



روش‌های پژوهش در ژئومورفولوژی^(۱)

دکتر محمد رضا ثروتی

دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه شهید بهشتی

رضا منصوری

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی/مدیریت محیطی دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

با توسعه دانش جدید، دو روش بسیار متفاوت جهت نیل به تبیین علمی دنبال شده است. تمایز روشی بین این دو روش (استقراء و قیاس) وجود دارد. در روش استقرایی، تعمیم از طریق تجربه و مشاهده به دست می‌آید. تبیین نهایی عمدتاً وابسته به داده‌هایی است که در دسترس پژوهشگر می‌باشد، بطوری که این حقایق نمی‌توانند از نظریه که در نهایت ارایه می‌شوند، جدا گردند.

فرایند طبقه‌بندی مکانیسمی مرکزی در این رویکرد می‌باشد، بنابراین در این روش، تبیین، کاملاً به روش طبقه‌بندی بکار گرفته شده، بستگی دارد و به داده‌های در دسترس و نیز بر پایه‌های مفهومی مورد استفاده برای طبقه‌بندی داده‌ها، مبتنی است. استفاده از روش علمی قیاسی را می‌توان به عنوان علت و معلولی از روندهای پژوهشی اخیر در ژئومورفولوژی ملاحظه نمود. این روش به تمایز شفاف بین منشاء و آزمایش نظریه‌ها وابسته است. دیویس (۱۹۳۴-۱۸۵۰) به عنوان پدر ژئومورفولوژی و مبدع چرخه فرسایش، نقش مهمی در این دانش ایفا نموده است. اما، بدنبال پژوهش‌های هورتون (۱۹۴۵) و استرالر (۱۹۵۰)، ژئومورفولوژیست‌ها چارچوب کاملاً متفاوتی را از دانش خود توسعه دادند که بیشتر بر مطالعه فرایندهای معاصر تمرکز نموده است. دانش ژئومورفولوژی به دنبال استفاده از رویکرد قیاسی برای تبیین موضوعات مورد پژوهش خود، بطور آشکار «علمی» شده است. این امر مستلزم انطباق تکنیک‌های کمی و ریاضیات و قرار دادن تجربه و مشاهده به عنوان پایه دانش می‌باشد. با شروع و توسعه ژئومورفولوژی کمی، توجه به توضیح فرایندهای ژئومورفولوژیکی و نیز میزان عملکرد چنین فرایندهایی بیشتر شده است. استفاده و بکار گرفتن نظریه سیستم‌ها به عنوان ساختار کلی تبیین، یکی از ویژگی‌های مهم انقلاب علمی ژئومورفولوژی می‌باشد. اتخاذ رویکرد سیستمی، ساختار کلی که در آن مدل‌های ژئومورفولوژیکی می‌توانند تنظیم شوند را ارایه می‌نماید. چورلی (۱۹۶۶) شاخه‌های اصلی فعالیت‌های ژئومورفولوژیکی را به صورت: مشاهدات میدانی، آزمایشگاهی، کتابخانه‌ای و کارهای نظری شرح داده است.

واژه‌های کلیدی: روش‌های پژوهش، دانش ژئومورفولوژی، قیاس، استقراء، تبیین علمی.

روش‌های پژوهش در ژئومورفولوژی

۱- تغییر روش علمی در ژئومورفولوژی

مفهوم اصلی نظریه ویلیام موریس دیویس^۲ نظم و ترتیب لندفرم‌ها در داخل چرخه توسعه^۳ بود. میراث او در ارتباط با نظریه‌های تاریخی بود که تا سده ۱۹۵۰ به درازا انجامید (چورلی^۴، ۱۹۷۸). با وجود اینکه برخی از مفسران ادعا نمودند که تغییرات اخیر، اساساً روند افزایشی پیدا کرده‌اند (اشتودارت^۵، ۱۹۸۶)، به نظر می‌رسد بطور کاملاً روشن، انقلابی در دانش ژئومورفولوژی در طول سه دهه گذشته صورت گرفته است. بدنبال آن، کاهن^۶ (۱۹۶۲)، کوهن^۷ (۱۹۸۵)، ص (۴۱) چندین معیار را که یک انقلاب ممکن است تحت آن شرایط روی دهد پیشنهاد می‌کنند: این موارد شامل تغییرات مفهومی از نوع بنیادی، بدیهیات یا فرضیات جدید، صورت‌های قابل قبول از دانش جدید، و نظریه‌های جدید است که شامل تمام یا برخی از این ویژگی‌ها و دیگر ویژگی‌هاست. بدنبال پژوهش‌های هورتون^۸ (۱۹۴۵) و استرالر^۹ (۱۹۵۰)، ژئومورفولوژیست‌ها یک چارچوب کاملاً متفاوتی را از دانش خود توسعه دادند که در آن می‌توان دانش مطالعه و بررسی در مورد لندفرم‌ها را قرار داد. این کار اخیر بر مطالعه فرایندهای معاصر^{۱۰} تمرکز نموده است، موضوعی که توسط دیویس مورد غفلت قرار گرفته است. دانش ژئومورفولوژی آشکارا «علمی»^{۱۱} شده است چرا که رویکرد قیاسی^{۱۲} را برای تبیین^{۱۳} موضوعات خود دنبال می‌نماید. این امر مستلزم انطباق تکنیک‌های کمی^{۱۴} و ریاضیات پیرامون موضوع، و قرار دادن تجربه و مشاهده^{۱۵} به عنوان پایه و اساس^{۱۶} دانش می‌باشد. بنابراین، شاید این امر طبیعی باشد که تنها در بیش از ۳۰ سال گذشته تلاش‌های زیادی برای اختراع، توسعه و پیشرفت و استفاده از تکنیک‌های اندازه‌گیری اختصاص داده شده است.

بیشتر ژئومورفولوژیست‌ها مدل دیویسی را در ارتباط با زمان‌سنجی تخریب و فرسایش^{۱۷} به نفع یک رویکرد مبتنی بر فرایند^{۱۸}، رها کردند و با این کار یکسری تغییرات ضمنی در حالت تبیین علمی به کار رفته، صورت پذیرفت. هدف تبیین علمی، ایجاد یک گزارش یا توضیح کلی است که رفتار موضوع یا رویداد را با پرسش‌هایی که به آن دانش مربوط می‌شود پوشش می‌دهد، در نتیجه امکان ارتباط بین رویدادهای جداگانه شناخته شده و پیش‌بینی‌های قابل اعتماد وقایعی که هنوز ناشناخته هستند را فراهم می‌سازد. طی پیشرفت و توسعه دانش جدید، دو روش بسیار متفاوت به منظور رسیدن



گرفته می‌شود. هاروی (۱۹۶۹ ب، صفحه ۴۲۴) بیان می‌کند که این فرض از زمان به عنوان یک فرایند، تنها در صورتی پذیرفتنی است که فرایند تولید تغییر، شناخته شده باشد، اما اغلب در چرخه دیویسی جزئیات فرایندهای عامل، شناخته شده نیستند.

علاوه بر این، سازوکار^{۳۱}ی که باعث ایجاد تغییر می‌شود، بایستی به طور مداوم عمل نماید تا اجازه دهد، کل چشم‌انداز از طریق تسلسلی از مراحل لازم، متأثر شود. با این حال، در بیشتر موارد قرار دادن یک لندفرم در یک مرحله «دقیق»^{۳۲}، بویژه وقتی که در چرخه آن وقفه‌ای رخ دهد، مشکل است. در واقع، توضیحاتی که توسط زمان‌سنجی تخریب و فرسایش ارایه شده، نشان می‌دهد که تنها زمانی می‌تواند کاربرد داشته باشد که وقفه‌ای در چرخه رخ دهد. بنابراین، در اغلب موارد مجموعه ویژه‌ای از لندفرم‌ها، به طور فرایندهای با یکسری توالی منحصر بفرد از رویدادها، به جای استفاده از مدل‌های (طبقه‌بندی) جهانی، تبیین می‌شوند.

حالت زمانی تبیین، روش شناختی معتبری است اما نیازمند فرایندی است تا به طور شفاف و پیوسته در گذر زمان عمل نماید و نیز نیازمند تعریف دقیقی از مراحل فردی و جداگانه^{۳۳} است، به طوری که هر وضعیت ویژه ممکن است در درون آن شرایط واقع شده باشد.

با این حال، همانطور که قبل از این اشاره شد، به طور کلی این شرایط و الزامات در رویکرد دیویسی دیده نمی‌شوند (همانطور که اشاره خواهد شد، مدل‌های شبیه‌سازی کامپیوتری شاید به طور عمده، چنین فرضیاتی را به منظور استنباط و یا پیش‌بینی تکامل لندفرم‌ها بکار گیرند). بنابراین، وی بتدریج متوجه شد، آنچه که اهمیت دارد تغییرات رخ داده نیست، اما به جای آن این پرسش‌ها را مطرح نمود. کدام فرایندها باعث ایجاد تغییر می‌شوند؟ این فرایندها به چه میزان عمل می‌نمایند؟ و چه تأثیری برای این فعالیت‌ها در فرم و تحول فرایندها در نظر گرفته شده است؟ بدین ترتیب، حالت زمانی تبیین در ژئومورفولوژی سازوکار ضعیفی را فراهم می‌نماید که با آن طبقه‌بندی داده‌های نامرتب در روش علمی استقرایی صورت می‌گیرد، زیرا در چرخه دیویسی نقاط ضعف ذاتی وجود دارد، به طوری که در آن هیچ ساختار نظری متحدی وجود ندارد تا بتواند در آن توضیحات انفرادی را دربر بگیرد و ارایه نماید.

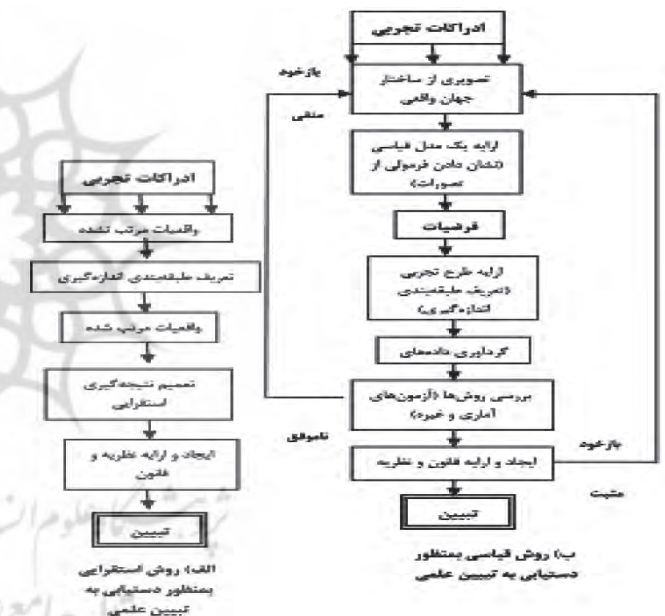
تمایل سیستم‌های فرایند- پاسخ^{۳۴} با در نظر گرفتن جزئیات دقیق‌تر در ارتباط بوده است. بنابراین با رها کردن هر دو حالت زمانی تبیین و رویکرد علمی استقرایی همراه می‌باشد. در نتیجه، ژئومورفولوژی اساساً از روش طبقه‌بندی گذر نمود و روش کاملاً متفاوتی را در بررسی‌های خود بر اساس استفاده از روش قیاسی اتخاذ نمود.

اتخاذ روش علمی قیاسی را می‌توان به عنوان علت و معلولی از روندهای اخیر در ژئومورفولوژی ملاحظه نمود. تا پیش از دهه ۱۹۵۰، چرخه دیویسی بیشتر به صورت مدلی از واقعیت تبدیل گشته، و پارادایمی^{۳۵} را در ژئومورفولوژی تشکیل داده بود که مشکلات ژئومورفولوژی در آن سازمان یافته و قابل حل بودند.

به هر حال، همان طور که کوهن (۱۹۶۲) اشاره کرده است، هر پارادایمی که بتواند پرسش‌های پاسخ داده نشده بیشتری را با موفقیت توضیح دهد،

به تبیین علمی رضایت بخش دنبال شده است (نگاره ۱). تمایز روشی بین این دو روش استقرایی^{۱۹} و قیاس^{۲۰} وجود دارد. در روش استقرایی یا بکونین^{۲۱}، تعمیم از طریق تجربه و مشاهده به دست می‌آید.

تبیین نهایی تا حد زیادی وابسته به داده‌هایی است که در دسترس پژوهشگر می‌باشند، به طوری که این حقایق نمی‌توانند از نظریه (یعنی تبیین) که در نهایت تولید می‌شوند، جدا گردند. فرایند طبقه‌بندی^{۲۲} مکانیسمی مرکزی در این رویکرد می‌باشد، بنابراین در این روش، تبیین، کاملاً به روش گروه‌بندی به کار گرفته شده بستگی دارد. بنابراین رویکرد استقرایی به طور فرایندهای، هم به داده‌های در دسترس و هم به پایه‌های مفهومی مورد استفاده برای طبقه‌بندی این داده‌ها مبتنی است، و حتی ممکن است مدلی کلی وجود داشته باشد که در آن واقعیت قابل مشاهده باشد. اما بسیاری از تبیین‌های فردی ممکن است باقی مانده طبقه‌بندی مجموعه داده‌های منحصر به فرد^{۲۳}، به جای تأیید^{۲۴} خود مدل باشند.



نگاره ۱: روش‌های دستیابی به تبیین علمی (هاروی^{۲۵}، ۱۹۶۹ ب)

تسلط و غلبه ژئومورفولوژی انگلیسی- آمریکایی^{۲۶} در بخش پیشین این قرن، توسط مفهوم چرخه دیویسی بدست آمد، به طوری که روش طبقه‌بندی متأثر از توجه به زمان و مراحل تکاملی^{۲۷} توسعه لندفرم‌ها بوده است. بنابراین، تقسیم نمودن چشم‌اندازها به مراحل «جوانی»^{۲۸}، «بلوغ»^{۲۹} و «پیری»^{۳۰}، بلافاصله قضاوتی از تبیین مناظر را براساس این تصور که فرایند فرسایش، به طور پیوسته با هر بخشی از چشم‌انداز در گذر از هر مرحله توسعه، صورت می‌گیرد را ارایه می‌دهد. در اصل، خود زمان به عنوان یک فرایند محسوب می‌شود، در واقع به عنوان یک متغیر تبیین کننده در نظر



همانطور که اشاره خواهد شد، بسیاری از مطالعات ژئومورفولوژیکی آزمایش‌های به معنای خاص^{۴۹} را بویژه در مراحل اولیه توسعه نظریه تشکیل نمی‌دهند (چورلی، ۱۹۸۴). بنابراین واضح است که نه نظریه و نه طرح آزمایشی به احتمال زیاد نمی‌توانند پایدار باقی بمانند.

ژئومورفولوژی کمی جدید بیشتر به توضیح فرایندهای ژئومورفولوژیکی^{۵۰} مربوطه می‌پردازد و به میزان عملکرد چنین فرایندهایی توجه می‌نماید. از دانش و آگاهی بدست آمده در مورد فعالیت فرایندها، این امکان برای نظریه پردازی در مورد لندفرم‌هایی که از چنین فرایندهایی تولید شده‌اند فراهم شده است. بدیهی است که یکی از پیامدهای اصلی مطالعه فرایندها، کم اهمیت شدن زمان در اندازه‌گیری موقعیت یک پارامتر و نه به عنوان یک فرایند می‌باشد.

یکی دیگر از پیامدهای عمده تغییر در ژئومورفولوژی، تأکید بر کاهش مقیاس‌های فضایی - زمانی بوده که لندفرم‌ها در آن در نظر گرفته شده است. بنابراین، مقیاس لندفرم‌های بررسی شده کاهش می‌یابد، چرا که فرم و فرایندها به بهترین شکل ممکن تا حدی با مقیاس‌های کوچک و تا حدی نیز با مقیاس‌های بزرگ، در ارتباط با زمان‌سنجی تخریب و فرسایش می‌باشند. فعالیت فرایندها طبق پیش‌بینی‌های دیویس ثابت نیست، اما فرایندهای گوناگونی دیده شده‌اند که در مکان‌هایی همچون یک حوضه آبخیز عمل می‌نمایند (دون و بلک^{۵۱}، ۱۹۷۰).

در اوایل دهه ۱۹۳۰، در نظر گرفتن تمام مناطق در یک مقاله برای بررسی غیر معمول نبود (برای مثال: مک‌کین^{۵۲}، ۱۹۳۶)، در حالی که اخیراً، برای مثال در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای^{۵۳}، لندفرم‌ها فراتر از مقیاس حوضه زهکشی در نظر گرفته نمی‌شوند (چورلی، ۱۹۶۹)، و غالباً در مقیاس کوچک‌تر مورد توجه‌اند. برای مثال، تفاوت‌های بین فرایندهای عامل در بخش‌هایی از دامنه‌های فردی شناخته شده‌اند (اندروسون و بریت^{۵۴}، ۱۹۷۷).

به هر حال، شوم^{۵۵} (۱۹۷۷ الف) مدل دیویس از تکامل چشم‌اندازها را از طریق ارتباط بین بررسی‌های آزمایشگاهی و میدانی با سازوکار تغییر مناظر در بلند مدت، تکمیل نموده است. استدلال وی این بود که در سیستم حوضه زهکشی آستانه‌ها^{۵۶} وجود دارند.

تغییر الگوی کانال در ارتباط با تغییر شیب‌های کانال مجرای آب می‌باشد که یک نمونه از آن مانداری شدن خط‌القع است که فقط شیب آستانه مطرح می‌شود (نگاره ۲). شواهد ناشی از این فرم باعث شد تا شوم جایگزینی مفاهیم مربوط به تغییرات پیش‌رونده^{۵۷} مدل دیویس از تغییر چشم‌اندازها را از طریق گنجاندن رویدادهای تنظیمی^{۵۸} در ارتباط با آستانه‌ها پیشنهاد دهد. مدل بر فرسایش رویدادی (اتفاقی)^{۵۹} در نتیجه تجاوز از آستانه‌ها تأکید می‌کند. نگاره ۳ مدل اصلاح شده دیویس که توسط شوم پیشنهاد شده است را نشان می‌دهد که در آن مفهوم تعادل نیمه (شبه) پایدار «پویا»^{۶۰} یا آستانه‌ها گنجانده شده است.

البته، شواهد توسعه دراز مدت لندفرم‌ها نه تنها ناشی از بررسی‌های آزمایشگاهی معاصر است بلکه از دیگر مناطق کیفی^{۶۱} نیز می‌باشد. سیستم‌های ژئومورفولوژیکی نه تنها پیچیده هستند بلکه آگاهی و دانش ما از آنها دقیق نیست، به طوری که ما از طریق آنها از زمان حال به گذشته

به خود اجازه می‌دهد تا به عنوان یک رویکرد کاملاً جدید، جایگزین شود. ظهور پارادایم جدید با یک مقدمه کمی در ژئومورفولوژی و اتخاذ روش تجزیه و تحلیل آماری^{۶۲} به عنوان وسیله‌ای برای امتحان فرضیه اعلام گردید (استرالر، ۱۹۵۰؛ ملتون^{۶۳}، ۱۹۵۷؛ چورلی^{۶۴}، ۱۹۶۶).

به طور ضمنی، رویکرد کمی از روش علمی قیاسی استفاده می‌نماید (نگاره ۱-ب) به دلیل اینکه، رویکرد نظری به فرم و توسعه منظرهای جایگزین شده، توالی لندفرم‌های منحصربفرد که در طی دوره زمان‌سنجی تخریب و فرسایش غالب بوده است را توضیح می‌دهد. این رویکرد نظری، به تدوین دیدگاهی آرمانی یا مدل حقیقی (واقعی) وابسته است. چنین مدل‌هایی ممکن است تست شده باشند، یا اینکه در واقع اگر (در صورتی که) بازتاب آنها از دنیای واقعی ایده آل باشد، مقبولیت آنها تأیید خواهد شد. یا اینکه اگر چنین نباشد، ممکن است برای یکی شدن، مورد تجدید نظر قرار گرفته یا بهبود یابند. آزمایش مدل شامل مجموعه‌ای از داده‌های مستقل است. بنابراین، رویدادها یا موضوعات منحصربفرد با استفاده از رویکرد قیاسی تبیین می‌شوند، و عبارات کلی جهت تبیین فرایند برتر بکار گرفته می‌شوند تا اینکه تمام رویدادها را پوشش دهد، و تبیین واحدی را بر اساس موضوعات یا رویدادها تولید نماید.

روش قیاسی به تمایز شفاف بین منشاء و آزمایش نظریه‌ها^{۶۵} وابسته است. فقط مورد دوم (یعنی: آزمایش نظریه) بر اساس مشاهده و منطق^{۶۶} می‌باشد. پوپر (۱۹۷۲) استدلال نموده است که هدف آزمایشات علمی تلاش جهت ابطال یا تحریف نظریه‌ها^{۶۷} است. بهترین نظریه‌ها آنهایی هستند که بیش از یک دوره درازمدت در برابر روش‌های خسته کننده و فرساینده آزمایشات، مقاومت نموده‌اند.

گرچه با مشخص شدن نظریه‌های نادرست، رویکردهای نظری صحیح، حمایت می‌شوند، اما آنها به طور قاطع و حتمی اثبات نمی‌شوند، زیرا این احتمال وجود دارد که یک نظریه جایگزین، تبیینی بهتر ارائه نماید. چنین رویکردی به شیوه قیاسی پیشنهاد شده توسط هاروی نزدیک‌تر است (نگاره ۱)، علیرغم این استدلال‌ها، معانی بسیار متفاوتی بین «تحریف^{۶۸}» و «تأیید^{۶۹}» وجود دارد.

با این حال، همان طور که برت و والینگ^{۷۰} (۱۹۸۴) اشاره می‌کنند، روش قیاسی برای تبیین بسیار پیچیده‌تر از آن است که هاروی (۱۹۶۹) بیان می‌کند. ساختار اولیه مدل به بخشی از محدودیت‌های عملیاتی شناخته شده وابسته خواهد بود، چه آزمایشاتی^{۷۱} مورد نیاز است، چه ابزارها یا تکنیک‌هایی^{۷۲} در دسترس هستند، چه امکانات آزمایشگاهی یا میدانی^{۷۳} وجود دارد. بنابراین، احتمال دارد در ابتدای امر تفکیک مناسبی بین نظریه و واقعیت امکان پذیر نباشد.

شکست یک آزمایش ممکن است نظریه را محکوم یا رد ننماید؛ بلکه خود آزمایش ممکن است بخاطر کمبود برخی از راه‌های قضاوت باشد. در این مورد، چرخه پس‌خوراند ناموفق^{۷۴} است (نگاره ۱) که بایستی در مرحله طراحی آزمایش متوقف شود، و نیز ممکن است پیش از آزمایش مناسب نظریه، به تکنیک‌های اندازه‌گیری جدیدی نیاز باشد. تدوین و تعمیم دقیق یک آزمایش ممکن است همیشه ممکن نباشد.



جدول ۱: برخی از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی کمی و نیمه کمی تغییرات محیطی

نشانه (شاخص)	لندفرم
خاک یخ زده، به طوری که متوسط سالانه دما منفی باشد.	برآمدگی یخی ^{۷۰} ، تپه خاکی پیش از دوران یخبندان در مناطق قطبی ^{۷۱} ، قالب‌های کوه یخی ^{۷۲} ، چند ضلعی‌های غول پیکر (بزرگ) ^{۷۳}
از طریق ارتباط دما با برف‌مرز در ارتباط با رسوبات سازندها (تشکیلات) خط ساحلی کهن	سیرک حوضه دریاچه‌های بسته
ساخته شده در راستای جهت باد و سطوح تهنشینی	تپه‌های فسیل شده میان قاره‌ای
نشانه‌دهنده بالاترین سطح آب‌های زیر زمینی و شرایط آبی آن است.	تپه (پشته)‌های از جنس تופا ^{۷۴} (تپه‌های سنگ آهک اسفنجی)
تناوبی از انحلال (رطوبت) و نهشته‌های بادی و غیره (خشکی)	غارها
عملکردشبنم (هوازدگی یخبندانی) به همراه وجود مقداری رطوبت	واریزه‌های زاویه‌دار
بالاترین سطوح مقدار تخلیه که از طریق هندسه پیچان رودها می‌توان تعیین شود.	پیچان رودهای دره‌ای نامتجانس
شیارهای ناشی از عملکرد باد در سنگ بستر خشکی و جهت باد	شیارهای ناشی از عملکرد باد در سنگ بستر خشکی و جهت باد
رفت و روب بادی در زیر پوشش گیاهی محدود	حوضه‌های بادکندی (حوضه‌های جهت‌دار) ^{۷۵} و شکل گرفته توسط فرایند بادکندی

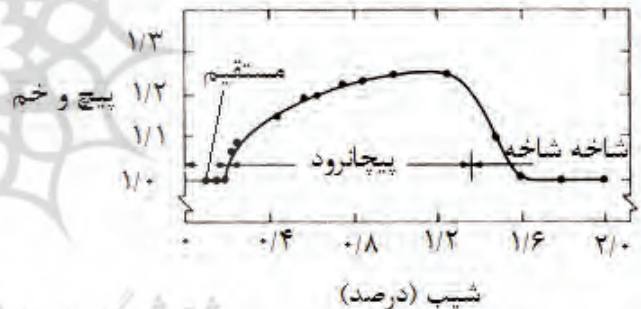
کودی، ۱۹۷۷، ۶.

یکی از ویژگی‌های قابل توجه و مهم «انقلاب» ژئومورفولوژیکی^{۷۷}، شامل معرفی نظریه سیستم‌ها^{۷۸} به عنوان یک ساختار کلی تبیین، در درون موضوع است. در اینجا بدور از دغدغه تغییرات و توسعه، دیدگاهی وجود دارد که بر اساس آن ممکن است لندفرم‌ها با ارتباط نزدیکی که بین فرایندها و فرم‌ها وجود دارد به سیستم‌های متعادلی تبدیل شوند. در عین حال فعالیت‌های سیستم با هدف حفظ و نگهداری فرم پایدار نسبت به تغییر پیشرونده در حال وقوع انجام می‌شود. بنابراین، توسعه مناظر به عنوان پیامد پایانی فعالیت یا عملکرد سیستم دیده می‌شود، و نه به عنوان پیامد اصلی فعالیت آن سیستم. در این مفهوم، پارادایم جدید ژئومورفولوژیکی پارادایم قدیمی را بر اساس مدل کوهنان^{۷۹} در خود جای داده است. استفاده موفقیت‌آمیز از مدل‌های فرایند- پاسخ^{۸۰} در ریاضی برای پیش‌بینی تکامل فرم زمین، مثالی از این نمونه می‌باشد (برای مثال کیرک بای^{۸۱}، ۱۹۸۴). استفاده از رویکرد سیستمی به عنوان پارادایم سازمان دهنده در ژئومورفولوژی با توسعه عمومی ساختمان مدل در درون موضوع همراه بوده است. اشتودارت^{۸۲} (۱۹۶۷) مبنی بر اینکه که چرا سیستم، چنین مفهوم سازمان یافته مفید و بنیادی دارد، چهار دلیل پیشنهاد کرده است. نخست اینکه سیستم‌ها وحدت گرا هستند، تمام اجزاء مربوط به محیط فیزیکی و انسانی گردهم می‌آیند. دوم اینکه سیستم‌ها در یک روش منظم و منطقی ساختار بندی شده‌اند به طوری که فرم سیستم را

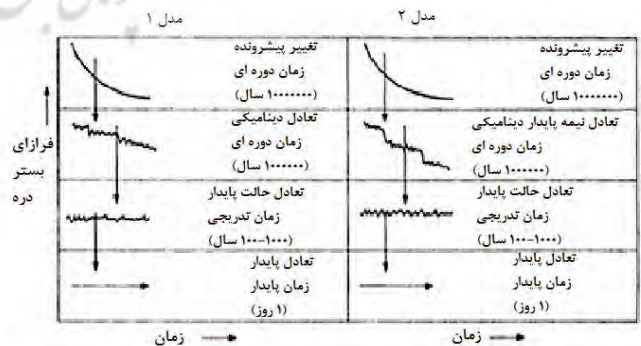
می‌رسیم. تغییرات محیطی، بویژه از زمان پلیوستوسن نشان دهنده دو خط عمده بررسی فرایندهای دراز مدت تغییر مناظر می‌باشند. آگاهی از چنین شاخص‌های ژئومورفولوژیکی که در جدول ۱ ارائه شده‌اند می‌تواند مهمترین پایه‌هایی را که از طریق آنها می‌توان وضعیت تغییرات را ارزیابی نموده و توضیح داد، ارائه نماید.

برای مثال، چندلر و پوک^{۶۶} (۱۹۷۱)، نشان دادند که آگاهی کلی از شرایط سطح ایستابی آب در پلیوستوسن^{۶۳} در ارتباط با تحلیل پایداری دامنه‌ها^{۶۴} می‌باشد. به گونه‌ای که این امر می‌تواند نرخ متوسط خزش خاک^{۶۵} در زمان پلیوستوسن در محلی که وقوع زمین لغزش^{۶۶} در آن زمان در آنجا به اثبات رسیده باشد را ارائه نماید.

بنابراین جنبه‌های کیفی تر تغییرات محیطی می‌توانند شواهد دقیقی را برای کمک به رویکردهای تحلیلی تر ارائه نمایند. در حالی که زمان‌سنجی تخریب و فرسایش، به عنوان وسیله‌ای غیر محتمل برای بررسی می‌باشد، تا چنین نقش مهمی را کسب نماید. بدین ترتیب شاخص‌های کیفی چشم‌اندازهای محیطی و تغییرات آنها بایهود مدل‌های تاریخ‌گذاری^{۶۷} ادامه خواهد داشت و اهمیت آنها در تفسیر و مدل‌سازی توسعه دراز مدت لندفرم‌ها^{۶۸} ناپستی کم ارزش تلقی شوند.



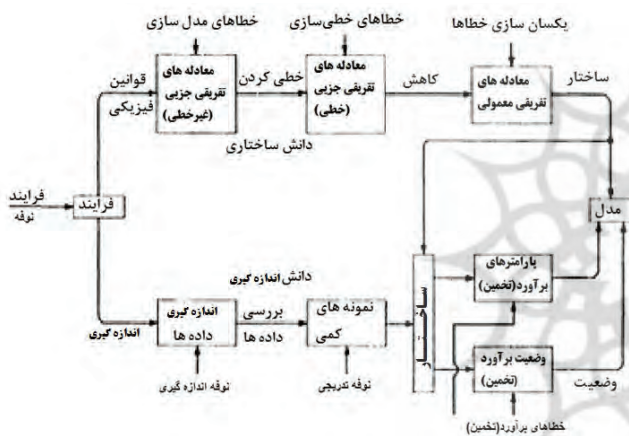
نگاره ۲: ارتباط بین ریج و خم و شیب دره تنگ رودخانه (شوم و خان^{۶۹}، ۱۹۷۳)



نگاره ۳: مدل‌های تکامل چشم‌اندازها. مدل ۱: اجزاء تعادل در مدل دیویس با برهنه‌سازی پیشرونده. مدل ۲: اجزای تعادل مدل بر اساس فرسایش دوره‌ای که توسط شوم پیشنهاد شده است.



در مقابل تغییرات ناگهانی، نهشته‌گذاری و همچنین فازهای فرسایش توسعه آبنکدها (جویبارها)^{۹۷} انطباق می‌یابد. البته، این امر ممکن است گاهی اوقات پیش از تجزیه و تحلیل‌های کمی با استفاده از نظریه کاتاستروف گسترده یا رایج شوند؛ کار گراف، نشان داد که چنین رویکردی ممکن است امکان‌پذیر باشد. پاسخ‌های غیر خطی در سیستم هم توسط تجزیه و تحلیل سیستم‌ها و هم ترکیب سیستم‌ها قابل مشاهده هستند، و تکنیک‌ها نیز بایستی به منظور تعیین ویژگی‌های مهم تغییرات کیفی محیطی از طریق مدل‌های پیش‌بینی پارامترها برای طرح‌های خود بازگشتی مورد استفاده قرار گیرند تا آگاهی ما جهت تعیین فعالیت فرایندهای پایدار و پیش‌رونده تکمیل گردد. اتخاذ رویکرد سیستمی، ساختار کلی که در آن مدل‌های ژئومورفولوژیکی می‌توانند تنظیم شوند^{۹۸} را ارایه می‌نماید. استفاده از مدل‌های دقیق آزمایش شده، می‌تواند برای ژئومورفولوژیست‌ها ابزار قدرتمندی فراهم آورد تا مشکلات احتمالی را، بویژه در مناطقی که دستکاری انسان در سیستم‌های طبیعی وجود دارد، رفع نماید.



نگاره ۴: یک سیستم به نمایندگی از ساختمان مدل (از بنت و چورلی، ۱۹۷۸، ایخوف^{۹۹}، ۱۹۷۴)

برآوردهای مدل خود بازگشت از رگرسیون حداقل مربعات برآورد مشتق شده است؛ برآورد مدل تکامل پارامتر غیر خطی با استفاده از فیلتر ساج-هاسا^{۱۰۰} مشتق شده است، که مقدار هر پارامتر a_i^t را در زمان t می‌دهد به عنوان مثال:

$$a_1^t = a_1^{t-1} + n_1^t \quad a_2^t = a_2^{t-1} + n_2^t$$

۲- شاخه‌های اصلی پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی

چورلی (۱۹۶۶) شاخه‌های اصلی فعالیت‌های ژئومورفولوژیکی را شرح داده است (نگاره ۷). بررسی و آزمون این شاخه‌ها شامل مراحل در ارتباط با هم و مطابق با روش علمی قیاسی می‌باشد (نگاره ۱) که نشان می‌دهد روش‌های گوناگون به منظور پژوهش برای ژئومورفولوژیست‌ها در دسترس می‌باشد. در واقع اگر مدل‌ها به درستی مورد ارزیابی قرار گیرند ممکن است تمام این رویکردها مورد نیاز باشند. طرح چورلی به درستی، کار نظری را از مرحله گردآوری اطلاعات جدا نموده است: اگر رویکرد قیاسی به درستی دنبال شود

به راحتی می‌توان مورد بررسی قرار داد. سوم اینکه، سیستم‌ها ذاتاً کارکردی هستند، یعنی توان عملیاتی ماده و انرژی را با هم ترکیب می‌نمایند، به طوری که سیستم تنها یک چارچوب ندارد بلکه یک واحد عملیاتی (عملکردی) پویا می‌باشد. سرانجام، بسیاری از سیستم‌های فیزیکی توسط ساز و کارهای پس‌خوراند منفی اداره می‌شوند که تغییرات را محدود نموده و پایداری سیستم بدست می‌آید. سیستم‌ها نیز می‌توانند به وسیله معادلات تفکیک شوند به طوری که در آن محور خروجی Y به عنوان تابعی از ورودی X می‌باشد و اپراتورها و پارامترها ممکن است بر اساس عملکرد ورودی تخمین زده شوند. بنت و چورلی^{۸۳} (۱۹۷۸) مشاهده نمودند که فرم معادلات بر اساس دانش شخصی است که پژوهشگر از سیستم بدست آورده و در مرحله دوم براساس اصول فیزیکی و ریاضی می‌باشد. نگاره ۴ نشان دهنده توسعه (الف) یک انگاره، مقدم بر متغیرهای درگیر (دانش ساختاری) و (ب) دانش اندازه‌گیری استقرایی از طریق نمونه‌برداری متغیرها در طبیعت می‌باشد. این امر به ارایه یک مدل نظری قوی از سیستم منجر شد (بنت و چورلی، ۱۹۷۸).

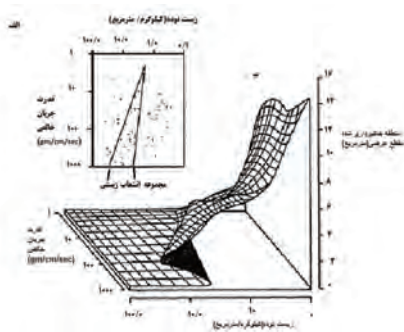
به هر حال، چنین رویکرد مطلوبی ممکن است بندرت این دو مؤلفه را با موفقیت در مدل جغرافیای طبیعی به هم وصل (مرتبط) نماید. در عوض، به عنوان مثال آمورچو و هارت^{۸۴} (۱۹۶۴) فرض کردند که سیستم‌های پیچیده می‌توانند توسط تجزیه و تحلیل سیستم‌ها (استفاده از توابع ریاضی در ارتباط با X و Y بدون داشتن دانش دقیقی از فرایندهای فیزیکی) یا ترکیب سیستم‌ها، (استفاده از اطلاعات دقیقی از فرایند و ارتباط سیستم‌های مشاهده شده) به آسانی تجزیه و تحلیل شوند. ما در حال حاضر شاهدیم که روند فعلی در جغرافیای طبیعی بر ترکیب سیستم‌ها^{۸۵} تأکید دارد، و تکنیک‌های توضیح داده شده در این متن تا حد زیادی به بهبود و افزایش توانایی ما برای ترکیب چنین سیستم‌هایی مربوط می‌شود. به هر حال، چنین تأکیدی بایستی باعث گردد تا تعصب ما در قضاوت در مورد تجزیه و تحلیل سیستم‌ها تأثیر بگذارد. بنت و همکاران^{۸۶} (۱۹۷۶) در تجزیه و تحلیل غلظت گوگرد به عنوان سری زمانی و در مرتبه دوم بدست آوردن یک مدل خود برگشتی^{۸۷} از طریق رابطه زیر:

$$Y_t = a_1 Y_{t-1} + a_2 Y_{t-2} + \epsilon_t \quad (1)$$

و ردیابی تغییرات در a_1 و a_2 در طول زمان، نشان دادند که ماهیت آن در سیستم غیر خطی است (نگاره ۵). همچنین، پاسخ‌های غیر خطی می‌توانند در شرایط چارچوب ترکیب سیستم‌ها مدل‌سازی شوند. گراف^{۸۸} (۱۹۷۹-۱۹۸۳) تغییر آستانه‌ها را در تشکیل جویبارها با استفاده از نظریه کاتاستروفی^{۸۹} نشان داده است. نگاره ۶ نشان می‌دهد که ترانشه‌زنی^{۹۰} عمده، با زیست‌توده^{۹۱} کم و قدرت جریان خالص بالا، رخ می‌دهد. اما در مقادیر متوسط ممکن است تعادل حالت پایدار در دشت‌های سیلابی فرسوده یا فرسوده نشده^{۹۲} وجود داشته باشد. با قدرت کم جریان و پوشش گیاهی خوب، دشت‌های سیلابی بتدریج هموار^{۹۳} می‌گردند. تغییر لندفرم ممکن است پیچیده باشد: در یک سطح آستانه قدرت خالص جریان یا زیست‌توده، می‌تواند از حالت نهشته‌گذاری به حالت فرسایش‌گری جهش^{۹۴} یابد؛ همچنین بازگشت می‌تواند روی دهد، هر چند چنین تغییراتی معمولاً پسمانده^{۹۵} هستند. در هر حالت ثابت (پایدار)، ممکن است نوسانات کوچک در فرم یا قالب سیستم روی دهد. بنابراین، نظریه کاتاستروف با شرایط مخالف تعادل و عدم تعادل^{۹۶}، تغییرات تدریجی



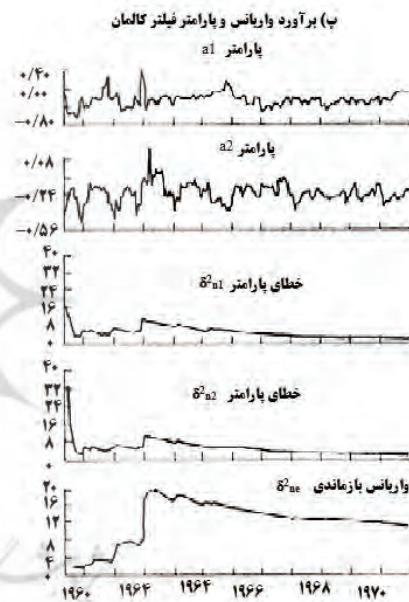
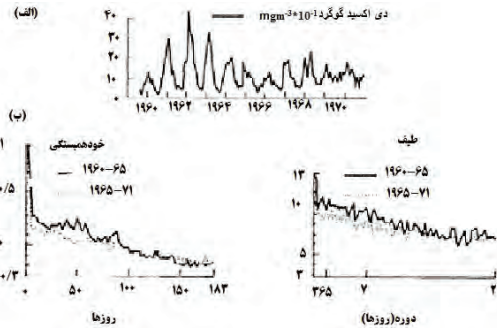
چنین تقسیم‌بندی لازم است، اگر چه همان طور که اشاره شد، چنین تقسیم‌بندی دقیقی ممکن است در طی دوره آزمایشات «اکتشافی» امکان‌پذیر نباشد.



(از بنت و چورلی، ۱۹۷۸؛ بنت و همکاران، ۱۹۷۶)

نگاره ۶: فاجعه کاسپ^{۱۰۳} از توسعه جویبارها در دامنه جبهه کلرادو توسط داده‌های تجربی تعریف شده است: (الف) توزیع سایت‌های نمونه‌برداری شده (ب) سطح فاجعه. ترانسه‌زنی عمده در داخل و به سمت راست مجموعه انشعاب رخ می‌دهد. توجه داشته باشید که محور دستگاه مختصات (الف) رو به پایین افزایش می‌یابد به طوری که بعد دوم نمودار در همان مسیر نمودار (ب) است (گراف، ۱۹۷۹).

دون^{۱۰۴} (۱۹۸۱) اشاره می‌نماید که «به برنامه‌های اندازه‌گیری میدانی که داده‌های حساس و حیاتی مورد نیاز برای مدل‌سازی را تولید خواهند نمود نیاز است و نه فقط داده‌هایی که بسیار آسان به دست می‌آیند. چنین برنامه‌ریزی‌ای مستلزم آن است که از همان ابتدا، مطالعه بایستی توسط شخصی ماهر هم در نظریه و هم در کار میدانی یا توسط مشارکت چنین منافی طرح شده باشند». شاخه‌های بدست آوردن داده، که توسط چورلی شناسایی شده‌اند بخش‌های یکسانی از پژوهش‌های ژئومورفولوژیکی را نشان نمی‌دهد. در طول غلبه زمان‌سنجی تخریب و فرسایش، داده‌های بدست آمده عمدتاً توسط مشاهدات میدانی کیفی و یا از طریق تجزیه و تحلیل نقشه ذهنی یا موضوعی حاصل شده‌اند. بکارگیری روش‌های آماری در ژئومورفولوژی نیازمند داده‌های کمی است، به طوری که این رویکرد منجر به گردآوری مقدار زیادی از داده‌های میدانی شده است. کارهای بسیاری نیز به تجزیه و تحلیل عددی نمونه‌های میدانی در آزمایشگاه بویژه روش‌های بررسی مقاومت مواد، اندازه دانه رسوبات، و تجزیه و تحلیل شیمیایی رسوبات و نمونه‌های آب اختصاص داده شده است. شاید یکی از راه‌هایی که بیشتر نادیده گرفته شده است شامل شبیه‌سازی‌های کنترل‌شده آزمایشگاهی^{۱۰۵} از نمونه‌های میدانی باشد. چنین آزمایش‌هایی اجازه می‌دهند تا روابط علت و معلولی جزئیات بسیاری از متغیرهای مستقل، که در زمینه روش بکار گرفته شده می‌تواند بسیار ناشناخته یا غیر قابل کنترل باشند، مورد بررسی قرار گیرند (برای مثال: آب‌وهوا، سنگ بستر، خاک، توپوگرافی). همچنین اگر به طور دایم در آزمایشگاه به کار گرفته شوند، می‌توانند به طور مؤثر حذف گردند. اگر چه برخی از آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام شده است (به جدول ۲ نگاه کنید)، این شاخه از ژئومورفولوژی نسبتاً مورد غفلت واقع شده است، اگر چه این شاخه نزدیکترین مسیر مطالعات ژئومورفولوژیکی را با مطالعات قیاسی آزمایشگاهی شیمی دانان و فیزیک‌دانان نشان می‌دهد. با این



نگاره ۵: تجزیه و تحلیل روزانه غلظت گوگرد در Kew برای دوره ۱۹۶۰-۱۹۷۱ با استفاده از فیلتر کالمن^{۱۰۲} برای برآورد مقدار آن

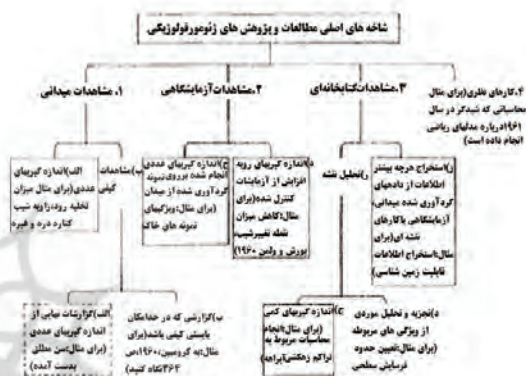
پیشرفت روش علمی قیاسی در ژئومورفولوژی به شیوه‌ای منسجم و یکپارچه صورت نگرفته است. کاربرد اولیه تکنیک‌های کمی به دوره مدل‌سازی یک دهه پیش بر می‌گردد. اخیراً کارهای میدانی زیادی با هدف ارایه داده‌ها جهت توضیح فعالیت فرایندها انجام شده است. به هر حال، چنین کارهای میدانی همیشه به اندازه کافی در نشان دادن ارتباط بین فرم و فرایند موفق نبوده‌اند. علاوه بر این، گردآوری داده‌ها اغلب از سازندگان مدل جدا مانده است، به طوری که توابع تأیید یا بهبود مدل به طور مؤثر و کارآمد انجام نشده است. در واقع، نمی‌توان شک کرد که در برخی از شاخه‌های موضوع، مدل‌سازی تا حد زیادی بدون تأیید مرحله مدل رخ داده است. در مقابل، هر چند بسیاری از داده‌ها با هدف فرضیه‌های فردی گردآوری شده‌اند، ولی از مفاهیم گسترده‌تر موجود در نتایج پرهیز شده است.



۱۹۴۴	لویز ^{۱۲۷}	نقاط تغییر شیب
۱۹۴۵	فریدکین ^{۱۲۸}	پیچان رودها
۱۹۷۱	شوم و خان ^{۱۲۹}	الگوهای کانال
۱۹۷۷ الف	شوم	شبکه زهکشی
۱۹۷۸	موس و والکر ^{۱۳۰}	فرسایش جریانات سطحی
۱۹۸۶	بست ^{۱۳۱}	همشاری (تلاقی) ^{۱۳۱}
۱۹۸۳	نوبل و مورگان ^{۱۳۲}	فرسایش قطره بارانی
دامنه‌ها		
۱۹۴۵	فن بارکالو ^{۱۳۳}	زاویه آرامش ^{۱۳۴}
۱۹۴۵	فن بارکالو	زاویه لغزش اصطکاکی (مالشی) ^{۱۳۳}
۱۹۳۰	تابیر ^{۱۳۷}	برآمدگی یخبندانی
۱۹۷۷	اندرسون و برت ^{۱۳۸}	زهکش‌ها
۱۹۷۸	اندرسون و برت	ردیاب رنگی و تراوایی
۱۹۸۴	ترودگیل و همکاران ^{۱۳۹}	آبشویی
۱۹۷۳	استزام ^{۱۴۰}	وازیه‌ها
۱۹۷۱	دوپلوی ^{۱۴۱}	سنگ شدگی
۱۹۸۴	فن استیجن ^{۱۴۲}	گریزی - لیتی ^{۱۴۲}
یخچالی		
۱۹۱۲	جاگر ^{۱۴۴}	مخروط افکنه‌های پشته یخی
۱۹۵۵	لویس و میلکر ^{۱۴۵}	یخچال‌های دارای خاک کائولین
۱۹۷۷	مایزلز ^{۱۴۷}	سوراخ کاسه‌ای ^{۱۴۶}
۱۹۷۸ ب	والی ^{۱۴۸}	خراشیدگی یخچالی
۱۹۶۳	کلر و ریزمن ^{۱۵۰}	شیر یخچالی ^{۱۴۹}
۱۹۶۴	رامبرگ ^{۱۵۱}	چین خوردگی یخچالی ^{۱۵۱}
ساحلی		
۱۹۶۴	فلیمینگ ^{۱۵۳}	سازنده‌های (تشکیلات) هالالی
۱۹۶۰	مکی ^{۱۵۴}	سدهای شنی برون کرانه‌ای
۱۹۲۷	نیون و ترینر ^{۱۵۵}	دلناها
۱۹۷۴	پوردی ^{۱۵۶}	جزایر مرجانی حلقوی
۱۹۷۷ ب	زامپسون ^{۱۵۷}	تنگه‌ها
۱۹۸۴	بیگ الو ^{۱۵۹}	ریگ‌های سایشی ^{۱۵۸}
متفرقه		
۱۹۶۰ ب	کوینین ^{۱۶۰}	سایش بادی
۱۹۶۳	کوتی ^{۱۶۱}	لایه‌بندی توسط یخبندان
۱۹۴۱	باگنولد ^{۱۶۳}	شکنج‌های بادی ^{۱۶۲}
۱۹۶۵	کین ^{۱۶۵}	کوه‌سازی ^{۱۶۴}
۱۹۷۰	کوک ^{۱۶۶}	سنگفرش
۱۹۳۴	نیتلینتون ^{۱۶۸}	گنبد نمکی ^{۱۶۷}
۱۹۷۷	هورسفیلد ^{۱۶۹}	گسلش
۱۹۷۳	ویتنی و دیتریخ ^{۱۷۱}	سنگ‌های بادبریده ^{۱۷۰}
۱۹۷۷	دیتریخ	سایش غبار ^{۱۷۲}
۱۹۷۲	اسمیت ^{۱۷۴}	دوام ترک‌های گلی ^{۱۷۳}
۱۹۷۰	شوم	پدیده‌های روانه گلی

منبع: آ. اس. گودی، ارتباطات شخصی^{۱۷۵}

حال، چورچ^{۱۰۶} (۱۹۸۴) به مشکل مقیاس‌گذاری ذاتی در چنین آزمایش‌هایی اشاره کرده است. بوژه که در آن، مطالعه جزئیات فرایند به عنوان یک پیش‌نیاز برای تجزیه و تحلیل‌های میدانی مورد نیاز است. باید اذعان کرد که تاکنون روش اصلی گردآوری داده در ژئومورفولوژی مبتنی بر مشاهدات کمی میدانی بوده است. با این حال، سویلیر و توی^{۱۰۷} (۱۹۸۶) به فقدان نسبی مشاهدات میدانی ژئومورفولوژی کاربردی^{۱۰۸} در مناطق خاصی اشاره کرده‌اند. آنها به کمبود داده‌های فرسایش برای زمین‌های آشفته ناشی از معدنکاری سطحی^{۱۰۹} استناد کردند، برای مثال، اگر چه در حال حاضر اطلاعات بیشتری در دسترس است؛ نگاه کنید به جدول ۱ در منبع سویلیر و توی (۱۹۸۶) برای خلاصه‌ای از مطالعات فرسایش عمده و همچنین دیلوی و گابریلز^{۱۱۰} (۱۹۸۰).



نگاره ۷: شاخه‌های اصلی پژوهش‌های ژئومورفولوژی (چورلی، ۱۹۶۶).

جدول ۲: نمونه‌های گزینش شده از شبیه‌سازی‌های آزمایشگاهی^{۱۱۱} در ژئومورفولوژی

سال	نویسنده (گان)	پدیده
هوازذگی		
۱۸۷۹	داوبری ^{۱۱۲}	هوازذگی شیمیایی
۱۹۶۷	مارتینی ^{۱۱۳}	هوازذگی یخبندانی
۱۹۸۶	گودی ^{۱۱۴}	هوازذگی نمکی
۱۹۸۵	اسپرلینگ و کوک ^{۱۱۵}	هوازذگی نمکی
۱۹۳۳	بلک‌ولدر ^{۱۱۶}	هوازذگی آفتاب زدگی
۱۹۶۷	ویتنی و بری وور ^{۱۱۸}	سنگ شیاردار/ شیار سنگی ^{۱۱۷}
۱۹۷۷	ویلیامز و یالون ^{۱۱۹}	تپه‌های قرمز
۱۹۷۶	پاتون و همکاران ^{۱۲۰}	پودزولی شدن
۱۹۷۲	تورستسون و همکاران ^{۱۲۱}	زون هوازده و سیمانی شدن سطح
۱۹۷۷	گلیو ^{۱۲۲}	زون اشباع
۱۹۷۷	گلیو ^{۱۲۲}	شیار انحلالی
۱۹۷۶	کودی ^{۱۲۳}	پوسته‌های ژیبسی
۱۹۸۴	پیزارت و لاوتریدو ^{۱۲۴}	مرطوب نمودن و خشک نمودن
۱۹۸۴	وان ویلیت-لانتو و همکاران ^{۱۲۵}	ساختارهای یخبندان ذوب
رودخانه‌ای		
۱۹۱۴	گیلبرت ^{۱۲۶}	جابجایی رسوبات رودخانه‌ای



۳- نقش تکنیک‌ها در گردآوری داده‌ها

هدف هرگونه تبیین علمی، توانایی لازم جهت اندازه‌گیری موفق است. نقش «تکنیک» (یعنی: روش اندازه‌گیری) است که اجازه می‌دهد تا متغیرهای درگیر در یک شیوه دقیق و معین سازگار، کمی شوند. نیاز به کمی‌سازی از این جهت ضروری است که فهم کلی مشکل ذاتاً با توانایی ما برای تعریف عناصر موجود در آن مسأله در ارتباط تنگاتنگ می‌باشد. گفتن اینکه چیزی قابل اندازه‌گیری نیست برابر با پذیرفتن این مطلب است که دانش محدود می‌باشد، و اینکه هر گونه ایده‌ای در آن موضوع می‌بایست مبهم و سردرگم باقی بماند. توانایی اندازه‌گیری، به حل مفهوم کلی یک مشکل کمک می‌کند، به طوری که کمیت به عنوان مخالف با کیفیت در نظر گرفته نشده بلکه بیشتر شامل بهبود و تکمیل نمودن آن می‌شود.

پس از فراهم نمودن نیاز به اندازه‌گیری، بکارگیری آن برای اندازه‌گیری‌های معتبر مهم است. هاروی (۱۹۶۹ ب) معیار اندازه‌گیری معتبری را به عنوان یکی از معیارهایی که برای اندازه‌گیری فرض شده، تعریف کرده است. ساختار نظریه است که تعریف موضوع، هدف یا ویژگی‌هایی را که برای اندازه‌گیری مورد نیاز است، تعیین خواهد نمود. شیوه اندازه‌گیری بایستی هدف را با چنین تعریفی، به طوری که امکان پذیر باشد منعکس نماید؛ بدون اندازه‌گیری موفق، پیامدهای آزمون‌های آماری بر روی فرضیات، ناگزیر می‌بایست ناکافی یا نامناسب باقی بماند.

بنابراین شیوه اندازه‌گیری بایستی به صورت مجموعه‌ای از قوانین به منظور تولید داده‌های سازگار تعریف شوند. در بسیاری از موارد، قوانین اندازه‌گیری پیش تر از این به خوبی ایجاد شده‌اند، برای مثال، معیارهای اندازه‌گیری ساده طول و وزن پیش‌تر ساخته شده‌اند. به هر حال، برای شیوه‌های پیچیده‌تر، روش‌های اندازه‌گیری ممکن است بد تعریف شوند، و روش بکار گرفته شده ممکن است کاملاً معتبر نباشد به طوری که ممکن است ویژگی‌های موجود در تعریف متغیر را به طور دقیق اندازه‌گیری ننمایند. حتی اگر این روش معتبر باشد، خطاهای درگیر در عمل اندازه‌گیری ممکن است به این معنی باشد که داده‌ها برای استفاده در آزمون‌های آماری پیچیده، مناسب نیستند. بنابراین، حتی در علوم فیزیکی همچون ژئومورفولوژی، هنوز نیاز به توسعه روش‌های معمولی اندازه‌گیری در مورد متغیرهای ویژه تعریف شده در رابطه با موضوع وجود دارد. بنابراین، بایستی به منظور استفاده از تکنیک‌های خاص مراحل به طور دقیق توصیف و توضیح داده شوند، و در صورت لزوم، برای ایجاد یا ساختن آن، بایستی تجهیزات و اطلاعات صحیح بدست آمده فراهم باشند. آنچه که در توسعه هر تکنیکی ممکن است به کنوانسیون تأسیس تبدیل شود، این است که اندازه‌گیری بدون ابهام و دقیق ویژگی‌های متغیر درگیر، بایستی مورد توجه قرار گیرند. برای اندازه‌گیری مؤثر به درک تحلیلی ژرف و اندیشه قابل توجه در مورد مسایل و خطاهای درگیر در ساخت اندازه‌گیری نیاز است. با وجود جدایی ضمنی نظریه، تعریف، اندازه‌گیری، طبقه‌بندی و تأیید در رویکرد قیاسی (نگاره ۱)، این امر غیر ممکن است، برای اینکه در حقیقت آنها کاملاً از هم جدا هستند. تعریف متغیر برای اندازه‌گیری در یک مطالعه بایستی منطقاً پیش از فرایند اندازه‌گیری صورت گیرد. اما هر تعریف، به

احتمال زیاد توسط دانش اولیه با روش‌های اندازه‌گیری که در دسترس هستند، شناخته می‌شود. در واقع، ساختار اولیه نظریه یا مدل ممکن است تا حد زیادی به محدودیت‌های عملیاتی شناخته شده پیش از استفاده، وابسته باشد - چه فعالیت‌هایی مورد نیاز است، در واقع چه ابزار و اقداماتی برای استفاده پژوهشگر که در دسترس هستند مورد نیاز است، و تحت چه شرایطی مشاهده می‌شوند. بنابراین، هر رویکرد عملیاتی بایستی با یک پژوهش یا رویکردی علمی همراه باشد، که بتواند یک اتصال پرهیز ناپذیر بین نظریه، اندازه‌گیری و آزمون‌های آماری تولید کند، و در نهایت نتایج و نتیجه‌گیری^{۱۷۶} به دست آمده را کنترل نماید (نگاره ۴). آنچه که به طور ویژه برای ژئومورفولوژیست‌ها مهم است، توانایی اندازه‌گیری متغیرهایی است که اغلب، در هر مطالعه به عنوان عامل محدود کننده به شمار می‌آیند. هنگامی که یک تکنیک جدید در دسترس باشد، پس تمام فرایند علمی می‌تواند به سطح بالاتری از پژوهش و تبیین برسد.

به منظور اندازه‌گیری مؤثر به ارتباط نزدیک‌تری نیاز می‌باشد و آن نیازمند طرح آزمایشی دقیقی است. با این وجود تعداد کمی از ژئومورفولوژیست‌ها توجه بیشتری را به اندازه‌گیری‌های دقیق در نظر گرفته‌اند (برای مثال اسلایمارکو^{۱۹۸۰، ۱۷۷}). جورج (۱۹۸۴) نشان داد که یک آزمایش ساختار یافته به درستی می‌تواند ویژگی‌های مشخص گوناگونی را ارایه نماید، که از طریق روش قیاسی در نگاره ۱ نشان داده شده است. آنها عبارتند از:

- (الف) مدلی مفهومی از فرآیندها یا روابط مورد علاقه، که از طریق آزمایش، پشتیبانی و یا رد می‌شوند؛
- (ب) فرضیه‌های ویژه که توسط نتایج آزمایشگاهی تأیید یا رد می‌شوند؛
- (ج) تعریف ویژگی‌های صریح و روشن مورد نظر و عبارات مؤثر که اندازه‌گیری می‌شوند؛
- (د) برنامه رسمی اندازه‌گیری، که تحت شرایط کنترل شده ساخته شده است تا اطمینان حاصل شود که تنوع باقی مانده تحت فرضیه پژوهش قابل پیش‌بینی می‌باشد؛
- (ر) طرح تعیین شده برای تجزیه و تحلیل اندازه‌گیری‌ها که احتمال آن در قسمت (ب) مشخص می‌شود؛ و
- (ه) سیستم مدیریت داده که برای این منظور طراحی شده است.

جورج استدلال می‌کند که بر این اساس کارهای ژئومورفولوژی بسیار اندکی به درستی واجد شرایط آزمایشگاهی هستند. اکثر مطالعات میدانی^{۱۷۸} بیشتر به صورت «مطالعات موردی»^{۱۷۹} می‌باشند (یا به عبارت دیگر، یعنی: بیشتر مطالعات میدانی چیزی بیش از مطالعات موردی نیستند)، اگر چه باید گفت که این کار تجربی ممکن است ارزش بزرگی را به عنوان پایه ای برای تدوین نظریه و یا برای بررسی مدل‌های مفهومی داشته باشد. با این حال، تست چنین مفاهیمی لازم است.

این امر ممکن است در ابتدا با استفاده از آزمایش‌های «اکتشافی»^{۱۸۰} که عناصر ساده کنترل را ترکیب می‌کند، انجام شود. در صورت موفقیت آمیز بودن، این امر باید توسط آزمایشات تأییدی، که لزوماً شامل طراحی تجربی، تمرکزی محدود بر روی موضوع مورد علاقه و ترجیحاً بر روی موقعیت می‌باشد، مشخص شوند. جورج (۱۹۸۴) شرح کاملی از انواع کنترل‌های



آزمایشگاهی که ممکن است به کار گرفته شوند را ارایه نموده است.

۴- کاربرد مدل‌های ژئومورفولوژیکی

آزمون‌های مهم نیاز به استفاده از روش علمی قیاسی و کاربرد موفقیت آمیز مدل‌های تولید شده را دارند. در ژئومورفولوژی، چنین کاربردی نه تنها شامل دستیابی صرفاً آکادمیک به تبیین توسعه لندفرم است، بلکه به طور فزاینده‌ای، به کاربرد جنبه‌های موضوع بستگی دارد. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در ژئومورفولوژی مدت طولانی است که بکار گرفته شده‌اند (جدول ۱). سرعت و ظرفیت رایانه‌های مدرن باعث پیشرفت نسل جدیدی از مدل‌های ریاضی پیچیده و فیزیکی واقع‌گرایانه شده است. چنین مدل‌هایی هنگامی که نوشته و کالیبره شوند، ممکن است به دو روش مورد استفاده قرار گیرند.

نخست اینکه، آنها می‌توانند نشان دهند که چگونه لندفرم‌های موجود ممکن است با توجه به مفروضات داده شده در مورد نرخ فرایندهای عامل به تکامل مورد انتظار برسند (کیرک بای، ۱۹۱۶). نزدیک‌ترین اتحاد به این، بازسازی توالی لندفرم‌های گذشته است؛ کیرک بای (۱۹۸۴) توالی تکاملی توسعه شیب را در پشت زبانه‌های ساحلی پیش‌رونده در ویلز جنوبی^{۱۸۱} که توسط ساویگیار^{۱۸۲} (۱۹۵۲) به عنوان اصل شرح داده شده بود را شبیه‌سازی نموده است. دوم، شبیه‌سازی را می‌توان به منظور کشف و آزمایش ساختار نظری مدل انجام داد. با توجه به پیچیدگی بیشتر سیستم‌های ژئومورفولوژی، استفاده از یک مدل شبیه‌سازی ممکن است در واقع جنبه‌های جدیدی در مورد روشی که در آن سیستم عمل می‌کند را مشخص نماید و ممکن است سؤالات جدیدی مطرح و به بررسی آنها پرداخته شود (برت و بوچر^{۱۸۳}، ۱۹۸۵).

ژئومورفولوژیست‌ها مسیری را آغاز کردند و تلاششان بر این است تا توانایی راه‌حل‌های موفقیت آمیز تولید شده برای حل مشکلات با استفاده از مدل‌هایی که به خوبی ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند را نشان دهند. برای پیشرفت و تقویت بیشتر پایه این مدل باید به مشارکت بیشتر در این زمینه اجازه داد. بیشتر بودجه پژوهش‌های ژئومورفولوژی ممکن است به طور فزاینده‌ای در ارتباط با مشکلات خاصی باشد، به طوری که ممکن است توانایی محض این موضوع برای باقی ماندن و پیشرفت، شامل مشارکت بیشتر در مسائل کاربردی باشد.

به هر حال، به نظر می‌رسد در این شکی نیست که بررسی لندفرم‌ها و فرآیندها باید در درون برترین موضوع باقی بماند. مدل‌ها می‌توانند کاربرد عمومی داشته باشند، در حالی که یک راه‌حل منحصر به فرد برای هر مشکل فردی ممکن است در یک وضعیت کاملاً تازه کمتر مورد استفاده قرار گیرد. همچنین قدرت پژوهش‌های محض تا حدودی در توانایی آنها در برخورد با موضوعات نهفته است، گرچه به نظر نمی‌رسد بلافاصله به آن مربوط باشد، ولی ممکن است به عنوان یک نتیجه از پیشرفت‌های جدید باشد. مثال مهم این نوع از کاربرد، نیاز سریع به اطلاعات درباره فرآیندهای خاک و دامنه‌های مجاور یخچالی است تا باعث شوند خط لوله شمال کانادا با موفقیت ساخته شود. بسیاری از پژوهش‌های محض که در زمینه

سولیفلکسیون و یخبندان هستند، شاید به طور غیر منتظره، برای انجام چنین پروژه‌هایی محوریت یابند (به عنوان مثال به ویلیامز^{۱۸۴}، ۱۹۸۶ نگاه کنید). به هر حال، این حاکی از این نیست که فرایند حل مسئله باید نقش تابع یا واسطه را بازی نماید؛ بلکه، چنین اموری باید، خروجی‌های سودآوری را برای استفاده از بسیاری از مدل‌های ژئومورفولوژی فراهم سازند. اما ظهور مشکلات جدید ممکن است باعث هدایت پژوهش‌ها به مناطق جدید شود، برای مثال، رشد موضوعات مورد علاقه در ژئومورفولوژی ساحلی در انگلستان پس از طغیان آب و بالا آمدن سطح آن در سال ۱۹۵۳، توسط کارهای جی. کی. گیلبرت^{۱۸۵} در بررسی نواحی باختری ایالات متحده آمریکا و نیز توسط کارهای آر. ای. هورتون^{۱۸۶} نشان داده شده است. همچنین به عنوان مثال نقش و قلمرو ژئومورفولوژی کاربردی، در کارهای کوک و درونکمپ^{۱۸۷} (۱۹۷۴) مورد بحث قرار گرفته است.

زمینه‌های اجرایی ژئومورفولوژی کاربردی ممکن است در مفهوم سیستم کنترلی مشاهده شده باشند (چورلی و کندی، ۱۹۷۱،^{۱۸۸}). در چنین سامانه‌ای، مداخله در سیستم فیزیکی فرآیند- پاسخ به عنوان یک عنصر واحد در درون سیستم تصمیم‌گیری اجتماعی و اقتصادی بزرگتر دیده می‌شود. بیشتر سیستم‌های انسانی تحت سلطه سازوکارهای پس‌خوراند مثبت^{۱۸۹} هستند که باعث تغییر مداوم آنها می‌شود.

در گذشته، مداخله در سیستم‌های فیزیکی، اغلب با تغییر شتابنده‌ای که در نهایت به نابودی سیستم منجر می‌شده، همراه بوده است. به عنوان مثال کاسه گرد و غبار^{۱۹۰} ایالات متحده در دهه ۱۹۳۰.

سیستم‌های فیزیکی طبیعی معمولاً تحت تسلط پس‌خوراند منفی^{۱۹۱} قرار دارند که باعث تنظیم سیستم^{۱۹۲}، حفظ تعادل^{۱۹۳} و جلوگیری از تغییر خود تخریبی^{۱۹۴} رویدادهای در حال وقوع می‌شود، هر چند کینگ^{۱۹۵} (۱۹۷۰ ب) در مقیاس‌های معینی به ویژه در سیستم‌های یخچالی نشان داده که ممکن است پس‌خوراند مثبت غالب باشد. بنابراین ژئومورفولوژیست‌ها باید اطمینان نمایند که هر گونه مداخله در سیستم‌های لندفرم‌ها با ملاحظات لازم تنظیم شوند به طوری که به بهره‌برداری موفقیت آمیز از سیستم منجر شود، نه اینکه باعث فروسایبی و تخریب^{۱۹۶} آن گردد. بنابراین، بایستی چنین مداخله‌ای در مدل‌های ژئومورفولوژیکی اثبات شده باشند، به طوری که بتوانند با دقت، تاثیر احتمالی هر گونه مداخله برنامه‌ریزی شده‌ای را در سیستم، پیش‌بینی نمایند.

پی‌نوشت

- ۱- این متن ترجمه‌ی بخشی از قسمت اول کتاب: "Geomorphological Techniques" تألیف آندره گودی و همکاران ویرایش دوم (سال ۲۰۰۵) می‌باشد.
(Goudie Andrew, Malcolm Anderson, Time Burt, John Lewin, Keith Richards, Brian Whalley & Peter Worsley, Geomorphological Techniques, Routledge, Second Edition, 2005)
- 2-William Morris Davis
- 3-Cycle of Development
- 4-Chorley
- 5-Stoddart
- 6-Kuhn



- 60-'Dynamic' Metastable Equilibrium
- 61-Qualitative Areas
- 62-Chandler and Pook
- 63-Pleistocene Water Table Conditions
- 64-Hillslope Stability
- 65-Soil Creep
- 66-Landslide
- 67-Methods of Dating
- 68-Modelling of Long-term Landform Development
- 69-Schumm &Khan
- 70-Pingos
- 71-Palsen
- 72-Ice-wedge Casts
- 73-Giant Polygons
- 74-Tufa Mounds
- 75-Oriented
- 76-Goudie
- 77-Geomorphological 'Revolution'
- 78-Systems Theory
- 79-Kuhnian
- 80-Process-response Models
- 81-Kirkby
- 82-Stoddart
- 83-Bennett and Chorley
- 84-Amorocho and Hart
- 85-Systems Synthesis
- 86-Bennett et al
- 87-Autoregressive Model
- 88-Graf
- 89-Catastrophe Theory
- 90-Trenching
- 91-Biomass
- 92-Eroded or Uneroded Floodplains
- 93-Aggrade
- 94-Jump
- 95-Hysteretic
- 96-Equilibrium and Disequilibrium
- 97-Arroyo
- 98-Formulated
- 99-Eykhoff
- 100-Sage-Husa Filter
- 101-'Expoloratory' Experimentation
- 102-Kalman Filter
- 103-Cusp
- 104-Dunne
- 105-Controlled Laboratory Simulation
- 106-Church
- 107-Soulliere and Toy
- 108-Applied Geomorphology
- 109-Lands Disturbed bySurface Mining
- 110-De Ploey and Gabriels
- 111-Laboratory Simulation
- 112-Daube'e
- 7-Cohen
- 8-Horton
- 9-Strahler
- 10-Contemporary Processes
- 11-Scientific
- 12-Deductive Route
- 13- Explanation
- 14-Quantiative Techniques
- 15-Experiment and Observation
- 16-Basis
- 17-Denudation Chronology
- 18-Process
- 19-Induction
- 20-Deduction
- 21-Baconian
- 22-Classification
- 23-Unique Data Set
- 24-Verification
- 25-Harvey
- 26-Anglo-American
- 27-Evolutionary Stages
- 28-Youthful
- 29--Mature
- 30-Old
- 31-Mechanism
- 32-Exact Stage
- 33-Individual Stages
- 34-Process-response Systems
- 35-Paradigm
- 36-Statistical Analysis
- 37-Melton
- 38-Chorley
- 39-Origin and Testing of Theories
- 40-Observation and Logic
- 41-Falsify Theories
- 42-Falsification
- 43-Verification
- 44-Burt and Walling
- 45-Experiments
- 46-Instruments or Techniques
- 47-Field or Laboratory Facilities
- 48-Unsuccessful Feedback Loop
- 49-Sensu stricto
- 50-Geomorphological Processes
- 51-Dunne&Black
- 52-Mackin
- 53-Fluvial Geomorphology
- 54-Anderson&Burt
- 55-Schumm
- 56-Thresholds
- 57-Progressive Change
- 58-Episodes of Adjustment
- 59-Episodic Erosion



- 166-Cooke
167-Salt domes
168-Nettleton
169-Horsfield
170-Ventifacts
171-Whitey and Dietrich
172-Dust abrasion
173-Mud clast durability
174-Smith
175-Source:A.S Goudie, personal communication
176-Results and Conclusions
177-Slaymaker
178-Field Studies
179-'Case Studies'
180-'Exploratory'Experiments
181-South Wales
182-Savigear
183-Burt & Butcher
184-Williams
185-G.K.Gilbert
186-R.E.Horton
187-Cooke and Doornkamp
188-Chorley & Kennedy
189-Positive-Feedback
190-Dust Bowl
191-Negative Feedback
192-Regulates The System
193-Maintaining Balance
194-Self-Destructive Change
195-King
196-Degradation
- 113-Martini
114-Goudie
115-Sperling and Cooke
116-Blackwelder
117-Rillensteine
118-Whitney and Brewer
119-Williams and Yaalon
120-Paton et al
121-Thortenson et al
122-Glew
123-Cody
124-Pissart and Lautridou
125-Van Vlite- Lanoe et al
126-Gilbert
127- Lewis
128-Friedkin
129-Schmm and Khan
130-Moss and Walker
131-Best
132-Confluences
133-Noble and Morgan
134-Angle of repose
135-Van Burkalow
136-Angle of Sliding friction
137-Taber
138-Anderson and Burt
139-Trudgill et al
140-Statham
141-De Ploey
142-Greze-litee
143-Van Steijin
144-Jagger
145-Lewis and Miller
146-Kettle holes
147-Maizels
148-Whalley
149-Glacial
150-Keller and Reesman
151-Glacial folding
152-Ramberg
153-Flemming
154-McKee
155-Nevin and Trainer
156-Purdy
157-Thompson
158-Pebble abrasion
159-Bigelow
160-Kuennen
161-Corte
162-Wind ripples
163-Bagnold
164-Mountain building
165-Kenn