جغرافیـــا و برنامـــه‌ریـــزی محیطـــی
سـال ۲۵، پیـاپی ۵۵، شـماره ۳، پـاییز ۱۳۹۳

نظریه آشوب در ژئومورفولوژی جریانی (مطالعه موردی تغییرات بستر رود کل، هرمزگان)

هیـــوا علمـــی‌زاده: استادیار ژئومورفولـــوژی، دانشـــگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایـــران*
ســـیاوش شـــایان: اســتادیار ژئومورفولـــوژی، دانشـــگاه تربیـــت مـــدرس، تهـــران، ایـران

وصـول: ۱۳۹۰/۱۲/۱ پـذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۲، صص ۲۳۰-۲۱۷

چکیده

نظریه کیاس به بیان نوعی نظم در چهارچوب روندی بی‌نظم می‌پردازد، گرچـه سیسـتم‌هـای پیچیـده صـرفاً ظـاهری پـر آشوب و نامنظم دارند و درنتیجه نامنظم و تصادفی به نظر می‌رسند، در واقعیت دارای نظمی پیچیده و تابع یک جریان معـین هستند. این مقاله به تبیین مبانی تئوری کیاس و تطبیق آن در ژئومورفولوژی جریـانی بـا تحلیـل تغییـرات مسـیر رودکـل در سواحل شمالی تنگه‌هرمز می‌پردازد و برای دست‌یابی به چنین منظوری با مقایسه عکس‌های‌هـوایی و تصـاویر مـاهواره‌ای در دوره‌های‌زمانی مختلف، ضمن تشریح پاره‌ای مفاهیم، تغییرات بستر رودکل در طول زمان را که شواهد بـارز کیـاس بـه‌شـمار می‌آید، تشریح نموده و با مواردی که این پدیده در آن قابل مشاهده نیست، مقایسه می‌کند. نتایجی که این تئوری در اختیار ما قرار می‌دهد، تغییر مقیاس در نگاه به وقایع است؛ به گونه‌ای که بتوان نظم ساختاری آن را کشف کـرد. مسـیرهای قبلـی رود کل حالتی از سیستم جریانی است که با فرایندهای امروزی در تعادل نیستند و بیانگر نوعی بی‌نظمی در رابطه بین پاسـخ فـرم و فرایند می‌باشد، اما این امر به مفهوم ایجاد عدم تعادل در کل سیستم نیست؛ تغییرات حول وحوش میـانگین صـورت مـی-گیرد و نوسان خاصی که بیانگر افت وخیز روند کلی تغییر باشد، دیده نمی‌شـود. منحنـی ناتعـادلی در ابتـدا تغییـرات فرمـی زیادی نشان می‌دهد، اما این تغییر در جهت دست‌یابی به پایداری‌است، اگرچه هنوز این امر رخ نداده است.

واژه‌های کلیدی: نظریه‌آشوب، تحولات غیرخطی، ژئومورفولوژی جریانی، تغییر بستر، رود کل.

مقدمه

نظریه‌کیاس به مطالعه سیستم‌های دینامیکی کیاتیک (Chaotic) (آشوبناک) و بیان نوعی نظـم درچهـارچوب روندی بی‌نظم می‌پردازد. این تئوری نوع پیشرفته‌ای از تئـوری دسـتگاه‌هـای پویـا - dynamical systems theory: شاخه‌ای از ریاضیات که با دسـتگاه‌هـایی کـه حرکتشان بر اساس قوانین سـاده‌ای هسـتند در رابطـه می‌باشد. این تئوری برای اولـین بـار در قـرن هفـدهم میلادی توسط نیوتن زمانی که مـی‌خواسـت حرکـات منظومه شمسی را بر اساس قوانین جدیـدش، تئـوری عمـــومی جاذبـــه مـــدل‌ســـازی کنـــد، پـــرورش یافت(ماگنیتسکی،۲۰۰۸،٤١٩).- است که تمـام توجـه خـود را بـر روی حرکـت‌هـای ترکیبـی (Complex motions) قرار داده که تماماً غیـرخطـی هسـتند و از پیچیدگی و حساسیت زیادی برخوردارند، به‌طوری‌کـه بر اساس دیفرانسیل- مدل غیرخطی سیستم- می‌تـوان

*نویسنده مسؤول: E-mail: heeva_1035@yahoo.com

رفتار یک سیستم آشوبناک را مطالعه کرد[1]. نکته بااهمیت آن است که اگر رفتار یک سیستم کیاتیک را داشته باشیم[2]، آنگاه حتما نخواهیم توانست به مدل سیستم پی‌ببریم، این واقعیت نشات‌گرفته از رفتار بسیار پیچیده سیستم‌های کیاتیک است (زلینکا[3]،۲۰۰۹، ۲۹۱). به‌همین دلیل یکی از جالب‌ترین کاربردهای سیستم‌های کیاس رمزنگاری می‌باشد، ازطرفی پردازش این رفتارها در نهایت می‌تواند در شرایطی به پیش‌بینی وضعیت رفتار سیستم منجر شود[4] و لذا کاربردهایی وسیع در مباحث پیش‌بینی وضعیت هوا و یا کلی‌تر اقلیم شناسی، زلزله و کلاً بحث سری-های زمانی[5] مطرح می‌شود.

سیستم‌های کیاتیک، سیستم‌های پویای غیرخطی هستند که نسبت به شرایط اولیه‌شان بسیار حساس‌اند. تغییری اندک در شرایط اولیه چنین سیستم‌هایی باعث بروز تغییرات بسیار در آینده خواهد شد، به‌طوری‌که رفتارهای آینده آنها دیگر قابل پیش‌بینی نمی‌باشد؛ با این‌حال هیچ لزومی به وجود عنصر تصادف در ایجاد رفتار آشوبی نیست و سیستم‌های دینامیکی جبری[6] نیز می‌توانند رفتار آشوبناک از خود نشان‌دهند. می‌توان گفت که رفتار سیستم‌های آشوبگون بین سیستم‌های جبری[7] و سیستم‌های نویزی قرار دارد. در دیدگاه کیاس، سیستم‌های پیچیده صرفاً ظاهری پر آشوب و نامنظم دارند؛ در حالی‌که در ذات خود از یک قاعده و قانون پیروی می‌کنند و درنتیجه نامنظم و تصادفی به نظر می‌رسند، در حالی‌که در واقعیت دارای نظمی پیچیده و تابع یک جریان جبری با یک فرمول‌ریاضی مشخص هستند که بر پایه نظریه رشد غیر خطی با بازخورد شکل گرفته است. به‌عبارتی دیگر هنگامی‌که از دید میکروسکپی به یک پدیده و سایر رویدادهای در ارتباط با آن بنگریم دچار یک آشفتگی می‌شویم که گاهی آن را به عنوان بی‌نظمی مطرح می‌کنیم؛ این در حالی‌است که اگر به این پدیده با یک نگرش ماکروسکپی بنگریم به سیر منظمی از حرکت آن پدیده و سایر ارتباطات آن پی می‌بریم که حاکی از پدیده‌ای دیگر بجز تصادف می‌باشد. به‌طور مثال شاید پدیده زلزله پدیده‌ای بی‌نظم تلقی‌شود، اما اگر از یک نگرش چند ساله خارج شویم وبا یک نگرش چند هزار ساله به پدیده زلزله نگاه کنیم، به‌خوبی شاهد واقعیت‌هایی خواهیم بود که پیش از هر چیزی قطعیت در آن سیستم مطرح می‌شود.

نکته جالب در رفتار یک سیستم -که عمل بازخورد منفی آن با تأخیر مواجه می‌باشد- این است‌که اگر، یک یا چند فرایند با بازخورمثبت به این سیستم اضافه شود، ناپایداری سیستم وخیم‌ترشده و الگوهای شگرفی ایجاد می‌شوند. درواقع، فشار فزاینده‌ای که درون حلقه با بازخور مثبت وجود دارد، نیروهای عدم تعادل حلقه‌های با بازخورد منفی را قوی‌تر کرده، وضعیت ناپایداری و عدم تعادل آن راپیچیده‌تر می‌کند. سیستم‌هایی که دارای این ویژگی هستند غالباً فرایند آشوبی ایجاد می‌کنند. یک سیستم دارای فرایند آشوبی نوسانات و چرخه‌هایی ایجاد می‌کند که دوره آن اساساً بی‌نهایت است و در دوره مورد مطالعه هرگز

---

۱ مشابه سیگنال‌های یک فرستنده و یا رفتارهای ثبت شده در بورس معاملات و یا نتایج ثبت شده توسط زلزله نگار

۲ مانند نوسان‌های ثبت‌شده توسط زلزله نگار و یا شرایط اقلیمی در مدل هواشناسی و یا حتی تغییرات بورس

3 Zelinka.I

٤ در بیان این موضوع احتیاط کرده و می‌گوییم منظورمان کلی نیست.

5 Time Series

6 Deterministic

7 Deterministic

تکرار نمی‌شوند. چرخه‌های غیرتکراری در یک سیستم آشوبی به این علت به وجود می‌آیند که مرزهای غیرخطی آن باعث می‌شود حرکت به سمت جلو وعقب کشیده شود، به طوری‌که بر مسیرهای قبلی‌آن منطبق نباشد. این حرکت‌ها موجب می‌شود تا یک سیستم آشوبی به شرایط اولیه خود بسیار حساس باشد. اگر یک یا چند مقدار از شرایط اولیه تغییر بسیار کمی داشته‌باشد، مسیر زمانی جدید سیستم به طور نمایی از مسیر زمانی قبلی جدا خواهد شد. از این ویژگی مهم سیستم‌های آشوبی می‌توان در ساختن آزمون‌هایی برای پی‌بردن به فرایندهای آشوبی استفاده نمود.

هر چند نظریه آشوب در دهه‌های اخیر جزء پژوهش-های علمی رشته‌های گوناگون قرار گرفته، اما مفهوم ساده آن ریشه در برداشت‌های اولیه انسان در مورد جهان دارد. طبق این دیدگاه اگرچه امور جهان بی‌نظم، تصادفی و در نتیجه، غیرقابل پیش‌بینی به‌نظر می‌رسند، اما در عین‌حال از یک نظم و قطعیت برخوردار هستند. این دیدگاه با توجه به تحول شدید در ابزارهای محاسباتی الکترونیکی باعث حرکت جدیدی در پژوهش‌های علمی دهه ۱۹۷۰ به بعد، در علوم فیزیک و ریاضی شد. این تحولات منجر به ارایه شیوه‌های جدیدی برای مطالعه جریان‌های بسیار پیچیده به ظاهر تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی گردید. نتایج این مطالعات به‌تدریج در سایر علوم که با این نوع پدیده‌ها مواجه هستند- مانند رشته‌های مختلف علوم پایه، مهندسی، هواشناسی، اقتصاد و اخیرا ژئومورفولوژی - به‌کار گرفته شد. مسئله مشترک این علوم شناسایی راه‌های تشخیص نظم نهفته در سیستم-های بسیار پیچیده‌ای است که در صورت موفقیت اجازه می‌دهد روند آتی حرکت آنها بر خلاف باورهای قبلی پیش‌بینی شوند.

این مقاله با هدف دست‌یابی به متغیرهایی که موجب ناپایداری بستر رود می‌شوند، سعی در تبیین تغییرات بستر با استفاده از نظریه کیاس دارد. نهفته بودن نظم و پیروی از الگوی غیرخطی، علی‌رغم تغییرات به ظاهر نامنظم و اغتشاش‌گونه بستر رود کل فرضیه این پژوهش می‌باشد. محدودیت‌های فصلی و گرمای هوا در طول تابستان، نبودن راه‌های قابل‌دسترسی به تمام نقاط به ویژه مناطق پیرامون خط ساحلی و کمبود منابع و مطالعات‌محیطی در منطقه و به‌ویژه محدود بودن تصاویر دوره‌ای جهت استخراج تغییرات بستر، از مهم‌ترین محدودیت‌های این پژوهش بوده‌اند.

پیشینه پژوهش:

تا چند دهه پیش دانشمندان جهان را مجموعه‌ای از سیستم‌هایی می‌دانستند که مطابق با قوانین جبری طبیعت به طریقی کاملا مشخص و قابل پیش‌بینی درحرکت می‌باشند، اما با پیشرفت علم بسیاری از رویدادهای طبیعی دیگر قابل توجیه به‌وسیله دیدگاه-های جبرگرایانه قبلی نبودند. تلاش‌های دانشمندان برای توصیف چنین رویدادهایی منتج به ارائه نظریه-های کوانتوم و نسبیت در فیزیک و نظریه کیاس در ریاضیات شد. این نظریه گسترش خود را بیشتر مدیون کارهای‌هانری پوانکاره[1]، ادوارد لورنز[2]، بنوا مندلبروت[3] و مایکل فایگن‌باوم[4] می‌باشد. پوانکاره اولین کسی بود که اثبات کرد، مساله سه جرم (به عنوان مثال، خورشید، زمین، ماه) مساله‌ای آشوبی و

1 Henri Poincare
2 Edward Lorenz
3 Mandelbrot
4 Mitchell Feigenbaum

غیرقابل حل است. پس از سال ۱۹۵۰ توسعه نظریه کیاس سرعت بیشتری گرفت، چرا که دانشمندان دریافتند که تئوری خطی در بسیاری از موارد نمی‌تواند به‌سادگی رفتارهای مشاهده‌شده در آزمایش‌های معین را توجیه‌کند. در کنار این مسئله ظهور نرم‌افزارهای کامپیوتری نیز کمک شایانی به رشد این تئوری نمود، چرا که بسیاری از مسائل تئوری کیاس درگیر تکرارهای بسیار زیاد روابط ساده ریاضی می‌شد که محاسبه آنها به‌طور دستی غیرممکن بود، اما کامپیوتر به‌سادگی این محاسبات را انجام می‌داد. در ایران کارهای چندانی در مورد کیاس صورت‌نگرفته، در این رابطه مشیری(۱۳۸۱) کاربردهای کیاس را در اقتصاد تشریح کرده و رامشت(۱۳۸۲و ۱۳۸۰) کیاس را از دیدگاه ژئومورفولوژی با تبیین و تشریح مفاهیمی چون تعادل، ناتعادلی و عدم‌تعادل مورد بررسی قرار داد. در سطح جهان مفهوم کیاس توسط رن و همکاران[1](۱۹۹۵)در زلزله، تسونیس[2](۱۹۸۹) در پیش‌بینی شرایط جوی، سیواکومار[3](۲۰۰٤) در ژئوفیزیک، رودریگوئز[4](۲۰۰۵) در ژئومورفولوژی جریانی مطرح و تبیین شد. هوارد[5](۱۹۸۲) تعادل و مقیاس زمانی را در رودهای آبرفتی بررسی‌نمود،هاگت[6](۱۹۸۸) ارتباط و کاربرد این تئوری در ژئومورفولوژی را بیان کرده و به‌کارگرفتن دینامیک‌های غیرخطی را برای توضیح هدررفتن انرژی و ماده در درون یک سیستم توصیه - نمود و ساناسیرج و همکاران(۲۰۰٤) از تئوری کیاس در افزایش دقت پیش‌بینی جزر و مد بهره گرفتند.

داده‌ها و روش:

در تبیین نظریه آشوب در ژئومورفولوژی جریانی، پس از تشریح برخی مفاهیم، متغیرهای موثر در تغییرات بستر رود کل به روش تحلیلی بررسی‌شده و با استفاده از عکس‌های هوایی سال۱۹۵۷، تصاویر ماهواره لندست TM مربوط به سال‌های۱۹۷۷- ۱۹۸۹- ۲۰۰۱و ۲۰۰۵، تغییرات مسیر رود کل با استفاده از GISو در محیط نرم‌افزار ArcGIS(9.3) در دوره‌های زمانی مختلف استخراج شده‌است. در ادامه برداشت‌های میدانی با استفاده از فنون ژئومورفولوژیک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند و تغییرات و ناپایداری بستر با استفاده از تحلیل‌های ژئومورفیکی بررسی‌شد؛ بعد از استخراج تغییرات مسیر و ترسیم آن، تبیین این تغییرات و الگوی منظم یا غیرمنظم و تصادفی ناپایداری بستر با نظریه کیاس صورت‌گرفت و در نهایت نتیجه‌گیری از یافته‌های تحقیق انجام شد.

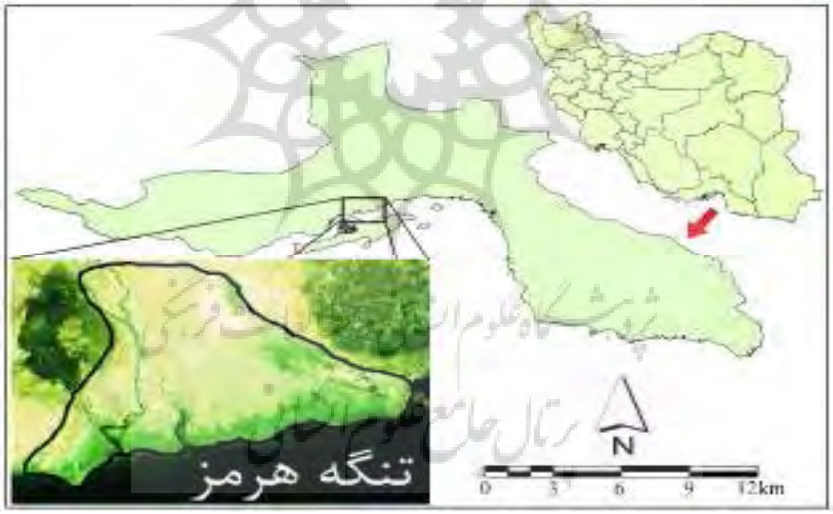
محدوده مورد مطالعه:

رود کل با تشکیل دلتایی به‌وسعت ۲۰۵/۹ کیلومترمربع، در بین طول‌جغرافیایی ´۵۸-°۵۵ و ´٤۳-°۵۵ شرقی و عرض‌جغرافیایی ´۰۸-°۲۷ و ´۵۸-°۲٦ شمالی واقع‌شده و از جنوب به تنگه‌هرمز، از غرب و شرق به گنبدهای نمکی گچین و خمیر و از شمال به کوه‌های پولادی محدود می‌شود(شکل۱). رود اصلی این حوضه رود کل است که از شمال به جنوب جریان دارد. سرشاخه‌های مهم آن شامل رودبال داراب، شور لار و رسول از غرب و رودهای ده‌شیخ و دورودی و گهره از شمال و غرب به این رود می‌ریزند. محدوده تحت بررسی از نظر زمین‌شناسی دارای ویژگی ساختمانی- رسوبی است و این امر موجب گردیده تا واحدهای ساختمانی با خصوصیات

1 Ren. Y. J,et.al.
2 Tsonis، A.A.
3 Sivakumar, B.
4 Rodriguez J. A.
5 Howard. A.D.
6 Huggett

و ویژگی‌های متفاوت خود در سطح محدوده گسترش‌یابند. وجود رسوبات تبخیری و برخی از نبودهای چینه‌شناسی کوتاه‌مدت نشانه‌ای از حرکات قائم(خشکی‌زایی) در دلتای رودکل است. تمام این رسوبات به طور هم‌شیب روی رسوبات پالئوزوئیک قرار دارند و هیچ نوع فعالیت ماگماتیسم و دگرگونی طی فاز آلپی در این حوضه مشاهده نمی‌شود. در شمال، شمال غربی و شرق منطقه عوامل مؤثر در چین‌خوردگی کماکان پویا هستند، به همین دلیل زمین حرکت‌های رو به بالا دارد که با فشردگی و کوتاه شدگی پوسته و در نتیجه تمرکز انرژی همراه است – رها شدن انرژی تقریباً دائمی است به همین لحاظ تکان‌های زمین به صورت زمین‌لرزه زیاد است که گاهی، با ویرانی زیاد و تلفات انسانی همراه است-.

الگوی ساختاری حاکم بر شمال ناحیه از نوع ساختمان‌های دوپلکس و راندگی‌های بزرگ مقیاس است که در اثر آن ورق‌های دگرگون‌شده و نادگرگونه به مقدار متفاوتی به سمت جنوب‌غرب جابه‌جا و رانده شده‌اند. دگرگون و دگرشکل بودن سنگ‌ها از خاصه‌های این بخش است. بارش‌های رگباری و عدم ریزش برف در سطح وسیعی از محدوده مورد مطالعه، ماهیت سیلابی رودها و طغیان آنها را هنگام بارندگی به‌دنبال دارد. از طرف دیگر به‌دلیل ویژگی‌های هیدرولوژیکی و موقعیت پایابی رودخانه که به تنگه-هرمز می‌ریزد و وجود دلتای نسبتا وسیع و دشت‌های سیلابی در دهانه رود کل، محدوده مورد مطالعه احتمال ریسک سیل‌خیزی بالایی دارد.



شکل۱: محدوده جغرافیایی دلتای رود کل در شمال تنگه‌هرمز

یافته‌های تحقیق

تحلیل ژئومورفیکی تغییرات بستر:

رود کل به محض خروج از کوهستان و ورود به دشت ساحلی، با کاهش شیب مواجه شده و رسوبات خود را ته‌نشین می‌سازد. آبرفت‌های درشت‌تر در بخش علیای جلگه و به ترتیب با نظم خاص، و آبرفت‌های ریزدانه در بخش‌های پایین جلگه و در نزدیکی دریا نهشته می‌شوند. به‌طوری‌که تنها مواد رسی، مارنی، سیلتی و ماسه‌ای که ریزترین بافت را بین آبرفت‌ها دارند، به خط ساحلی رسیده و در امتداد

آن توزیع می‌شوند. هر چند در شرایط استثنایی و در دوره‌های سیلابی که رود از حداکثر دبی برخوردار و توان حمل زیادی دارد، می‌تواند قطعات درشت‌تر را تا مسافت بیشتری حمل نموده و منتقل نماید. با این وجود این قطعات حداکثر تا بخش‌های میانی دلتا منتقل گشته و نهشته می‌شوند. یکی از دلایل اصلی ناپایداری‌های بستر رودخانه در بخش میانی و پایین‌دست، ریزدانه و سست‌بودن آبرفت‌های این بخش از دلتا می‌باشد؛ علاوه‌بر این تغییر مسیرهای متعدد در این بخش نیز تا حد زیادی نتیجه همین پدیده است. سطوح بالادست دلتا توسط بستر اصلی رود و انشعابات آن به‌طور عمیقی بریده شده‌اند و قطعات مختلفی از ریگ، قلوه‌سنگ و شن به ویژه در حواشی ارتفاعات و بستر رود دیده می‌شود. در سطح بخش‌های میانی دلتا مواد عمدتاً منشاء خشکی دارند و به‌صورت نهشته‌های سطحی دیده می‌شوند؛ به‌طرف سطوح پائینی، آبرفت‌ها بیشتر منشاء ترکیبی دریایی- آبرفتی دارند و عمدتاً از مواد ریزدانه تشکیل شده‌اند. بررسی‌های فیزیکی آبرفت‌ها نشانگر آن است‌که بافت آبرفت‌های سطح دلتا به‌طور یکنواخت از راس دلتا به‌سوی خط ساحلی تغییر یافته و به‌طور قابل ملاحظه‌ای ریزدانه می‌شود. به‌طوریکه در نزدیکی خط ساحلی حتی در بستر سیلابی رودخانه اثر مشخص از مواد درشت‌تر حتی در حد ریگ و شن یافت نمی‌شود. شاید از دلایل عمده این مسئله وجود سازندهای سست مارن و ماسه‌سنگی موجود در حوضه‌های آبخیز منتهی به جلگه‌ساحلی و از سویی گستردگی و شیب بسیار کم این جلگه است‌که موجب چنین دانه‌بندی منظمی شده‌است. همین ویژگی باعث شده‌است که رود کل از پایداری چندانی برخوردار نبوده و در زمان‌های کوتاه‌تری تغییر مسیر دهد، به‌طوریکه تغییر مسیر و انحراف شبکه‌زهکشی در سطح دلتا جزء مشخص‌ترین خصائص آن است. با توجه به سوابق مطالعات انجام گرفته و بررسی آبرفت‌ها و هیدرولوژی، دلایل اصلی این تغییر مسیرها عبارتند از:

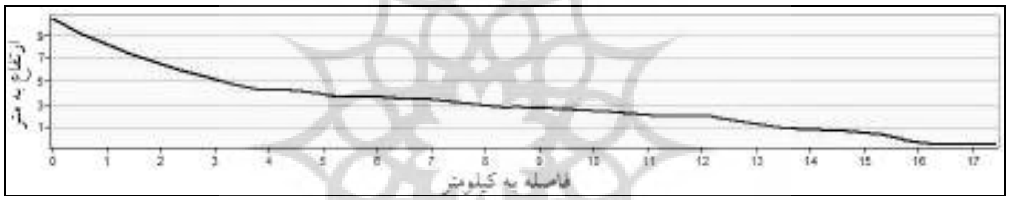
۱. تاثیرات تکتونیکی، طبق بررسی‌های به‌عمل آمده در نتیجه سابداکشن پوسته اقیانوسی هند به زیر ایران، سواحل جنوبی کشور در حال بالاآمدن[1] مداوم هستند. مقدار آن در چابهار حدود ۳/۵ میلی‌متر در سال اندازه‌گیری شده است. این برخاستگی موجب کاهش بیشتر شیب بخش جلگه‌ساحلی شده و تغیر مسیر آبراهه را تسریع می‌کند.

۲. به‌دلیل ریزبافت بودن آبرفت‌های دلتا به‌ویژه در بخش میانی تا قاعده دلتا، فرسایش جانبی و کناری آبراهه‌ها افزایش داشته و تکامل مئاندر در آن به سرعت روی می‌دهد. با استناد به مبانی نظری تکامل پیچان‌رود، تغییر مسیرها را از دامنه کاو و مقعر آنها تسریع می‌کند.

۳. کوتاه بودن آبراهه اصلی موجب می‌شود که رود کل بعد از یک بارش کوتاه‌مدت حالت سیلابی پیدا کند(شکل۲). کوتاه بودن زمان تمرکز و شدت بارش موجب سرریز شدن آبراهه و تغییر مسیر آنها می‌شود. این ویژگی در زمان‌هایی که دامنه بارش‌های موسمی به منطقه کشیده می‌شود، از شدت و فراوانی بیشتری برخوردار است. شیب زیاد نیمرخ‌طولی حوضه‌آبخیز، فقر پوشش‌گیاهی، نفوذ پذیری کم سازندهای حوضه، شرایط بارش سیلابی و ماهیت رگباری بارش، موجب رخداد سیلاب‌های دوره‌ای در این منطقه می‌شود.

1 Up Lifting

بارش‌های منطقه، عمدتا حالت رگباری دارند و به‌دلیل کوتاه بودن مسیر آبراهه‌ها زمان تمرکز نسبتا کوتاهی نیز دارند. این بارش‌ها با حالت سیلابی به‌سرعت جریان یافته و موجب فرسایش شدیدی در مسیر خود می‌گردند. بررسی داده‌های رسوب نیز نشان می‌دهد که نسبت بار معلق رسوب رود از حد نرمال بالاتر بوده و این خود نتیجه ریزدانه بودن آبرفت‌های منطقه است. کاهش نسبی سرعت جریان در پایین‌دست و از بخش‌های میانی دلتا منجر به سرریز شدن آن می‌گردد. کم وسعت بودن دلتا و سیلابی بودن بارش‌ها در دوره‌های بازگشت نسبتا کوتاه، موجب تغییرمسیر رود در دوره‌های کوتاه و رخداد سیلاب شده‌است و این پدیده از مهم‌ترین مسائلی است که آن را تهدید می‌کند. سطوح دلتا به دلیل بافت نسبتا ریزدانه، دارای شیب بسیار کمی بوده و در دوره‌های بارش سیلابی، بستر رود به‌ویژه در بخش‌های میانی بسیار ناپایدار می‌گردد. این مسئله موجب شریانی‌شدن جریان‌ها و گسترش عرض بستر رودها می‌شود. علاوه‌بر این سرریز شدن سیلاب‌ها موجب تغییرمسیر آنها شده و مخاطرات انسانی، تهدید و تخریب سازه‌ها و پل‌ها، اراضی کشاورزی و سکونت‌گاه‌های انسانی پیرامون آنها را به‌دنبال دارد.



شکل۲- نیمرخ طولی رود کل

ویژگی‌های فرایندهای آشوبناک:

مهم‌ترین مشخصه‌های فرآیندهای آشوبناک عبارتند از: طیف فرکانسی، شکل منحنی‌های فضای حالت، بعد دینامیک سازنده سیگنال، حساسیت به شرایط اولیه، کنترل‌پذیری، جذب‌کننده‌های پیچیده و شکستگی‌های ناگهانی کیفی(کای‌وان‌و چوکوانگ[1] ۲۰۰۸،۳۶۹)؛ که می‌توانند به‌عنوان معیارهای تشخیصی استفاده شوند. لازم به ذکر است که هر یک از این ویژگی‌ها، دارای دقت مربوط به خود بوده و برای اظهار نظر دقیق، یک معیار کافی نیست و هرچه تعداد معیارها بیشتر باشد ارزیابی به‌دست آمده نیز دقیق‌تر است. از طرفی هرچه طول سیگنال زمانی مورد بحث نیز بزرگتر باشد دقت نتایج نیز بیشتر می‌گردد.

قابلیت پیش‌بینی: یک سیستم کیاتیک(آشوبناک) در دل خود از یک قانون تبعیت می‌کند. این ویژگی امکان پیش‌بینی سیگنال را بر اساس مقادیر اولیه متفاوت فراهم می‌نماید. برای این منظور سیستم پیش‌بینی‌کننده می‌بایست از دینامیک حاکم بر سیگنال آشوبناک اطلاع داشته‌باشد. برخلاف سیستم نویزی که به هیچ عنوان قابل پیش‌بینی نیست و از این جهت به سادگی از یک سیستم آشوبناک قابل تمایز است. در یک سیستم آشوبناک به خاطر حساسیت نسبت به شرایط اولیه، هر چه نقطه دورتری مورد پیش‌بینی قرار گیرد، دقت پیش‌بینی کمتر می‌شود.

1 Cai-Wan Chang-Jian, Chao-Kuang Chen

کنترل پذیری: با توجه به وجود یک ساختار قانونمند در داخل یک پدیده آشوبناک می‌توان سیستم را کنترل نمود. هنگام استخراج نگاشت بازگشتی مربوط به یک سیستم آشوبناک، منحنی فضای حالت به‌صورت یک سری الگوهای تکراری در می‌آید. در حقیقت کنترل-پذیری با امکان پیش‌بینی سیگنال ارتباط مستقیم دارد. اگر یک سیستم آشوبگون در یک حلقه بسته تحت کنترل قرارگیرد، در این شرایط اگر کنترل‌کننده از دینامیک و ساختار تولید کننده سیگنال آشوبگون اطلاع داشته‌باشد، می‌تواند با تولید یک سیگنال کنترلی مناسب، خروجی را تحت کنترل قرار دهد (مرس و همکاران[1]،۴۸۹،۲۰۰۸).

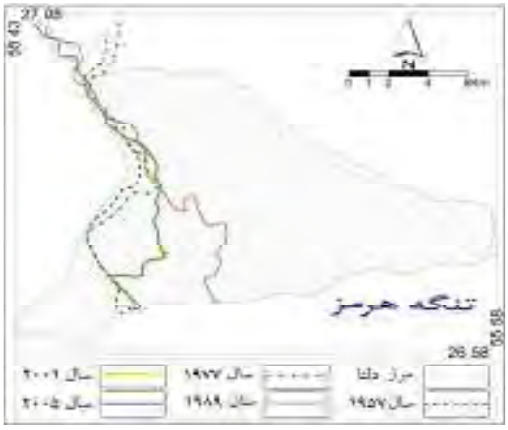
جذب‌کننده‌های پیچیده[2]: مسیرهای زمانی کلیه سری-های پویای پایدار(معمولی یا آشوبی) دارای حدی هستند که به آن تعادل یا جذب‌کننده گفته می‌شود. در سیستم‌های آشوبی، جذب‌کننده‌ها، بسیار پیچیده و عجیب هستند که می‌توان آنها را به این صورت تعریف کرد: "یک جذب کننده پیچیده، مجموعه‌ای از نقاط غیرقابل‌شمارش[3] است، به طوری‌که کلیه مسیرهای زمانی که درون آن شروع شده‌باشند، در داخل آن باقی می‌مانند و همچنین کلیه مسیرهای زمانی مجاور به آن جذب خواهند شد. مسیرهای زمانی که در داخل مجموعه شروع شوند، می‌توانند غیرقابل‌تکرار باشند و یا به هر تعداد از قبل تعیین شده به‌طور اختیاری تکرار شوند"(سان و همکاران[4]،۹۱،۲۰۰۹). دربرخی سیستم‌های پویای غیرخطی که دارای جذب‌کننده‌های پیچیده‌ای هستند، می‌توان مسیر طی‌شده را عیناً برگشت. در این سیستم-ها که به سیستم‌هامیلتونی[5] معروف هستند، اگرشرایط اولیه و معادلات حرکت[6] را داشته باشیم، می‌توانیم مسیرهای طی‌شده به سمت جذب‌کننده‌ها را در جهت معکوس دنبال کنیم(موکام و همکاران[7]،۲۰۰٤،۷۹۳)؛ به عبارت دیگر این سیستم‌ها از لحاظ زمانی برگشت-پذیر هستند. در برخی مدل‌های پویای غیرخطی هرچند درصورت در دست‌داشتن شرایط اولیه و معادلات حرکت امکان محاسبه تقریبی مسیرهای انتقالی وجود دارد، اما این مسیرها غیرقابل برگشت زمانی هستند، زیرا تعداد بی‌نهایت مسیرهای زمانی انتقالی وجود دارند که به جذب‌کننده‌ها منتهی شده‌اند. این مدل‌ها، همان مدل‌های آشوبی هستند.

حساسیت بسیار زیاد به شرایط اولیه: یکی از شیوه-هایی که می‌توان آشوبناک بودن یک سیستم را آزمایش نمود، تغییر شرایط اولیه آن به مقدار خیلی‌کم و بررسی خروجی آن است. در صورتی‌که تغییرات خروجی شدید باشد، سیستم مربوطه آشوبگون خواهد بود. سیستم‌های تولیدکننده فرآیند آشوبگون حساسیت بالایی به شرایط اولیه دارند به‌طوری‌که به ازای تغییر بسیار کوچکی در شرایط اولیه، خروجی تغییر بسیار می‌کند(گراس‌برگر،۱۹۹۳،۱۳۳) به این صورت که اگر دو سری زمانی با فرایندهای آشوبی، اما با شرایط اولیه بسیار نزدیک به هم را درنظر بگیریم، مسیرهای زمانی آنها پس از مدتی متمایز شده به طور کامل به‌صورت

1 Meresse, S, et.al.
2 Strange Attractors
۳ مجموعه قابل شمارش یک مجموعه بی‌نهایتی است‌که عناصر آن متناظر با تعداد عناصر یک مجموعه اعداد صحیح باشد. در غیر این صورت، مجموعه غیر قابل شمارش نامیده می‌شود.

4 Sun.Y,et.al
5 Hamiltonian
6 Equation of Motion
7 Moukam K,et.al.

دو سری زمانی متفاوت از یکدیگر به‌نظر خواهند رسید. هرچه شرایط اولیه دوسری به هم نزدیک‌تر باشند، مدت زمانی که مسیرهای زمانی آنها شبیه به‌هم باشند، بیشتر خواهد شد. این شدت وابستگی به شرایط اولیه در یک سری به تاثیر پروانه‌ای[۱] شهرت دارد. این ویژگی سری‌های آشوبی به‌خوبی بیانگر این است‌که اگر متغیرها فرایند آشوبی داشته باشند، پیش-بینی متغیرها بسیار دشوار و در بلندمدت غیرممکن خواهد بود، زیرا در صورت بروز کوچکترین تغییر در شرایط اولیه، رفتار سری به‌طورکلی تغییر یافته و از سری قبلی کاملاً متمایز خواهد بود. نتیجه این حساسیت نسبت به شرط اولیه می‌تواند منجر به بروز رفتارهای بسیار پیچیده و تصادفی و غیر قابل پیش-بینی شود. نکته جالب در مورد یک سری آشوبناک این است‌که تغییر بسیار کوچک در هر یک از این مقادیر، مسیر زمانی کاملاً جدا و متمایزی را ایجاد می‌کند[۲].چنان که این تغییرات را می‌توان در حدود دلتای رود کل طی زمان مشاهده کرد(شکل۳).



شکل۳: تغییرات مجرای رود کل در پنج دوره زمانی

شکستگی‌های ناگهانی ساختاری در مسیر زمانی: سری‌های آشوبناک در برخی از مراحل مسیر زمانی خود، ممکن است دچار شکستگی‌های ناگهانی ساختاری شوند. شکل (شماره۳) نشان می‌دهد که چگونه یک سری آشوبی پس از دو دوره نوسانات یکنواخت از سال۱۹۵۷ تا ۱۹۷۷ به یک باره دچار شکستگی شده و در سال۱۹۸۹ مسیری کاملاً متفاوت را دنبال می‌کند و مجدداً در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ دچار نوسان شده و به‌صورت هموار در می‌آید. این ویژگی سری‌های آشوبناک کار پیش‌بینی آنها را بسیار مشکل می‌کند. به‌عنوان مثال، اگر پیش‌بینی کننده‌ای قصد داشته باشد این سری آشوبی را با استفاده از سه دوره مشاهده اولیه پیش‌بینی کند، قطعاً خطای پیش-بینی فاحشی را مرتکب خواهد شد، هر چند که از تکنیک‌های بسیار پیشرفته برای این کار استفاده کرده باشد. این پدیده، حاکی از آن است که رفتار یک سری آشوبناک از یک فرایند معین تبعیت می‌کند و به‌طور کلی با رفتار یک سری تصادفی متفاوت است. اگر رفتار یک سری از فرایند تصادفی به‌دست آمده باشد، قابل پیش‌بینی نیست؛ اما اگر از فرایندی آشوبناک ایجاد شده‌باشد، هر چند پیچیده بوده و تصادفی به

---

[۱] Butterfly Effect: این اصطلاح به این نکته اشاره دارد که حرکت بال‌های یک پروانه در یک نقطه(کمترین تاثیرممکن) می‌تواند منجر به تغییرات آب وهوائی در کره‌زمین شود. بدین ترتیب که اگر جریان هوا یک فرایند آشوبی باشد، بال زدن یک پروانه می‌تواند منجر به ایجاد تغییرات اساسی در آب و هوای جهان مانند شروع طوفان وگردباد دراقیانوس ویا جلوگیری از بروز یک خشک‌سالی در آینده شود(آندریاس۲۰۰۲،۳۱۱).

[۲] اگر تغییر در شرط اولیه موجب تغییر اندکی در نتیجه شد گوییم رخداد نسبت به شرط اولیه پایدار است. در این حالت قرار دادن مقدار تقریبی به-جای مقدار واقعی مشکلی ایجاد نمی‌کند. مثلا می‌توان بجای ۲√ از۱.۱٤ استفاده کرد و هر چه دقت را بالاتر برد به جواب دقیق‌تری در محاسبات رسید اما بعضی رخدادها آنقدر نسبت به شرط اولیه حساسند که حتی بکار بردن مقدار تقریبی۲√ با دقت سه رقم اعشار هم ممکن است منجر به نتیجه‌ای کاملا متفاوت با وقتی که ۲√ با دقت شش رقم اعشار به-کار می‌رود، شود. لذا حساسیت نسبت به شرط اولیه پیش بینی رفتار فرآیند را در زمان‌های طولانی عملا غیر ممکن می‌کند.

نظر برسد، به علت معین بودن فرایند قابل پیش‌بینی است. یک فرایند تصادفی به شرایط اولیه حساسیت زیادی ندارد، از این‌رو مسیرهای زمانی آن با شرایط اولیه متفاوت باید همگرا باشند. عکس این حالت در مورد یک فرایند آشوبناک صادق است، یعنی مسیر زمانی با کوچکترین تغییر در مقدار اولیه سری زمانی دچار تغییرات اساسی می‌شود؛ بنابراین مسیرهای زمانی یک فرایند آشوبی با شرایط متفاوت اولیه باید واگرا باشند. براین اساس می‌توان آزمونی بر پایه واگرا یا همگرا بودن مسیرهای زمانی یک سری با شرایط متفاوت اولیه انجام داد، به‌طوری که اگر مسیرهای زمانی با شرایط اولیه مختلف واگرا نباشد، سری متعلق به یک فرایند تصادفی و در غیر این صورت یک فرایند آشوبناک خواهد بود. یک پدیده آشوبناک بر اساس دو ویژگی مهم از یک پدیده نویزی تفکیک می‌گردد:

اول: دامنه پدیده آشوبناک بین دو مقدار مشخص قرار دارد و می‌توان برای آن مرز تعیین نمود.

دوم: در پدیده‌های آشوبناک، در بازه‌های کوچک زمانی امکان پیش‌بینی سیگنال وجود دارد، در حالی‌که در پدیده‌های نویزی چنین خصوصیتی مشاهده نمی‌شود. پدیده دوشاخه‌شدن[1] در منحنی‌های مربوط به فضای حالت به ازای بعضی مقادیر پارامترها، یکی از مشخصات فرآیندهای آشوبناک است[2].

بحث و نتیجه‌گیری:

پیشرفت‌های چشمگیر در ابزارهای محاسباتی در دهه‌های اخیر، امکان به‌کارگیری نظریه‌های مبتنی بر وجود الگوهای غیرخطی جبری یا کیاتیک(آشوبناک) به ظاهر تصادفی را فراهم آورده‌است. درحقیقت، نظریه کیاس امکان مطالعه دقیق‌تر ویژگی‌های رفتاری بسیار پیچیده متغیرهای ژئومورفیکی را که با ابزارهای متداول میسر نیست، فراهم می‌کند تا با کشف الگو و نظم پیچیده حاکم بر رفتار چنین متغیرهایی، از آنها برای پیش‌بینی روند آتی استفاده‌شود. در ژئومورفولوژی برای غالب متغیرها رفتاری تصادفی درنظرگرفته می‌شود؛ نتیجه چنین فرضی این است‌که تغییرات این متغیرها قابل پیش‌بینی نیستند. علی‌رغم توسعه روش‌های گوناگون، به‌منظورکشف فرایند کیاتیک(آشوبناک) هنوز نمی‌توان ادعا کرد که این روش‌ها به‌خوبی قادر به تمایز یک فرایند خطی با اختلالات تصادفی از یک فرایند غیر-خطی معین(کیاس) باشند. اما با وجود چنین کاستی در پژوهش‌های تجربی، می‌توان به‌طور کلی چنین نتیجه گرفت که با توجه به احتمال وجود فرایند آشوبی، اعمال روش استاندارد و متداول یعنی به‌کارگیری مدل‌های خطی در برآورد و پیش‌بینی این سری‌ها، ناکافی بوده و در برخی موارد می‌تواند نتایج گمراه-کننده‌ای به‌دنبال داشته‌باشد.

مطابق تئوری کیاس، همه رخدادها و رفتارها تابع نظم علمی نیستند و اگرچه می‌توان به پیش‌بینی آن‌ها نیز مبادرت کرد؛ ولی پیش‌بینی‌های به‌شمار خطی نمی‌تواند راه حل مناسبی آید. با تجربه و آزمون مدل-های جبری ساده[3] نمی‌توان روند تحول و تغییرات مسیر رود را در زمان t+1 نسبت به زمان t محاسبه

1 Bifurcation

[2] پدیده آشوب در فرآیندهای زمان گسسته و زمان پیوسته مشاهده می‌شود؛ در فرآیندهای زمان پیوسته، پیچیدگی سیستم یکی از لازمه‌های وجود پدیده آشوب است، به‌طوری‌که باید حداقل سه متغیر حالت در یک سیستم آشوبناک وجود داشته باشد(ابرهارت،۱۹۹۸،ص٤٤)و(فیلیپس،۲۰۰٦،۱۲۱)).

3 Deterministic model

نمود؛ و در بسیاری از موارد نوعی بی‌نظمی در تبیین چنین روندهائی دیده می‌شود. این بی‌نظمی‌ها که بر وجود ناتعادلی[1] در سیستم و به‌صورت آشفتگی‌هائی در روند معادلات جبری بروز می‌کند، آشوب نام دارد و مقاطعی از روندکه دارای چنین بی‌نظمی‌هائی است، دلالت بر رفتارهای آشوبناک [2] دارد که شناخت مکانیسم آن‌ها با فنون جبری ساده امکان پذیر نیست و آشنائی، درک و تبیین مکانیسم آشوبناک چنین رفتاری مستلزم به‌کارگیری فنون غیرخطی[3]به‌ویژه در مقیاس زمانی بلندمدت است.

رفتارهای به‌ظاهر تصادفی از نوعی نظم برخوردارند و مطالعه الگو و تیپ‌های چنین بی‌نظمی‌هایی حقایق فیزیکی خاصی را روشن می‌کند؛ این نکته را باید خاطر نشان‌کرد که تبیین الگوهای بی‌نظمی در رفتار سیستم‌ها بدین معنی نیست که ما قادر به تحلیل علی رفتار آنها شده‌ایم، زیرا معادلات غیرخطی که بدین شیوه برای رفتار سیستم‌ها تدوین می‌شود، قابل حل نبوده لذا پیش‌بینی در آن‌ها نیز میسر نخواهد بود. نظم را نباید تنها در یک مقیاس جستجو کرد. پدیده‌ای که در مقیاس محلی، کاملا تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی به نظر می‌رسد، چه بسا در مقیاس بزرگتر، کاملا قابل پیش‌بینی باشد. بسیاری از تغییرات ژئومورفیکی که در مقیاس ۲۰ ساله ممکن است کاملا تصادفی و بی‌نظم به‌نظر برسند، ممکن است در مقیاس ۲۰۰ساله، ۲۰۰۰ساله یا ۲۰۰۰۰ساله دارای دوره تناوب مشخص و یا نوعی نظم علی باشند. روش علمی که این تئوری در اختیار ما قرار می‌دهد، تغییر مقیاس در نگاه به وقایع است به گونه‌ای که بتوان نظم ساختاری آن را کشف کرد. البته نگاه جدید این منطق به نظم، بسیاری از نظریات را در ژئومورفولوژی مورد چالش قرار می‌دهد. در یک سیستم آشوبناک در فاصله زمانی بسیار کم، یک حرکت پریودیک می‌تواند منجر به پریود دیگری شود که مثلاً در آن فرکانس کاری، مدار به فرکانسی بالاتر تغییر یابد. چنین تکاملی از یک حرکت پریودیک غیرپایدار به پریود دیگر می‌تواند منجر به رفتارهای تصادفی‌گونه در یک سیستم شود که این قابلیت بررسی در بحث تحلیل زمان کوتاه ممکن نیست. غالب آزمون‌های مربوط به کشف فرایند آشوبناک در یک سری زمانی نیاز به داده‌های فراوان دارند. متأسفانه در ژئومورفولوژی تولید داده‌ها با فراوانی بسیار، به راحتی سایر علوم تجربی و آزمایشگاهی امکان‌پذیر نیست. این مشکل، به‌ویژه درمورد متغیرهایی مانند دبی و تکتونیک نمود بیشتری دارد. بنابراین، در چنین مواردی نتیجه آزمون‌ها را باید با احتیاط بیشتری تفسیر و یا آنها را با انجام سایر آزمون‌های تکمیلی مقایسه کرد.

امروزه پرداختن به مفهوم کیاس در علوم مختلف و ژئومورفولوژی در حال گسترش است. چه بسیار مدل‌هایی که بر پایه فرض خطی‌بودن و تصادفی بودن روندها بنا نهاده شده‌اند که از این پس از اعتبار می‌افتند. با اثبات وجود آشوب در روند یک متغییر و یک سیستم ژئومورفیک، تخمین دقیق پارامترها حساسیت می‌یابد و تمامی برآوردهای گذشته از اعتبار می‌افتند، زیرا از خصوصیات اصلی مدل‌های آشوبی حساسیت

1 Disequilibrium
2 Chaostic
3 Non-linear

نسبت به اندازه پارامترها و شرایط اولیه است؛ که این مساله اهمیت توجه بیشتر به اندازه‌گیری متغییرها را خاطر نشان می‌سازد. با ورود دیدگاه سیستمی به ژئومرفولوژی بسیاری از پدیده‌های ژئومورفولوژیک که با دیدگاه‌های دیگر تبیین‌پذیر نبودند، تحلیل‌پذیر شده و کیاس در ژئومرفولوژی قادر به بازشناسی پیچیدگی‌های خاص ناشی از تعامل متغییرهای شکل-زاست؛ آن‌چه در تغییرات بستر رودکل با دیدگاه کیاس مطرح است، را نمی‌توان تصادفی و بدون‌نظم دانست، زیرا تغییرات بستر به نوع تعامل متغییرهای فرم وفرایند بستگی دارد. این مساله بیشتر در دیدگاه سیستمی و مقوله ناتعادلی[1] مطرح، و در ژئومرفولوژی سیستمی تبیین پذیر است. در دیدگاه سیستمی تحلیل‌های ژئومرفیک بر اساس رابطه بین فرایند و فرم صورت می‌گیرد و لذا تعادل حالت یا رابطه معینی از نحوه ارتباط فرم وفرایند دریک دستگاه شکل‌زا تلقی می‌شود. این تعادل به‌این معنی نیست که هیچ‌گونه تغییری وجود ندارد، بلکه نوعی گرایش در ناپایداری بستر و جهت آن‌ها دیده می‌شود و اگرچه نوساناتی وجود دارد ولی این نوسانات حول یک محور خاص است. به‌طوریکه پایداری در چشم انداز خود انعکاسی از وجود نوعی تعادل بین فرم وفرایند تلقی شده‌است. در چشم‌اندازهای متعادل متغیرهای وابسته به فرم با نیروهای طبیعی به‌وجود آورنده سیستم‌های شکل‌زا در تعادل و توازن می‌باشند، اگرچه تعادل بین فرم و فرایند ناگهانی به‌وجود نمی‌آید، ولی گاه مقیاس زمانی که این پدیده‌ها درآن رخ می‌دهد، آنقدر کوتاه است که می‌توان شاهد تحول در چشم اندازهای ژئومرفولوژیک یک منطقه بود(مثل تغییر در مجرا یاوسعت یک رود یا جا به جایی مواد در جریان یک ریزش دامنه‌ای).

مسیرهای قبلی رود کل حالتی از سیستم است که با فرایندهای امروزی در تعادل نیستند و بیانگر نوعی بی‌نظمی در رابطه بین پاسخ فرم و فرایند است، اما این به مفهوم ایجاد عدم تعادل در کل سیستم نیست؛ بلکه به‌واسطه تغییرات سریع و دیرکرد در پاسخ سیستم به آن تغییرات، بی‌نظمی خاصی در روند عام ایجاد شده که پس از سپری شدن زمان‌تاخیر مجددا روند عام قبلی حاکمیت می‌یابد. ناتعادلی وقتی رخ می‌دهد که بین پاسخ متغیرهای وابسته(متغییرهای فرم زا) به‌میزان تغییراتی که در متغیرهای غیروابسته(میزان عناصر وعوامل فرایندی) رخ داده‌است، تاخیر زمانی وجود داشته‌باشد و در رابطه ورودی‌های سیستم باخروجی‌های آن(فرم وفرایند) نوعی عدم هماهنگی زمانی دیده‌شود؛ به‌عبارتی فرم‌ها در برابر تغییرات فرایند با زمان تاخیر پاسخ دهند، به‌طوری که این دیرکرد در پاسخ، نوعی اغتشاش و بی‌نظمی در مقایسه با روند عمومی سیستم تلقی شود. تغییرات حول وحوش میانگینی صورت می‌گیرد و نوسان خاصی که بیانگر افت وخیز روند کلی تغییر باشد، دیده نمی‌شود. منحنی ناتعادلی در ابتدا تغییرات فرمی زیادی نشان می‌دهد، اما این تغییر در جهت دست‌یابی به پایداری-است؛ اگرچه هنوز این اتفاق رخ نداده است.

1 Disequilibrium

حوادث نئوتکتونیکی در محدوده مورد مطالعه در زمره رفتارهای کیاتیک محسوب می‌شوند و حتی اگر در ورودی به سیستم تغییری ایجاد نشود، تغییر سطح اساس منطقه در سیستم شکل‌زائی منطقه را که به نوعی با متغییرهای شکل‌زا در تعادل بوده- علی‌رغم آنکه هیچ تغییری در ورودی سیستم حادث نشده - به واکنش غیر تعادلی واداشته است.

منابع

رامشت، محمدحسین(۱۳۸۰): تعادل در دیدگاه‌های ژئومورفولوژی، فصلنامه تحقیقات جغرافیائی، شماره ٦٥-٦٦

رامشت، محمدحسین(۱۳۸۲): نظریه کیاس در ژئومورفولوژی، مجله جغرافیا و توسعه، شماره۱، صص: ۱۳-۳٦.

مشیری،سعید(۱۳۸۱): نظریه آشوب و کاربردهای آن در اقتصاد، فصلنامه پژوهشهای اقتصادی ایران، شماره ۱۲،صص۲۹-۷۱.

Andreas C. W.(2002): Chaos, Fractals and Self-organization in Coastal Geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments, Geomorphology, Volume 48, Issues 1-3, pp 309-328.

Cai-Wan Chang-Jian, Chao-Kuang Chen(2008):Chaos and bifurcation of a flexible rotor supported by porous squeeze couple stress fluid film journal bearings with non-linear suspension, Chaos, Solitons & Fractals, Volume 35, Issue 2, pp 358-375.

Eberhart R(1998): Chaos theory for the biomedical engineer; IEEE Eng. in Med. and Biology; 8:pp41–45

Grassberger, P, Hegger, R, Kantz, H, Schaffrath, C(1993): On noise reduction methods for chaotic data. Chaos 3 (2), pp 127–141.

Howard. A.D.(1982): Equilibrium and time scales in geomorphology: application to sand-bed alluvial streams. Earth Surface Processes and Landforms. 7:303-325.

Huggett، R.J.(1988): Dissipative Systems: implications for geomorphology. Earth Surface Processes and Landforms، Vol. 13،pp 45- 49.

Magnitskii. N.A(2008):Universal Theory of Dynamical Chaos in Nonlinear Dissipative systems of differential equations, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, Volume 13, Issue 2, pp 416-433.

Meresse, S, et.al.(2008): Formation and evolution of the chaotic terrains by subsidence and magmatism: Hydraotes Chaos, Mars, Icarus, Volume 194, Issue 2, pp 487-500

Moukam K, Bowong. S, Tchawoua. C, Kaptouom. E (2004): Strange attractors and chaos control in a Duffing–Van der Pol oscillator with two external periodic forces, Journal of Sound and Vibration, Volume 277, Issues 4-5, pp 783-799.

Phillips, J.D.(2006): Deterministic chaos and historical geomorphology: A review and look forward. Geomorphology (76), pp109-121.

Ren. Y. J, Elishakoff. I & Shinozuka. M(1995): Conditional simulation of non-Gaussian random fields for earthquake monitoring systems, Chaos, Solitons & Fractals, 5(1), pp 91–101.

Rodriguez J. A.(2005): Outflow channel sources, reactivation, and chaos formation, Xanthe Terra, Mars, Icarus, Volume 175, Issue 1, pp 36-57

Sannasiraj. S. A, Zhang.H, Babovic.V,(2004): Enhancing tidal prediction accuracy in a deterministic model using chaos theory, Advances in Water Resources, Volume 27, Issue 7, pp 761-772.

Sivakumar, B.(2004): Chaos theory in geophysics: past, present, and future. Chaos, Solitons Fractals 19, pp441 – 46.

Sun.Y, Sisomphon.P, Babovic.V(2009):Efficient data assimilation method based on chaos theory and Kalman filter with an application in Singapore Regional Model, Journal of Hydro-environment Research, Volume 3, Issue 2, pp 85-95.

Tsonis، A.A. (1989): Chaos and unpredictability of weather. Weather، Vol. 44،258-263.

Zelinka.I (2009): Real-time deterministic chaos control by means of selected evolutionary techniques, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Volume 22, Issue 2, pp 283-297.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی