جغرافیا و توسعه شماره ۲۷ تابستان ۱۳۹۱
وصول مقاله : ۱۳۹۰/۵/۱۲
تأیید نهایی : ۱۳۹۱/۲/۲۰
صفحات : ۶۲ - ۵۱

ارگودیسیتی در ژئومورفولوژی

دکتر سیدعلی المدرسی [۱]،دکتر محمدحسین رامشت [۲] ، دکتر علیرضا عباسی [۳]،
دکتر مسعود معیری [۴] ، حسین انتظاری [۵]

چکیده

یکی از مفاهیم بنیادین در ژئومورفولوژی که بسیاری از نظریه‌پردازی‌ها و مدل‌سازی‌ها بر اساس آن استوار شده است، مفهوم زمان است. موضوع مدل‌سازی‌های تاریخی همواره یکی از دغدغه‌های محققان به ویژه ژئومورفولوژیست‌ها بوده است. مفاهیمی چون تغییرات پیشرونده[۶]،پروگروسیونیسم[۷] یونیفورمی تاریانیسم[۸]، آلومتری[۹]، دورجغرافیایی[۱۰]، ارگودیسیتی و... همه از مفاهیم و مدل‌هایی هستند که سعی در بیان نحوه‌ی تحولات ارضی در بستر زمان دارند ولی مبنای کار همه‌ی آن‌ها بر مفهوم نجومی زمان استوار نیست.

در این میان زمان و رابطه‌ی آن با توالی پدیده‌ها موضوع اصلی تحلیل در این زمینه است. مشکل اصلی یک ژئوموفورفولوژیست آن است که معمولاً زمان کافی برای مشاهده‌ی چگونگی پیدایش چشم‌اندازها را در اختیار ندارد. این بدین معنی است که بیان دقیق چگونگی ارتباط میان مشاهدات صورت گرفته در طیّ دوره‌های چندماهه یا چند ساله و تکامل چشم‌اندازها در طول هزاران سال یا بیشتر امری دشوار است. تلاش‌های زیادی در جهت رفع این مشکل صورت گرفته است ویکی از این ترفندها جایگزینی فضا و زمان است. بخشی از مفهوم ارگودیسیتی در ژئومورفولوژی معطوف به چنین موضوعی است.

با توجه به آنکه چنین مفهومی در ادبیات ژئومورفولوژی بویژه ایران مغفول مانده است لذا در این مقاله که برگرفته از یک طرح نظری در دانشگاه اصفهان بوده است سعی شده ضمن ارائه‌ی دقیقی از معنا و مفهوم این واژه در ژئومورفولوژی کاربرد آن در مباحث زمین ریخت‌شناسی تبیین گردد. این مهم با ایجاد فضای مینیاتوری از یک حوضه‌ی آبریز و ایجاد بارش مصنوعی تحقق یافت و در واقع ردیابی تغییرات یک صحنه طبیعی در مقیاس میکرو سبب شد که الگوی تحول در چنین مدلی ارزیابی گردد .

کلیدواژه‌ها : ارگودیک، مدل، آنالوگ، تغییرات پیش‌رونده، تحول چشم‌انداز، ژئومورفولوژی نظری.

۱- استادیار ژئومورفولوژی، عضو هیأت علمی دانشکده عمران دانشگاه آزاد اسلامی یزد (نویسنده مسئول) almodaresi@iauyazd.ac.ir
۲- استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان mrameshat@yahoo.com
۳- استادیار ژئومورفولوژی، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد abbasi.ara@gmail.com
۴- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان m.moayeri@ltr.ui.ac.ir
۵- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی یزد h.entezari@stu.yazduni.ac.ir

6-Progresses changes
7-Progressionism
8-Uniformitarianism
9-Allometry
10-Geographical cycle

مقدمه

روش‌های متعددی در تبیین تحول ناهمواری‌ها و الگوهای تغییر هم در قالب تفکر تکوینی و هم در قالب بینش ژئومورفولوژی فرآیندی و هم در ادبیات تفکر سیستمی وجود دارد که یکی از آنها ایجاد مدل‌های ریاضی بر پایه‌ی برون‌یابی به روش تحلیلی یا شبیه-سازی عددی می‌باشد.

روش دیگر، مدل‌سازی فیزیکی تغییرات چشم‌انداز با استفاده از نمایش سخت‌افزاری واقعیات در مقیاس کوچکتر می‌باشد *(Mosley& Zimpfer, 1976: 20)* رویکرد سوم بر این فرض استوار است که سیر تکوین یک چشم‌انداز ژئومورفیک را می‌توان با تحلیل پدیده-های شکلی موجود در صحنه، بازسازی نمود و لذا می‌توان مشکل زمان را بدین وسیله از معادلات تغییر تکوینی حذف کرد.[۱] با این پیش فرض ما می‌توانیم هر الگوی فرمی را نماینده‌ی یک دوره‌ی زمانی در سلسله مراتب تکوین آن تلقی کنیم و از این‌رو قادر خواهیم بود بر پایه‌ی تنوع اشکالی که در حال حاضر ملاحظه می‌کنیم نتیجه‌گیری‌هایی درباره‌ی تغییرات صورت گرفته در طول زمان انجام دهیم. این روش استدلال که در آن داده‌های نمونه‌گیری شده به‌صورت مکانی جایگزین مجموعه‌های زمانی می‌شوند، غالباً با استفاده از یک مفهوم عاریه گرفته شده از مکانیک آماری، ارگودیک نام گرفته است. ارگو[۲] در زبان یونانی به معنای کار یا انرژی و هودوس[۳] به معنای راه است *(Pain, 1985:8)*.

به عبارت ساده ارگودیسیتی در ژئومورفولوژی عبارت است از مدل سیر تحولات و تغییرات تاریخی یک پدیده به‌طوری‌که بتوان این تغییرات را در مراحل مختلفی طبقه‌بندی نمود.مهمترین ویژگی این تقسیم-بندی مبنا قرار گرفتن متوسط‌های یکسان میزان تغییرات، در طول هر مقطع از دوره تکوین است. این نظریه ابتدا در حوزه‌ی فیزیک مطرح گردید و بولتزمن[۴] برای اولین بار این ایده را فرموله نموده و از آن استفاده کرده است *(Brown,1976:76)* .

پین معتقد بود مفهوم ارگودیسیتی در ژئومورفولوژی برخلاف محاسبات دقیق رقومی در فیزیک و ریاضی بیشتر معطوف به توصیف حالات کمّی است و لذا پیشنهاد کرد واژه‌ی مناسب‌تری را برای آنچه تحت عنوان ارگودیسیتی در ژئومورفولوژی برداشت می‌شود باید در نظر گرفت و او جایگزینی مکان برای زمان، بدون دقت آماری را پیشنهاد کرد[۵] *(Pain, 1985:9)*.

تورنه و براندسن نیز واژه انالوگ فضا زمان[۶] را برای طرح این مفهوم به کار بردند *(Brunsden & Thornes, 1977:33)*. اگرچه مدل‌سازی تاریخ تحول پدیده‌های ژئومورفولوژی به ویژه در چهارچوب مدل‌های تعادلی از مسائل مهم و کانونی در علم ژئومورفولوژی می‌باشند. اما خلق چنین مدل‌هایی به فرضیات بسیاری نیازمند است و معطوف داشتن علل تامه به زمان و عرضی توصیف نمودن دیگر علل تغییر در پدیده‌های ژئومورفولوژی کار دشواریست. از جمله افرادی که توانست مفهوم صحیح ارگودیستی را در ژئومورفولوژی به کار گیرد ملتون است. وی کوشش نمود تا قانون روند تکوین حوضه‌های آبخیز را با بهره‌گیری از تنها حوضه‌های بالغ به عنوان اولین نمونه از یک مدل تعادلی تلفیقی استخراج نماید *(Melton,1985:38)*.

کارتر و چارلی نیز توسعه‌ی حوضه‌ی آبخیز را با استفاده از ارگودیسیته ارزیابی و از معیاری معین برای

۱- در این روش اعتقاد بر این است که اگر یک چشم‌انداز در ۶ مرحله سیر تکوین خود را سپری کند لازم نیست برای رصد ان از ابتدا تا انتها مشاهدات را ثبت و تحلیل نمود بلکه هر مرحله از تکوین فرم شاخصی در صحنه تحول، به-صورت پدیده غالب ایجاد می‌شود که الزاماً همه این فرم‌ها در مرحله‌ی بعدی از بین نمی‌روند و تعداد معدودی از آنها در صحنه چشم‌انداز باقی می‌مانند. حال اگر در مرحله‌ی نهایی یک چشم‌انداز ژئومورفیک ما شاهد اجزاء فرمی متعددی باشیم که البته فرم غالب را تشکیل نمی‌دهند ولی در صحنه وجود دارند، می‌توان هر یک از این فرم‌های باقیمانده را تفکیک و نشان و نمود مرحله‌ای از تکوین قلمداد نمود که در ان دوره حاکمیت غالب با آن پدیده بوده است.

2-Ergo
3-hodos

4-Bultzman
5-Location for time substitution
6-Space-time analog

توالی حوضه‌های آبخیز بهره گرفتند و سپس معیار مذکور را به اندازه‌ی زمانی تبدیل نمودند. بحث آنها بر پایه‌ی این فرضیه استوار بود که ابتدا همه‌ی حوضه‌ها به‌عنوان اولین فاز تکوین مشترک هستند، لذا توالی حوضه‌ها در واقع واحدی برای اندازه‌گیری عمر آنها محسوب می‌شود *(Carter & Chorley, 1961:98)*. در تعدادی از مطالعات انجام شده در رابطه با تکامل ژئومورفیک شیب، بهترین نمونه جایگزینی مکان برای زمان در مفهوم ارگودیسیتی محسوب می‌شود. این روند توسط ساریگیر[1] در مطالعات پیشگامانه‌اش آغاز گردید و توالی نمای شیب در امتداد بخشی از ساحل جنوب‌ولز رامموردبررسی قرارداد *(Sarigear, 1952:18)*. کارسون و نش نیز از جمله افرادی هستند که مفهوم ارگودیسیته را در مدل‌سازی تکوین دامنه‌های صخره-ای پرشیب به کار گرفته و نشان دادند که می‌توان این مدل را از تقریب نمونه فضایی استخراج و عمر آنها را تخمین زد *(Carson, 1971; Nash, 1984:95)*.

یکی از روش‌های دیگر که به بررسی تغییرات در گذر زمان می‌پردازد و به خصوص در زیست‌شناسی مورد مطالعه قرار گرفته، آلومتری است. آلومتری بررسی تغییرات تناسب مرتبط با تغییر در اندازه‌ی کل موجود زنده است و البته متغیّرهای مورد بررسی می‌تواند مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی یا شیمیایی باشند *(Gould, 1966:41)*.

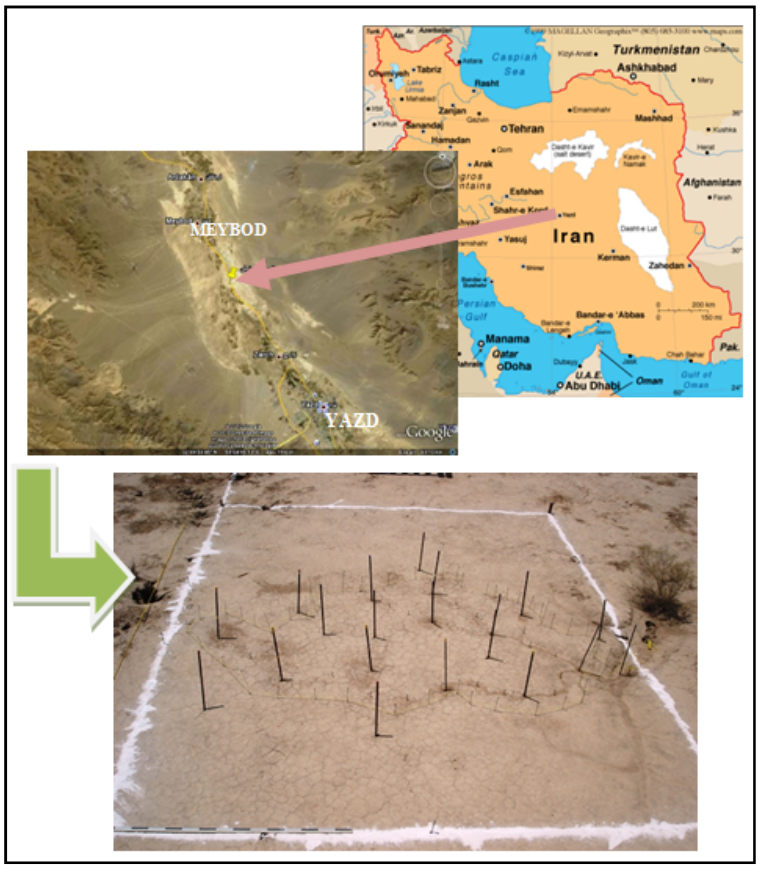
بول *(1975,1977:86)* استفاده از آلومتری در ژئومورفولوژی را ترویج و دنبال نموده است. با این همه مبحث ارگودیسیتی به واسطه دشواری‌های مربوط به اندازه‌گیری‌ها در ادبیات جغرافیایی مغفول مانده و جا دارد در این زمینه کوشش‌های دامنه‌دارتری صورت گیرد. هدف این مقاله که برگرفته از یک طرح نظری در دانشگاه اصفهان است بیشتر معطوف به تشریح مفهوم ارگودیسیته در ژئومورفولوژی است و سعی شده با بهره‌گیری از ایجاد مدل مینیاتوری از یک حوضه آبریز در عرصه طبیعی (منطقه شق[2]دار دشت میبد) و ارزیابی تغییرات آن تحت تأثیر باران مصنوعی، موارد اشاره نشده‌ای از مفهوم ارگو در ژئومورفولوژی تشریح گردد.

مواد و روش‌ها

داده‌های تحلیل شده در این پژوهش مربوط به تغییرات در یک حوضه‌ی مینیاتوری است که با بارش مصنوعی در چهار مرحله تفکیک شده به دست آمده است. لذا در ابتدا به ارزیابی محل مطلوب در منطقه شق‌دار میبد اقدام و یک حوضه‌ی مینیاتوری در شرایط کاملاً طبیعی و بدون هیچ‌گونه دستکاری مصنوعی، با وسعت ۱۰ متر مربع در کیلومتر ۲۵ جاده یزد - میبد در ضلع جنوبی جاده اصلی و با فاصله ۵۰۰ متری از آن انتخاب گردید شکل (۱). بعد از علامت‌گذاری و آماده‌سازی این حوضه نسبت به عکس‌برداری به‌صورت عمودی از حوضه‌ی مینیاتوری به منظور تهیه‌ی نقشه مبنا اقدام شد و برداشت اولیه داده‌های ارتفاعی با استفاده از نصب شاخص، تعین خط تراز مبنا و سنجش ارتفاعی هر یک از شاخص‌های نصب شده با تراز شاخص مبنا انجام گردید، نتایج حاصل در (جدول ۱) درج شده است. سپس اولین مرحله بارش مصنوعی بر روی حوضه بارانده شد و با پایان اولین مرحله‌ی بارش نسبت به برداشت دوم اقدام و این کار تا پنج مرحله ادامه یافت. در مرحله‌ی پنجم میزان تغییرات به صفر میل نمود و علی‌رغم استمرار بارش رسوب قابل ذکری از حوضه خارج نگردید. ادامه عملیات در روز بعد نیز نشان داد که حالت خاصی که اصطلاحاً به آن Steady state گفته می‌شود حادث گشته و پایداری حاکمیت پیدا نموده است. اکنون می‌بایست نسبت به بسط داده-های برداشت شده اقدام می‌شد تا بتوان به جای چهار شکل از حوضه (شکل۲) فرم‌های واسط بین آنها نیز به دست آید.

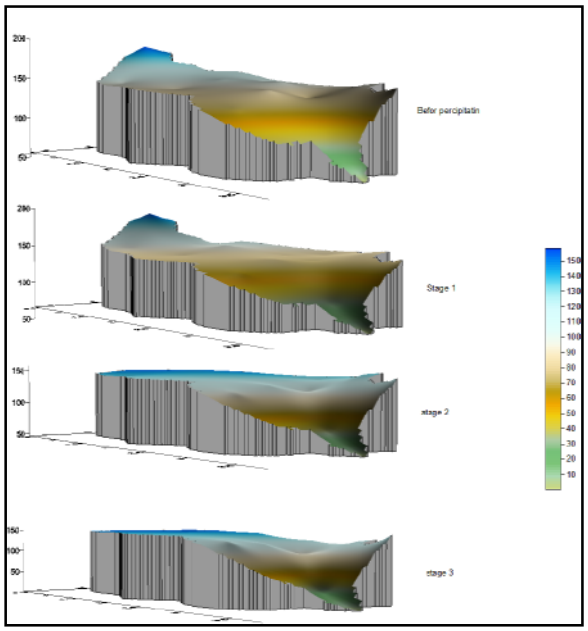
1-Sarigear

2-Shag:Crack
اراضی که در اثر کاهش سطح‌آب زیرزمینی منطق‌های دچار ترک و شکاف‌های بزرگ و کوچک می‌شوند.



شکل ۱: موقعیت حوضه‌ی مینیاتوری در کشور ایران و اراضی شق‌دار میبد

مأخذ: نگارندگان



شکل ۲: تصویر سه بُعدی تغییرات حوضه در چهار مرحله فرسایشی

مأخذ : نگارندگان

در این مرحله با استفاده از فایل‌های با فرمت Grd و پردازش آن در نرم‌افزار Voxler نسبت به نحوه‌ی تغییرات در حوضه به صورت تغییرات پیوسته اقدام گردید. با بسط داده‌ها در این نرم‌افزار، پنجاه فریم از نحوه تغییرات حوضه به دست آمد و تحلیل تصویری و تحلیل زوجی ۵۰ فریم به‌دست آمده در نرم‌افزار DiGeM درقالب تحلیل‌های آماری میسر گردید. تحلیل زوجی بر اساس شاخص‌های آماری ما را قادر ساخت نسبت به محاسبه متوسط تغییرات در هر مرحله از یک‌سو و تفکیک مراحل تحول و فازهای زمانی اقدام گردد.

بحث

ارگودیسیتی در ژئومورفولوژی عبارتست از مدل سیر تحولات و تغییرات تاریخی یک پدیده بطوری‌که بتوان این تغییرات را در مراحل مختلفی طبقه‌بندی نمود. اساس تفکیک مراحل از یکدیگر بر مبنای متوسط میزان تغییرات در هر فاز است به عبارت دیگر مقاطعی که دارای متوسط تغییرات برابری هستند به عنوان یک فاز در نظر گرفته می‌شوند[1] به عبارتی هر پدیده‌ی ژئومورفولوژیک می‌تواند سیر تکوین و تحولش دارای مراحل شاخصی باشد. به این نحو رصد تاریخی که ارائه‌ی مدلی زمانی از سیر تغییر و تحول یک پدیده است، ارگودیسیتی گفته می‌شود و مهمترین ویژگی این طبقه‌بندی برای تحول هر پدیده آن است که میانگین تغییرات در هر دوره یک عدد ثابت و مشخص را نشان می‌دهد لذا هر دوره، یک مرحله از تکوین آن پدیده را تعریف خواهد کرد. به عبارت دیگر در هر دوره، میزان‌تغییرات از میانگین آن دوره تفاوت چندانی ندارد ویا به تعبیری ما می‌توانیم در هر دوره حالت یا مفهوم Steady state را حاکم بدانیم و این به آن مفهوم است که تأثیر زمان را در هر دوره، آنقدر کم کرده‌ایم که عملاً زمان از معادله‌ی تغییرات در آن دوره حذف شده است. این همان جایگزینی زمان و مکان است.[2] زمان به‌زبان ارگودیک هرگز زمان تقویمی ویا نجومی نیست بلکه زمان در ارگودیک بیان دوره‌ای از زمان است که فرآیند خاصی با سرعت تعریف شده‌ای وقوع یافته است و میزان آن تفاوت چندان قابل ملاحظه‌ای با میانگین نرخ تغییرات در آن دوره ندارد. آنچه دیویس در مورد دور جغرافیایی[3] گفته یک ارگودیسیتی است زیرا چهره‌ی خاصی از زمین بیانگر زمان است به عبارت دیگر مکان بیان‌کننده‌ی زمان شده است. اکنون با توجه به مقدمه و توضیحی که در باره مفهوم ارگودیسیته آمد می‌توان به تحلیل اجرای مدل سنجش نرخ تحول در شاخص‌های مختلف یک حوضه‌ی آبریز مبادرت نمود. همانطورکه اشاره گردید مراد از ایجاد چنین مدلی تولید داده‌های بود که بتواند بیانگر تغییرات حادث شده در حوضه باشد. با آغاز انجام اولین مرحله بارش، تغییرات به وجود آمده در صحنه بارش ارزیابی و فاز بعدی بارش ادامه یافت این ارزیابی‌ها تا مرحله‌ی پنجم ادامه یافت ولی در مرحله‌ی پنجم بارش، خروجی حوضه به صفر میل نمود و علی‌رغم طولانی کردن مدت بارش تغییری در خروجی حادث نشد. این عملیات در روز بعد نیز تکرار و همان نتایج به دست آمد. چنین حالتی بیانگر دست‌یابی سیستم به حالت پایداری و یا به عبارتی میل تغییرات به رقوم صفر تلقی می‌شود، جدول (۱). در جدول مذکور اعداد ارتفاعی برحسب میلیمتر بیانگر فواصل اندازه‌گیری شده نسبت به سطح تراز فرضی در مجاور حوزه و مندرج بر میله شابلون می‌باشند و کار برداشت در هریک از فازهای بارش با استفاده از Mobile Gage و قرائت عدد تراز برای هر نقطه انجام شده است.

۱- برای مثال اگر تغییرات چهره فردی ۷۰ ساله را در طول زندگی‌اش رصد نماییم ممکن است با چهار دوره مواجه باشیم که متوسط تغییرات چهره وی در آن چهار دوره دارای میانگین خاصی باشد. مثلاً در دوره‌ی اول میانگین تغییرات چهره وی ۳، در دوره‌ی دوم ۷ ، در دوره‌ی سوم۱۱و در دوره چهارم ۲ باشد. بنابر این تحلیل رصد از تغییرات سالانه چهره این فرد در طول عمرش، مارا به این نتیجه رهنمون ساخت که بر اساس میانگین تغییرات ، فرد مذکور در طول عمر خود چهار مرحله را پشت سر گذارده است. اگرچه در این تحلیل ما صحبت از طول دوره‌ها به سال ننموده‌ایم و ممکن است طول دوره ها نیز با هم برابر نبوده متفاوت باشد ولی قادر خواهیم بود سیر تحول تاریخی تغییرات چهره فرد مذکور را طبقه‌بندی و نام‌گذاری کرده، برای هر دوره ویژگی‌های خاصی را مشخص نماییم.

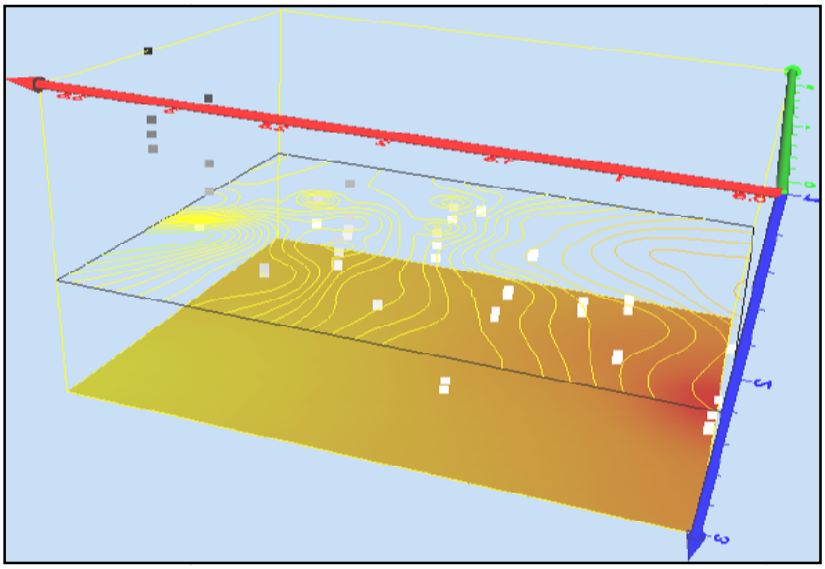
۲- ارگودیسیتی فواصل دوره‌هایی است که متوسط تغییرات در هر دوره برابر است نه اینکه فواصل زمانی دوره تغییر، برابر باشد.

3-Geographical cycle

جدول ۱: بیانگر تغییرات ارتفاعی (برحسب cm) بیست نقطه کنترل در سطح حوزه در مراحل و فازهای بارشی است

ردیف	مختصات X	مختصات Y	تراز ارتفاعی برداشت مرحله اول (خشک)	تراز ارتفاعی برداشت مرحله دوم- بارش ۱	تراز ارتفاعی برداشت مرحله سوم- بارش ۲	تراز ارتفاعی برداشت مرحله چهارم- بارش ۳
۱	3.7342149605	1.2136557579	۲۱/۵	۲۲	۲۲	۲۲
۲	1.6577397918	-0.1870445952	۲۱/۴	۲۲	۲۲	۲۲
۳	0.4332202385	0.1484951514	۲۱	۲۰	۲۰	۲۰/۳
۴	1.0192785051	1.5740711903	۱۹	۲۰	۲۰	۱۹/۶
۵	2.2106451273	2.4178667603	۲۱/۳	۲۱	۲۱	۲۶/۵
۶	3.7580687831	0.7470832502	۳۰	۲۹	۳۱	۳۵/۶
۷	3.4059623954	0.7674530412	۲۶/۵	۲۶/۵	۲۸/۵	۳۳
۸	2.7541290827	1.282517757	۲۳	۲۲/۵	۲۴	۲۶/۵
۹	3.0975055599	1.6026144731	۲۱/۴	۲۱/۵	۲۱/۵	۲۳/۵
۱۰	2.2361543967	1.4687558464	۲۱	۲۲	۲۲	۲۳
۱۱	2.2943537996	1.9692707115	۲۲	۲۲	۲۲	۲۳
۱۲	1.6919899793	1.8325021146	۲۱	۲۰/۷	۲۱	۲۱
۱۳	2.8546436229	0.3470304881	۲۳/۸	۲۳/۵	۲۴	۲۳/۷
۱۴	2.2249206486	0.4151823251	۲۲/۵	۲۲/۵	۲۲/۳	۲۲/۵
۱۵	1.6469930706	0.6905157467	۲۲	۲۲	۲۱/۵	۲۱/۵
۱۶	0.9463921859	0.5296774113	۲۱/۲	۲۱	۲۱/۵	۲۱
۱۷	0.3820949752	1.1484960916	۱۵/۸	۱۵/۵	۱۹/۹	۱۹/۸
۱۸	2.6525700306	0.8988611667	۲۲	۲۲/۲	۲۳	۲۴
۱۹	1.6927667007	1.1863793448	۲۰/۷	۲۰/۵	۲۱	۲۰/۵
۲۰	1.2530330165	1.2202050129	۲۰	۲۰/۵	۲۰/۲	۲۰/۵

مأخذ : نگارندگان



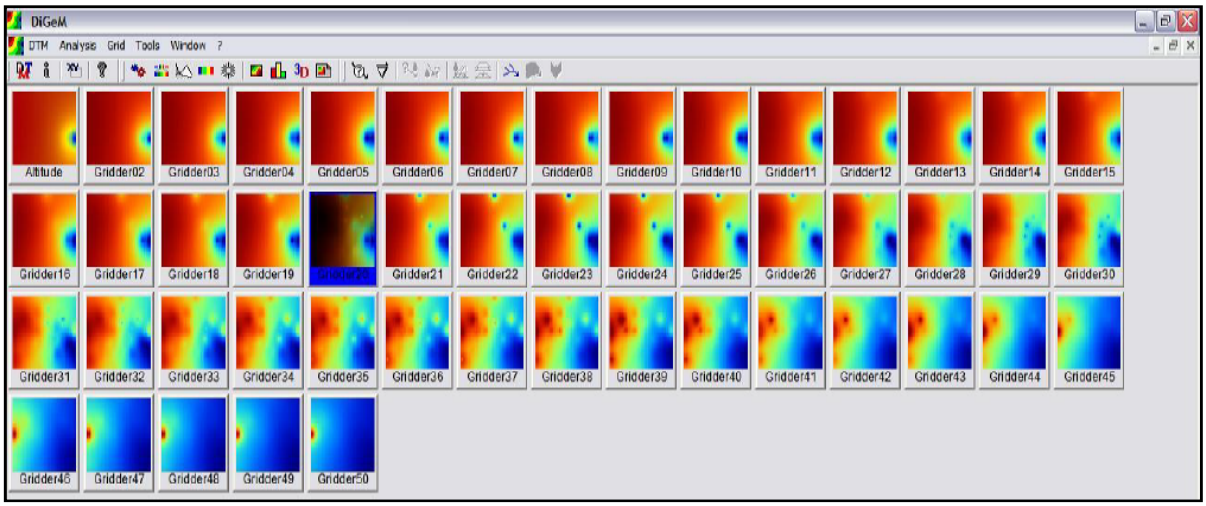
شکل ۳ : نمای داده‌های پیاده‌سازی شده در محیط نرم‌افزار Voxler

مأخذ : نگارندگان

توضیح اینکه، جمع بارش انجام شده روی حوضه از ابتدا تا انتهای مدل ۲۰۶/۵ دقیقه و دبی بارش[۱] Li/s ۰/۵۶۹ محاسبه گردیده است. اکنون با به دست آوردن داده‌های رقومی حوضه در چهارمرحله بارشی می بایست نسبت به بسط این ارقام به ارقام حد واسط اقدام نمود تا بتوان تحولات حوضه در حالت‌های بینابین این چهار مرحله بازسازی شود.

این کار توسط برنامه Voxler[۲] انجام و بسط اعداد به حالت تصویری تبدیل گردید که به صورت پیوسته می‌تواند تمامی تغییرات بین مرحله یک تا چهار را نشان‌دهد (شکل۳). همانگونه که درشکل دیده می‌شود حدکف مکعب نقشه توپوگرافی اولیه را نمایش می‌دهد و هر چه صفحه به بخش فوقانی رانده شود نقشه توپوگرافی به رقوم‌های حد فاصل تبدیل می‌شود. به عبارت ساده‌تر حرکت صفحه نمایش در امتداد محور عمودی تمام تغییرات حادث شده در حدود بین مراحل چهارگانه را به‌تصویر می‌کشد. با به‌دست آمدن مقدمات تحلیل تصویری فایل‌های ساخته‌شده درنرم‌افزارVoxler به برنامه نرم‌افزاری DiGeM انتقال و با قابلیت‌های این نرم‌افزار تصاویر تغییرات حوضه به صورت بسط یافته در پنجاه فریم جدا تهیه شدند (شکل ۴).

DiGeM یک نرم‌افزار تحلیل فرآیند جریانی است که به واسطه‌ی داشتن قابلیت‌های جنبی مناسب در مسیر این پژوهش به کار گرفته شد. این عملیات ما را قادر می‌ساخت تا با بررسی۵۰ فاز ایجاد شده نسبت به ارزیابی فازهایی که دارای تغییرات متوسط برابری هستند اقدام و نسبت به تفکیک فازهای تحول که بیانگر مراحل ارگودیک است مبادرت نماییم.



شکل ۴: پنجاه فریم از تصاویر تغییرات حادث شده در حوضه‌ی مینیاتوری

مأخذ : نگارندگان

۱- شایان ذکر است شدت بارش با دبی ثابت تا مرحله‌ی پایانی انجام گرفت.

۲- نرم‌افزار Voxler قادر است با چنین بسطی کلیه‌ی تغییرات بین این مراحل را به صورت تصاویر پیوسته نشان دهد.

همان‌گونه که در تصویر دیده می‌شود نکات برجسته و مهمی را می‌توان به صورت بصری مشـاهده و تفسـیر نمود:

الف- تحلیل کیفی

تحلیل اول : بر اساس وضعیت عمومی ناحیه‌ای

از تصویر ۱ تا ۱۲ تغییرات حوضه در منطقه‌ی پایین‌دست اتفاق می‌افتد و بالا دست هیچ تغییری ندارد. از تصویر ۱۲ به بعد شروع تغییرات در میانه‌ی حوضه معلوم می‌شود و تحولات به‌صورت کانون‌های مشخصی خود را نشان می‌دهد. تا تصویر ۲۸ تغییرات عمدتاً در قسمت پایینی بوده و با ایجاد کانون‌های جدید سرعت تغییرات بیشتر می‌شود. از تصویر ۲۸ به بعد کانون‌های تغییر در بخش پایین‌دست حوضه از بین رفته و تغییرات به‌صورت غیرمتمرکز انجام می‌شود و پس از آن بخش بالادستی حوضه شروع به تغییر آرام می‌نماید. از تصویر ۳۲ به بعد کانون‌های تغییر شاخص تر شده و تغییرات بالادستی توسعه می‌یابد. از تصویر ۴۱ به بعد کانون‌های پایین‌دست از بین رفته و بخش مذکور به وضعیت یکنواخت[1] می‌رسد.

تحلیل دوم: براساس وضعیت رشد یا کاهش کانون‌های تغییر

فاز ۱: تصاویر ۵-۱: نقطه‌ی کانونی اول همراه با رشد است و پخش می‌شود و هاله‌ای آن را در بر می‌گیرد.

فاز ۲: تصاویر ۱۰-۶: کانون‌ها کوچک می‌شوند و تقریباً ثابت می‌مانند.

فاز ۳: تصاویر ۱۷- ۱۱: افزایش سریعی در اندازه‌ی کانون داریم و نقش‌آفرینی کانون دوم آغاز می‌شود.

فاز ۴: تصاویر ۲۲-۱۸: کانون‌های دوم و سوم به سرعت رشد می‌کنند و نقش‌آفرینی می‌نمایند.

فاز ۵: تصاویر ۲۹-۲۳: تعداد کانون‌های فعال به سه مورد می‌رسد و کانون اول در مرحله‌ی ۲۸ کانون دوم را در برمی‌گیرد.

فاز ۶: تصاویر ۳۲-۳۰: کانون اول کانون‌های ۲ و ۳ را کامل در بر می‌گیرد.

فاز ۷: تصاویر ۴۵-۳۲: کانون چهارم پیدا می‌شود و در کانون در حوزه‌ی کانون یک به وجود می‌آید و کانون-های فرعی بالا دست آن شروع به رشد می‌کنند.

فاز ۸: تصاویر ۵۰-۴۶ : کانون چهارم تمامی فضا را در بر می‌گیرد.

حال با عنایت به مرحله‌بندی کیفی صورت گرفته و تشخیص ۸ فاز مختلف می‌توان ارگودیسته حوضه‌ی آبریز را در کارکرد فرآیند بارش و تغییرات سطح ارایه داد. در واقع ۸فاز متفاوت بیانگر ۸پریود فضایی هستند که جایگزین زمان می‌شوند و وقتی گفته می‌شود فاز ۶ به زمان سپری شده اشاره ندارد، بلکه مختصات فازها است که تبیین‌کننده‌ی این مرحله از تحول است.

البته آنچه در نگاه کیفی معلوم گردید جایگاه غیر عددی دارد و لذا برای آنکه بعد دوم تحلیل یا تحلیل کمی بر اساس ارگودیک آماری نیز در محک محاسبه قرار گیرد، اقدام به فرآوری داده و انجام مراحل زیر گردید:

ب- تحلیل کمّی مطابق با ارگودیک آماری

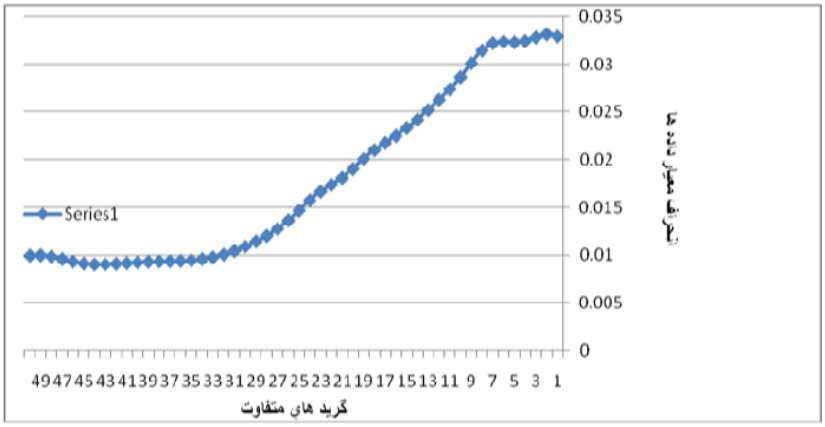
با عنایت به اینکه ۵۰ تصویر ترسیم شده هر کدام یکی از مقاطع تغییر۵۰گانه از مرحله‌ی اول تا مرحله‌ی چهارم هستند، با استفاده از گزینه‌ی Grid از منوی Tools مسیرRegression Analysis نرم‌افزار DiGeM، تحلیل انحراف معیار از داده‌های هر تصویر انجام گرفت. نتـایج حاصل از این تحلیل در شکل (۵) نشان داده شده است.

با دقت در تغییرات انحراف معیارها معلوم می‌شود که مکانیزم تغییر، دارای ۳ الگوی اصلی است، اولین بخش نمودار که از یکنواختی برخوردار است، در الگوی دوم نمودار با شیب بیشتر دچار تغییر می‌شود و در بخش سوم مجدداً به مرحله‌ی ثبات نزدیک می‌شود. اکنون برای تعیین فازهای دقیق‌تر میزان تغییرات در

1-Steady

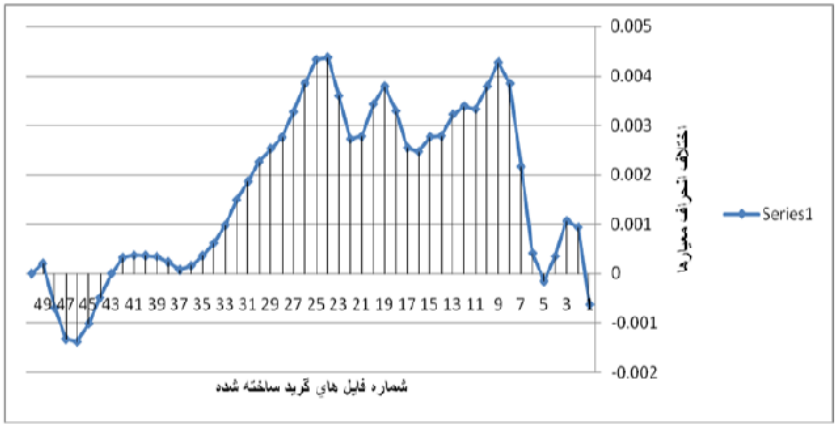
هر نقشه آنالیز آماری (برآورد انحراف معیار) نیز مقایسه و تفاضل انحراف معیارهای مراحل، به صورت زوجی محاسبه گردید.

نتیجه‌ی این محاسبات که نشان‌دهنده‌ی میزان تغییرات انحراف معیار از هر مرحله به مرحله‌ی بعد است ترسیم و شکل (۶) به دست آمد.



شکل ۵ : نمودار تغیرات انحراف معیار داده‌ها در ۵۰ فریم ساخته شده

مأخذ : نگارندگان



شکل ۶: نمودار اختلاف انحراف معیارهای داده‌های فایل‌های گرید شده ۵۰ فریم

مأخذ : نگارندگان

حال با دقت در این نمودار مشخص می‌شود، ۳ الگوی اولیه که در نمودار قبلی به دست آمده بود در این شکل تقسیم‌بندی بیشتری را نشان داده و به فازهای بیشتری تقسیم می‌شوند.

فاز ۱: پریودهای ۱-۳و ۳-۵ و ۵-۹

فاز ۲: پریودهای ۹-۱۶ و ۱۶-۱۹ و ۱۹-۲۲ و ۲۲-۲۴

فاز ۳: پریودهای ۲۵-۳۷ و ۳۷-۴۱ و ۴۱-۴۶ و ۴۶-۴۹ و ۴۹-۵۰

با دقت نظر در تحلیل کیفی و کمّی تطابق قابل تاملی بین آن دو نمایان‌تر شده و این فازهای زمانی که حال با واژه فضایی یاد می‌شوند تبیین‌کننده الگوی ارگودیک تغییرات در حوضه‌ی آبریز مدل هستند.

نتیجه

شیوه‌های مختلفی برای تبیین مراحل تکوین یک پدیده ژئومورفیک وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مدل‌های ریاضی بر پایه برون‌یابی، مدل بازسازی و

تحلیل فرم‌های موجود در صحنه، مدل ژئوآلومتریک و مدل‌سازی فیزیکی تغییرات چشم‌انداز با استفاده از نمایش سخت‌افزاری واقعیات در مقیاس کوچکتر اشاره نمود، در این بین روش شبیه‌سازی مینیاتوری در آشکارسازی مراحل و فازهای تحول در یک حوضه آبریز می‌تواند به میزان مطلوبی مورد اطمینان واقع شود. چنانکه در تحلیل‌های ارائه شده در متن پژوهش ملاحظه گردید ۳ فاز مجزای تحولی، تکوینی در رابطه با حوضه مدل مینیاتوری قابل استخراج است که هم با روش کمّی و نیز از روش کیفی نتیجه‌ای همسان را معلوم می‌سازد. فاز یک شامل مراحل ۱-۹ است (شکل ۴) و به‌عنوان فاز فضایی اول که تعادل ساختاری شروع به تغییر می‌کند شناخته می‌شود، فاز دوم، مراحل ۱۰-۲۴ که عدم تعادل شدت‌یافته و تحول رخنمون سرعت می‌گیرد و فاز سوم یا مراحل ۲۵-۵۰ که حرکت مجددی با پسخوراند منفی به سوی تعادلی دیگر آغاز شده و به انجام می‌رسد، البته هر یک از این مراحل ماکرو فاز نام برده شده خود به چند میکرو فاز تسیم-بندی می‌شوند که بیانگر سمت، شدت و بزرگای شاخص تحول می‌باشند.

بر اساس آنچه در شکل ۵ و ۶ نمایش داده شد، معلوم می‌شود میکرو فازها بر مبنای ماکرو فاز ها قابل تفسیرند. با توجه به شکل ۲ که چهار فریم تغییرات ارتفاعی را در حوضه معلوم نموده است، مشخص است که تعادل و مکانیسم برهم‌خوردگی و استقرار مجدد آن بر حوضه تابعی از نیروهای عمل‌کننده است و با عنایت به اینکه فرایند غالب در مدل مینیاتوری، بارش است می‌توان سایر فرایندها را نیز قابل مدل‌سازی دانست، از این طریق می‌توان الگوی ارگودیک فرآیندهای مختلف را با هم مقایسه نمود. برای مدل‌سازی تغییرات نرم-افزارهای استفاده شده در این پژوهش شامل DiGeM, Voxler, Surfer توصیه می‌شود البته الزامات مهندسی در بهره‌گیری از این نرم‌افزارها بسیار مهم است که در حال حاضر امکان بیان آنها نیست.

نکته‌ی مهم دیگر که از یافته‌های این پژوهش محسوب می‌شود، کارکرد صحیح تفاضل انحراف از معیار داده‌های رقومی ارتفاع برای تعیین فازهای تحول ارگودیکی است که در پژوهش‌های مشابه تاکنون اشاره‌ای به آن نشده است. البته قطعاً با استفاده از آزمایشات گسترده‌تر و بخصوص با اعمال تکتونیک جنبا در مدل مینیاتوری یافته‌های جدیدی به دست خواهند آمد که راهگشای مطالعات مبتنی بر جابجایی زمان و مکان می‌گردند.

از سوی دیگر چنانکه مشاهده شد دستیابی محققان به نرم‌افزارهای کارآمد در زمینه‌ی بسط و بازسازی رقومی دوره‌های حد فاصل تجربه شده تا چه میزان می‌تواند ما را در آشکارسازی مراحل ثبت نشده یاری دهد و بحث ارگودیسیته که به واسطه‌ی پیچیدگی آن در ژئومورفولوژی مغفول مانده بود بتواند با استناد به مدارک دقیق رقومی و آماری تبیین گردد. جایگزینی مقوله‌ی فضا به جای زمان که از اهداف اصلی ارگو خوانده می‌شود به سهولت امکان‌پذیر است و همان‌گونه که دیده شد هشت‌فاز تحولی در تغییرات حوضه مینیاتوری آشکارسازی و حتی به استناد تفاضل میزان اختلاف انحراف معیارها تشخیص مراحلی که با امکانات بصری به‌صورت دقیق امکان‌پذیر نمی‌نمود میسر گشت.

منابع

1- Brown (1976). Ergodic theory and topological Dynamics. New York: Academic Press.
2- Brunsden, D. and Thornes, J.B (1977). Geomorphology and time. London: Methuen.
3- Bull, W. B (1977). Allometric change of landforms .Bull.Geol.Am.86
4- Bull, W.B (1975). land forms do not tend toward a steady state. In theories of land forms development. Boston: Alien & Unwin.
5- Carson, M. A (1971). The Mechanics of Erosion. London: Pion.
6- Carter, C. S. & Chorley, R. J (1961). Early Slop Development in an Expanding Stream System. Geol. Mag. 98.
7- Gould,S.j (1966). Allometry and size in ontogeny and phylogeny.biol.Rev.41. Melton, M.A (1958). Geometric properties of mature drainage systems and their representation in an E4 phase space. Journal of Geology 66, 35-54. Professional Paper 252.
8- Mosley, M.P. and Zimpfer, G.L (1976). Explanation in geomorphology.Zeitschrift für Geomorphologie NF 20.
9- Nash, D. B (1984). Morphologic Dating of Fluvial terrace scarps and Fault scarps near West Yellowstone, Montana. Bull. Geol. Soc. Am. 95.
10- Pain, A. D. M (1985). "Ergodic" Reasoning In Geomorphology: Time for a Review of Term? Prog. Phys. Geog 9.
11- Sarigear, R.A.G (1952). Some observations on slope development in South Wales. Transactions, Institute of British Geographers 18.