نشـان می‌دهند که برای پیش‌بینی صحیح رویداد جریان واریزه در اقلیم گلخانه‌ای آینده، داشتن اطلاعات پایه‌ای قوی و دانش عمیق از مکانیزم فرایند مورد نظر پیش شـرط ضروری آن است. فعالیت‌های مشابهی را نیز می‌توان در زمینهٔ سیل، بهمن برف، آتش‌فشان، یا فعالیت دیواره سنگی (شکل ۱۰) انجام داد.

گاهی تداخل رویدادهای کوچک مقیاس و بزرگ مقیاس موجب اخـلال در نظم حلقهٔ درختی شـده و به‌کارگیـری توأمان آن‌ها در بازسازی رویدادهای گذشته را با تردید همراه می‌سازد.

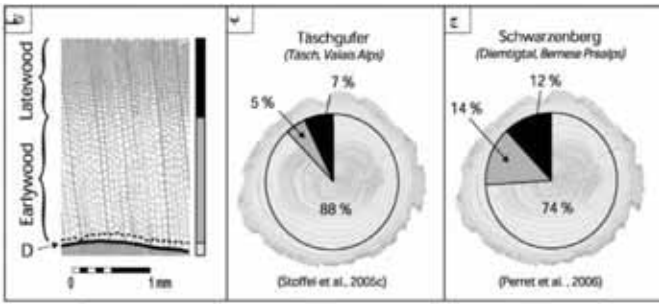
۲-۳- فرایندهای سـطحی در چه زمانی از سال رخ می‌دهند؟

در نواحـی معتـدل با فصول مشـخص، امکان سن‌سـنجی با دقت سالیانه براساس تحلیل بی‌نظمی در حلقه درختی امکان‌پذیر می‌باشد. با توجه به جراحات وارده و بافت پینه‌ای اطراف آن و ایجاد مجموعه‌ای از مجراهای صمغی که تقریباً بلافاصله بعد از وقوع رویداد شکل می‌گیرد، امکان سن‌سنجی با دقت ماهیانه فراهم می‌شود).

در تحقیقی که در مورد ریزش سـنگ در آلپ‌های سـوئیس و برای تعیین سن درون فصلی (ماهیانه) انجام شد، فصل عدم فعالیت

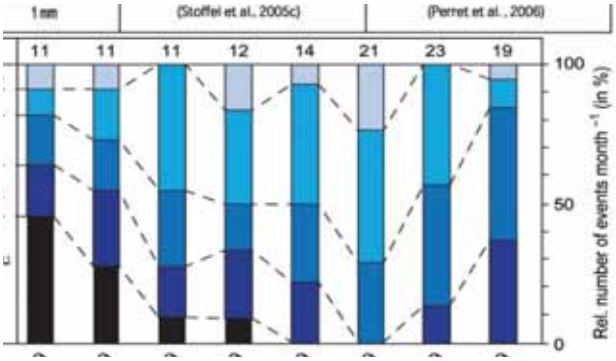


شـکل ۱۰. بازسازی فعالیت سقوط سنگ بر اساس تحلیل حلقـه درختی در الف. Taschgufer و ب. Schilt (هر دو مربوط به رشته‌کوه‌های آلپ Valais، سوئیس). تعیین دوره بازگشـت براساس سـال‌های بین دو اختلال رشد در یک درخت تنها بازسازی شده است.



شکل ۱۱. الف. در طول دورهٔ رشد سلول، درختان سوزنی برگ برای اولین بار شروع به تولید چوب اولیه (E) با دیوارهٔ سلولی نازک نموده، سپس سلول‌های چوبی ثانویه با دیواره ضخیم (L) تولید می‌شود. در پایان فصل رشد، شکل‌گیری سلول متوقف شده و سلول وارد دوره کمون یا خواب می‌شود (D). زمان‌بندی فصلی فعالیت سقوط سنگ در دو دامنه متفاوت کوه‌های سوئیس مورد بررسی قرار گرفته است، یعنی، در ر شته‌کوه‌های Taschgufer. ب. و دیگری در دامنه‌های کوه شوارزنبرگ Prealps Diemtigtal (ج). در حالی که پرمافراست به صورت محلی در Taschgufer وجود داشت، انجماد فصلی در طول ماه‌های زمستان در Diemtigtal در حال رخ دادن بود.

ریزش‌های سنگی تقریباً از اکتبر تا مه تعیین شد (شکل ۱۱). که علت آن تکرار چرخهٔ ذوب- انجماد مواد سطحی در فصول زمستان و بهار و ذوب اراضی منجمد در ماه‌های آوریل و مه است.



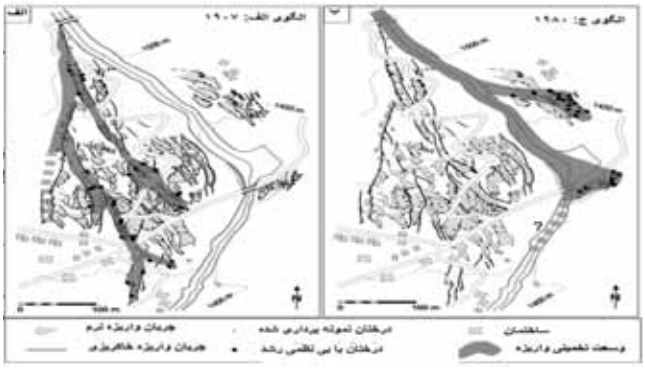
شکل ۱۲. به‌طور فصلی (JJAS) فعالیت جریان واریزه پیشین از موقعیت آن در طی سال با ردیفی از مجاری صمغی مماس بر دیوارهٔ سانحه دیدهٔ حلقه‌ها قابل تشخیص است، داده‌های بایگانی شده سیل با داده‌های هواشناسی سال ۱۸۶۴ بعد از میلاد هم‌خوانی دارد.

مشابهت ردیفی از مجراهای صمغی مماسی با اطلاعات مربوط به دوره‌های بارانی و داده‌های حاصل از سیل در حوضه‌های مجاور اجازه بازسازی جریان‌های آواری گذشته را برای محققان در آلپ‌های سوئیس می‌دهد. نتایج حاصله در شکل ۱۲ نشان می‌دهد که وقوع رویدادها به‌صورت فصلی تغییر می‌کند. این تغییرات از نیمه دوم قرن ۱۹ تا اوت و سپتامبر ۵۰ سال گذشته ثبت شده است.

یاکوبی و دیگران در سال ۱۹۹۷ با استفاده از حلقه‌های درختی سن وقوع زلزله را که در اواخر قرن ۱۷ و اوایل قرن ۱۸ (۱۶۹۹-۱۷۰۰) در ناحیه فرورانده منطقه کاسکادیا در غرب اورگون و واشنگتن و شمال کالیفرنیا در جنوب غرب آمریکا صورت گرفته بود اصلاح نمودند. واقعه‌ای که نه با رادیو کربن و نه با روش‌های دیگر سن‌سنجی حاصل نشده بود. از طریق ثبت تاریخ دقیق وقوع این رویداد علت وقوع سونامی در ۲۷ ژانویه سال ۱۷۰۰ در ژاپن نیز مشخص گردید.

۳-۳- چقدر امکان بسط رویدادهای گذشته فراهم است؟

وقتی ثبت رویدادهای پویای فرایندهای سطحی با داده‌های فضایی ترکیب شوند، دستیابی به چنین فرایندهایی تعیین کننده خواهد بود، به‌ویژه اگر رابطه تنگاتنگی بین فرایند ژئومورفیک و



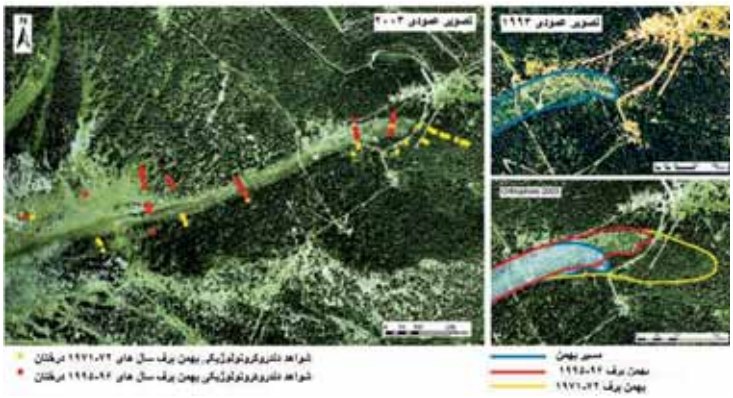
شکل ۱۳. الگوهای فضایی جریان آواری پیشین ناشی از سیل (Bruchji) . الف. به‌عنوان مثال، این رویداد بر بخش‌های غربی و مرکزی مخروط در سال ۱۹۰۷ مؤثر بوده. ب. این رویداد در سال ۱۹۸۰ فقط بخش شرقی مخروط را تحت‌تأثیر قرار داده است.

موقعیت درختان از طریق نقشه‌برداری دقیق فراهم شود.

مثلاً در کوه‌های آلپ سوئیس و به‌کمک یک نقشه ژئومورفیک دقیق (۱:۱۰۰۰) الگوی فضایی فعالیت جریان آواری، سن‌سنجی و بازسازی شد. موقعیت درختان نشانگر عکس‌العمل آن‌ها به آن رویداد است که در شناسایی الگوی فضایی رویدادهای گذشته به‌کار می‌رود. در شکل ۱۳ دو مثال دیگر در این زمینه ارائه شده است: براساس این شکل نوع الف رویداد در ناحیه غربی و مرکزی مخروط و نوع ب آن در ناحیه شرقی مخروط اتفاق افتاده است. براساس داده‌های موجود، کانال اصلی در ناحیه غربی مخروط تا دهه ۱۹۳۰ وجود داشته و بعد از این تاریخ شروع به حرکت نموده است و در موقعیت فعلی در شرق مخروط قرار گرفته است.

اطلاعات فضایی مشابهی نیز برای بازسازی فعالیت بهمن برف به‌کار رفته است. مونتان و دیگران (۲۰۰۸) نیز در پیرنه اسپانیا فعالیت مشابهی انجام دادند که براساس آن بهمن برف در زمستان ۷۲-۱۹۷۱ (شکل ۱۴) ۲۰۰ متر جابه‌جایی داشته است.

تحقیقات مشابهی در بازسازی رفتار یخچالی (دندروگلاسیولوژی) انجام شده است که در آن زمان از بین رفتن درختان بر اثر حرکت یخچال از طریق لحظه انحراف ساقه درختان مجاور مسیر حرکت



شکل ۱۴. نقشه اصلاح شده مسیر سقوط بهمن در جنوب شرقی پیرنه، که تحلیل دندروژئومورفولوژیکی یک رویداد در ۱۹۷۱-۱۹۷۲ را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که نقشه بهمن منتشره اطلاعات دقیقی در مورد میزان واقعی رویدادهای استثنایی سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۹۶ و ۱۹۷۱ -۱۹۷۲ را نشان نمی‌دهد.

یخچال بررسی می‌شود. تحقیقات دندروگلاسیولوژیکی به‌طور وسیع و به‌طور توأمان با سن‌سنجی رادیو کربن و گل‌سنگ‌سنجی در امریکای شمالی به‌کار می‌رود. پیچیدگی فضایی و لحظه‌ای فعالیت عصر کوچک یخچالی در نواحی کوه‌های راکی کانادا و اخیراً درکوه‌های بریتیش کلمبیا بازسازی شده است.

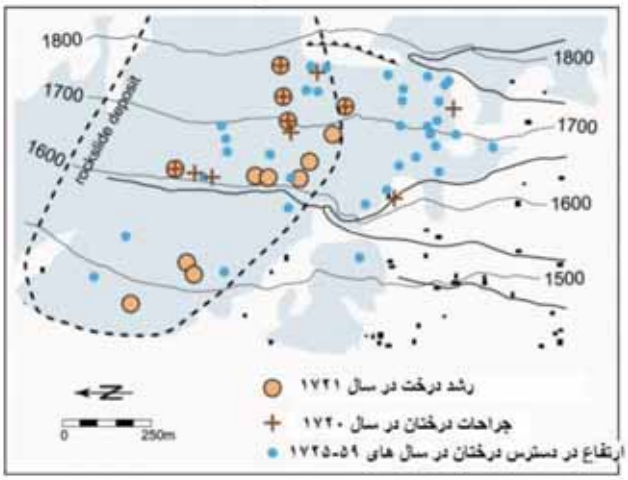
۳-۴- سرعت تغییر چشم‌انداز چگونه است؟

حلقه‌های درختی فقط زمان وقوع حوادث یا توزیع فضایی رویداد ژئومورفیک را در اختیار ما قرار نمی‌دهند بلکه از طریق تغییر ساختار سلولی ریشه‌ها و ساقه‌ها نرخ جابه‌جایی فرایندهای سطحی را نیز فراهم می‌نمایند.Begin و دیگران (۱۹۹۱) فرسایش ناحیه جنگلی در سواحل سن‌لاورنس کانادا، فانتوچی (۲۰۰۷) نرخ فرسایش افقی در اطراف دریاچه bolsena ایتالیا، مک‌آلیف و دیگران (۲۰۰۶) فرسایش و تنوع اقلیم در طی ۴۰ سال اخیر، مارین و فیلیون (۱۹۹۲) نرخ فرسایش و حرکت تپه‌های ماسه‌ای اقلیم سرد در ساحل شرقی خلیج هودسن در کبک کانادا از طریق الگوی شعاعی حلقه‌های رشد درختان spruce (صنوبر سفید) (picea grauca)، جوناسون(۱۹۸۸) و یاکوب (۱۹۹۵) نرخ حرکت لخته‌های ژلیفلوکسیون، آگانوف و دیگران (۲۰۰۴) تحول و بالا آمدن توده‌های کارست حرارتی در سیبری غربی را از این طریق بررسی کرده‌اند. به‌علاوه یخچال‌های سنگی در چند مورد توسط شودر (۱۹۷۸) مستندسازی شده است. وی در تحقیقات خود در رسوبات یخچالی فلات صفحه‌ای ایالت یوتا ۲۰۰ سال حرکت آن را بررسی کرد و علت حرکت یخچال را احتمالاً بارش‌های منطقه دانست. مطالعه دیگری نیز در این زمینه در اراضی یخزار امریکای شمالی انجام شده است.

۳-۵- بزرگی رویداد چقدر است؟

براساس ارتفاع و ابعاد بی‌نظمی‌های رشد قابل مشاهده در سطح ساقه و توزیع فضایی درختان، که نشانگر همزمانی توزیع حلقه‌های درختی و زمان وقوع حوادث سطحی می‌باشد، امکان دستیابی به بزرگی رویداد گذشته میسر می‌شود. سیگافوس (۱۹۶۴) براساس اندازه جراحت موجود در درختان اوج سیل در رودخانه‌ها و سرشاخه‌های آن را برآورد نمود. در منطقه جنب قطبی کبک کانادا، بگین (۲۰۰۱) آثار جراحت ناشی از فشار یخ روی ساقه‌های کج درختان را بازسازی و نتایج فرسایش موجی شکل آن را در بازسازی حداکثر سطوح دریاچه‌ای به‌کار برد.

در آلپ سوئیس از ۱۵۰۰ رویداد مربوط به حرکت سنگ‌ها در دوره بعد از میلاد، ۱۳۹۴ مورد شناسایی قرار گرفت. همزمان در همین ناحیه فقط یک مورد فعالیت توده‌ای عظیم با تواتر کم (مثل سنگ لغزه) مورد شناسایی قرار گرفت که عمدتاً مربوط به سال ۱۷۲۰ (شکل ۱۵) و زمستان ۶۱-۱۹۶۰ بود. هر چند کیفیت مواد

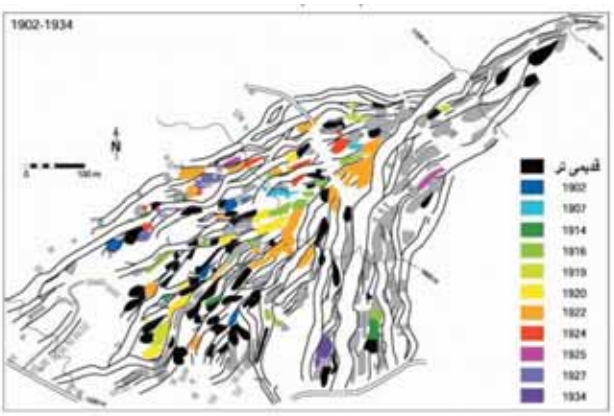


شکل ۱۵. میزان خسارت ناشی از سقوط سنگ سال ۱۷۲۰ که در آن سیزده درخت زخمی شده‌اند (علامت به‌علاوه قرمز) و ۱۱ درخت شروع رشد ناگهانی در سال ۱۷۲۱ (دایره زرد) را نشان می‌دهد. تجمع دوباره سقوط سنگ (نقاط آبی رنگ) در دهه‌های بعدی (۱۷۲۵-۱۷۵۹) احتمالاً نشان‌دهنده واکنش به سقوط سنگ در سال ۱۷۲۰ است.

حمل شده این رویدادها با تحلیل حلقه درختی امکان‌پذیر نیست ولی شدت و نوع رویداد قابل شناسایی است.

علی‌رغم اینکه داده‌های زیادی در مورد مکان‌هایی که تحت‌تأثیر زمین‌لغزه‌هـا قرار دارند وجود دارد ولی حجم دربرگیری آن محدود می‌باشد.

مقدار، نوع، اندازه، موقعیت و چگونگی توزیع پوشش گیاهی در مسیرهای بهمن‌خیز اطلاعات فراوانی در مورد وقوع بهمن در گذشته فراهم می‌آورد، براساس موقعیت درختان زخمی و ارتفاع زخم روی سـاقه امکان فهم وسعت، شـدت و اندازه رویداد وجود دارد. ارزیابی وقوع یک بهمن بزرگ براسـاس شاخص تعداد، به این معنی است که درصد واقعی تمام درختان نمونه باید نشانه فعالیت بهمن بعدی باشـد که باتلر و سایر (۲۰۰۸) حد این آسـتانه را تا ۴۰ درصد در سال‌هایی که شاخص تعداد آن از آن حد گذشته باشد تعیین کردند. میرز(۱۹۷۵) از داده‌های حاصل از شکست تنه درختان برای محاسبه شدت بهمن، استوفل و دیگران (۲۰۰۶) برای محاسبه رسوبات برف استفاده کردند.



شکل ۱۶. رسوب برجای مانده جریان آواری بر روی مخروط بین سال‌های ۱۹۰۲ و ۱۹۳۴ را نشـان می‌دهد. تنها رویدادهایی که بیش از ۶۰۰ متر مکعب از سطح کنونی مخروط را در بر گرفته‌اند روی نقشه نشان داده شده است. رسوبات نشان داده شده به رنگ سیاه سن‌سنجی شده‌اند، اما قدیمی‌تر از مقطع زمانی مورد نظر هستند.

اندازه‌گیری حجم رسوبات آواری به‌ندرت امکان‌پذیر می‌شود چون نشـانه‌های آن توسط رویدادهای بعدی از بین می‌رود. هاپ (۱۹۸۴) در نمونه‌ای که در مورد جریانات آواری در کوه شاستای کالیفرنیا انجام داد به این نتیجه رسـید کـه رویدادهای کوچک نسبت به رویدادهای بزرگ دوره بازگشت کوتاه‌تری دارند. هم‌زمان استرانک (۱۹۸۸) از طریق بررسی لایه‌نگاری حلقه‌های درختی به بررسی خصوصیات واریزه در دولومیت‌های کشور ایتالیا پرداخت. اسـتوفل نیز تراکم فصلی رویدادها، شدت بارش و اندازهٔ متوسط سنگ‌های آن را در ۵ طبقه (XS-XL) برای ۶۲ رویداد از ۱۸۵۸ بعد از میلاد به این سو پرداخت.

۶-۳- علت وقوع رویدادها چیست؟

وقوع رویدادهای ژئومورفیک به عواملی چون بارش، ذوب برف، تغییر در میانگین و نهایت‌های دمایی و زمین‌لرزه بستگی دارد. وقوع یک رویداد اقلیمی و زمین‌لرزه‌ای و ثبت آن در حلقه‌های درختی ما را در پیش‌بینی رویدادهای احتمالی آینده در شرایط اقلیم گلخانه‌ای کمک خواهد نمود.

بگیـن (۲۰۰۱) در ناحیـه جنب قطبی کبک کانادا مشـاهده می‌کند که بارش سنگین برف در زمستان ۱۹۳۰ و ۱۹۸۰ اثر مهمی بر رویداد سیل یخ بهار همان سال دارد. در آلپ‌های سوئیس داده‌های اقلیمی ناشی از بارش‌های طوفانی سیکلونی در اواخر تابستان و اوایل بهار همان سال نشان می‌دهد که فراوانی بارش‌های همرفتی تابستانه همـراه با رعد و برق در طی دهه‌های گذشـته کاهـش یافته ولی مجموع بارش افزایش یافته است، که اثر آن تغییر در جریان واریزه تابسـتانه (ژوئن- ژوئیه و اوت) نسبت به اواخر تابستان و اوایل پاییز (اوت و سپتامبر) اسـت. فانتوچی و (۱۹۹۵) مک‌کورد بین افزایش فعالیت زمین لغزش و شرایط تابستان مرطوب در یک شیب ناپایدار در وتربوی ایتالیا همبسـتگی نشـان دادند. در صورتی که سوریزو- والبـو و فانتوچی (۱۹۹۹) چنین ارتباطی را در ناحیه کالابریا ایتالیا مشاهده نکردند. هر چند فقط وقایع زمین لغزش جنوب غرب مونتانا به داده‌های هواشناسـی مربوط است ولی ۸۰ درصد زمین‌لرزه‌های پیشین در وقوع زمین لغزش مؤثر است.

۴. پیشنهاد

سـطح سیارهٔ زمین تحت‌تأثیر پاره‌ای نیروهای محرک بیرونی است و این سبب می‌شود چشم‌اندازهای آن دائماً تغییر کند. بنابراین برای پیش‌بینی چنین فرایندهایی در آینده، علل وقوع این فرایندها باید مورد توجه دقیق قرار گیرند. درختان اثرات فرایندهای سطحی زمین را در حلقه‌های خود متجلی می‌سـازند، که از آن می‌توان در تحلیل بهمن برف، جریان واریزه، زمین لغزش، سیل و ... استفاده کرد. تاکنون تحلیل فرایندهای ژئومورفیک براساس حلقهٔ درختی بیشتر در نواحی کوهسـتانی آمریکای شمالی و اروپا تمرکز داشته است و در نواحی دیگر کمتر از آن اسـتفاده شـده است. شناخت مکانیزم فرایندهای سـطحی به مخاطرات محیطی و مدیریت معاصر کمک شایانی خواهد نمود. هر چند در دهه‌های اخیر پیشرفت قابل توجهی در دندروژئومورفولوژی حاصل شده است ولی تحقیقات باید به سمت مقایسه آماری دقیق حلقه درختی و تکرار پاسخ- رویداد گرایش یابد، و گرنه امکان وجود خطای سهوی در آن گریزناپذیر است.

منبع

geegraphy Compass Mag.2009 Page: 1013-1037